

# ***CUADERNOS GEOGRÁFICOS***

Universidad de Granada

Número 63(2) (2024)

e-ISSN 2340-0129

ISSN 0210-5462

D. LEGAL: GR./392/1971



## Dirección

### *Direction*

Emilio Martínez Ibarra, Universidad de Granada, España

## Secretarios de Revisión

### *Peer Reviewing Secretaries*

Luis Miguel Sánchez Escolano, Universidad de Granada, España

Jonatan Arias García, Universidad de Granada, España

## Editores Adjuntos

### *Associated Editors*

Francisco Antonio Navarro Valverde, Universidad de Granada, España

Dr. Eugenio Cejudo García, Universidad de Granada, España

Joaquín Bosque Sendra, Universidad de Alcalá de Henares, España

José María Gómez Espín, Universidad de Murcia, España

Juan Antonio Márquez Domínguez, Universidad de Huelva, España

Juan Ignacio Plaza Gutiérrez, Universidad de Salamanca, España

María Elena Martín-Vivaldi Caballero, Universidad de Granada, España

María José Martos Fernández, Universidad de Granada, España

Marina Frolova Ignatieva, Universidad de Granada, España

Vicente Rodríguez-Rodríguez, CSIC Madrid, España

Sr. Juan Carlos Maroto Martos, Universidad de Granada, España

## Comité Asesor

### *Advisory Board*

Ana Fani Alessandri Carlos, Universidad de Sao Paulo, Brasil

Georges Bertrand, Universidad de Toulouse le Mirail et Cépage, Francia

Eramis Bueno Sánchez, Universidad Autónoma de Zacatecas, México

Francisco Calvo García-Tornel, Universidad de Murcia, España

Horacio Capel Saez, Universidad de Barcelona, España

Cristina Teresa Carballo, Universidad de Quilmes, Argentina

Sylvie Coupleux, Universidad de Artois, Francia

Sylvie Delmer, Université Lille1, Francia

Myriam X. Galleguillos, Universidad Alberto Hurtado, Chile

Arlinda García Coll, Universidad de Barcelona, España

Andrea Guaran, Universidad de Udine, Italia

Alicia Lindón, Universidad Autónoma Metropolitana, México

Javier Martín-Vide, Universidad de Barcelona, España

Eduardo Martínez de Pisón, Universidad Autónoma de Madrid, España

Jean-Paul Métaillé, Universidad de Toulouse Le Mirail, Francia

Irene Molina, Universidad de Uppsala, Suecia

Antonio Moreno Jiménez, Universidad Autónoma de Madrid, España

Jorge Olcina Cantos, Universidad de Alicante, España

Belén Pedregal Mateos, Universidad de Sevilla, España

Silvana Maria Pintaudi, Universidade Estadual Paulista, Brasil

Pedro Reques Velasco, Universidad de Cantabria, España

Eduardo Salinas Chaves, Universidad de La Habana, Cuba

María T. Sánchez Salazar, Universidad Nac. Autónoma de México, México

Brisa Varela, Universidad Nacional de Luján, Argentina

Florencio Zoido Naranjo, C. de Estudios de Paisaje y Territorio, España

*Cuadernos Geográficos* es una revista científica que se edita desde 1971 con el patrocinio de los Departamentos de Geografía y la Editorial de la Universidad de Granada. Esta publicación tiene por objeto difundir la investigación de calidad relativa a las relaciones entre la sociedad y el territorio que contribuya al desarrollo de la Ciencia Geográfica, en español, inglés y francés, obra principalmente de geógrafos, aunque esta abierta a otros científicos sociales y de las ciencias de la tierra. Se centra esencialmente en el Mundo Mediterráneo de ambas orillas y en Latinoamérica aunque no excluye otras áreas y problemáticas afines.

*Cuadernos Geográficos is a scientific journal which has been in print since 1971 under the commission of the Department of Geography and University Press of Granada (Spain). The objective of this publication is to disseminate quality research having to do with the relationship between society and territory that contributes to the development of Geographical Science, in Spanish, English and French. The articles are mainly written by geographers, though it is open to other social and earth sciences. It focuses mainly on the Mediterranean world from both shores and Latin America, though it does not exclude others areas and their related issues.*

## Contacto de la Redacción

### *Editorial Office Contact Info*

Departamento de Análisis Geográfico  
Regional y Geografía Física  
ó Departamento de Geografía Humana.

Universidad de Granada. Campus de Cartuja,  
18071 Granada (España).

Teléfonos: (00-34) 958243644/958243628.

Fax: (00-34) 9586213/958243930.

e-mail: [cuadgeo@ugr.es](mailto:cuadgeo@ugr.es)

## Distribución

### *Distribution*

Editorial Universidad de Granada.

Antiguo Colegio Máximo. Campus de Cartuja.  
18071- Granada (España).

Teléfono: (00-34) 958243930

## Sumario // Contents

### Artículos / Articles

- 
- 5-23 JORDI NOFRE  
Propuesta de creación del observatorio nacional de la industria del ocio nocturno en España  
*Proposal for the creation of a national observatory of the nightlife industry in Spain*
- 24-50 MARÍA DEL CARMEN GONZÁLEZ DÍAZ, ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ, LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ, ROBERTO FRANCO PLATA  
Vulnerabilidad global en el Curso Alto del río Lerma por peligro sísmico. Estado de México, México  
*Global vulnerability in the upper course of the Lerma river due to seismic hazard. State of Mexico, Mexico*
- 51-73 JORGE OCINA CANTOS, JAVIER MARTÍ TALAVERA, ESTHER SÁNCHEZ ALMODÓVAR  
Evolución reciente de precipitación y temperatura en la región mediterránea de la Península Ibérica: revisando la señal del calentamiento global a escala regional  
*Recent precipitation and temperature trends in the Mediterranean region of the Iberian Peninsula: revisiting the signal of global warming on a regional scale*
- 74-91 JAUME BINIMELIS SEBASTIAN, JOE USHER, PÉTER BAGOLY-SIMÓ  
El contexto académico, laboral, personal y de procedencia de los docentes de Educación Primaria y el desarrollo de metodologías activas de aprendizaje geográfico en España  
*Primary Education teachers' academic, employment, personal and geographical context and the development of active geographical learning methodologies in Spain*
- 92-109 VANESA YAEL BOHN, ALDANA MASTRANDRE  
Estimación y análisis espacial de la susceptibilidad hídrica en cuencas hidrográficas de llanura (Argentina)  
*Spatial analysis and estimation of the hydric susceptibility in hydrographical basins of plains (Argentina)*
- 110-128 JUDITH SALINAS GONZÁLEZ, ANA ESTER BATISTA ZAMORA  
Hogares con Pobreza Multidimensional en Bogotá. Aspectos de su distribución espacial a escala de manzana  
*Households with Multidimensional Poverty at Bogotá. Aspects of their spatial distribution at the block scale*
- 129-148 PABLO GIMÉNEZ-FONT  
La grana kermes y el aprovechamiento histórico de la coscoja (*Quercus coccifera* L.): perspectiva ambiental de un recurso forestal milenario  
*The grana kermes and the historical use of the kermes oak (Quercus coccifera L.): environmental perspective of an ancient forest resource*

- 149-169 JAVIER LIÑÁN CHACÓN, MARINA FROLOVA  
Public perception and participation towards biogas plants in wastewater treatment facilities: Study cases in southern Spain  
*Percepción y participación pública en las plantas de biogás de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales: Casos de estudio del sur de España*
- 170-195 DANA CECILIA OTERO, MARIELA EDITH ARBOIT, DORA SILVIA MAGLIONE, GRACIELA MELISA VIEGAS  
Influencia de indicadores morfológicos urbano-edilicios hacia una ciudad compacta y sostenible: Área Metropolitana de Mendoza  
*Influence of urban-building morphological indicators towards a compact and sustainable city: Metropolitan Area of Mendoza*
- 196-216 MAGDALENA ALOY-ESTELRICH, GABRIEL ALOMAR-GARAU  
Brisas marinas en Mallorca: ensayo metodológico para su identificación a partir de datos REDMAR, REDEXT y SIMAR  
*Sea-Breezes in Mallorca: A methodological essay for their identification using REDMAR, REDEXT, and SIMAR datasets*
- 217-235 MARIO CORRAL RIBERA  
Origen del género *Ailanthus* Desf. y distribución actual de la especie *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle: Análisis fitogeográfico y registros fósiles  
*Origin of the genus Ailanthus Desf. and actual distribution of the species Ailanthus altissima (Mill.) Swingle: Phytogeographical analysis and fossil records*
- 236-260 JUAN JOSÉ LIZCANO PALACIO, JORDI BAYONA-I-CARRASCO, JENNIFFER THIERS QUINTANA  
De ciudades núcleo a periféricas: Dinámicas de migración interna en las áreas metropolitanas de Colombia, 1993-2018  
*From core to peripheral cities: Dynamics of internal migration in Colombia's metropolitan areas, 1993-2018*
- 261-282 NATALIA ARAVENA SOLÍS, JOSÉ PRADA TRIGO  
Factores determinantes en la distribución espacial de estudiantes universitarios en Concepción (Chile) mediante Regresión Geográficamente Ponderada (GWR)  
*Determinant factors in the spatial distribution of university students in Concepción (Chile), using Geographically Weighted Regression (GWR)*
- 283-307 ANA DE LA FUENTE ROSELLÓ, FRANCISCO JOSÉ CANTARERO PRADOS, RODOLFO SILVA CASARÍN  
Propuesta de actuaciones para la gestión de playas ante peligrosidad y vulnerabilidad de su uso recreativo ante eventos reiterados de presencia de medusas. Aplicación en la Costa del Sol (Málaga)  
*Proposal of actions for the management of beaches due to the danger and vulnerability of their recreational use in case of repeated events of jellyfish presence. Application on the Costa del sol (Malaga)*
- 308-329 ELIANA CONCI, MARÍA JIMENA RODRIGUEZ, ANALÍA ROSA BECKER, MARÍA MICAELA LEDESMA, ALDO FERNANDO RANGONE, JULIETA FABIOLA SALGUERO  
Vulnerabilidad ambiental en áreas rurales asociadas al sistema fluvial Ctlamochita, Córdoba, Argentina  
*Environmental vulnerability in rural areas associated with the Ctlamochita river system, Córdoba, Argentina*

# Propuesta de creación del observatorio nacional de la industria del ocio nocturno en España

Proposal for the creation of a national observatory of the nightlife industry in Spain

JORDI NOFRE<sup>1</sup>  0000-0002-7367-1337

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. Portugal

## Resumen

La ausencia de datos sistematizados y actualizados sobre la industria del ocio nocturno en España por parte de organismos públicos constituye un factor negativo para la eficiente gobernanza de 'la noche' especialmente en las mayores ciudades del país, en núcleos urbanos fuertemente turistificados de la orla costera ibérica y de las regiones insulares, así como en ciudades medias y pequeñas del interior del país. Basado en la experiencia investigadora del autor sobre este campo (2004-2023) y de los resultados de una 'etnografía de emergencia' realizada sobre el impacto de la pandemia de COVID-19 en el ocio nocturno formal e informal del país, este artículo presenta la propuesta de creación de un Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno de España, exponiendo de forma detallada una posible estructura operativa, una red de fuentes de provisión de datos primarios cuantitativos así como algunos de los productos derivados del análisis del conjunto de datos potencialmente movilizados. El artículo concluye recalcando la importancia de este nuevo observatorio como herramienta indispensable para la planificación estratégica del sector a medio y largo plazo y para la mejora de políticas públicas relacionadas con la gobernanza de 'la noche' a escala nacional, regional y municipal.

Palabras clave: industria del ocio nocturno; observatorio; data mining; España.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.05.24  
Aceptado: 2023.10.23  
Publicado: 2024.09.07

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Jordi Nofre  
[jnofre@fcsh.unl.pt](mailto:jnofre@fcsh.unl.pt)

## Abstract

The lack of systematized and updated data on the nightlife industry in Spain by public organizations is a negative factor for the efficient governance of ‘the night’, especially in the country’s largest cities, in heavily touristified urban centers of the Iberian coastline and island regions, as well as in small and medium-sized cities in the countryside. Based on the author’s research experience in this field (2004-2023) and the results of an ‘emergency ethnography’ carried out on the impact of the COVID-19 pandemic on formal and informal nightlife in the country, this article presents the proposal for the creation of a National Observatory of the Spanish Nightlife Industry, setting out in detail a possible operational structure, a network of sources for the provision of quantitative primary data as well as some of the products derived from the analysis of the potentially mobilized data set. The article concludes by stressing the importance of this new observatory as an indispensable tool for the strategic planning of the sector in the medium and long term and for the improvement of public policies related to the governance of ‘the night’ at national, regional, and municipal levels.

---

Keywords: nightlife industry; observatory; data mining; Spain.

---

## 1. Introducción

A inicios de mayo de 2023, docenas de alcaldes de la noche de ciudades principalmente localizadas en el Norte Global participaron presencialmente en el *Foro Internacional de Economía Nocturna NEON* de Sydney (Australia). Un mes después tuvo lugar la conferencia titulada *Demostrando el Valor Cultural y Económico de tu Economía Nocturna*, organizado por la consultora estadounidense *24 Hour Nation* y con el apoyo del *Business Council for the Arts* del Estado de Texas (Estados Unidos de América). Estos eventos son apenas dos ejemplos del *boom* de eventos tanto académicos como no-académicos que se han celebrado en el año 2023 sobre el presente y el futuro de la economía del ocio nocturno especialmente de ciudades de Europa, Norte América y Oceanía. La principal razón de este rápido crecimiento de eventos sobre la economía del ocio nocturno respondería –siendo breves en su enumeración– a la interacción entre tres factores principales: (1) el enorme impacto económico negativo en el sector de la industria del ocio nocturno a nivel global derivado de la imposición de restricciones sanitarias, sociales y económicas en buena parte de los países del Norte, Sur y Este Global para el control y mitigación de la pandemia de COVID-19 (Ramello et al., 2020); (2) la reapertura de ‘la noche’ durante la segunda mitad del periodo pandémico (2022-2023) como sinónimo de recuperación de los espacios más importantes para el bienestar socioemocional de un número significativo de adolescentes, jóvenes, adulto-jóvenes e incluso adultos (con especial énfasis en aquellos pertenecientes a minorías de género, étnicas y de orientación sexual) (Nofre, 2023); y (3) la consolidación de la industria del ocio nocturno como uno de los agentes de revitalización socioeconómica de áreas urbanas centrales y de revitalización de la industria del turismo urbano en tiempos pospandémicos (Abhari et al., 2022; Sands et al., 2022).

En España, a pesar de una viva discusión académica, institucional, social y mediática sobre la reapertura del ocio nocturno durante la fase de control de la pandemia de COVID-19 (p.e., Delgado-Sánchez et al., 2022; Puértolas et al., 2022; Nofre et al., 2023), el ocio nocturno presenta un reconocimiento institucional ambivalente. Por un lado, la industria del ocio nocturno aparece como sector estratégico del *Plan Estratégico de Marketing 2021-2024* de TurEspaña, organismo público adscrito a la Secretaría de Estado de Turismo del Ministerio de Industria, Comercio y

Turismo, y cuya función principal es la promoción de España como destino turístico en el mundo. Sin embargo, y de forma sorprendente, la industria del ocio nocturno no aparece mencionada en ninguna de las trescientas cuarenta y ocho páginas del *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia* aprobado por el Gobierno de España para la transición ecológica y digital del país como respuesta a la estrategia *Next Generation Europe* impulsada por la Comisión Europea (*Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*, 2021). Con una facturación anual de 20.000 millones de euros en 2018 –lo que representó el 1,8% del PIB nacional en el ejercicio del citado año, y con más de 200.000 personas empleadas de forma directa e indirecta (Hosteltur, 2019)–, tal ausencia en el citado *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia* lleva a considerar la existencia de cierto desatino a la hora de elaborar susodicho plan, y más teniendo en cuenta que la oferta de ocio nocturno constituyó el principal atractivo del país para el 23% de turistas que llegaron a España en 2018 según el estudio *Ocio Nocturno a Nivel Global: Un Fenómeno de Dinamización Económica* (Travé y Díaz, 2019). Ahora bien, una primera lectura crítica de estos datos y de la naturaleza de sus fuentes revela una cuestión de especial trascendencia: ¿Por qué los datos sobre la industria del ocio nocturno, cuyo PIB supera al sector pesquero español (por poner un ejemplo), no provienen de fuentes oficiales tales como el Instituto Nacional de Estadística?

## 2. Objetivos

La ausencia de una recogida de datos sistematizada por parte de organismos oficiales de una actividad económica fundamental tanto para las mayores ciudades de España como para algunas de sus ciudades medias con presencia de una significativa escena de ocio nocturno (p.e., Salamanca, Gijón, Granada, Santiago de Compostela o Pamplona, entre otras), así como para centros urbanos turísticos costeros de las regiones insulares de Baleares y Canarias y del este peninsular como Platja d'Aro, Lloret, Calella y Salou (todas ellas en Cataluña), y Gandía o Benidorm (en la Comunidad Autónoma de Valencia), constituye un factor negativo para la elaboración de políticas públicas de desarrollo económico local, de planeamiento urbanístico, de gestión de los flujos turísticos, de gestión del espacio público en horario nocturno, de movilidad urbana e interurbana nocturna y de gestión de conflictos con los vecinos derivados de la presencia de una elevada densidad de establecimientos de ocio nocturno en el tejido urbano de los respectivos núcleos urbanos. En este sentido, el presente artículo tiene como objetivo presentar la propuesta de creación de un Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno de España.

En su primera parte, el artículo presenta una síntesis sobre el desarrollo epistemológico de lo que podríamos denominar como subcampo interdisciplinar de los estudios sobre economía del ocio nocturno. A continuación, el artículo presenta algunas experiencias internacionales en relación con la realización de estudios de medición del valor económico del ocio nocturno que constituyen el punto de partida metodológico para la propuesta de creación de un organismo público de ámbito estatal que cree indicadores de monitorización de tal actividad económica en España. De esta forma, la segunda mitad del artículo sugerirá la creación de un Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno de España, exponiendo una posible estructura operativa y un sistema automatizado de recopilación de datos. El artículo concluirá recalcando la importancia de este nuevo observatorio como herramienta indispensable para la planificación estratégica del sector a medio y largo plazo, contribuyendo a su vez a la mejora de políticas públicas relacionadas con la gobernanza de 'la noche' especialmente (aunque no solamente) en las mayores ciudades del país y en núcleos urbanos fuertemente turistificados de la orla costera ibérica y de las regiones insulares.

Como breve nota metodológica cabe mencionar que la idea y la redacción de este artículo están basados en la experiencia investigadora del autor sobre este campo (2004-2023), a la vez que constituye uno de los resultados de la ‘etnografía de emergencia’ (DeHart, 2020) realizada por el autor de este artículo sobre el impacto de la pandemia producida por el coronavirus SARS-CoV-2 en el ocio nocturno formal e informal de España. Esta ‘etnografía de emergencia’, la cual tuvo como pilar fundamental de desarrollo la analogía desarrollada por el antropólogo urbano Ulf Hannerz sobre el trabajo de campo como “el arte de lo posible” (Hannerz, 2003:213), tuvo como técnica principal la observación indirecta de la gobernanza del ocio nocturno en tiempos de pandemia, realizándose un exhaustivo análisis documental de la legislación aprobada *ad hoc* a nivel estatal así como también a nivel regional para el caso específico catalán – cuyo primer resultado puede consultarse en (Nofre et al., 2023). Además de ello, mi participación en diferentes eventos sobre ocio nocturno en tiempos de pandemia me permitió poder entablar conversas informales extensas con Ramon Mas (presidente de España de Noche – Federación de Empresarios de Ocio Nocturno y Espectáculos) y Lluís Torrents (presidente de la Asociación de Salas de Conciertos de Cataluña). Estos eventos fueron, por orden cronológico, la participación en una mesa redonda de debate en la presentación del estudio *BCNIt – Estudio del ocio nocturno en Barcelona PosCovid-19*, en Abril de 2021; la participación en cuatro sesiones de trabajo dinamizadas por Fabien Pecot, de la Toulouse Business School en Barcelona, durante el periodo de Marzo de 2021 – Julio de 2021 para la reactivación del ocio nocturno en Barcelona en un escenario pospandemia; y la participación en una mesa redonda de debate en el Festival Ombra (Barcelona), en Noviembre de 2021.

Estas conversas informales tuvieron como eje de desarrollo las siguientes cuestiones que formaban parte de la “etnografía de emergencia” citada: (i) identificación de los discursos de los diferentes agentes participantes de las reuniones realizadas entre representantes institucionales y representantes del sector del ocio nocturno en la negociación de medidas sanitarias y económicas que afectaban al sector del ocio nocturno para la lucha contra la pandemia de COVID-19; (ii) impacto de tales medidas en la supervivencia de los locales, de las empresas propietarias de los locales y/o responsables de su gestión, y del colectivo de trabajadoras y trabajadores del sector; y, finalmente; y (iii) necesidades del sector para una mejor planificación estratégica en un escenario pospandemia. Fruto de la recopilación de información cualitativa y cuantitativa (en este caso, de fuentes propias del sector, y no de origen institucional) derivada de tales conversas informales, presenté una ponencia titulada “Spain is (not) different: The Why, What, and How of Measuring the Economic, Social, Cultural, and Emotional Values of Nightlife” en la *Madrid International Nightlife Conference* (junio de 2022). Esta presentación realizada en el Espacio Cultural Serrería Belga de Madrid constituye la casilla oficial de salida para la redacción de este artículo.

### 3. La economía del ocio nocturno: Más de tres décadas de desarrollo epistemológico

El estudio de la ciudad nocturna constituye, todavía hoy en día, un terreno poco explorado si bien su interés como objeto de estudio presenta un creciente interés académico (p.e., Shaw, 2018; Acuto et al., 2021). De hecho, como señala Rob Shaw en su imprescindible libro *The Nocturnal City*, “la mayor parte de nuestra investigación es diurna” (Shaw, 2018, p.1). A pesar de este hecho incontestable, el subcampo interdisciplinar de la economía del ocio nocturno cuenta con una trayectoria institucional(izada) de más de tres décadas. Sin embargo, hay pioneros que merecen ser reconocidos: los primeros libros sobre la vida nocturna –en términos generales– en ciudades principalmente localizadas en el Norte Global se remontan a la era de la ciudad industrial, cuan-

do algunos periodistas, escritores y viajeros retrataron el paisaje urbano nocturno de las ciudades más importantes del mundo occidental en aquella época, como París, Londres, Nueva York y Barcelona (p.e., Sala, 1862; Coroleu, 1887; Darzens y Willette, 1889; Shaw, 1931). Sin embargo, en la década de 1930, y sobre todo en décadas posteriores, algunos historiadores y sociólogos – principalmente de Estados Unidos y el Reino Unido– empezaron a prestar atención al papel de la vida nocturna (y sus múltiples ‘lados oscuros’) en la reproducción de las sociedades urbanas modernas, reconociendo así la vida nocturna como objeto de análisis académico (p.e., Cressey, 1932; Ostrander, 1972; Erenberg, 1974).

Para rastrear los orígenes del concepto específico de ‘economía del ocio nocturno’, debemos remontarnos a finales de la década de 1980, cuando el último gobierno de Margaret Thatcher encargó a la consultora Comedia –fundada en 1978 por Charles Landry, creador del concepto de ‘ciudades creativas’ junto con Franco Bianchini (Landry y Bianchini, 1995)– una estrategia de revitalización socioeconómica de los centros urbanos del Reino Unido. Esta iniciativa impulsada por el gobierno conservador de Thatcher surgió como respuesta a la degradación física de las áreas centrales de las ciudades británicas, a su desertización económica como consecuencia de la crisis urbana iniciada a inicios de la década de 1970, y a los altos niveles de sensación de inseguridad en el espacio público en horario nocturno por parte de un amplio espectro de la población femenina del Reino Unido. El resultado del proceso fue la realización de un estudio sobre posibles soluciones a tal situación crítica cuyos resultados fueron publicados en el informe “*Out of Hours: A study of economic, social and cultural life in twelve town centers in the UK*” (1991). A la publicación de este estudio, coordinado por Charles Landry, le siguieron dos artículos científicos publicados por uno de los miembros del equipo de Landry, Franco Bianchini. Sus artículos “La crisis de la vida social pública urbana en Gran Bretaña: orígenes del problema y posibles respuestas” (Bianchini, 1990) y “Culturas nocturnas, economías nocturnas” (Bianchini, 1995) constituyeron, precisamente, el punto de partida para la posterior construcción de todo el cuerpo epistemológico del subcampo interdisciplinar de la economía del ocio nocturno desarrollado hasta la actualidad.

Efectivamente, la implementación exitosa de la economía del ocio nocturno como estrategia de revitalización urbana de los centros de las ciudades del Reino Unido (Health, 1997; Chatterton y Hollands, 2003; Roberts y Eldridge, 2009) ha sido adoptada por un número significativo de ciudades de ambos hemisferios a lo largo de las últimas dos décadas (Hae, 2012; Farrer, 2018; Abusaada et al., 2021). En numerosas ocasiones, esta promoción del ocio nocturno suele enmarcarse en la implementación de nuevas estrategias locales de marketing turístico urbano (Zmyslony y Pawlusiński, 2020; Smith y Eldridge, 2021). El resultado de esta notable expansión de la economía del ocio nocturno en el centro de las ciudades como estrategia cultural y económica de revitalización urbana más allá de las propias fronteras del Reino Unido llamó la atención de Paul Chatterton y Robert Hollands, quienes en 2003 publicaron su brillante obra “*Urban Nightscapes: Youth Cultures, Pleasure Spaces, and Corporate Power*” (Chatterton y Hollands, 2003). En ella, los autores presentan un sensacional análisis del rápido crecimiento y de la extrema mercantilización del ocio nocturno en áreas centrales de la ciudad posindustrial. De forma más específica si cabe, Chatterton y Hollands destacan no solamente los impactos positivos de dicha estrategia de revitalización socioeconómica de zonas céntricas degradadas de la ciudad sino especialmente los impactos negativos, tales como la marginalización de grupos sociales vulnerables, estigmatizados y racializados, la reproducción de episodios de violencia juvenil, los procesos de gentrificación asociados a la implementación de escenas culturales nocturnas elitistas, y la desaparición de espacios y prácticas de ocio nocturno ‘tradicionales’ – con la consiguiente pérdida de patrimonio cultural tangible e intangible.

Sin embargo, otros autores principalmente adscritos al ámbito académico de la criminología británica remarcaron cómo la desregulación de las licencias comerciales y de los horarios de funcionamiento para fomentar la economía del ocio nocturno en las áreas centrales de las ciudades del Reino Unido había conllevado un aumento substancial de los episodios de violencia y desórdenes públicos fruto también de la ausencia de mecanismos efectivos de gobernanza de la ciudad nocturna (p.e, Bromley y Nelson, 2002; Finney, 2004; Hobbs et al., 2005). Como respuesta al empeoramiento de la convivencia en horario nocturno entre diferentes actores sociales de los centros urbanos, Marion Roberts y Adam Eldridge publicaron *Planning the Night-Time City* (Roberts y Eldridge, 2009), una obra fundamental en el avance hacia una gobernanza eficaz de la ciudad nocturna, de sus actores, de sus prácticas y de sus diferentes y a menudo contrapuestos intereses. De hecho, esta contraposición entre diferentes aproximaciones al fenómeno de la expansión del ocio nocturno en áreas centrales urbanas respondía a una dialéctica epistemológica –aún existente en la actualidad, aunque cada vez más residual– entre la perspectiva criminológica/reguladora (‘la noche’ como sinónimo de pecado, inmoralidad y desorden) y la perspectiva neoliberal/economicista (‘la noche’ como espacio-tiempo productivo en términos económicos) (Nofre y Eldridge, 2018).

La progresiva entrada en el mundo académico de una nueva generación de académicas y académicos (algunos de ellas y ellos, no-blancos/no-occidentales) especialmente desde mediados de la década de 2000 supuso una tremenda sacudida para el subcampo interdisciplinar de la economía del ocio nocturno, puesto que permitió romper con el doble enfoque académico anglosajón dominante sobre ‘la noche’ comentado en el párrafo anterior. En este sentido, cabe mencionar nuevas aportaciones académicas procedentes especialmente de la Europa meridional (Fouce, 2000; Blázquez y Morera, 2002; Brewster y Broughton, 2006) y de otras regiones del planeta como el Este Global (Chongyi, 2007; Farrer, 2008; Chew, 2009), las cuales cuestionaban abiertamente la britanicidad primogénita del papel de la economía del ocio nocturno como catalizador de la revitalización social, cultural y económica de áreas urbanas centrales degradadas. Estos trabajos corroboraron explícitamente que ‘la noche’ e incluso la nocturnalización de la vida urbana –en terminología de Craig Koslofsky (2011)– no son conceptos restringidos exclusivamente al mundo anglosajón occidental en términos historiográficos o incluso antropológicos. De hecho, esta nueva generación de académicas y académicos fueron los protagonistas de un giro ‘social’ y ‘cultural’ en el estudio de la economía del ocio nocturno, denunciando como la estrategia institucional de promoción de ‘la noche’ en áreas urbanas centrales conllevaba un incremento de la estigmatización, criminalización y represión contra los jóvenes racializados de barrios de clase baja (Talbot y Böse 2007; Grazian, 2009; Ronen, 2010).

Efectivamente, a lo largo de la pasada década, numerosos autores subrayaron cómo la economía del ocio nocturno tanto en el Norte como en el Sur Global tendía a exacerbar (i) las violencias patriarcales contra las mujeres (p.e., Sheard, 2011; Held, 2015; Fullagar et al., 2019); (ii) la segregación socioespacial del ocio nocturno y la violencia policial y del personal de seguridad de los establecimientos contra colectivos racializados de clase baja (p.e., May, 2014; Sogaard, 2017; Sedano, 2019); y (iii) la progresiva marginalización de la comunidad LGTBQI+ y de ‘cuerpos disidentes’ –en terminología de Santos y Lago (2016)– de la escena cultural nocturna de áreas centrales urbanas (p.e., Livermon, 2014; Campkin y Marshall, 2018; Ekenhorst et al., 2019).

Sin embargo, y en paralelo a este giro ‘social’ y ‘cultural’, la promoción de una economía del ocio nocturno teóricamente más inclusiva y medioambientalmente más sostenible se ha convertido en los últimos diez años en objeto de atención y negocio por parte de algunas pequeñas empresas

de consultoría cultural que, a su vez, han establecido una activa red de colaboración con algunas académicas y académicos especialmente en propuestas de proyectos de investigación conjunta<sup>1</sup>. De entre varias docenas de ellas y de acuerdo con el volumen de iniciativas llevadas a escala global desarrolladas durante estos últimos años cabe destacar Night Time Economy Solutions, consultoría británica fundada en 2012; Sound Diplomacy, fundada en 2013 y con sede original en Londres; y VibeLab, fundada en el año 2017 y con sede en Ámsterdam. Por otro lado, cabe mencionar también la participación activa del Banco Interamericano de Desarrollo en la promoción de las denominadas ‘ciudades 24 horas’ a lo largo y ancho de la geografía latinoamericana durante la pasada década, cuyo legado ha sido recogido recientemente por la iniciativa *24-Hour Cities Network* –una iniciativa creada por la empresa global financiera Mastercard<sup>2</sup>. En paralelo a todas estas iniciativas, cabe mencionar igualmente la expansión a nivel global de la creación de la figura del ‘Alcalde de la Noche’ como respuesta a los crecientes desafíos generados tanto por la expansión de la economía del ocio nocturno como por otras tipologías de economías formales e informales que desarrollan su actividad principalmente en horario nocturno y que ha llamado la atención de un creciente número de académicas y académicos (Henckel, 2019; Ross, 2020; Seijas y Milan Gelders, 2021).

Como suele ser habitual en otros ámbitos variopintos, España parece estar situada en una posición muy periférica con relación a estas dinámicas globales tanto académicas como no-académicas en lo que se refiere a la economía del ocio nocturno. De hecho, el estudio del ocio nocturno contemporáneo –en cualquiera de sus vertientes conceptuales– ha generado hasta la fecha poca atención entre la comunidad académica española, debiendo destacar la predominancia de estudios sobre (i) el consumo de sustancias psicoactivas entre adolescentes y jóvenes en contextos de ocio nocturno formal e informal, (ii) violencias sexuales en espacios de ocio nocturno, (iii) la reproducción de la segregación socioespacial del ocio nocturno formal e informal, (iv) el desarrollo del fenómeno del botellón, y (v) las molestias acústicas producidas por la presencia de *clústers* de ocio nocturno inseridos en el tejido urbano de las ciudades (p.e., Prego-Melero et al., 2021; Toubes y Vargas-Sánchez, 2021; Tarragona-Camacho et al., 2023). Sin embargo, y más específicamente, los estudios académicos sobre la economía del ocio nocturno en España son casi inexistentes, debiendo mencionar los trabajos liderados por José Ramón Cardona, profesor de la Escuela Universitaria de Turismo de las Islas Baleares, sobre la economía del ocio nocturno en el caso específico de Ibiza (p.e., Cardona, 2019; Cardona et al., 2015).

A pesar de la ausencia de un volumen de publicaciones científicas relevantes sobre la industria del ocio nocturno bien sea a nivel nacional bien sea a nivel regional, cabe también destacar la generación de algunas primeras iniciativas colaborativas entre actores de la propia industria de ocio nocturno, actores institucionales y académicos con el objetivo de sentar las bases para unas noches más seguras, inclusivas, sostenibles y competitivas en España. *Comissió Nocturna de Barcelona* (con su portavoz Àngela Torres, activista de la escena electrónica barcelonesa) o *NIX Madrid Nightlife Commission* (con Jorge Sanza como coordinador) constituyen dos ejemplos del actual diálogo entre el ámbito asociativo, el ámbito patronal de la industria del ocio nocturno, y las instituciones locales en Barcelona y Madrid, respectivamente, para la consecución de un ocio nocturno comercial más seguro, más inclusivo, más sostenible y más resiliente – este último

1. Valga como ejemplo, entre otros, de la propuesta de COST Action “Next Generation Nights in Europe” liderada por el autor de este artículo, la cual contó con 29 participantes de 18 países, y que fue rechazada para su financiación en mayo de 2023. Para más información, véase: <https://lxnights.hypotheses.org/1374>

2. Según recoge la web del proyecto, 24 Hour Cities Network se enmarca como una acción estratégica de City Possible, una iniciativa creada por la empresa financiera Mastercard. Para la promoción de ciudades nocturnas más seguras, inclusivas y competitivas. Para más información, ver: <https://citypossible.com/cpuserportal/public/cpuserui/thought-leadership/2211/24-hour-cities-network>

aspecto, surgido a raíz del impacto negativo producido por la adopción de medidas sanitarias, sociales y económicas de lucha contra la pandemia de COVID-19.

#### 4. La situación de la industria del ocio nocturno en la España pospandémica

En la noche del 26 de marzo de 2021, el fotógrafo Olmo Calvo capturaba con su máquina un grupo de jóvenes en la calle Espoz y Mina de Madrid. La fotografía, retuiteada bajo el eslogan de “Madrid es Libertad” por parte de la presidenta de la Comunidad Autónoma de Madrid, Isabel Díaz Ayuso, mostraba a susodicho grupo de jóvenes, en su mayoría franceses, con los brazos en alto gritando de forma jubilosa y alborozada mientras una chica veinteañera, con vestido largo de una sola pieza, de fondo rojo y estampado discreto floreado alzaba, con su mano derecha, un cubata servido en vaso ancho, a la vez que su respectivo antebrazo sujetaba una bolsa grande de El Corte Inglés. La fotografía de Olmo Calvo presentaba cierta similitud con “La Libertad guiando al pueblo” (1830) del pintor francés Ferdinand Victor Eugène Delacroix. Dicha escena, y su difusión viral planeada por Miguel Ángel Rodríguez (jefe de gabinete de la presidenta regional madrileña), puso de manifiesto de forma pública y clara un fenómeno que, en toda la geografía española, rápidamente se convirtió en *vox populi* gracias a las numerosas noticias aparecidas en los medios de comunicación y viralizadas en las redes sociales: a pesar de las severísimas restricciones impuestas a golpe de decretazo y Estados de Alarmas, el ocio nocturno (en su vertiente más informal: botellones, fiestas en la playa, fiestas en casas particulares y raves) nunca desapareció en la España pandémica (Vargas, 2021; Nofre et al., 2023). Sin embargo, tal hecho incontestable no debería inducir a ignorar el enorme impacto económico que sufrió la industria del ocio nocturno en España como consecuencia de la imposición de medidas restrictivas sanitarias, sociales y económicas para el control y la mitigación de la pandemia de COVID-19. Los datos ofrecidos por la patronal de sector en marzo de 2021 (última actualización) indicaban el cierre definitivo de 4.933 establecimientos y pérdidas del sector cifradas en 2.580 millones de euros (Hosteltur, 2021).

Una vez superado el paréntesis pandémico, cualquier intento objetivo y real de radiografiar la industria del ocio nocturno en España constituye, todavía hoy en día, una tarea de imposible realización como consecuencia de la escasa calidad de las fuentes de información. De hecho, los valores más actualizados que existen provienen exclusivamente de fuentes privadas del sector y no de organismos públicos. Más específicamente, las estadísticas ofrecidas por organismos públicos constituyen un absoluto dislate a tenor de la incompresible desactualización de las diferentes bases de datos citadas a continuación, de su pobre desagregación territorial y de la inexistente desagregación en subcategorías específicas tales como “CNAE 9329: Otras actividades recreativas y de entretenimiento”, cuya descripción extendida es, precisamente, “Salas de baile y discotecas”. En un tono mucho más metodológico, cabe mencionar que la base de datos de ejercicios anuales del Impuesto sobre Sociedades PYMES societarias y no societarias ofrecidos por la Dirección General de Tributos del Ministerio de Hacienda y Función Pública tiene como último año de referencia 2020, siendo que el documento metodológico asociado a esta base de datos no esclarece si la categoría “CNAE 9329: Otras actividades recreativas y de entretenimiento” y la categoría “(1969) Otros servicios recreativos n.c.o.p.” son equivalentes en el sentido de agrupar exactamente las mismas actividades no clasificadas específicamente. Por otra parte, ni la base de datos del Instituto Nacional de Estadística con relación al número de empresas por comunidades autónomas y actividad principal según grupos CNAE – 2009 ni la correspondiente a nivel municipal por parte del mismo organismo contienen datos desagregados en subcategorías de actividad. Por

último, la base de datos de empresas inscritas en el Instituto Nacional de Seguridad Social según su tamaño y según su sección de actividad solamente presenta datos a escala nacional y regional, siendo tal información a todas luces insuficiente para la realización de un estudio mínimamente aceptable sobre la industria del ocio nocturno en España.

En segundo lugar, y como ya ha sido mencionado en el párrafo anterior, la única información relativamente actualizada (aunque de carácter parcial) que hoy en día podemos obtener sobre la industria de ocio nocturno en España proviene exclusivamente de la principal organización patronal del sector, *España de Noche – Federación Nacional de Empresarios de Ocio y Espectáculos*. En este sentido, cabe destacar que la otra patronal nacional, *Spain Nightlife Association* (con fuerte arraigo en Cataluña y Baleares), no dispone de ningún estudio que pueda ser consultado de forma pública. Ante ello, y en referencia a la primera entidad patronal citada (*España de Noche*), sus respectivas notas de prensa relacionadas con estudios internos desarrollados por la entidad permiten construir, aunque sea de forma somera, una fotografía del sector de cierto interés incluso científico que si bien es parcial (no todas las empresas del sector se encuentran asociadas a esta entidad) presentan una realidad geoeconómica del sector con un grado de fiabilidad relativamente aceptable aunque incompleto debido a la extrema fragmentación patronal del sector a nivel autonómico e incluso local, como brevemente se ha vislumbrado en la división patronal a escala nacional.

Uno de los documentos de máximo interés para el propósito de este artículo es el formado por la presentación de resultados derivados de las tres oleadas del *Estudio de Impacto del Coronavirus en el Ocio Nocturno y los Espectáculos*, realizado entre 2020 y 2021. Según el citado documento, en España existían 16.500 establecimientos de ocio nocturno y espectáculos en España en 2019, reduciéndose a 11.500 a mediados de marzo de 2021 (Hosteltur, 2021). Por otra parte, en diferentes ruedas de prensa y notas de prensa redactadas por *España de Noche* se afirma que la industria nacional del ocio nocturno facturó 20.000 millones de euros en 2018 (1,8% del PIB español en ese mismo año), empleó “a más de 200.000 personas, especialmente jóvenes” y está integrado “por más de 25.000 empresas, además de empresas proveedoras” (Hosteltur, 2019). Estos datos ciertamente interesantes encuentran una información complementaria en el *Estudio de Perspectivas Empresariales en el Sector Recreativo* llevado a cabo también por *España de Noche*. Según este segundo estudio, entre 2018 y 2019 (periodo de realización de la encuesta asociada al estudio), el 30,9% del público de los locales de ocio nocturno eran turistas, cuando en 2009 el porcentaje era del 24% (FASYDE, 2019). Además, debe subrayarse la predominancia de la pequeña empresa en el sector del ocio nocturno formal, puesto que el 77,6% de las empresas del sector tenía una plantilla media de 8,3 trabajadores, mientras que el 22,2% de ellas presentaba una media de 54,3 trabajadores (Ib.). Finalmente, el estudio pone de manifiesto un creciente proceso de concentración empresarial en el sector recreativo y la progresiva diversificación de actividades por parte de grupos empresariales que operan en el sector del ocio nocturno, actuando cada vez más en diferentes segmentos del ocio de forma simultánea –léase restaurantes, bares de copas, bares musicales y discotecas– como estrategia de minimización de riesgos y maximización de beneficios –si bien con resultados y experiencias dispares.

Ahora bien, estos datos ofrecidos a escala nacional esconden diferentes realidades geográficas. Por una parte debemos mencionar la industria del ocio nocturno de las mayores ciudades del país así como también aquella localizada en núcleos urbanos costeros y/o insulares fuertemente turistificados, con tendencias cambiantes a lo largo de los años en cuanto a su dinamismo, estructura y volumen de negocio pero, simultáneamente, actuando como uno de los elementos centrales

de las estrategias y procesos de marketing turístico urbano de sus respectivos territorios (p.e., García-Sánchez et al., 2019; Pérez Beneyto, 2019). Por otra parte, cabe mencionar la industria del ocio nocturno de la “España en la que nunca pasa nada” (Cabello, 2021) y la de la “España vaciada” (Maeso e Hidalgo, 2020; de Espinosa, 2022), es decir, la de las ciudades medias y pequeñas del interior del país y la de los pueblos, respectivamente. Sin embargo, la atención académica al fenómeno del ocio nocturno en el mundo rural español ha sido muy escasa hasta la fecha, y realizadas sobre todo desde el ámbito de la sociología (Rodríguez San Julián et al., 2002; Baigorri & Fernández, 2004; Quintana et al., 2016; Villar et al., 2017).

Sea como fuere, bien sea en el mundo urbano español, bien sea en el vaciado mundo rural o en aquella “España en la que nunca pasa nada”, urge conocer la realidad de la industria del ocio nocturno no solamente para verificar su certera dimensión económica y laboral en sus diferentes escalas (municipal, regional y nacional) sino también por la importancia que ello supondría tanto para la planificación estratégica del sector a medio y largo plazo como para la mejora de políticas públicas relacionadas con la gobernanza de ‘la noche’ en las mayores ciudades del país y en núcleos urbanos fuertemente turistificados de la orla costera ibérica y de las regiones insulares. Además, en el caso concreto del mundo rural, ello contribuiría para la valorización y protección de los pocos espacios que existen en la actualidad de producción y reproducción de procesos de construcción comunitaria y cohesión social. En este sentido, la mejor herramienta que podría permitir la realización de una certera radiografía de la industria del ocio nocturno en España, en sus diferentes escalas (municipal, regional y nacional) sería la creación de un Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno en España, de carácter público-privado, y cuya propuesta es –hoy en día– una novedad también en el contexto internacional.

## 5. Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno: Precedentes, estructura operativa, fuentes de provisión de datos y potencialidades

### 5.1. Algunos precedentes internacionales

La propuesta de creación del Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno en España se basa en la urgente necesidad de generar información cuantitativa y cualitativa rigurosa, fiable, y actualizada sistemáticamente de forma periódica sobre la dimensión económica y laboral de la industria del ocio nocturno en sus diferentes escalas (municipal, regional y nacional). A su vez, y mediante colaboraciones con el sistema público de investigación, el observatorio pretende identificar, medir y evaluar algunas dimensiones intangibles del ocio nocturno, como por ejemplo y entre otros, el valor social y cultural del ocio nocturno no solamente para adolescentes y jóvenes sino también para adultos-jóvenes y adultos –dotando incluso de carácter interseccional a los estudios cualitativos que se pudieran llevar a cabo. En este apartado quinto, sin embargo, el artículo focalizará su atención en la propuesta de cómo obtener datos fiables y actualizados de la dimensión real económica y laboral de la industria de ocio nocturno en España, dejando para un futuro artículo la propuesta metodológica de cómo identificar, analizar y evaluar el valor social y cultural del ocio nocturno –cuyo punto de partida estaría basado en artículos científicos publicados en los últimos años sobre el valor social y cultural de la música en vivo (p.e., van de Hoeven y Hitters, 2019; Behr et al., 2020).

De forma breve y sintética, cabe subrayar la existencia de iniciativas de naturaleza privada sobre el estudio de la dimensión económica y laboral de la industria del ocio nocturno en contextos

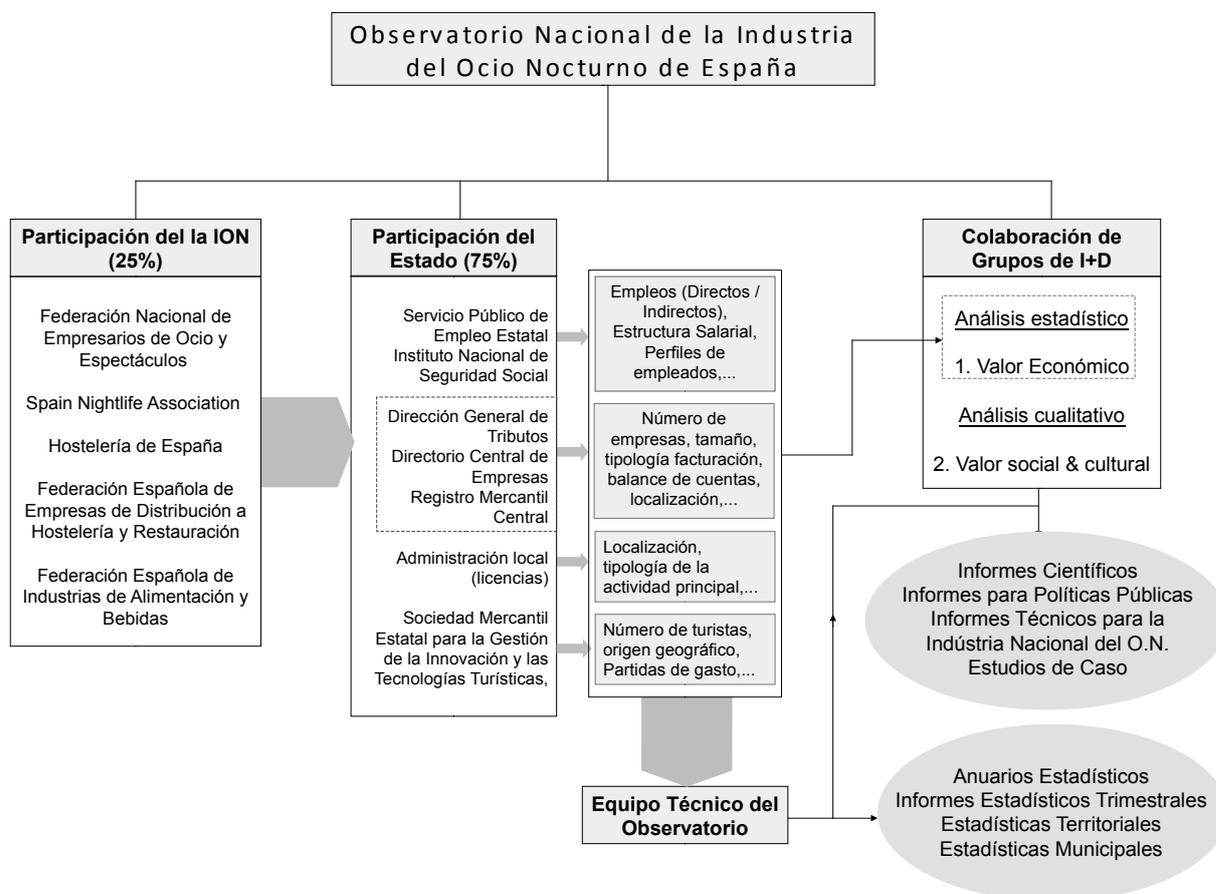
internacionales. En este sentido, destacan algunos estudios realizados en Alemania, Reino Unido y Estados Unidos de América, como por ejemplo “*Club Culture Berlin*” (2019), realizado por Berlin Club Commission (2019) a petición del Departamento de Economía, Energía y Empresas Públicas del Senado de Berlín –; “*A Study of the Night-Time Economy. Establishing the Economic, Cultural and Community Value of the Night Time Economy and the contribution of the night time cultural economy within the UK*” (2017), realizado por la Asociación Británica de la Industria del Ocio Nocturno (*Night-Time Industries Association*, en original); “*NYC’s Nightlife Economy: Impact, Assets, and Opportunities*” (2019), encargado por la Oficina de Medios de Comunicación y Entretenimiento de la Alcaldía de Nueva York a un equipo de tres consultoras (The North Highland Company, Econsult Solutions y Urbane Development); y “*Nightlife Industries in San Francisco: 2016 Update*” (2016), realizado por el Gabinete de Estudios Económicos de la ciudad californiana. Estos cuatro estudios citados presentan elementos metodológicos que constituyen un punto de partida para la construcción de la estructura operativa del observatorio.

## 5.2. Estructura operativa

Con la excepción del estudio realizado por la Asociación Británica de la Industria del Ocio Nocturno, el resto de los estudios citados en el anterior párrafo, así como otros (pocos) que no han sido incluidos debido a los límites preestablecidos para la extensión de este texto, presentan datos recolectados exclusivamente a escala local. Sus respectivas metodologías implementadas para la recolección de datos cuantitativos ha sido fundamental para elaborar la propuesta del sistema automatizado de recolección de datos primarios cuantitativos provenientes de diferentes organismos públicos que se presenta en la Figura 1 y que permitiría obtener datos fiables y rigurosos sobre la dimensión económica y laboral de la industria nacional del ocio nocturno de España, incluyendo la localización de los diferentes establecimientos y su diferenciación tipológica.

En primer lugar, cabe mencionar que la propuesta de creación del Observatorio Nacional de Ocio Nocturno de España sugiere establecer una co-participación (en términos de financiación anual) entre el sector privado (25%) y el Estado (75%), la cual también contaría con la colaboración del sector investigador público para la realización de informes científicos cuantitativos y cualitativos, informes propositivos orientados a la mejora de las políticas públicas relacionadas con el sector, informes técnicos para la industria del ocio nocturno, y, finalmente, realización de estudios de caso particulares que puedan ser del interés del correspondiente órgano gubernativo del observatorio. En segundo lugar, se propone la construcción de un sistema automatizado de provisión periódica de datos primarios cuantitativos mediante el establecimiento de protocolos de colaboración del Observatorio con diferentes organismos públicos estatales, regionales y locales que permita la realización de una radiografía geoeconómica del sector con carácter semestral. A su vez, la automatización y periodicidad en la provisión de datos primarios cuantitativos permitiría la creación de indicadores cuantitativos y su monitorización regular, permitiendo no solamente un mayor conocimiento de la estructura geoeconómica del sector sino también la realización de estudios de tendencias y escenarios futuros similares a los realizados para el sector turístico y de la hostelería (p.e., Greater London Authority, 2021; Seyitoğlu y Costa, 2022).

Figura 1. Propuesta de estructura operativa del Observatorio Nacional de la Industria de Ocio Nocturno de España.



Fuente: Autor.

### 5.3. Naturaleza y finalidad de las fuentes oficiales de provisión de datos

La elección de las fuentes oficiales de provisión de datos primarios cuantitativos responde a una minuciosa selección de aquellos organismos públicos a nivel nacional, regional y local responsables de la recaudación tributaria anual, de comunicar altas y bajas de sus trabajadoras/es, de otorgar licencias para la apertura de establecimientos de ocio nocturno y de monitorizar el tráfico mercantil y la formalización de negocios, entre otras fuentes que se mencionan a continuación. La selección de estas fuentes de datos ya existentes se basa en la evidencia que, aunque no se hayan diseñado para el propósito específico indicado en este artículo, facilitan la potencial elaboración de futuros indicadores confiables, enmarcándose incluso en los parámetros establecidos por la reciente Comunicación de la Comisión Europea “Hacia un espacio común europeo de datos turísticos: Impulsando el intercambio de datos y la innovación en todo el ecosistema turístico” (Bruselas, 20 de Julio de 2023, C(2023) 4787 final). Sin embargo, el uso exclusivo de datos oficiales presenta algunas limitaciones. En este sentido, la limitación más notable que existe – al menos, de forma apriorística – es aquella relativa a la radiografía del empleo en la industria nacional del ocio nocturno y la respectiva estructura salarial del sector, puesto que el sector del ocio nocturno en España presenta, todavía hoy, un significativo grado de informalidad en cuanto a parte de la retribución salarial se refiere. En este sentido, cabe mencionar que esta limitación no es singular para la industria del ocio nocturno, puesto que es presente de forma análoga en los estudios sobre

empleo en el sector turístico español realizados, por ejemplo, por el consorcio *Exceltur – Alianza para la Excelencia Turística*; tal limitación, sin embargo, no invalida la importantísima información aportada por tales estudios.

Tabla 1. Relación de fuentes de provisión de datos primarios cuantitativos en la fase inicial de desarrollo del Observatorio Nacional de la Industria de Ocio Nocturno de España (Empresas CNAE 9329 y 5630).

Organismo Público / Fuente	Información específica subministrada
1. Servicio Público de Empleo Estatal 2. Instituto Nacional de Seguridad Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro de altas y bajas de trabajadores en las empresas (contratación de empleo directo)</li> <li>• Tipología de contratos</li> <li>• Tipología de jornada</li> <li>• Estructura salarial</li> <li>• Bases de cotización y cotizantes</li> <li>• Costes laborales</li> <li>• Perfil sociodemográfico de trabajadores/as (empleo directo)</li> </ul>
3. Dirección General de Tributos 4. Directorio Central de Empresas 5. Registro Mercantil Central	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localización de la empresa gestora (escala municipal)</li> <li>• Número de empresas</li> <li>• Tamaño de la empresa (n.º de trabajadores/as directos)</li> <li>• Volumen de facturación</li> <li>• Balance y cuenta de resultados</li> </ul>
6. Administración local (Ayuntamientos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localización del establecimiento</li> <li>• Tamaño del establecimiento</li> <li>• Condiciones técnicas del establecimiento</li> <li>• Tipo de actividad principal</li> </ul>
7. Sociedad Mercantil Estatal para la Gestión de la Innovación y las Tecnologías Turísticas,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de turistas (residentes e internacionales)</li> <li>• Perfiles sociodemográficos de turistas (residentes e internacionales)</li> <li>• Partidas de gasto turístico en ocio nocturno</li> </ul>

Fuente: Autor.

Por otra parte, el hecho que diferentes tipologías de actividades económicas relacionadas con el ocio nocturno presenten códigos CNAE diferentes conlleva una dificultad añadida en el ejercicio de radiografiar la industria nacional de ocio nocturno en España. Ejemplo de ello es que las discotecas tengan asociado un CNAE (93.29) diferente de “las actividades de los discobares y discopubs (donde la actividad predominante es servir bebidas) (véase 56.30)” (INE, 2022, p. 251), siendo que las principales actividades económicas principales de una discoteca son dos, precisamente, pinchar música y servir bebidas. Sea como fuera, y a la espera de la deseada reforma en la arquitectura de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas, la actividad del Observatorio durante su fase inicial estaría caracterizada por la adopción de un abanico restringido de actividades recreativas monitorizadas para dotar de mayor agilidad las potenciales acciones de mejora de los mecanismos operativos y de análisis de datos del Observatorio que pudieran surgir durante dicha fase inicial de desarrollo. Es por ello por lo que se propone inicialmente considerar como actividad de ocio nocturno el conjunto de actividades económicas recreativas contenidas en dos códigos CNAE-2009: por un lado, “9329: Otras actividades recreativas y de entretenimiento”, cuya descripción extendida es, como se ha comentado anteriormente, “Salas de baile y discotecas”; y, por otro lado, “5630: Establecimientos de bebidas”.

#### 5.4. Potencialidades del Observatorio en el campo de las políticas públicas urbanas

Una vez superada la fase inicial de desarrollo del Observatorio, y ya en la fase de consolidación, se procederá a diseñar e implementar una geodatabase a partir de la cual puedan ser creados productos cartográficos georreferenciados no solamente para una mejor visualización de los datos

estadísticos sino como herramienta fundamental de análisis espacial y gestión urbana de la denominada ‘ciudad nocturna’ –en terminología de Rob Shaw (2018)– para el caso particular de las mayores ciudades españolas, de las ciudades medias españolas con presencia de una amplia oferta de ocio nocturno y de los centros urbanos turísticos costeros de las regiones insulares de Baleares y Canarias y del este peninsular. Dicha geodatabase, y a modo de un mero ejemplo, facilitaría una mejor planificación de los usos del suelo urbano a medio y largo plazo, evitando la proximidad de usos antagónicos como pudiera ser, por poner un ejemplo, la construcción de un geriátrico contiguo a Sala Apolo (Barcelona), de un albergue municipal de emergencias sociales enfrente de Sala Bóveda (Barcelona), o de un hospital privado contiguo a la Sala Clap (Mataró, provincia de Barcelona) – entre muchos otros ejemplos (Vendrell, 2022).

Por otra parte, la combinación de la citada geodatabase de la industria del ocio nocturno con la de la población residente por municipios y subsecciones censales podría ofrecer –a modo de otro ejemplo– una mayor información a la administración pública a la hora de reorientar las ayudas públicas que existen a nivel local y regional en materia de eficiencia energética para subsidiar gran parte del coste de sustitución de las superficies de cristal externas de las viviendas, siendo que las nuevas superficies instaladas (con doble cámara de aire) son también válidas para una eficaz insonorización del espacio doméstico. Siguiendo con este segundo ejemplo, la desagregación de la población en grupo de edad quinquenales permitiría a la administración local agilizar las actuaciones en aquellos casos de viviendas con personas residentes de edad avanzada o con familias (monoparentales o no) con bebés y/o menores en fase preescolar y escolar, que son los grupos poblacionales más críticos en relación a los efectos negativos en la salud individual derivados de la contaminación acústica nocturna (p.e. Stansfeld y Clark, 2015; Murphy y King, 2022). En definitiva, tanto estos dos breves ejemplos mostrados en el párrafo anterior como lo comentado hasta este punto a lo largo de esta segunda mitad del artículo demuestran de forma clara y evidente el enorme potencial que la creación del Observatorio Nacional de la Industria de Ocio Nocturno de España presenta para la mejora de las políticas públicas en materia de gestión de la ‘ciudad nocturna’ y de una mejor planificación estratégica sectorial a medio y largo plazo.

## 6. A modo de conclusión

Independientemente de que la industria del ocio nocturno no aparezca en el *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia* aprobado por el Gobierno de España para la transición ecológica y digital del país, no cabe duda de que la actividad económica generadora del para nada desdeñable 1,8% del Producto Interior Bruto del país necesita un mecanismo de monitorización de su actividad y de prospectiva geoeconómica que dote al sector de mejores herramientas de respuesta y adaptación ante los actuales retos que enfrenta, como por ejemplo –y entre otros– retos de naturaleza macro-económica (crisis inflacionaria y crisis del precio de la electricidad), de naturaleza cultural (nuevos patrones de consumo de ocio nocturno entre adolescentes y jóvenes tendientes a priorizar el consumo de festivales de música por delante del consumo de espacios comerciales de ocio nocturno) y de naturaleza medioambiental (necesidad de reducción del consumo energético y de reducción de residuos) (Nofre y Garcia-Ruiz, 2023). A su vez, la presencia de actividades económicas relacionadas con el ocio nocturno en áreas centrales de las mayores ciudades de España así como en núcleos urbanos litorales fuertemente turistificados ha generado, a lo largo de muchos años, la proliferación de impactos negativos relacionados con la contaminación acústica en horario nocturno, la cual constituye el primer factor de queja de los residentes

de barrios caracterizados por la elevada presencia de establecimientos de ocio nocturno (Balles-teros, 2014; de Barrios Carro, 2016; Ruano de la Fuente et al., 2019).

La creación del Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno en España permitiría dotar de nuevas y mejores herramientas de análisis y de toma de decisiones a los responsables de la industria del ocio nocturno para permitirles una mejor planificación estratégica de sus negocios a medio y largo plazo. A su vez, permitiría a la administración pública poseer información fiable y actualizada sobre el papel de la economía del ocio nocturno como elemento central en la revitalización socioeconómica de territorios urbanos pospandémicos. A su vez, la información cuantitativa y cualitativa generada desde el Observatorio Nacional de la Industria del Ocio Nocturno en España permitiría avanzar en el diseño de una nueva generación de políticas públicas que incorporase y reconociese explícitamente la dimensión intangible del ocio nocturno, es decir, su papel como fuente de bienestar socioemocional, de cohesión social y de construcción comunitaria. Finalmente, la creación de dicho observatorio permitiría agilizar la adopción de medidas de contingencia y mitigación de los efectos negativos provocados por la presencia elevada de establecimientos de ocio nocturno en áreas urbanas.

Sin embargo, para todo ello, se antoja como necesario y urgente o bien la creación de un CNAE específico para las empresas propietarias y/o gestoras de establecimientos de ocio nocturno (independientemente de su dimensión), o bien una revisión pormenorizada del proceso de atribución de códigos CNAE para cada una de las empresas de hostelería y de ocio nocturno que en la actualidad operan en el territorio nacional. El traslado a los equipos técnicos ministeriales correspondientes de esta urgente demanda de acotamiento y reforma en la definición y estructura de los CNAE específicamente en lo relativo a la industria nacional del ocio nocturno sería una de las primeras tareas del Observatorio. Por otra parte, cabe mencionar que la creación del Observatorio Nacional de la Industria de Ocio Nocturno de España presenta una alternativa a la constitución de un nuevo ente público-privado, que pasaría por la asunción de las funciones de recopilación de datos, análisis estadístico y presentación de resultados por parte del Instituto Nacional de Estadística. Sea como fuere, la propuesta de creación de un observatorio de naturaleza público-privada frente a la opción determinada por la asunción de funciones por parte del Instituto Nacional de Estadística permitiría (al menos hipotéticamente) reforzar la implicación de los actores de la industria nacional del ocio nocturno en optimizar la implementación de las recomendaciones que puedan surgir de los respectivos informes publicados desde el Observatorio.

Como nota final de este artículo, cabría mencionar también la necesidad de ahondar en el conocimiento científico de una actividad económica que tanto en la España urbana como incluso en la España rural, como en muchos otros contextos geográficos del Norte, Sur y Este Globales, es esencial para la vida social y cultural de adolescentes, jóvenes, adultos-jóvenes, adultos e incluso para algunas personas de edad avanzada y que, todavía hoy en España, constituye un terreno de investigación aún poco explorado.

## Bibliografía

- *A Study of the Night-Time Economy. Establishing the Economic, Cultural and Community Value of the Night Time Economy and the contribution of the night time cultural economy within the UK.* (2017). Nighttime Industries Association. Recuperado de: [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/culture\\_and\\_night-time\\_economy\\_spg\\_final.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/culture_and_night-time_economy_spg_final.pdf)

- Abhari, S., Jalali, A., Jaafar, M. & Tajaddini, R. (2022). The impact of Covid-19 pandemic on small businesses in tourism and hospitality industry in Malaysia. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*, 24(1), 75-91. doi: 10.1108/JRME-07-2020-0091
- Abusaada, H., Elshater, A., & Rodwell, D. (Eds.). (2021). *Transforming urban nightlife and the development of smart public spaces*. Hershey, Pennsylvania, Estados Unidos de América: IGI Global.
- Baigorri, A., & Fernández, R. (2004). *Botellón: Un conflicto postmoderno*. Barcelona, España: Icaria Editorial.
- Ballesteros Garrido, M. J. (2014). *Análisis del ruido de ocio, propuesta de procedimientos y herramientas de gestión* (Tesis doctoral). ETSI-UPM, Madrid. doi: 10.20868/UPM.thesis.32847
- Behr, A., Webster, E., Brennan, M., Cloonan, M., & Ansell, J. (2020). Making live music count: the UK live music census. *Popular Music & Society*, 43(5), 501-522. doi: 10.1080/03007766.2019.1627658
- Bianchini, F. (1995). Night cultures, night economies. *Planning Practice & Research*, 10(2), 121-126. doi: 10.1080/02697459550036667
- Bianchini, F. (1990). The crisis of urban public social life in Britain: origins of the problem and possible responses. *Planning Practice & Research*, 5(3), 4-8. doi: 10.1080/02697459008722770
- Blázquez, J., & Morera, O. (2002). *Loops 1. Una Historia de la música electrónica*. Barcelona, España: Reservoir Books.
- Brewster, B., & Broughton, F. (2006). *Last night a DJ saved my life: The history of the disc jockey*. Londres, Reino Unido: Headline Book Publishing.
- Bromley, R. D., & Nelson, A. L. (2002). Alcohol-related crime and disorder across urban space and time: evidence from a British city. *Geoforum*, 33(2), 239-254. doi: 10.1016/S0016-7185(01)00038-0
- Campkin, B., & Marshall, L. (2018). London's nocturnal queer geographies. *Soundings*, 70, 82-96. doi: 10.3898/SOUN.70.06.2018
- Cardona, J. R. (2019). Reflections on ibiza's nightlife tourism. *Journal of Tourism and Heritage Research*, 2(4), 33-51. Recuperado de: <http://www.jthr.es/index.php/journal/article/view/100>
- Cardona, J. R., Azpelicueta Criado, M. D. C., & Serra Cantallops, A. (2015). Ibiza Nightlife: Descripción de un referente mundial en su sector. *Redmarka: Revista Académica de Marketing Aplicado*, 15, 101-139. doi: 10.17979/redma.2015.01.015.4885
- Chatterton, P., & Hollands, R. (2003). *Urban nightscapes: Youth cultures, pleasure spaces and corporate power*. Londres: Routledge.
- Chew, M. M. (2009). Research on Chinese Nightlife Cultures and Night-Time Economies: Guest Editor's Introduction. *Chinese Sociology & Anthropology*, 42(2): 3-21. doi:10.2753/CSA0009-4625420200
- Chongyi, F. (2007). From barrooms to teahouses: Commercial nightlife in Hainan since 1988. In L. J. C. Ma. (Ed.), *Locating China: Space, place & culture*, pp. 147-163. Nueva York: Routledge.
- *Club Culture Berlin* (2019). Berlin, Alemania: Berlin Club Commission. Recuperado de: <https://www.clubcommission.de/club-culture-study/>
- Collantes Guitiérrez, F. (2007). La desagravación de la sociedad rural española, 1950-1991, *Historia Agraria: Revista de Agricultura e Historia Rural*, 42, 251-276. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10234/161797>
- Coroleu, J. (1887). *Guía del forastero en Barcelona y sus alrededores*. Barcelona, España: Jaime Seix Editor.
- Cressey, P. (1932). *The taxi-dance hall. A sociological study in commercialized recreation and city life*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Darzens, R. & Willette, A. (1889). *Nuits à Paris*. Paris, Francia: E. Dentu.
- de Barrios Carro, M. (2016). *La implantación de una Zona Acústicamente Saturada (ZAS) en la ciudad de León*. (Tesis Doctoral), Universidad de León. doi: 10.18002/10612/5741
- de Espinosa, J. L. (2022). La España vaciada: una nueva geografía. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, CLVIII, 9-26. <https://www.boletinrsg.com/index.php/boletinrsg/article/download/144/153>
- DeHart, M. (2020). "Thinking Ethnographically in Pandemic Times". *Items Insights From The Social Sciences*, 21/05/2020. Recuperado de: <https://items.ssrc.org/covidCOVID-19-and-the-social-sciences/social-research-and-insecurity/thinking-ethnographically-in-pandemic-times/>
- Delgado-Sánchez, S., Serrano-Ortiz, Á., Ruiz-Montero, R., Lorusso, N., Rumbao-Aguirre, J. M., & Salcedo-Leal, I. (2022). Impact of the first superspreading outbreak of COVID-19 related to a nightlife establishment in Andalusia, Spain. *Journal of Healthcare Quality Research*, 37(4), 216-224. doi: 10.1016/j.jhqr.2021.12.006

- Ekenhorst, M., & van Aalst, I. (2019). Lesbian nightlife in Amsterdam: An explorative study of the shift from 'queer-only' to 'queer-friendly' spaces. *Fennia*, 197(2), 200-214. doi: 10.11143/fennia.83696
- Farrer, J. (2018). Nightlife and night-time economy in urban China. In W. Wu., & Frazier, M. (Eds.), *The SAGE handbook of contemporary China*, pp. 1112-1130. Nueva York: SAGE.
- Farrer, J. (2008). Play and power in Chinese nightlife spaces. *China: An International Journal*, 6(1), 1-17. doi: 10.1142/S0219747208000034
- FASYDE. (2019). *Estudio de Perspectivas Empresariales en el Sector Recreativo*. Recuperado de: <https://españade-noche.es/noticia/estudio-perspectivas-empresariales-elaborado-por-fasyde/>
- Finney, A. (2004). *Violence in the night-time economy: Key findings from the research*. Londres, Reino Unido: UK Home Office.
- Fouce, H. (2000). La cultura juvenil como fenómeno dialógico: Reflexiones en torno a la movida madrileña. *CIC - Cuadernos de Información y Comunicación*, 5, 267-275. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/935/93500515.pdf>
- Fullagar, S., O'Brien, W., & Lloyd, K. (2019). Feminist perspectives on third places. In J. Dolley & C. Bosman. (Eds.), *Rethinking third places*, pp. 20-37. Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar Publishing.
- García-Sánchez, R., Martínez, J. M., Corraliza, J. A., Quintana, B. A., & Martín, M. J. (2019). ¿Vecinos de toda la vida? Nimby, ocio nocturno y desapropiación en centros urbanos. La Latina, en Madrid. *Athenea Digital. Revista de Pensamiento e Investigación Social*, 19(1), 2194. doi: 10.5565/rev/athenea.2194
- Grazian, D. (2009). Urban nightlife, social capital, and the public life of cities. *Sociological Forum*, 24(4), 908-917. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1573-7861.2009.01143.x>
- Hae, L. (2012). *The gentrification of nightlife and the right to the city: Regulating spaces of social dancing in New York*. Nueva York: Routledge.
- Hannerz, U. (2003). Being there... and there... and there! Reflections on multi-site ethnography. *Ethnography*, 4(2), 201-216. doi: 10.1177/14661381030042003
- Heath, T. (1997). The twenty-four hour city concept – A review of initiatives in British cities. *Journal of Urban Design*, 2(2), 193-204. doi: 10.1080/13574809708724404
- Held, N. (2015). Comfortable and safe spaces? Gender, sexuality and 'race' in night-time leisure spaces. *Emotion, Space and Society*, 14, 33-42. doi: 10.1016/j.emospa.2014.12.003
- Henckel, D. (2019). Sustainable governance of the urban night. *Научни трудове на УНСС*, 1(1), 219-233. Recuperado de: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=774134>
- Hobbs, D., Winlow, S., Hadfield, P., & Lister, S. (2005). Violent hypocrisy: Governance and the night-time economy. *European Journal of Criminology*, 2(2), 161-183. doi: 10.1177/1477370805050864
- Hosteltur. (2021). "El ocio nocturno hace balance un año después del estallido de la crisis", 10/03/2021. Recuperado de: [https://www.hosteltur.com/142834\\_el-ocio-nocturno-hace-balance-un-ano-despues-del-estallido-de-la-crisis.html](https://www.hosteltur.com/142834_el-ocio-nocturno-hace-balance-un-ano-despues-del-estallido-de-la-crisis.html)
- Hosteltur. (2019). "El sector del ocio nocturno factura 20.000 M € y emplea a 200.000 personas", 12/02/2019. Recuperado de: [https://www.hosteltur.com/126787\\_el-sector-del-ocio-nocturno-factura-20000-m-y-emplea-a-200000-personas.html](https://www.hosteltur.com/126787_el-sector-del-ocio-nocturno-factura-20000-m-y-emplea-a-200000-personas.html)
- INE. (2022). "CNAE – 2009". Recuperado de: [https://www.ine.es/daco/daco42/clasificaciones/cnae09/notasex\\_cnae\\_09.pdf](https://www.ine.es/daco/daco42/clasificaciones/cnae09/notasex_cnae_09.pdf)
- Koslofsky, C. (2011). *Evening's empire: A history of the night in early modern Europe*. Cambridge. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Landry, C. & Bianchini, F. (1995). *The creative city*. Londres, Reino Unido: Demos. Recuperado de: <https://demos.co.uk/wp-content/uploads/files/thecreativecity.pdf>
- Livermon, X. (2014). Soweto nights: Making black queer space in post-apartheid South Africa. *Gender, Place & Culture*, 21(4), 508-525. doi: 10.1080/0966369X.2013.786687
- Maeso, R. P. H., & Hidalgo, E. C. (2020). Evolución de la distribución de la población urbana y rural: Un retrato de la España vaciada. *Revista de Estudios Económicos y Empresariales*, 32, 15-33. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10662/12736>
- May, R. A. B. (2014). *Urban nightlife: Entertaining race, class, and culture in public space*. New Brunswick, Nueva Jersey: Rutgers University Press.

- Murphy, E., & King, E. A. (2022). *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy*. Amsterdam, Países Bajos: Elsevier.
- Navarra: Población por municipios y sexo. INE. 2023. Recuperado de: <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2884&L=0>
- *Nightlife Industries in San Francisco: 2016 Update*. (2016). San Francisco, CA, Estados Unidos de América: Office of Economic Analysis, San Francisco City Council. Recuperado de: <http://nightlifesf.org/assisting-nightlife-businesses/the-economic-value-of-sf-nightlife/>
- Nofre, J. (2021). Nightlife as a source of social wellbeing, community-building and psychological mutual support after the Covid-19 pandemic. *Annals of Leisure Research*, 1-9. doi: 10.1080/11745398.2021.1964991
- Nofre, J. (2023). Nightlife as source of social wellbeing, community-building and psychological mutual support after COVID-19 pandemic. *Annals of Leisure Research*, 26(4), 505-513. <https://doi.org/10.1080/11745398.2021.1964991>
- Nofre, J., & Eldridge, A. (2018). *Exploring Nightlife: Space, Society & Governance*. Londres, Reino Unido: Rowman & Littlefield Publishing
- Nofre, J. & Garcia-Ruiz, M. (2023). The urban ecological transition and the future of Europe's nightlife industry. *World Leisure Journal*, 65(3), 327-342. <https://doi.org/10.1080/16078055.2022.2162112>
- Nofre, J., Garcia-Ruiz, M., & Martins, J. C. (2023). Demonizing the Nightlife: The “Pandemic Panic” and Youth Responses in Portugal and Spain. In M. Ryan (Ed.), *COVID-19: Individual Rights and Community Responsibilities* (pp. 91-104). Routledge.
- *NYC's Nightlife Economy: Impact, Assets, and Opportunities*. (2019). Nueva York: The Mayor's Office of Media and Entertainment, The North Highland, Company, Econsult Solutions, and Urbane Development. Recuperado de: [https://www.nyc.gov/assets/mome/pdf/NYC\\_Nightlife\\_Economic\\_Impact\\_Report\\_2019\\_digital.pdf](https://www.nyc.gov/assets/mome/pdf/NYC_Nightlife_Economic_Impact_Report_2019_digital.pdf)
- Ostrander, G. M. (1972). *American civilization in the First Machine Age, 1890-1940*. Nueva York: Harpercollins Publisher.
- *Out of hours: a study of economic, social and cultural life in twelve town centres in the UK* (1991). Londres, Reino Unido: Comedia & Fundação Calouste Gulbenkian, 52 pp.
- Pérez Beneyto, A. (2019). *Análisis de la evolución de Benidorm como destino turístico asociado al ocio nocturno* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/117733>
- *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*. (2021). Madrid, España: Gobierno de España. Recuperado de: [https://www.lamoncloa.gob.es/temas/fondos-recuperacion/Documents/160621-Plan\\_Recuperacion\\_Transformacion\\_Resiliencia.pdf](https://www.lamoncloa.gob.es/temas/fondos-recuperacion/Documents/160621-Plan_Recuperacion_Transformacion_Resiliencia.pdf)
- Prego-Meleiro, P., Montalvo, G., García-Ruiz, C., Ortega-Ojeda, F., Ruiz-Pérez, I., & Sordo, L. (2021). Diferencias de género en percepciones sobre violencia sexual, igualdad y agresiones sexuales facilitadas por drogas en ocio nocturno. *Adicciones*, 34(4), 285-298. Recuperado de: <https://www.adicciones.es/index.php/adicciones/article/view/1561/1199>
- Puértolas, O. C., Contreras-Martos, S., Marzo-Castillejo, M., López Gallegos, D., Acedo nta, M., Almeda Ortega, J., Colom, J., Basora, J., & Salvador-Gonzalez, B. (2022). Evaluating the controlled reopening of nightlife during the COVID-19 pandemic: a matched cohort study in Sitges, Spain, in May 2021 (Reobrim Sitges). *British Medical Journal Open*, 12(6), e058595. doi: 10.1136/bmjopen-2021-058595
- Quintana, I. L., & Ortuzar, A. M. (2016). El ocio nocturno de la juventud en España. In M.A. Berthet, I. L. Quintana, L. Lombi, A. Madariaga Ortuzar, A. Ramos Pérez, E. Rodríguez San Julián, A. Sanmartín Ortí & S. János Zoltán. *La marcha nocturna: ¿ Un rito exclusivamente español?*, pp. 34-95. Madrid, España: Centro Reina Sofía sobre Adolescencia y Juventud. Fundación de Ayuda contra la Drogadicción (FAD). doi: 10.5281/zenodo.366362
- Ramello, R., Goshinski, L., Kill, M., Measham, F., Measham, M., & Van Bogaert, R. (2020). *The future of dancefloors: Building more flexible, open and innovative clubbing experiences*. In *Global Nighttime Recovery Plan*. Amsterdam, Países Bajos: Vibelab. Recuperado de: <https://www.live-dma.eu/wp-content/uploads/2020/09/Chapter-2-The-Future-of-Dancefloors-GNRP.pdf>
- Roberts, M., & Eldridge, A. (2009). *Planning the night-time city*. Londres, Reino Unido: Routledge.
- Rodríguez San Julián, E., Megías Quirós, I., & Sánchez Moreno, E. (2002). *Jóvenes y relaciones grupales. Dinámica relacional para los tiempos de trabajo y de ocio*. Madrid, España: INJUVE y Fundación de Ayuda Contra la Drogadicción (FAD).
- Ronen, S. (2010). Grinding on the dance floor: Gendered scripts and sexualized dancing at college parties. *Gender & Society*, 24(3), 355-377. doi:10.1177%2F0891243210369894

- Ross, S. G. (2020). Urban law at night: Night Mayors and nighttime urban governance strategies for sustainable urban night spaces and spatiotemporal equality. *Journal of Law and Social Deviance*, 20, 21-62. Recuperado de: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3847491](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3847491)
- Ruano de la Fuente, J. M., Iglesias Jiménez, E., & Polo Villar, C. (2019). El Madrid vivido: los problemas urbanos desde la perspectiva de la ciudadanía en el contexto del turismo de masas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 83, 2826, 1-38. doi: 10.21138/bage.2826
- Sands, G., Reese, L. A., Saghir, C., & Filion, P. (2022). Planning for post-pandemic downtowns of mid-size urban areas. *Planning Practice & Research*, 37(3), 393-405. doi: 10.1080/02697459.2021.2016200
- Sedano, L. J. (2019). African nightclubs of Lisbon and Madrid as spaces of cultural resistance. *Open Cultural Studies*, 3(1), 264-275. doi: 10.1515/culture-2019-0024
- Seijas, A., & Gelders, M. M. (2021). Governing the night-time city: The rise of night mayors as a new form of urban governance after dark. *Urban Studies*, 58(2), 316-334. doi: 10.1177/0042098019895224
- Seyitoğlu, F., & Costa, C. (2022). A scenario planning framework for (post-) pandemic tourism in European destinations. *European Planning Studies*, 30(12), 2554-2574. doi: 10.1080/09654313.2022.2045571
- Shaw, C. G. (1931). *Nightlife: Vanity Fair's intimate guide to New York after Dark*. Nueva York: The John Day Company.
- Shaw, R. (2018). *The nocturnal city*. Londres, Reino Unido: Routledge.
- Sheard, L. (2011). 'Anything could have happened': Women, the night-time economy, alcohol and drink spiking. *Sociology*, 45(4), 619-633. doi: 10.1177/0038038511406596
- Smith, A., & Eldridge, A. (Eds.). (2021). *Tourism and the night: Rethinking nocturnal destinations*. Londres, Reino Unido: Routledge.
- Søgaaard, T. F. (2017). Ethnicity and the policing of nightclub accessibility in the Danish night-time economy. *Drugs: Education, Prevention & Policy*, 24(3), 256-264. doi: 10.1080/09687637.2017.1279588
- Stansfeld, S., & Clark, C. (2015). Health effects of noise exposure in children. *Current Environmental Health Reports*, 2, 171-178. doi:10.1007/s40572-015-0044-1
- Talbot, D., & Böse, M. (2007). Racism, criminalization and the development of night-time economies: Two case studies in London and Manchester. *Ethnic & Racial Studies*, 30(1): 95-118. doi: 10.1080/01419870601006579
- Tarragona-Camacho, A., López-Morales, J., & Romo-Avilés, N. (2023). Una mirada cualitativa a la violencia de género entre jóvenes consumidores de alcohol en contextos de ocio. *Enfermería Clínica*, 33(1), 61-68. doi: 10.1016/j.enfcli.2022.10.006
- *The economic future of the Central Activities Zone (CAZ). Phase 2 Report: Scenario development, model findings and policy recommendations*. (2021). Londres, Reino Unido: Autoridad Metropolitana de Londres. Recuperado de: [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/caz\\_economic\\_future\\_phase\\_2\\_report.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/caz_economic_future_phase_2_report.pdf)
- Toubes, D. R., & Vargas-Sánchez, A. (2021). Nightlife entertainment management: Social sustainability and conflict in tourist destinations. *Revista Turismo & Desenvolvimento*, 36(1), 21-31. doi: <https://doi.org/10.34624/rtd.v1i36.8939>
- Travé, R. & Díaz, P. (2019). *Ocio nocturno a nivel global: Un fenómeno de dinamización económica*. Barcelona: Ostelea School of Tourism & Hospitality. doi: 10.13140/RG.2.2.28686.59200/1
- van der Hoeven, A., & Hitters, E. (2019). The social and cultural values of live music: Sustaining urban live music ecologies. *Cities*, 90, 263-271. doi: 10.1016/j.cities.2019.02.015
- Vargas, L. (2021). "Las fiestas ilegales y los botellones se apoderan de la madrugada española". *El Confidencial*, 25/07/2021. Recuperado de: [https://www.elconfidencial.com/espana/2021-07-25/fiestas-ilegales-botellones-apoderan-madrugada-espana\\_3200852/](https://www.elconfidencial.com/espana/2021-07-25/fiestas-ilegales-botellones-apoderan-madrugada-espana_3200852/)
- Vendrell, R. (22 de octubre de 2022). "Un geriátrico, un albergue social y un hospital amenazan a las salas de conciertos Apolo, Bóveda y Clap". *El Periódico de Catalunya*, 22/10/2023. Recuperado de: <https://www.elperiodico.com/es/ocio-y-cultura/20221022/salas-conciertos-apollo-boveda-clap-problemas-convivencia-geriatrico-albergue-social-hospital-77497865>
- Villar, M. B. C., Crespo, L. V., & Martínez, E. N. (2017). El ocio de los jóvenes en España: Una aproximación a sus prácticas y barreras. *OBETS: Revista de Ciencias Sociales*, 12(3), 43-64. doi: 10.14198/OBETS2017.12.1.11
- Zmyslony, P., & Pawlusiński, R. (2020). Tourism and the night-time economy: The perspective article. *Tourism Review*, 75(1), 194-197. doi: 10.1108/TR-05-2019-0158

# Vulnerabilidad global en el Curso Alto del río Lerma por peligro sísmico. Estado de México, México

Global vulnerability in the upper course of the Lerma river due to seismic hazard. State of Mexico, Mexico

MARÍA DEL CARMEN GONZÁLEZ DÍAZ<sup>1</sup>  0009-0000-3583-9402

ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ<sup>1</sup>  0000-0002-6788-650X

LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ<sup>1</sup>  0000-0002-9545-400X

ROBERTO FRANCO PLATA<sup>1</sup>  0000-0002-3031-6562

<sup>1</sup>Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, México

## Resumen

El 19 de septiembre de 2017 ocurrió un sismo de magnitud de 7.1 que dejó daños en la infraestructura de varios municipios del sur del Estado de México. El acontecimiento mostró la fragilidad y exposición de la población a los desastres. En atención a este antecedente, el presente trabajo tiene como objetivo el análisis de la vulnerabilidad frente a sismos en los municipios del curso Alto del Río Lerma.

La investigación se desarrolla mediante el empleo de (1) la aplicación de un sistema de puntuación para determinar la vulnerabilidad estructural que valora la altura, edad, tipo de edificio entre otros indicadores; (2) se utiliza el método de componentes principales, para la determinación de la vulnerabilidad económica y social, y (3) el análisis Jerárquico de SAATY para unificar las tres vulnerabilidades.

La secuencia metodológica descrita, permitió obtener la cartografía de vulnerabilidad Global. El análisis de la cartografía final, refleja que 1,325 manzanas (54.2%) presentan vulnerabilidad global alta, caracterizadas por una edad de construcciones en su mayoría superior a 50 años. Además, se identificaron 974 manzanas (39.9%) con vulnerabilidad media y 142 manzanas (5.8%) con vulnerabilidad baja, estas últimas ubicadas en municipio de Calimaya.

Palabras clave: sismos; vulnerabilidad global; estructural; social y económica.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.06.16  
Aceptado: 2023.12.05  
Publicado: 2024.09.23

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Alexis Ordaz Hernández  
aordazh@uaemex.mx

## Abstract

On September 19th, 2017, a seism, of 7.1 magnitude, took place in Mexico. Due to this seism there are some infrastructural damages in some municipalities in the south of State of Mexico. The event showed the vulnerability and exposure of the population to disasters. In response to this background, the present work aims at analysing the vulnerability to earthquakes in the municipalities of the upper course of Lerma river.

The research is developed using (1) the application of a scoring system to determine the structural vulnerability that values the height, age, type of building among other indicators; (2) the principal components method is used to determine economic and social vulnerability, and (3) the SAATY Hierarchical analysis to unify the three vulnerabilities.

The methodological sequence described allowed to obtain the global vulnerability of the cartography. The final analysis of the cartography showed 1 325 blocks (52.2%) with high global vulnerability, which are characterized by a construction age, higher than 50 years in its majority. Although it was identified that 974 (39.9%) blocks had a standard vulnerability and 142 (5.8%) blocks had a low vulnerability, the last ones were localized in Calimaya municipality.

---

Keywords: earthquakes; global; structural; social and economic vulnerability.

---

## 1. Introducción

La reducción del riesgo de desastre es el proceso por el cual a través del estudio de los componentes de riesgo se proponen medidas de mitigación y reducción de la exposición a las amenazas, e incide sobre las variables que componen la vulnerabilidad de una comunidad (Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2021).

Montz, Tobin y Hagelman (2017) definen la vulnerabilidad como “el grado de pérdida de cada elemento en caso de que ocurra un peligro”; mientras que para Peduzzi et al. (2002) es “la probabilidad de que una comunidad, estructura, servicio o área geográfica resulte dañada por el impacto de un peligro en particular”, esta última definición quizás se considere más acorde a la teórica actual. Las definiciones de vulnerabilidad, son variadas (Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, 1979; Prasetyoa et al. 2002 y Díaz-Caravantes, 2018); sin embargo, coinciden en la probabilidad de que ocurra un evento amenazante y que este impacte la actividad humana o su infraestructura.

Algunos estudios realizados por Preciado et al. (2015); Ruiz-Sibaja et al. (2019); Sánchez-Calvillo, Alonso-Guzmán y López-Nuñez (2021); y Sánchez-Calvillo (2022), se enfocan en el estudio de la vulnerabilidad atendiendo a las características físicas del tipo de construcción. Mientras que las investigaciones realizadas por García-Castro y Villerías-Salinas (2017); Flores, Escudero y Zamora-Camacho (2021); y Macías-Serrat (2022) se centran en las condiciones sociales y económicas que hacen vulnerable a las comunidades ante peligro sísmico.

El sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017, de 7.1 grados en la escala de Richter y localizado a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos (Servicio Sismológico Nacional, 2017), mostró la fragilidad de los municipios del Estado de México ante el peligro sísmico. Este evento provocó en la entidad mexiquense doce muertos, 34 lesionados, 35 escuelas dañadas, más de 70 casas afectadas, caída de bardas, derrumbes y hundimientos (Salinas et al. 2017). Probablemente, episodios como el descrito puedan evitarse o mitigarse, con el análisis de las diversas variables que componen la

vulnerabilidad, y con investigaciones que concluyan proponiendo rutas de trabajo bien definidas para mitigar o reducir el riesgo.

En concordancia con lo expuesto, el presente trabajo analizó la vulnerabilidad estructural, social y económica para 12 municipios del curso alto del río Lerma. La investigación se justifica atendiendo a la actividad sísmica recurrente en el país. Según el catálogo del Servicio Sismológico Nacional de México (SSN, 2023), de 1 de enero del 1980 al 1 de enero de 2023, se reportaron 163 terremotos con magnitudes entre 6.0 y 8.2 grados en la escala de Richter, para el país. El escenario de peligro sísmico se complejiza con la presencia del Sistema de Fallas Tenango (dentro del área de estudio), considerado activo desde punto de vista sísmico de acuerdo a investigaciones de Yamamoto y Mota (1988); García-Palomo, Macías y Garduño (2000) y Norini *et al.* (2006).

## 2. Metodología

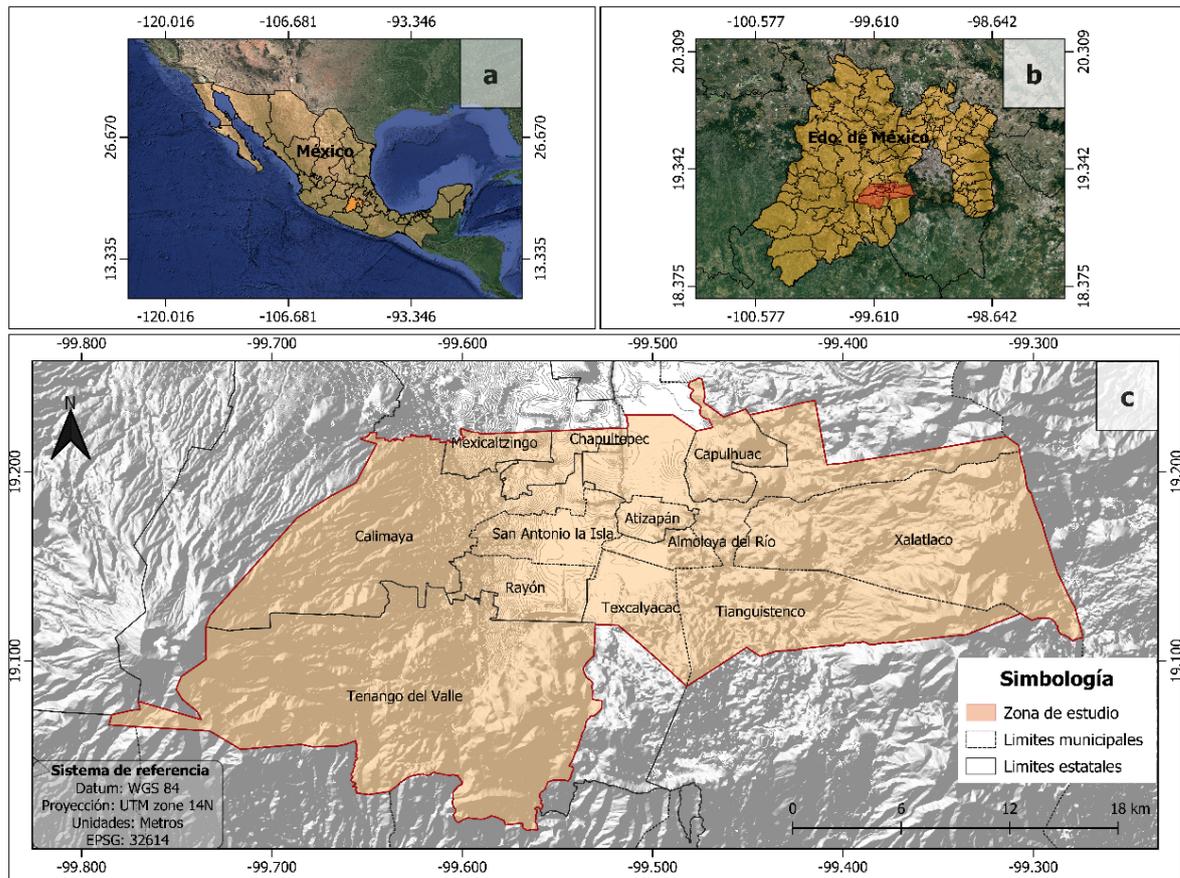
### 2.1. Caracterización del área de estudio

La zona de estudio se ubica al sur y sureste del Estado de México, y comprende doce municipios del curso alto del río Lerma: Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Mexicaltzingo, Rayón, San Antonio la Isla, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco y Xalatlaco (figura 1), en su conjunto cubren 691.95 Km<sup>2</sup>. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021) residen 403,810 personas. En cada municipio concurren espacios rurales y urbanos en diferentes proporciones como refleja la tabla 1.

La infraestructura del curso alto del río Lerma, se ha desarrollado sobre un corte estratigráfico caracterizado por la presencia de:

1. Materiales correspondientes al sector centro-este de la faja volcánica transmexicana y en particular generados por la actividad volcánica del Nevado de Toluca, la inspección visual a la cartografía publicada por el Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México (2017), revela la presencia en la parte más superficial (primeros 100 m) de basaltos, andesitas, cenizas volcánicas, pómez, lahares y material piroclásticos. Por su ubicación espacial y posición en el corte, concuerdan con las últimas etapas del vulcanismo del Nevado de Toluca (aproximadamente entre 60 000 años y 36 000 años atrás) descritas por Vázquez y Heine (2002) y Aceves *et al.* (2006).
2. Sobreyaciendo las litologías volcánicas descritas, en los últimos 11,700 años, se han acumulado depósitos de origen aluvial y lacustres, representados especialmente por gravas, arenas y limos.

Figura 1. Localización geográfica del Curso Alto del río Lerma, Estado de México, México.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Rasgos territoriales generales de la zona de estudio.

Municipios	Población total	Área rural			Área urbana		
		Superficie (Km <sup>2</sup> )	Cantidad de Manzanas	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Cantidad de Manzanas	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )
Almoloya del Río	12,694	7.16	15	265.6	2.30	97	4,692.2
Atizapán	12,984	5.50	13	438.4	2.96	97	3,572
Calimaya	68,489	95.11	275	197.3	9.15	417	5,434.8
Capulhuac	36,921	14.00	36	358.4	7.49	277	4,259.5
Chapultepec	12,772	9.11	18	231.5	2.40	110	4,442.9
Mexicaltzingo	13,807	9.11	13	324.1	2.63	71	4,127
Rayón	15,972	21.09	25	60.1	1.85	123	7,948.6
San Antonio la Isla	31,962	20.48	22	99.1	2.84	278	10,539.8
Tenango del Valle	90,518	207.51	141	82.1	3.57	688	20,581.5
Texcalyacac	57,36	10.42	0	0	15.02	57	381.9
Tianguistenco	84,259	130.12	330	217.1	1.70	440	32,946.5
Xalatlaco	30,687	96.79	77	140.2	13.64	128	1,255.2

Fuente: Censo de población y vivienda de INEGI (2021).

El análisis detallado de los tipos litológicos enunciados, la verificación de su disposición espacial en los cortes estratigráficos propuestos en la carta publicada por IFOMEGEM (2017) y estudios recientes realizados por Sánchez (2020); apuntan a una alta susceptibilidad sísmica (amplificación local de ondas sísmicas) de al menos los materiales de origen aluvial y lacustre; así como también de las cenizas volcánicas y los horizontes de pómez. Este contexto, se agrava con el escenario de peligro sísmico descrito en la introducción de este trabajo, y con las condiciones tectónicas locales complejizadas con el sistema de fallas Tenango expuestas en Norini et al. (2006) y Olivares-Sánchez et al. (2020). Las características demográficas y geológicas descritas en este apartado, reafirman la necesidad del análisis de la vulnerabilidad ante el riesgo sísmico en el curso alto del río Lerma.

## 2.1. Materiales y métodos

La temática se ubica dentro de la geografía de los riesgos, y la propuesta metodológica considera, no solo el enfoque ingenieril desde las llamadas “Ciencias Duras”. En este caso de estudio se pretende incorporar la dimensión social. En los trabajos de Cardona (2001) y Barrantes y Márquez (2011) se realizan profundas discusiones académicas de la integración disciplinar para alcanzar estudios robustos en el análisis del riesgo. En función del objetivo planteado, el trabajo se enfocaría en determinar el índice de vulnerabilidad estructural, social y económica para doce municipios del curso alto del río Lerma. Se intenta realizar una contribución a la reducción del riesgo de desastres, en un contexto geográfico no estudiado desde la perspectiva mencionada. El esquema representado en la figura 2, marca los principales pasos sugeridos para alcanzar el objetivo.

Figura 2. Enfoque ingenieril y social, como aporte a la determinación de un índice de vulnerabilidad global ante sismos.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.1. Susceptibilidad sísmica

La cartografía de la susceptibilidad sísmica, entendida como la predisposición a amplificar las ondas en función de la geología local, se empleará en este caso para acotar el área de trabajo, es decir, enfocar los esfuerzos en los sitios que clasificarían con susceptibilidad sísmica alta. Partiendo de la hipótesis, que la mayor parte de daños se concentrarían en la infraestructura construida sobre los sedimentos menos densos (efecto de sitio). El análisis de la susceptibilidad sísmica se realizó considerando las propiedades geotécnicas de los tipos litológicos que afloran en el área de estudio (tabla 2). Se emplea el método de analogías ingeniero-geológicas (aplicado en Astroza y Monge 1991 y Ordaz-Hernández 2015, entre otros). Para el caso de estudio del curso alto del río Lerma, se tendría en consideración, (1) la respuesta frente a sismos que han tenido similares litologías en el contexto de México y América Central y (2) estudios de respuesta sísmica local realizados en igual contexto geográfico (Chávez-García et al. 1994, Bommer et al. 1998, Barquero 2009,

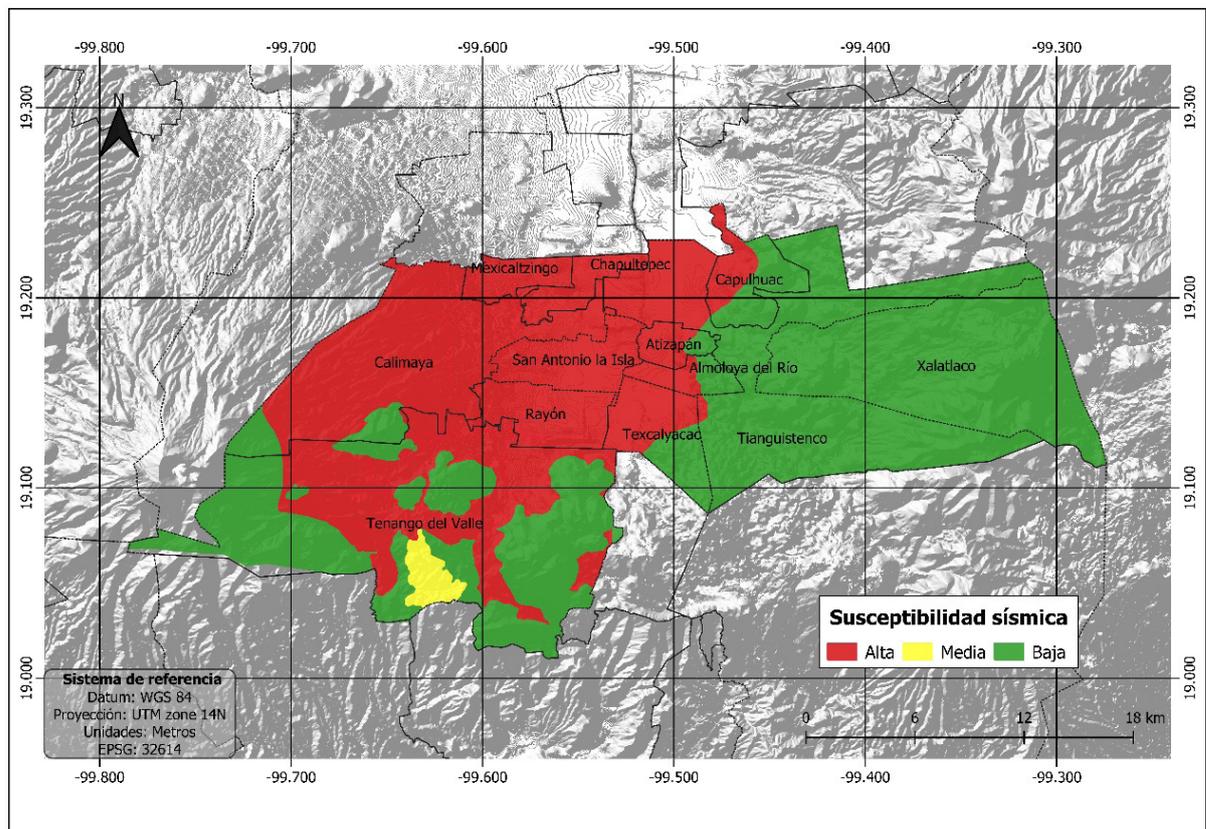
Sánchez 2020 y Castrillo-Osorio, 2021) esperándose que mantengan similar comportamiento en futuros sismos (figura 3). La disposición espacial de los tipos litológicos se vectorizó tomando como base la propuesta de Olivares-Sánchez *et al.* (2020), siendo el trabajo más actualizado y de mejor detalle (escala 1: 50 000) para el área de trabajo.

Tabla 2. Descripción geotécnica de los materiales geológicos y susceptibilidad sísmica.

Material estratigráfico	Ondas de corte Vs. m/s	Contenido de agua %	Número de golpes del SPT	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Susceptibilidad Sísmica
Gravas, Arenas y Limos (Aluvión)	205 - 230 <sup>e</sup>	10 - 26 <sup>e</sup>	23 - 35 <sup>e</sup>	1.60 - 1.90 <sup>e</sup>	Alta
Basalto	1153 <sup>a</sup>	-	-	2.7 - 2.9 <sup>b</sup>	Baja
Andesita	556 <sup>a</sup>	-	-	2.2 - 2.35 <sup>b</sup>	Baja
Intercalaciones de Limo, Arcilla, Ceniza y Horizontes de Pómez (Lacustre)	207 - 298 <sup>a</sup>	8 - 30% <sup>a</sup>	16 <sup>e</sup>	1.71 <sup>e</sup>	Alta
Lahar y material piroclástico	470-500 <sup>d</sup>	90.74 <sup>c</sup>	-	2.1 <sup>e</sup>	Media

Fuente: <sup>a</sup> Valores propuestos en Álvarez-Manilla *et al.* (2017), <sup>b</sup> Valores propuestos en González *et al.* (2002), <sup>c</sup> Valores propuestos en Mora (1998), <sup>d</sup> Valores propuestos en Vargas *et al.* (2009) y <sup>e</sup> Valores propuestos en Sánchez (2020).

Figura 3. Mapa de susceptibilidad sísmica para la geología superficial del Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.2. Índice de Vulnerabilidad Global

El análisis de vulnerabilidad se enfocará en las áreas urbanas que arrojaron un nivel de susceptibilidad sísmica alto. Se aplicará el concepto de vulnerabilidad global, propuesto por Wilches-Chaux (1989 y 1993), y que posteriormente Fernández (2017) complementa al proponer diversos indicadores que permitirían medir cada una de las vulnerabilidades implicadas. Con la base teórica contenida en los citados trabajos, para este caso de estudio, el índice de vulnerabilidad global se direcciona a la integración de tres tipos de vulnerabilidades de acuerdo a la ecuación 1.

$$V_{\text{Global}} = V_{\text{Estructural}} + V_{\text{Social}} + V_{\text{Económica}} \quad \text{Ecuación 1}$$

El índice de vulnerabilidad global propuesto en Fernández (2017), da la flexibilidad de incorporar los tipos de vulnerabilidades que más se ajusten a la realidad física y social de los territorios. Para este estudio, se consideraron las vulnerabilidades estructural, social y económica; la integración se logra por medio del análisis jerárquico propuesto por Saaty (1980), definido como:

Un procedimiento de comparación por pares de las variables en estudio que, por medio de una matriz cuadrada, en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de variables a ponderar para determinar el eigenvector principal, el cual establece los pesos de cada variable y proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores. (Ramírez 2004, p.1)

Tomando en cuenta que, la vulnerabilidad es una variable constante a lo largo de un tiempo indefinido, se le asigna la mayor importancia a la vulnerabilidad estructural (tabla 3). La tabla 3 representa los criterios bajo los cuales se compararán las variables y el valor que se le atribuye. Mientras que la tabla 4 muestra los valores de las comparaciones entre variables, mismos que son empleados para obtener los pesos promedios (tabla 5).

Tabla 3. Escala fundamental de comparación por pares de Saaty.

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente el criterio A sobre B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Impotencia extrema	La mayor importancia de A sobre B está fuera de toda duda

Fuente: Saaty (1980).

Tabla 4. Asignación del valor de la comparación por pares con base en Saaty.

No.	Variables	Vulnerabilidad Estructural	Vulnerabilidad Económica	Vulnerabilidad Social
1	Vulnerabilidad Estructural	1	5	7
2	Vulnerabilidad Económica	1/5=0.20	1	3
3	Vulnerabilidad Social	1/7= 0.142	1/3=0.333	1
	SUMA	1.342	6.333	11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Obtención de los pesos promedios a partir de la proporción de la matriz de valor.

No.	VARIABLES	Vulnerabilidad Estructural	Vulnerabilidad Económica	Vulnerabilidad Social	Promedio (Pesos)
1	Vulnerabilidad Estructural	1/1.342=0.744	5/6.333=0.789	7/11=0.636	0.723
2	Vulnerabilidad Económica	0.20/1.342=0.149	1/6.333=0.157	3/11=0.272	0.193
3	Vulnerabilidad Social	0.142/1.342=0.106	0.333/6.333=0.052	1/11=0.090	0.083
				TOTAL	1.0000

Fuente: Elaboración propia.

La validación de los pesos promedios se obtiene con el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR) propuestos por Yepes (2022) (ecuaciones 2 y 3).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,  $\lambda_{max}$  es el máximo autovalor y  $n$  es la dimensión de la matriz de decisión.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde, RI es el *índice aleatorio* valor calculado a partir de un gran número de matrices recíprocas positivas de orden  $n$  generadas aleatoriamente. El máximo autovalor solicitado en la ecuación 2 es de 3.0658, aplicando esta misma ecuación, se obtiene un índice de consistencia (CI) de 0.0329.

Posteriormente, se determina la razón de consistencia (CR) (ecuación 3), para lo cual se determina el índice aleatorio, que de acuerdo al procedimiento de Saaty aplicado en este trabajo, es de 0.58 para tres variables ( $CR=0.0329/0.58=0.0567$ ). Yepes (2022) define que, el valor máximo del radio de consistencia debe de ser el 5% de 3 (número de variables). Entonces, el valor máximo del radio de consistencia es 0.15, por lo tanto, el valor obtenido en la fórmula CR debe de ser menor o igual a este valor. Mientras que, el valor de la razón de consistencia se acerque al 0 absoluto, sería más aceptable. De este modo, el valor obtenido de CR (0.0567) valida el proceso de determinación de valores.

Con los pesos obtenidos y adecuadamente validados, se procede a su incorporación en una plataforma de sistema de información geográfica. Como se mencionó anteriormente, para este caso de estudio, se integrarán tres tipos de vulnerabilidades (1) vulnerabilidad estructural, (2) social y (3) económica. En los subacápites posteriores, se explica en detalle los indicadores empleados para obtener cada una de las vulnerabilidades, que finalmente culminan con la obtención de valores únicos para cada manzana (unidad básica de información).

### 2.1.3. Vulnerabilidad Estructural

Para el desarrollo del índice de vulnerabilidad estructural se tomaron en cuenta cinco indicadores: (1) tipo de edificio o tipología de la construcción, (2) edad de construcción, (3) altura, (4) potencial de licuefacción y (5) pendiente del terreno; los indicadores (4) y (5) generalmente son conocidos como factores de cimentación.

Para clasificar las manzanas de acuerdo con su tipología (indicador 1) se utilizaron las “áreas homogéneas” en formato vector que ofrece el Instituto de Información e Investigación, Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México. Los polígonos (áreas homogéneas) tienen asignado como única información el tipo de estructura predominante, a esta información se le incorporó la descripción de la tipología de construcción, descrita en la Gaceta del Gobierno del Estado de México (Gobierno del Estado de México, 2009). De esta forma, y para el caso en específico de las manzanas desarrolladas sobre el nivel de susceptibilidad sísmica alta en el curso alto del río Lerma, se identifican doce tipologías de construcción (tabla 6).

Los valores aplicados en las tablas 6 y 7 se asignaron de acuerdo a la propuesta de Chang et al. (1995). El trabajo de Chang y colectivo de autores, se soporta en el análisis de dos indicadores “factor estructural” y “factor de cimentación” a los cuales les asignaron un sistema de puntuación basado en la inspección visual de los edificios, considerado este un método cualitativo por el Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2004). El factor estructural propuesto por Chang et al. (1995) se intenta aplicar en el presente caso de estudio (curso alto del río Lerma), a través del análisis de la tipología de la construcción, su edad y altura. Y el factor de cimentación es abordado a través de los indicadores potencial de licuefacción (tabla 9) y pendiente del terreno (tabla 10).

La incorporación de cada tipología a un nivel de vulnerabilidad en específico (baja, media o alta), se ajusta a las descripciones contenidas en la Gaceta del Gobierno del Estado de México y a las afectaciones frente a sismos que han presentado estructuras similares en México y muy particularmente en los municipios de Tenancingo y Tenango durante el terremoto de magnitud 7.1 con epicentro en el Estado de Puebla el 19 de septiembre del 2017.

Tabla 6. Niveles de vulnerabilidad por tipo de edificio.

Tipo de edificación	Niveles de Vulnerabilidad por Tipo de Estructuras		
	Baja	Media	Alta
H1			20
H2			20
H3			20
H4	1		
H5	1		
A1, A2 y A4			20
E1		10	
L1	1		
C2	1		
I2	1		

Fuente: Elaboración propia con base en las propuestas de Chang et al. (1995) y Ordaz-Hernández et al. (2020).

El segundo indicador, se relaciona a la edad de la construcción, se asumen los criterios contenidos en las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para Diseño y Construcción de Estructuras en México, donde se sugiere que la vida útil de una construcción se ubicaría dentro de los 50 años (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A. C., 2021) (tabla 7).

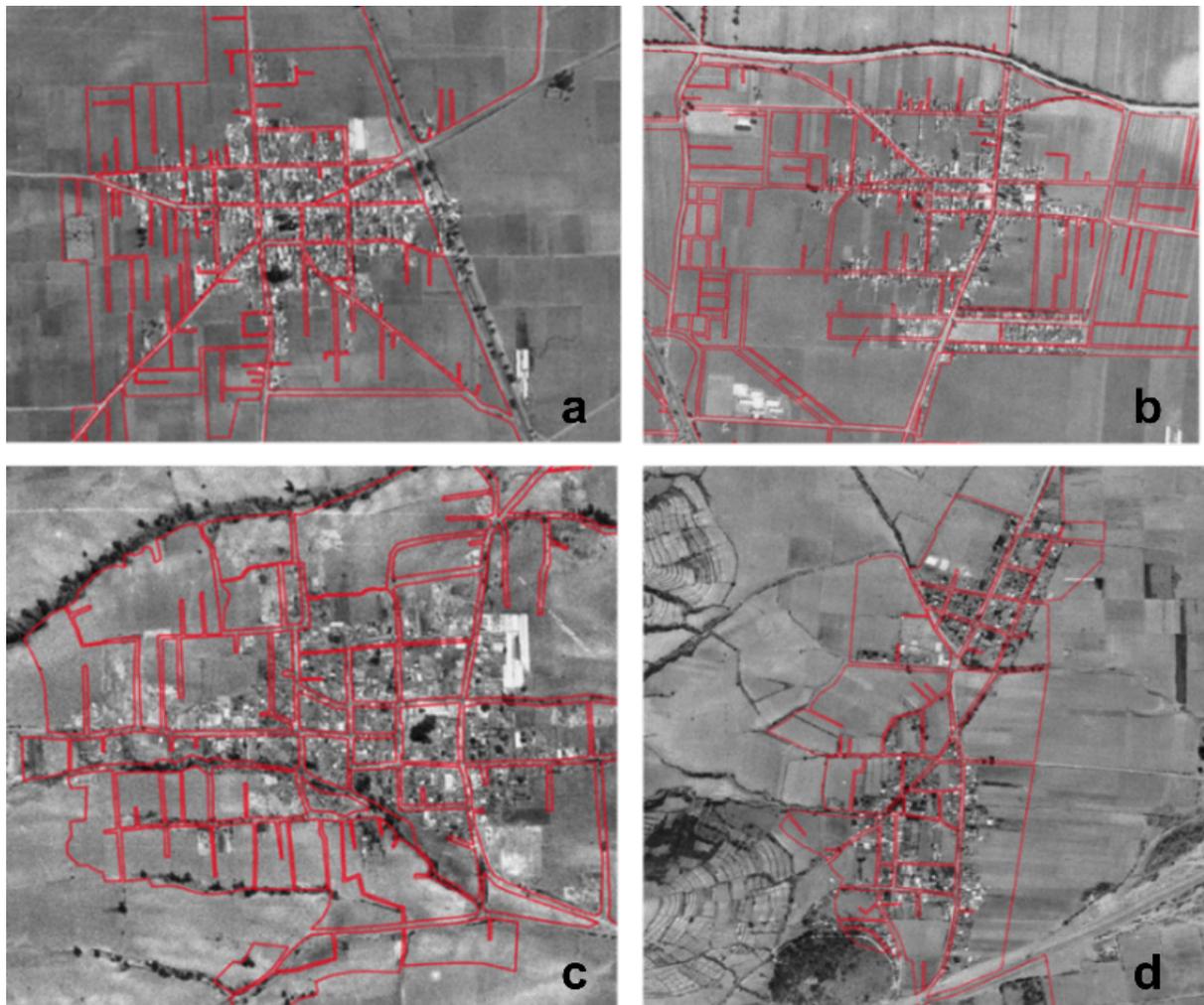
Tabla 7. Ponderación por vida útil de la construcción.

Vida útil	Nivel de vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
1 a 25 años	1		
25 a 50 años		5	
>50 años			20

Fuente: Chang et al. (1995) y SMIE (2021).

Para aplicar el indicador edad de la construcción, fue necesario cartografiar el desarrollo constructivo en los tres intervalos de tiempo plasmados en la tabla 7. Para lograr el objetivo, se vectorizaron los polígonos empleando como base once fotografías aéreas correspondiente al año 1976 a escala 1:50 000 (figura 4) e imágenes Google Earth Pro para los dos intervalos más recientes.

Figura 4. Ejemplo para cuatro localidades. Superposición del shape de manzanas sobre fotografías aéreas del año 1976



Leyenda: El shp de manzanas es el actual (líneas en rojo) y las localidades son a) San Andrés Ocotlán, b) Santiaguillo Cuautenco, c) San Lorenzo Cuauhtenco y d) San Francisco Putla, pertenecientes al Curso Alto del Río Lerma.

El tercer indicador corresponde a la altura de las construcciones. Es una característica que puede aportar información sobre la posible ocurrencia del fenómeno de resonancia, que ocurre cuando

la construcción y el suelo oscilan de forma sincronizada (tienen periodos similares). Al ocurrir la coincidencia descrita, se genera el mayor número de daños. Un volumen importante de trabajos se ha enfocado a estudiar este fenómeno, entre ellos Takewaki *et al.* (2011); Stankoa *et al.* (2017) y Markušić *et al.* (2020). Para la aplicación de este indicador se emplearon los valores de periodo dominante del suelo (T) estimados para la zona metropolitana del Valle de Toluca por Sánchez (2020). Parte del área estudiada por Sánchez coincide espacialmente con los sitios estudiados en el curso alto del río Lerma (tabla 8).

Tabla 8. Vulnerabilidad por resonancia natural según la altura de las construcciones y el periodo dominante del suelo.

Material litológico	Periodo dominante del suelo (Ts)	Altura de las construcciones (número de pisos)	Periodo de vibración de las construcciones (Tc)	Nivel de vulnerabilidad	
				Baja (1)	Alta (5)
Gravas, Arenas y Limos	1 a 1.5	1 piso	0.30	1	-
		2 pisos	0.35	1	-
		3 pisos	0.44	1	-
Intercalaciones de Limo, Arcilla, Ceniza	1 a 1.5	1 piso	0.30	1	-
		2 pisos	0.35	1	-
		3 pisos	0.44	1	-
Pómez	0.5 a 1	1 piso	0.30	1	-
		2 pisos	0.35	1	-
		3 pisos	0.44	1	-
Flujos piroclásticos	0 a 0.5	1 piso	0.30	-	5
		2 pisos	0.35	-	5
		3 pisos	0.44	-	5

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Preciado, *et al.* (2017) y Sánchez (2020).

Según Peña (2018) la ocurrencia de licuefacción (cuarto indicador), generalmente se presenta en suelos recientes y poco compactados, como es el caso de los suelos de génesis fluvial y con predominio en la fracción arenosa. Bajo este criterio se elabora la tabla 9 que incluye los diferentes materiales estratigráficos que afloran en el área.

Tabla 9. Ponderación del potencial de licuefacción.

Material estratigráfico	Potencial de Licuefacción		
	Bajo (1)	Medio (5)	Alto (10)
Pómez	1		
Limo, Arcilla, Ceniza		5	
Gravas y Arenas			10

Fuente: Chang *et al.* (1995) y Peña (2018).

Finalmente, el último indicador relacionado con la vulnerabilidad estructural en este caso de estudio, es la pendiente del terreno. Grases (2014) da una perspectiva de la normativa de otros países sobre la pendiente y su relación con la amplificación de las ondas sísmicas:

El Reglamento colombiano NSR-10, en su acápite H.7.1.3 y subsección d se refiere a posibles efectos de triple resonancia. Señala que estos efectos pueden ser relevantes cuando las pendientes

exceden el 10%. En el Capítulo 5.33 de la Norma Francesa (AFPS 90) se trata con cierto nivel de detalle el tema de la amplificación topográfica debido a fuertes cambios de pendiente en el terreno (p.63).

Atendiendo a la experiencia acumulada para la consideración del indicador pendiente, se proponen subdividir el área en tres rangos de pendiente (<5, entre 5 y 10 y >10 en %) (tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de vulnerabilidad por el porcentaje de pendiente.

	Ponderación de la vulnerabilidad		
	Baja (1)	Media (5)	Alta (10)
Pendiente (%)	<5	5 a 10	>10

Fuente: Chang et al. (1995) y Grases (2014).

Los valores de ponderación de cada indicador se incluyeron como atributos en columnas independientes dentro de la capa manzanas, se suman los valores y se clasificaron de acuerdo a la tabla 11.

Tabla 11. Ponderación total para la vulnerabilidad estructural.

Indicadores	Nivel de Vulnerabilidad Estructural		
	Bajo	Medio	Alto
Factor Estructural			
Tipo de edificio	1	10	20
(2) Edad de Construcción	1	10	20
(3) Altura (cantidad de pisos)	1	-	5
Factor de cimentación	Bajo	Medio	Alto
(4) Potencial de licuefacción	1	5	10
(5) Pendiente del terreno	1	5	10
Total	1 a 5	6 a 30	31 a 65

Fuente: Chang et al. (1995).

#### 2.1.4. Vulnerabilidad social y económica

Para el desarrollo de los índices de vulnerabilidad social y económica se empleó la técnica de Componentes Principales, este método hace una reducción de dimensiones de la tabla de datos, mediante el cálculo de variables generando combinaciones lineales de las variables originales (Vicente et al. 2019). Se emplea la información del Censo de Población y Vivienda del año 2020, y los indicadores para vulnerabilidad social y vulnerabilidad económica propuestos por Fernández (2017) (tablas 12).

Tabla 12. Indicadores de vulnerabilidad social y económica.

Vulnerabilidad social		Vulnerabilidad económica	
No.	Indicador	No.	Indicador
1	Población menor a 14 años	1	Población dependiente (<14 años y >65 años)
2	Población mayor de 65 años	2	Grado promedio de escolaridad
3	Relación niños(as) por mil mujeres	3	Población económicamente inactiva
4	Población con discapacidad	4	Viviendas con piso de tierra
5	Población con limitación	5	Viviendas no disponen de energía eléctrica
6	Promedio de personas por hogar	6	Viviendas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda
7	Promedio de viviendas sin radio ni televisor	7	Viviendas que no disponen de drenaje
8	Promedio de viviendas línea telefónica fija ni teléfono celular	8	Viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, ni drenaje
		9	Viviendas sin ningún bien.
		10	Viviendas sin tecnologías de la información y de la comunicación.

Fuente: Fernández (2017).

La validación se realizó considerando la varianza total arrojada por el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), donde el porcentaje acumulado debe ser superior al 50%, y de esta forma la información y selección de indicadores se consideraría correcta. El valor obtenido para los indicadores que sustentan la vulnerabilidad social fue del 68.8% (tabla 13), y del 71.9% para la vulnerabilidad económica (tabla 14), con ello se validan los indicadores seleccionados. Para la clasificación en rangos de vulnerabilidad social y económica se utilizó el método de Dalenius y Hodges (1959), obteniéndose tres rangos de vulnerabilidad con valores de 1 (bajo), 2 (medio) y 3 (alto). Finalmente, la tabla 15 muestra los pesos correspondientes de las variables utilizadas para cuantificar la vulnerabilidad social y económica, los valores más cercanos a “1.0” son los que explican mejor cada índice.

Tabla 13. Varianza total explicada del análisis de componentes principales para los indicadores de vulnerabilidad social.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3.564	44.550	44.550	3.564	44.550	44.550
2	1.947	24.334	68.884			
3	0.975	12.190	81.073			
4	0.803	10.034	91.107			
5	0.304	3.794	94.902			
6	0.234	2.920	97.822			
7	0.149	1.861	99.683			
8	0.025	0.317	100.000			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Varianza total explicada del análisis de componentes principales para los de vulnerabilidad económica.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	6.283	62.827	62.827	6.283	62.827	62.827
2	0.908	9.079	71.906			
3	0.843	8.428	80.335			
4	0.691	6.914	87.249			
5	0.566	5.662	92.911			
6	0.273	2.728	95.639			
7	0.226	2.259	97.898			
8	0.116	1.160	99.058			
9	0.063	0.631	99.689			
10	0.031	0.311	100.000			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Matriz de componente para los índices de vulnerabilidad social y económica.

Vulnerabilidad social			Vulnerabilidad económica		
No.	Indicadores	Componente	No.	Indicadores	Componente
1	Población menor a 14 años	0.943	1	Población dependiente (<14 años y >65 años)	0.846
2	Población mayor de 65 años	-0.506	2	Grado promedio de escolaridad	-0.555
3	Relación niños(as) por mil mujeres	0.963	3	Población económicamente inactiva	-0.491
4	Población con discapacidad	0.249	4	Viviendas con piso de tierra	0.913
5	Población con limitación	-0.021	5	Viviendas no disponen de energía eléctrica	0.863
6	Promedio de personas por hogar	-0.088	6	Viviendas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	0.618
7	Promedio de viviendas sin radio ni televisor	0.830	7	Viviendas que no disponen de drenaje	0.871
8	Promedio de viviendas línea telefónica fija ni teléfono celular	0.856	8	Viviendas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada, ni drenaje	0.784
			9	Viviendas sin ningún bien.	0.929
			10	Viviendas sin tecnologías de la información y de la comunicación.	0.906

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Análisis y discusión de resultados

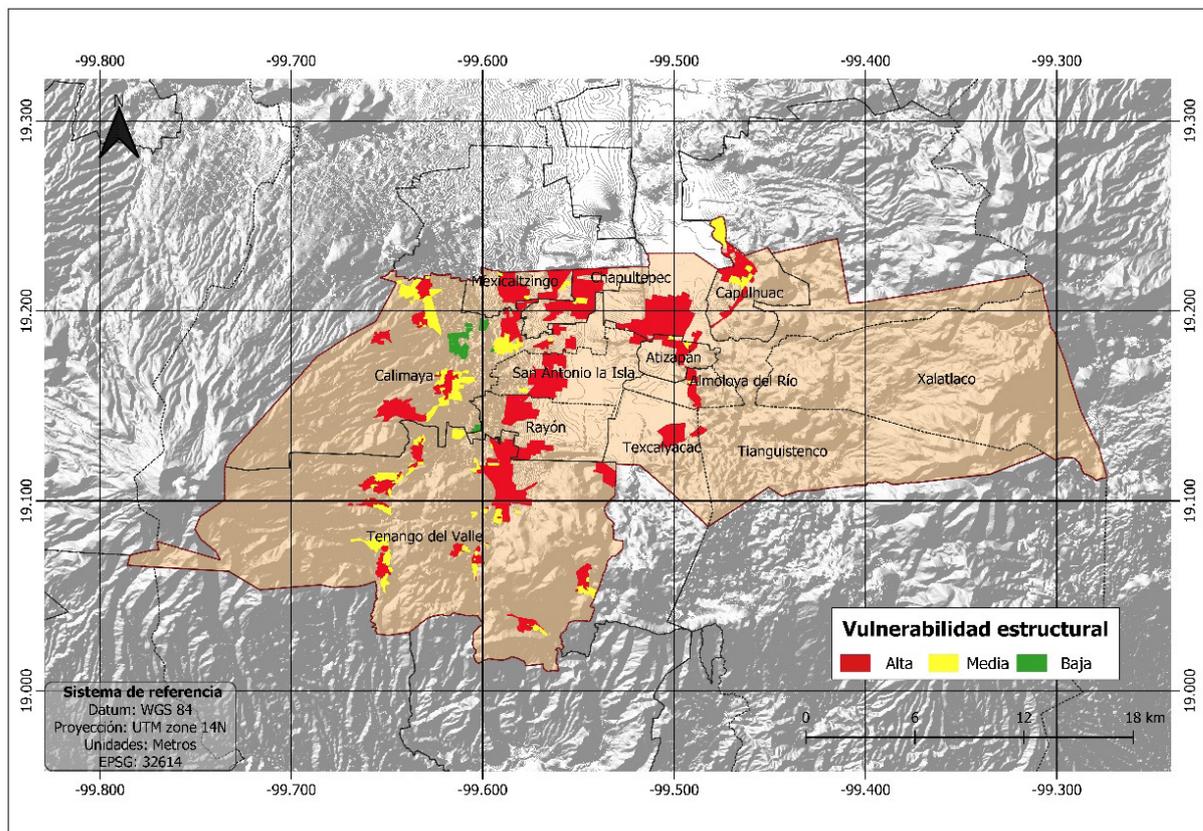
#### 3.1. Cartografía de Vulnerabilidad Estructural

El análisis de la vulnerabilidad estructural para el Curso Alto del Río Lerma, de acuerdo con el diseño metodológico, consideró cinco indicadores, ya explicados previamente. La aplicación a los principales núcleos urbanos, emplazados en la zona de alta susceptibilidad sísmica donde existen 2,441 manzanas, indicó que, el 6.8% corresponden a manzanas de baja vulnerabilidad, el 13.8% a vulnerabilidad media y 79.3% con vulnerabilidad alta (figura 5).

Las características más frecuentes, que condujeron a la clasificación de vulnerabilidad estructural alta en el contexto geográfico estudiado, se centran en construcciones habitacionales H1, H2 y H3, descritas como económicas sin proyecto definido, con materiales económicos, acabados incipientes o viviendas de interés social. También se incluye en la combinación más frecuente, a las construcciones en zonas agrícolas (A1, A2 y A4) definidas como precarias con ejecución de poca calidad, sin proyecto, materiales económicos, con acabados incipientes o sin ellos. En ambos casos, el análisis espacial de la cartografía superpuesta de los indicadores, demuestra una probable predisposición de los suelos a sufrir licuefacción (presencia de arenas y gravas).

La segunda combinación más frecuente, que condujo a la clasificación de 1,936 manzanas en la categoría de alta vulnerabilidad estructural, se refiere al indicador tipología de la construcción, en este caso repitiéndose las tipologías H1, H2, H3, A1, A2 y A4, pero en un contexto de mayor antigüedad de la infraestructura construida (mayor a 50 años).

Figura 5. Vulnerabilidad estructural por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 16, pone en perspectiva el volumen de elementos expuestos por categoría de vulnerabilidad estructural. Entre las 42 localidades catalogadas con vulnerabilidad estructural alta, se encuentran San Francisco Putla, San Miguel Balderas, Santa María Jajalpa, pertenecientes a Tenango del Valle, Fraccionamiento Valle del Nevado, San Bartolito Tlaltelolco, La Concepción Coatipac (La Conchita) pertenecientes a Calimaya, Colonia Loma Linda del municipio de Almoloya del Río y San Mateo Texcalyacac del municipio de Texcalyacac, entre otras.

Tabla 16. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad estructural.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	1,935	42	58,518	190,587
Media	339	31	4,785	17,133
Baja	167	5	2,674	4,904

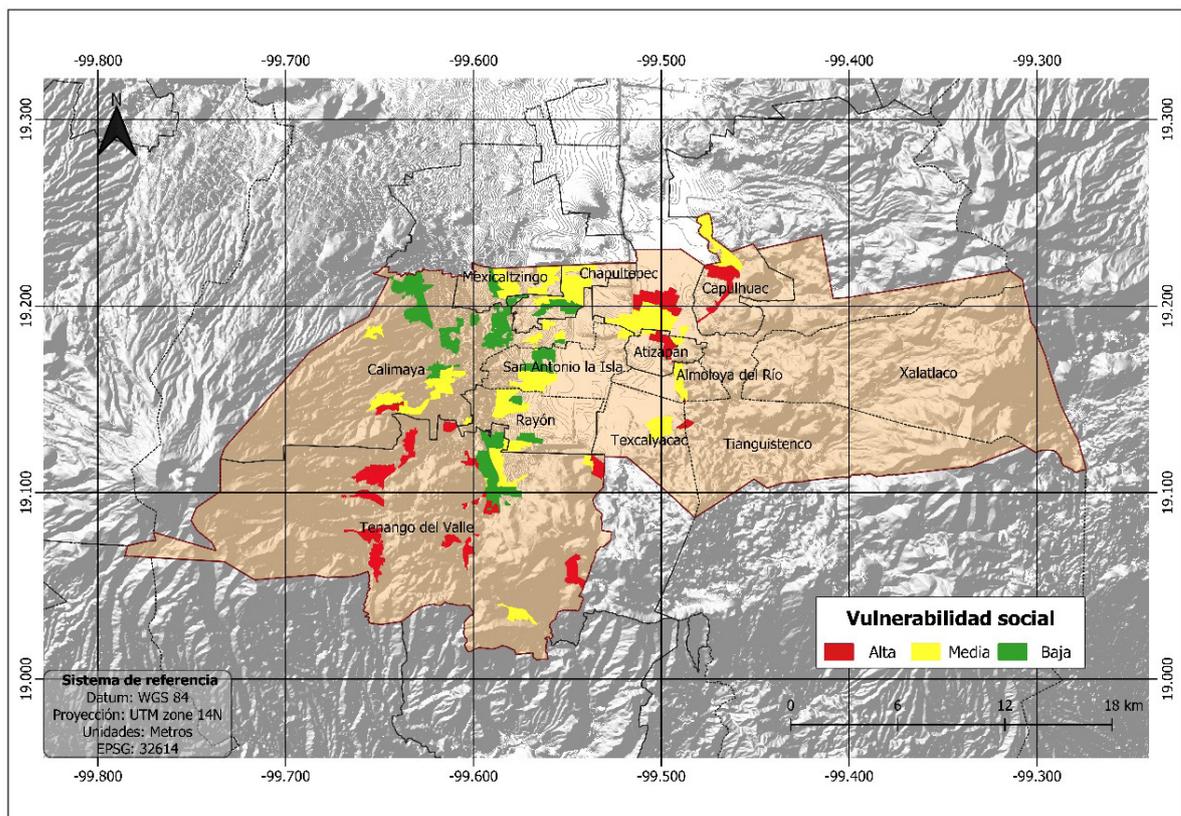
Fuente: Elaboración propia

De las manzanas identificadas con vulnerabilidad estructural alta, 1,752 (71.7%) tienen un uso especialmente habitacional, donde residen 183,236 (86.1%) habitantes y hay construidas 56,511 (85.6%) viviendas. En el contexto de vulnerabilidad estructural descrito, constituyen prioridades en la gestión local del riesgo de acuerdo a la cantidad de habitantes y viviendas, las localidades de San Miguel Balderas, Colonia Cuauhtémoc, Colonia la Remolacha, todas pertenecientes al municipio San Antonio la Isla.

### 3.2. Cartografía de la Vulnerabilidad Social

La categoría con vulnerabilidad social alta abarca aproximadamente el 22.5% del total de manzanas analizadas, 32.6% de las localidades, el 16.9% de viviendas y probablemente una población de 42,272 habitantes (19.9%). La vulnerabilidad media contiene el 40.7% de manzanas, 36% de localidades, 43.7% de viviendas y 43.3% de habitantes; mientras que, la vulnerabilidad baja abarca el 36.7% de manzanas, 31.4% de localidades, el 39.4% de viviendas y 36.8 % de habitantes (tabla 17).

Figura 6. Vulnerabilidad social por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, las manzanas con vulnerabilidad social alta representan el 22.5% de las 2,441 manzanas estudiadas, en este caso resulta notorio que el 17.4% se encuentran en Tenango del Valle, mientras que el 2.5 % en Tianguistenco, 0.6% en Atizapán y 1.2% en Capulhuac (figura 6). Para el caso de Tenango del Valle, las manzanas con vulnerabilidad social alta se encuentran alejadas de la cabecera municipal ubicada sobre pendientes entre 3 ° y 9 ° y separadas por algunos cerros. En el caso de Atizapán, Capulhuac y Tianguistenco, las manzanas se ubican en la cercanía de áreas naturales protegidas y alejadas también de los centros de los municipios, lo que explica el poco acceso a servicios como radio, televisión y telefonía fija. La vulnerabilidad social baja espacialmente coincide con las cabeceras municipales; mientras que la vulnerabilidad social media, se encuentra en la periferia de los municipios de Tenango del Valle y Rayón. En el caso de Calimaya, San Antonio la Isla, Chapultepec y Mexicaltzingo las manzanas con vulnerabilidad social baja son zonas de casas habitación en algunos casos residenciales, mientras que las manzanas con vulnerabilidad social media se encuentran en las cabeceras municipales (figura 6).

Tabla 17. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad social.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	550	28	11,158	42,272
Media	994	31	28,817	92,083
Baja	897	27	26,002	78,269

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Cartografía de Vulnerabilidad económica

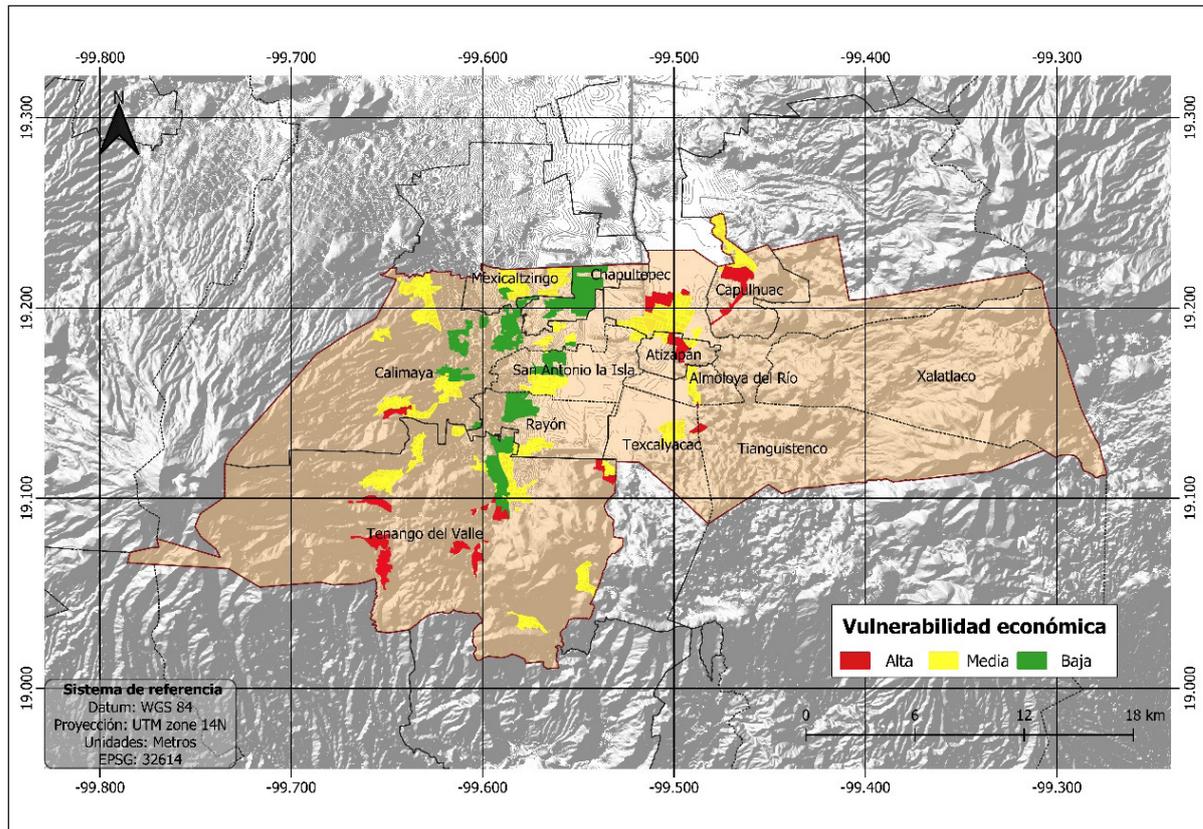
Los diez indicadores analizados (tabla 12), arrojaron que el 10.6% de las manzanas se encuentran en condiciones de vulnerabilidad económica alta. Especialmente, se ubican en municipios como Tenango del Valle (7.25% de las manzanas), donde algunas de las localidades están conformadas en parte por población indígena, por ejemplo, la comunidad nahua de San Pedro Tlanixco (Jiménez-Flores, 2021). El resto de las manzanas con vulnerabilidad económica alta, se encuentran en los municipios de Tianguistenco (1%), Capulhuac (1.1%), Atizapán (0.6%), Calimaya (0.6%) y en Texcalyacac (0.08%). Una característica coincidente en los municipios donde se determinaron población con vulnerabilidad económica alta, es que habitan a una distancia entre los 5.0 a 8.0 km respecto a los centros de los municipios, lo que acentúa la falta de servicios (figura 7).

El 53% de las manzanas se encuentran dentro de la categoría de vulnerabilidad económica media y el 36.2% de las manzanas se encuentran dentro de la categoría de vulnerabilidad económica baja. Donde, el municipio Tenango del Valle contiene el 15.4% de vulnerabilidad media y el 6.2% de vulnerabilidad baja. Las manzanas con vulnerabilidad baja coinciden con el centro y cabecera municipal dedicados al comercio y cuentan con todos los servicios.

Algunos municipios destacan por la cercanía de la carretera Toluca-Tenango, la cual aporta un mejor flujo del comercio (Whitelegg, 1994), además de pertenecer a la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y contar con el desarrollo de conjuntos habitacionales (Martínez-Hernández, 2005). Las características descritas, aplican para municipios como San Antonio la Isla, Rayón y Chapultepec, donde más del 50% de las manzanas y probablemente de su población, se ubiquen en la categoría de vulnerabilidad económica baja. Estos últimos municipios mencionados, son municipios pequeños, de acuerdo a la superficie territorial lo que facilita que se cubran todos los servicios en la mayoría de la población. Dentro de la categoría con vulnerabilidad económica

alta, se encuentran el 10.7% de las manzanas, el 25.9% de las localidades, el 8.5% de viviendas, que aproximadamente corresponde al 9.8 % de habitantes (20,785 habitantes), esto para el total de manzanas estudiadas. La vulnerabilidad económica media contiene el 53.3% de manzanas, 46.9% de localidades, 51% de viviendas y 57.7% de habitantes (11,6201 habitantes), la vulnerabilidad baja el 36.2% de manzanas, 27.2% de localidades y 40.6% de viviendas y 35.6% de habitantes (75,638 habitantes) (tabla 18).

Figura 7. Vulnerabilidad económica por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad económica.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	262	21	5,583	20,785
Media	1 295	38	33,630	116,201
Baja	884	22	26,764	75,638

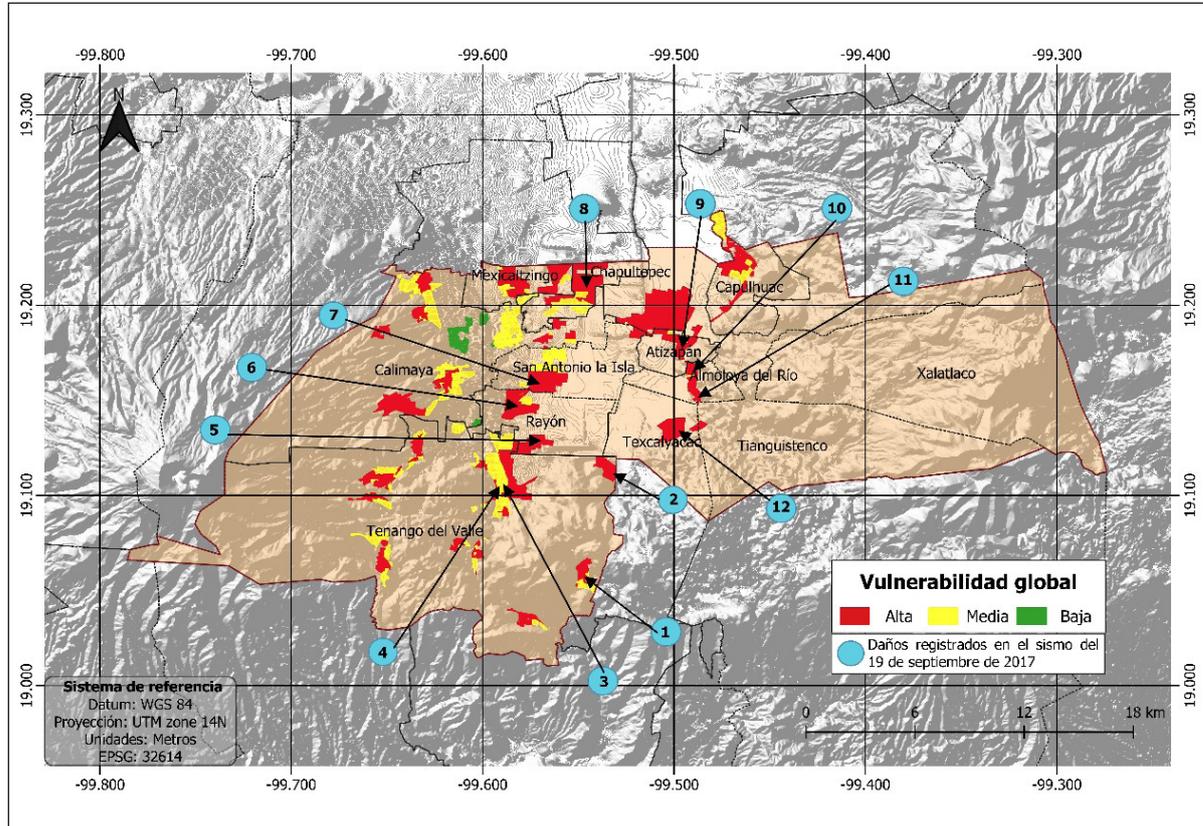
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Cartografía de Vulnerabilidad Global

De acuerdo con la metodología descrita, la vulnerabilidad global para este caso de estudio considera la vulnerabilidad estructural (física), social y económica. Como se describe en los acápites anteriores cada vulnerabilidad está compuesta por una serie de indicadores que caracterizan las

condiciones específicas del territorio, en este sentido la cartografía de la vulnerabilidad global refleja la concentración de criterios de la posible predisposición a sufrir daños ante un sismo (figura 8). En las tablas 19 y 20 se tabulan las características estructurales, sociales y económicas para cada nivel de vulnerabilidad global.

Figura 8. Vulnerabilidad global por manzana en el Curso Alto del Río Lerma.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Características estructurales de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad global.

Nivel de vulnerabilidad global	Características más frecuentes
	Estructurales
Baja	<p>Proyecto constructivo definido y funcional, materiales de media o buena calidad con acabados bien definidos, con autofinanciamiento o financiamiento oficial y/o bancario.</p> <p>Edad de construcción menor a los 25 años.</p> <p>Es probable que periodo dominante del terreno no coincida con el periodo de oscilación de las construcciones.</p> <p>Potencial de licuefacción bajo.</p> <p>Pendiente del terreno menor al 5%.</p>
Media	<p>Diseño arquitectónico definido y valor económico medio.</p> <p>Edad de construcción menor a los 25 años.</p> <p>Es probable que periodo dominante del terreno coincida con el periodo de oscilación de las construcciones, es altamente probable que ocurra el fenómeno de resonancia.</p> <p>Potencial de licuefacción entre alto y medio.</p> <p>Pendiente del terreno entre 0% al 5%.</p>

Nivel de vulnerabilidad global	Características más frecuentes
	Estructurales
Alta	<p>Construcciones económicas o precarias sin proyecto definido, con materiales económicos, acabados incipientes o viviendas de interés social.</p> <p>Es probable que periodo dominante del terreno coincida con el periodo de oscilación de las construcciones, es altamente probable que ocurra el fenómeno de resonancia.</p> <p>Edad de construcción entre 1 a 50 años.</p> <p>Potencial de licuefacción alto.</p> <p>Pendiente del terreno mayor al 5% en el 20% de las manzanas.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Características sociales y económicas de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad global.

Nivel de vulnerabilidad global	Características más frecuentes	
	Sociales	Económicas
Baja	<p>No hay hacinamiento y tienen acceso a medios de comunicación e información.</p> <p>Ubicación en centros de municipio y zonas residenciales</p>	<p>Mayor porcentaje de población económicamente activa.</p> <p>Las viviendas cuentan con acceso a todos los servicios básicos (agua, drenaje y electricidad).</p> <p>Cuentan con electrodomésticos, tv de paga y medio particular de transporte.</p> <p>Ubicación en centros de municipio y zonas residenciales.</p>
Media	<p>Existe en menor medida el hacinamiento y tienen acceso a medios de comunicación e información.</p> <p>Ubicación en la periferia de los centros municipales.</p>	<p>Aparecen las viviendas sin acceso a servicios básicos, sin electrodomésticos, tv de paga y sin medios particulares de transporte.</p> <p>Ubicación en la periferia de los centros municipales.</p>
Alta	<p>Hacinamiento</p> <p>Sin acceso a medios de comunicación e información.</p> <p>Ubicación entre 5 y 8km y dividido por accidentes topográficos, de las zonas céntricas de los municipios.</p>	<p>Mayor porcentaje de viviendas sin acceso a servicios básicos, sin electrodomésticos, tv de paga y sin medios particulares de transporte.</p> <p>Ubicación entre 5 y 8km y dividido por accidentes topográficos, de las zonas céntricas de los municipios.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas 19 y 20 evidencian que, las manzanas con vulnerabilidad global alta generalmente son marginadas, con viviendas sin acceso a los servicios básicos, construidas con materiales económicos y de mampostería. Mientras que, las manzanas con vulnerabilidad global media se ubican espacialmente en la periferia de los centros urbanos, en menor medida carecen de servicios básicos y medios de comunicación y cuentan con construcciones con proyecto definido. Las manzanas con vulnerabilidad global baja son de tipo residencial o se encuentran ubicadas en los centros urbanos, con buen acceso a los servicios básicos y sus construcciones son de proyectos definidos.

Dentro de la categoría de vulnerabilidad global alta se ubica el 54.3% de las manzanas estudiadas, el 53.7% de las localidades, el 49.9% de las viviendas y el 47.7% de la población del Curso Alto del Río Lerma. En la categoría de vulnerabilidad global media clasifica el 39.9% de las manzanas, el 46.3% de las localidades, el 42.8% de viviendas y el 44.7% de la población. Y en la categoría de vulnerabilidad global baja, de acuerdo al resultado obtenido, se ubicaría el 5.8% de las manzanas, el 6.1% de las localidades, 7.3% de las viviendas y 7.7% de la población (tabla 21).

Tabla 21. Número de manzanas, localidades, viviendas y población dentro de cada categoría de vulnerabilidad global.

Categoría	Manzanas	Localidades	Viviendas	Población
Alta	1,325	44	32,923	101,324
Media	974	38	28,237	94,999
Baja	142	5	4,817	16,301

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de la validación de los resultados, se realizó la superposición sobre la cartografía de vulnerabilidad global, de doce sitios, donde se reportó alguna afectación derivada del sismo del 19 de septiembre del 2017 con magnitud 7.1 (epicentro en el Estado de Puebla) (figura 8). Nueve sitios, coinciden espacialmente en las manzanas que en este trabajo se categorizan como de vulnerabilidad global alta; y los otros dos sitios, corresponden a manzanas de vulnerabilidad global media. Atendiendo, a los múltiples factores que determinan la vulnerabilidad sísmica, se puede considerar la cartografía obtenida como aceptable y de viable aplicación en la estrategia de prevención. Es importante destacar, que la información de daños por sismos en esta región del país, se encuentra de manera dispersa y con bajo nivel de sistematización, aspecto que dificultó la elaboración de este trabajo. Sin embargo, con el propósito de poner en perspectiva los daños ocurridos en el citado sismo, se incluye la tabla 22, misma que, relaciona los municipios estudiados y una breve descripción de daños, recabada en múltiples fuentes especialmente periodísticas y mediante los trabajos de campo realizados.

El análisis de vulnerabilidad realizado en este trabajo, constituye el primero de su tipo para los municipios del curso alto del Río Lerma, derivado de ello en este momento es imposible realizar un análisis comparativo de los resultados. Sin embargo, desde el punto de vista metodológico, la investigación se sustentó en métodos ampliamente validados para la resolución de tareas similares, es el caso del método de componentes principales, el sistema de puntuación desarrollado por Chang et al. (1995), el análisis Jerárquico de SAATY y el concepto de vulnerabilidad global propuesto por Fernández (2017). Lo anterior, integrado, analizado y editado en plataforma SIG.

Los resultados obtenidos, alcanzan especial relevancia para la gestión local de riesgo, donde se establece mediante la vulnerabilidad global, las manzanas donde espacialmente coinciden de forma favorable o desventajosa criterios sociales, económicos y de tipología constructiva. Donde, la cartografía mostrada, permite establecer rutas de trabajo prioritarias y políticas gubernamentales para incidir en los indicadores más desfavorables. El análisis de la vulnerabilidad estructural es crucial, dado que el derrumbe de una construcción genera pérdidas humanas y materiales (González-Huizar, 2019). A su vez “el análisis de la vulnerabilidad social y económica ayudan a comprender la capacidad de una sociedad (estudiada a nivel individual, familiar o comunitario) para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza” (Frigerio et al. 2016).

Tabla 22. Resumen de daños reportados en el sismo del 19 de septiembre del 2017 con magnitud 7.1 y epicentro en el Estado de Puebla.

Municipio	Daños documentados en el sismo del 19 de septiembre de 2017	Fotografías
Almoloya del Río	Daños estructurales menores en dos escuelas.	 <p>Ejemplo de daños reportados en Tenango del Valle</p>
Atizapán	Daños estructurales menores en una escuela.	
Calimaya	Daños estructurales en 3 parroquias.	
Capulhuac	Una persona fallecida por la caída de una barda. Daños estructurales en algunas casas e iglesias.	
Chapultepec	Daños estructurales menores en una escuela.	
Mexicaltzingo	-	 <p>Daños estructurales reportados en La escuela primaria "Lic. Alfredo V. Bonfil", Municipio Tenango Del Valle</p>
Rayón	Daños estructurales menores en una escuela y caída de bardas.	
San Antonio la Isla	Daños estructurales menores en una parroquia.	
Tenango del Valle	Daños estructurales en una escuela, más de 100 casas dañadas, caídas de bardas y 15 personas heridas.	 <p>Derrumbes documentados en el Municipio Texcalyacac</p>
Texcalyacac	Caída de bardas construidas con adobe.	

Fuente. Elaboración propia con datos y fotografías publicadas en Castañeda (2019), Padrón-Lara (2017), Vásquez (2017) y Trinidad (2017).

## 4. Conclusiones

El 79.3% de las manzanas con vulnerabilidad estructural alta, se caracterizan por una edad en su mayoría superior a 50 años. Por ejemplo, las construcciones que sufrieron daños en el sismo del 2017 fueron las más antiguas de la zona de estudio. Las construcciones en este nivel de vulnerabilidad estructural, generalmente son de tipo económico, sin proyecto arquitectónico definido, ejecutada con materiales de poca calidad, en la mayoría de los casos corresponden a viviendas de interés social. Por su parte, el 13.8% y el 3.8% de las manzanas clasificaron en los niveles de media y baja vulnerabilidad estructural respectivamente.

Las manzanas con vulnerabilidad social y económica alta son el 22.5% y el 10.7% respectivamente, se localizan alejadas de las zonas céntricas de los municipios del área de estudio, esto define la falta de servicios básicos (electricidad, drenaje y agua) en las viviendas y el limitado acceso a medios de información y comunicación. El municipio Tenango del Valle cuenta con el mayor porcentaje de manzanas que se encuentran en esta categoría.

Las manzanas con vulnerabilidad social y económica media son el 40.7% y 53% respectivamente, se caracterizan por la falta de servicios y acceso a medios de comunicación, ubicadas en la periferia de los centros municipales. Los municipios de Tenango del Valle, Calimaya, San Antonio la Isla y Rayón, cuentan con la mayoría de las manzanas en estas categorías.

Para el índice de vulnerabilidad global, el factor estructural es el de mayor influencia de acuerdo con el método Saaty, delimitado por indicadores como la edad, tipo de construcción, altura, pendiente del terreno y la posible ocurrencia de la licuefacción, que son condiciones propias de la zona de estudio. Sin embargo, las condiciones sociales y económicas también son consideradas y ampliamente analizadas en este trabajo, pues éstas determinan la capacidad de reacción y recuperación. Las manzanas con vulnerabilidad global alta representan el 54.3% del total, media el 39.9% y baja el 5.8%. Las manzanas que obtuvieron una vulnerabilidad global alta son de alta prioridad, puesto que tienen vulnerabilidad estructural, social y económica alta, lo que supone falta de resiliencia en caso de que se presente un sismo de moderada a alta magnitud. Las únicas manzanas con vulnerabilidad global baja son zonas residenciales del municipio de Calimaya.

El desarrollo de instrumentos de gestión del riesgo (Atlas de Riesgo, Programas de Ordenamiento Territorial, Programas de Ordenamiento Ecológico-Territorial y Planes de Desarrollo Municipal Urbano) a una escala detallada y actualizados, es fundamental para la generación de medidas de mitigación puntuales que permitan la reducción del riesgo. Hasta el momento los únicos documentos con los que se cuenta en la zona para gestionar los riesgos y las vulnerabilidades son los Atlas de Riesgo y los Planes de Ordenamiento Territorial, documentos donde se generaliza la información y en muchos casos no existen o se encuentran desactualizados. Este trabajo ofrece la oportunidad de ubicar espacialmente la vulnerabilidad estructural, social y económica, de manera específica con datos de la población y número de viviendas, información valiosa que permite una respuesta oportuna ante los peligros.

## Referencias

- Aceves, F., López, J. y Martín del Pozzo, A. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de información geográfica en el área del Nevado de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias geológicas*, 23 (2), 113-124. Recuperado de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742006000200001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742006000200001)
- Álvarez-Mantilla, A., Carreón, D., Mendoza, C., Zúñiga-Dávila, F. R. y Zhao, D. (2017). Contribución de las frecuencias características al periodo de vibración dominante en la ciudad de Querétaro, México. *Ingeniería Sísmica*, 97, 84-101. doi: <https://doi.org/10.18867/ris.97.482>
- Astroza, M. y Monge, J. (1991). Regional Seismic Zonation in Central Chile". *En 4th Internacional Conference on Seismic Zonation, California* (pp. 487-494). Oakland, California: Carl Wikander. Recuperado de <https://searchworks.stanford.edu/view/2265784>
- Barrantes, G. y Márquez, R. (2011). De la atención del desastre a la gestión del riesgo: Una visión desde la geografía. *Revista Geográfica de América Central*, 2 (47), 15-37. Recuperado de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3966>
- Barquero, R. (2009). El terremoto de Cinchona del 8 d enero de 2009. *Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE)*. Recuperado de [https://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes\\_sismos/terremoto\\_cinchona.pdf](https://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes_sismos/terremoto_cinchona.pdf)

- Bommer, J., Salazar, W. y Samayoa, R. (1998). Riesgo sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador. *Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente*. Recuperado de [https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/riesgo\\_sismico\\_en\\_la\\_RMSS.pdf](https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/riesgo_sismico_en_la_RMSS.pdf)
- Cardona, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6219/01Portadas.PDF?sequence=1>
- Castañeda, H. (19 de septiembre de 2019). Escuelas mexiquenses sin terminar de repararse desde el sismo de 2017. *The Observer*. <https://www.theobserver.mx/2019/09/19/escuelas-mexiquenses-sin-terminar-de-repararse-desde-el-sismo-de-2017/>
- Castrillo-Osorio, N. (2021). Microzonificación sísmica del sector urbano de la ciudad de León, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estéf.* (40), 96-117. doi: <https://doi.org/10.5377/farem.v10i40.13048>
- Chang, T. S., Eri, M., Pezeshk, S., Yiak, K.C. y Kung, H.T. (1995). Seismic vulnerability evaluation of essential facilities in Memphis and Shelby county, tennessee. *Earthquake Spectra*, 11 (4), 527-544. doi: <https://doi.org/10.1193/1.15858>
- Chávez-García, F.J., Sánchez-Sesma, F.J., Campillo, M. y Pierre-Yves, B. (1994). El terremoto de Michoacán de septiembre de 1985: Efectos de fuente, trayecto y sitio. *Física de la Tierra*, Núm. 6 (pp. 157-200). Madrid, España: Editorial Complutense, Madrid. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=124531>
- Dalenius T. y Hodges, J. (1959). Minimum variance stratification. *Journal of the American Statistical Association*. 54 (285), 88-101. doi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1959.10501501>
- Díaz-Caravantes, R. E., (2018). Vulnerabilidad y riesgo como conceptos indisociables para el estudio del impacto del cambio climático en la salud. *Región y sociedad* (73), 1-33. doi: <https://doi.org/10.22198/rys.2018.73.a968>.
- Fernández, G. (2017). Propuesta metodológica: construcción de un índice de vulnerabilidad global ante la amenaza sísmica, en espacios regionales, con el uso de técnicas estadísticas multivariantes. *Terra Nueva Etapa*, 33 (54), 127 – 163. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/721/72155359006.pdf>
- Flores, K.L., Escudero, C.R. y Zamora-Camacho, A. (2021). Multicriteria seismic hazard assessment in Puerto Vallarta metropolitan area, México. *Natural Hazards*, 105 (1), 253–275. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-04308-x>
- Frigerioa, I., Venturaa, S., Strigaroa, D., Mattavellia, M., De Amicisa, M., Mugnanob, S. y Boffib, M. (2016). A GIS-based approach to identify the spatial variability of social vulnerability to seismic hazard in Italy. *Applied Geography*, 74, 12-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.06.014>
- García-Castro, N. y Villerías-Salinas, S. (2017). Condiciones de vulnerabilidad social en Ixtapa y Zihuatanejo (Guerrero), México. *Revista Geográfica Venezolana*, 58 (2), 264-281. doi: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347753793002>
- García-Palomo, A., Macías, J. y Garduño, V. H. (2000). Miocene to recent structural. *Tectonophysics*, 318, 218-302. Recuperado de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=7352580&pid=S1026-8774201500010000900020&lng=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=7352580&pid=S1026-8774201500010000900020&lng=es)
- Grases, J. (2014). Propuestas dirigidas a una mejor caracterización de la amenaza sísmica. En J. Grases (Ed), *La amenaza sísmica. estrategias preventivas* (pp. 35 - 78). CAF-banco de desarrollo de América Latina. Recuperado de <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/896/La%20amenaza%20sismica.pdf>
- Gobierno del Estado de México (2009). *Gaceta del Gobierno del Estado de México*. Tomo CLXXXVII, No. 1. Toluca de Lerdo, México.
- González, V., Ferrer, M., Ortuño, I., Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. PEARSON. Recuperado de <file:///C:/Users/23770332/Downloads/Dialnet-IngenieriaGeologicaEnTerrenosVolcanicos-653671%20>
- González-Huizar, H. (2019). La Olimpiada XXIV de Ciencias de la Tierra: Los Grandes Terremotos en México. *GEOS*, 39(1). Recuperado de <http://olimpiadas.uniongeofisicamexicana.org.mx/docs/xxv/informe-xxiv.pdf>
- Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México (2017). *Carta geológica del Estado de México*. Recuperado de [ifomegem.edomex.gob.mx/carta\\_geologica](ifomegem.edomex.gob.mx/carta_geologica)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Jiménez-Flores, C.A. (2021). *Criminalización, cárcel y producción de subjetividad* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado de <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26530>

- Macías-Serrat, L. (2022). *Peligro sísmico y vulnerabilidad social en Morelia. Políticas públicas para la reducción del riesgo de desastres* (Tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Recuperado de [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/6765](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6765)
- Martínez-Hernández, V. (2005). *La periferia y la transición de lo rural a lo urbano en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca* (Tesis de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Recuperado de <http://conocimientoabierto.flacso.edu.mx/tesis/258>
- Montz, B.E., Tobin, G.A y Hagelman, R.R (2017). *Natural Hazard: Explanation and integration*, New York, Estados Unidos, Guilford Press.
- Mora, R. (1998). Propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de suelos de origen volcánico, en sitios seleccionados del Valle Central, Costa Rica. *Geológica de América Central*, (19), 81-98. doi: [doi.org/10.15517/rgac.v0i22.8602](https://doi.org/10.15517/rgac.v0i22.8602)
- Norini, G., Groppelli, G., Lagmay, A. y Capra, L. (2006). Recent left-oblique slip faulting in the central eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: Seismic hazard and geodynamical implication. *TECTONICS*, 25, 1-21. doi: <https://www.researchgate.net/publication/251431086>
- Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2021). *La reducción del riesgo de desastres*. Recuperado de <https://www.eird.org/americas/we/que-es-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres.html>
- Olivares-Sánchez, R., Angeles-Moreno, E., Cabadas-Báez, H.V., Miranda-Avilés, R. y Ordaz-Hernández, A. (2020). "Geología Ambiental y Peligros Geológicos a lo Largo de las Fallas Tenango, Estado de México". Sesión de conferencia en el X Congreso nacional de estudiantes en ciencias de la Tierra, Juriquilla, Querétaro, 12, 13, 14, 15 y 16 de octubre del 2020. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Angeles-Moreno/publication/344784153\\_GEOLOGIA\\_AMBIENTAL\\_Y\\_PELIGROS\\_GEOLOGICOS\\_A\\_LO\\_LARGO\\_DE\\_LAS\\_FALLAS\\_TENANGO\\_ESTADO\\_DE\\_MEXICO/links/5f9013da458515b7cf910285/GEOLOGIA-AMBIENTAL-Y-PELIGROS-GEOLOGICOS-A-LO-LARGO-DE-LAS-FALLAS-TENANGO-ESTADO-DE-MEXICO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Angeles-Moreno/publication/344784153_GEOLOGIA_AMBIENTAL_Y_PELIGROS_GEOLOGICOS_A_LO_LARGO_DE_LAS_FALLAS_TENANGO_ESTADO_DE_MEXICO/links/5f9013da458515b7cf910285/GEOLOGIA-AMBIENTAL-Y-PELIGROS-GEOLOGICOS-A-LO-LARGO-DE-LAS-FALLAS-TENANGO-ESTADO-DE-MEXICO.pdf)
- Ordaz, A. (2015). Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para el pronóstico de la respuesta dinámica de los suelos: caso de estudio: Ciudad de San Cristóbal, Cuba Occidental (Tesis de doctorado). Universidad de Pinar del Río, Cuba. Editorial Universitaria, La Habana.
- Ordaz-Hernández, A., Hernández-Millán, J. y Garatachia-Ramírez, J.C. (2020). Aproximación cartográfica a la vulnerabilidad estructural ante sismos empleando una metodología cualitativa: aplicación para la Ciudad de Toluca. *Cuadernos Geográficos*, 59 (2), 178 – 198. doi: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.9340>
- Padrón-Lara J. M. (20 de septiembre de 2017) .Reportan sólo daños materiales en Texcalyacac. *El Mexiquense*. Recuperado de <https://elmexiquensehoy.blogspot.com/2017/09/reportan-solo-danos-materiales-en.html>
- Peduzzi, P., Dao, H. y Herold, C. (febrero de 2002). Hazards, vulnerability and risk, definitions and concep. *En Feasibility Study Report On Global Risk And Vulnerability Index (GRAVITY)* (pp. 3). Ginebra, Suiza: UNDP/BCPR (formerly ERD). Recuperado de <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8818>
- Peña, R. (2018). *Susceptibilidad a la ocurrencia de licuefacción de los suelos en la ciudad de Bayamo inducido por fuertes terremotos* (Tesis de ingeniería). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Recuperado de <http://200.14.55.73/handle/123456789/1508?show=full>
- Prasetyoa, Y. T., Senoro D. B., German, J. D., Robielos, E. A. C. y Nery, F.P. (2002). Confirmatory factor analysis of vulnerability to natural hazards: A household Vulnerability Assessment in Marinduque Island, Philippines. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50. doi: [10.1016/j.ijdr.2020.101831](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101831)
- Preciado, A., Ramírez-Gaytán, A., Lazcano, S., Preciado, I., Gutierrez, N. y Santos, J.C. (2017). "Vulnerabilidad de edificios ante resonancia sísmica en Guadalajara y Zapopan por el sismo del 11 de mayo de 2016 mw=4.9". *Actas del XXI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Guadalajara, Jalisco, 20, 21, 22 y 23 de septiembre de 2017. Recuperado de <https://rei.iteso.mx/handle/11117/5190?show=full>
- Preciado, A., Rodríguez, O., Caro, J.L., Lujan, R. (2015). "Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Mampostería no Reforzada en el Pueblo de Tlajomulco, Jalisco". *Actas del XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Acapulco, Guerrero, 25, 26, 27 y 28 de noviembre de 2015. Recuperado de <https://rei.iteso.mx/handle/11117/3472>
- Ramírez, M. L. (2004). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables: Aplicación al nivel de modalidad y morbilidad en la provincia de Chaco. *Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Recuperado de <https://hum.unne.edu.ar/investigacion/geografia/labtig/publicaciones/public16.pdf>
- Ruiz-Sibaja, J. A., Vidal-Sánchez, F., Rodríguez-Troyano, E. y Santos-Hernández, J. F. (2019). Vulnerabilidad sísmica de los edificios del centro histórico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *PACBAL*, (45), 12-19. Recuperado de [https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos\\_revista/revistapakbal\\_45\\_pag12-19.pdf](https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_45_pag12-19.pdf)

- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill.
- Salinas, J., Dávila, I., Ramón, R., y Chávez, S. (20 de septiembre de 2017). Más de 70 viviendas afectadas, 12 muertos, caída de bardas y derrumbes, en Edomex. *La Jornada*. Recuperador de <https://www.jornada.com.mx/2017/09/20/politica/018n1pol>
- Sánchez, F. (2020). *Zonificación de la respuesta sísmica local, mediante análisis espacial*. Caso de Estudio: Zona Metropolitana del Valle de Toluca (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Sánchez-Calvillo, A., (2022). La vulnerabilidad sísmica de la vivienda vernácula de adobe en México: análisis constructivo y caracterización material para su conservación (Tesis doctoral). Universidad Michoacana San Nicolás De Hidalgo. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Adria-Sanchez-Calvillo/publication/365727077\\_La\\_vulnerabilidad\\_sismica\\_de\\_la\\_vivienda\\_vernacula\\_de\\_adobe\\_en\\_Mexico\\_analisis\\_constructivo\\_y\\_caracterizacion\\_material\\_para\\_su\\_conservacion](https://www.researchgate.net/profile/Adria-Sanchez-Calvillo/publication/365727077_La_vulnerabilidad_sismica_de_la_vivienda_vernacula_de_adobe_en_Mexico_analisis_constructivo_y_caracterizacion_material_para_su_conservacion)
- Sánchez-Calvillo, A., Alonso-Guzmán, E.M. y López-Nuñez, M.D.A. (2021). Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017. *Redalyc*, (10), 9-29. doi: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.162>
- Servicio Sismológico Nacional (2017). *Reporte Especial Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM: Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)*. Recuperado de: [http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX\\_rep\\_esp\\_20170919\\_Puebla-Morelos\\_M71.pdf](http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf)
- Servicio Sismológico Nacional de México. (2023). *Portal electrónico del Servicio Sismológico Nacional de México*. Recuperado de: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>
- Stankoa, D., Markušićb, S., Streleca, S. y Gazdeka, M. (2017). HVSR analysis of seismic site effects and soil-structure resonance in Varaždin city (North Croatia). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92, 666-677. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.10.022>
- Takewaki, I., Murakami, S., Fujita, K., Yoshitomi, S. y Tsuji, M (2011). The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake and response of high-rise buildings under long-period ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 1511-1528. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.06.001>
- Trinidad L. (10 de octubre de 2017). Quedaron sin escuela 300 niños y nadie les dice dónde van a estudiar, en Tenango del Valle. *MVT*. <https://mvt.com.mx/quedaron-sin-escuela-300-ninos-y-nadie-les-dice-donde-van-a-estudiar-en-tenango-del-valle/>
- OPS (2004). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Washington, D.C. 153p. Recuperado de [http://www.disaster-info.net/safehospitals\\_refdocs/documents/spanish/FundamentosParaLaMitigacion.pdf](http://www.disaster-info.net/safehospitals_refdocs/documents/spanish/FundamentosParaLaMitigacion.pdf)
- Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (1979). "Natural disasters and vulnerability analysis: Report of expert group meeting, 9-12 July 1979". En *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* (pp. 8-9). Expert Group Meeting on Vulnerability Analysis. Ginebra, Suiza, agosto 1980. Recuperado de <https://digitallibrary.un.org/record/95986?ln=es>
- Vargas, C.A., Vargas, L.A., y Coto, M. (2009). Análisis espectral de ondas superficiales: aplicación efectiva para la caracterización geológica de ocho sitios distintos de cimentación en Costa Rica. *Geológica de América Central*, (41) 37 - 54. doi: <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i41.4177>
- Vásquez, J. C. (20 de septiembre de 2017). Templos y casas resultaron con daños en Tenango del Valle y Calimaya. *Así Sucede*. <https://asisucede.com.mx/templos-casas-resultaron-danos-tenango-del-valle-calimaya/>
- Vázquez, S. L. y Heine, K. (2002). Late Quaternary glaciation of México. En J. Ehlers, P. L. Gibbard (Eds.) *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology. Volume 2, Part III: South America, Asia, Africa, Australia, Antartica*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 233-242 Pp.
- Vicente, J., González, J., Parra, F. y Beltrán, P. (2019). Métodos estadísticos de reducción de dimensiones. En *Métodos de data science aplicados a la economía y a la administración y dirección de empresas* (pp. 225-244). Madrid, España, UNED.
- Whitelegg, J. (1994). *Roads, jobs and the economy*. Londres, Inglaterra, Greenpeace.
- WILCHES-CHAUX, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. Documento en Línea. Compilado en Maskrey, A. *Los desastres no son naturales*, Ciudad de Panamá, Panamá: Edición Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/ LosDesastres-NoSonNaturales-1.0.0.pdf> [Consultado: 2015 enero 10]
- Wilches-Chaux, G. (1989). La vulnerabilidad global. En *Desastres, Ecologismo y Formación Profesional: Herramientas para la Crisis* (pp. 3-14). Servicio Nacional de Aprendizaje. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11404/1034>

- Yamamoto, J. y Mota, R. (1988). La secuencia de temblores del Valle de Toluca, México, de agosto de 1980. *Geofísica Internacional*, 27 (2), 279 - 298. doi: <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1988.27.2.787>
- Yepes, V. (2022). *El blog de Víctor Yepes*. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/contacto/>

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el apoyo del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) y la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Agradecemos a ambas instituciones por proporcionar los recursos y el entorno necesario para el desarrollo de esta investigación.

## Contribución de autorías

María del Carmen González Díaz

Diseño metodológico, redacción y trabajo cartográfico. Edición de acuerdo a las normas de la revista.

Alexis Ordaz Hernández

Diseño metodológico y de bases de datos. Edición de acuerdo a las normas de la revista. Autor encargado para la correspondencia.

Luis Miguel Espinosa Rodríguez

Diseño metodológico, comparación de resultados con otros estudios y redacción de conclusiones.

Roberto Franco Plata

Diseño metodológico y análisis de resultados.

## Financiación

Sin financiación.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Evolución reciente de precipitación y temperatura en la región mediterránea de la Península Ibérica: revisando la señal del calentamiento global a escala regional

Recent precipitation and temperature trends in the Mediterranean region of the Iberian Peninsula: revisiting the signal of global warming on a regional scale

JORGE OCINA CANTOS<sup>1</sup>  0000-0002-4846-8126

JAVIER MARTÍ TALAVERA<sup>1</sup>  0000-0002-1624-2843

ESTHER SÁNCHEZ ALMODÓVAR<sup>1</sup>  0000-0003-4201-0779

<sup>1</sup>Laboratorio de climatología, Instituto Interuniversitario de Geografía. Universidad de Alicante

## Resumen

Las proyecciones climáticas y estudios llevados a cabo muestran a la cuenca mediterránea como una región muy afectada por los efectos del calentamiento global. Con este trabajo se pretende conocer mediante una revisión bibliográfica cuales están siendo los principales efectos observados en las precipitaciones, temperaturas y fenómenos extremos en la fachada mediterránea de la península ibérica, y hasta qué punto el mar Mediterráneo está contribuyendo a ese cambio en las condiciones climáticas. Los resultados han mostrado que existen ciertas variables climáticas, como las noches tropicales y las precipitaciones intensas, que en las últimas décadas están aumentando en el área de estudio. La razón se debe a varios factores, aunque el continuo incremento de la temperatura superficial del mar Mediterráneo parece que está jugando un papel diferenciador contribuyendo a la “mediterraneización” de esta región.

Palabras clave: cambio climático; temperatura; precipitación; temperatura superficial marina; calentamiento global.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.06.06  
Aceptado: 2024.02.05  
Publicado: 2024.09.30

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Esther Sánchez Almodóvar  
[esther.sanchez@ua.es](mailto:esther.sanchez@ua.es)

## Abstract

Climate projections and studies carried out show the Mediterranean basin to be a region highly affected by the effects of global warming. The aim of this work is to find out, through a literature review, what the main effects observed in precipitation, temperatures and extreme phenomena are on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula, and to what extent the Mediterranean Sea is contributing to this change in climatic conditions. The results have shown that there are certain climatic variables, such as tropical nights and intense precipitation, which in recent decades have been increasing in the study area. The reason is due to several factors, although the continuous increase in the surface temperature of the Mediterranean Sea seems to be playing a differentiating role in the “Mediterraneanisation” of this region.

Keywords: climate change; temperature; precipitation; sea surface temperature; global warming.

## 1. Introducción

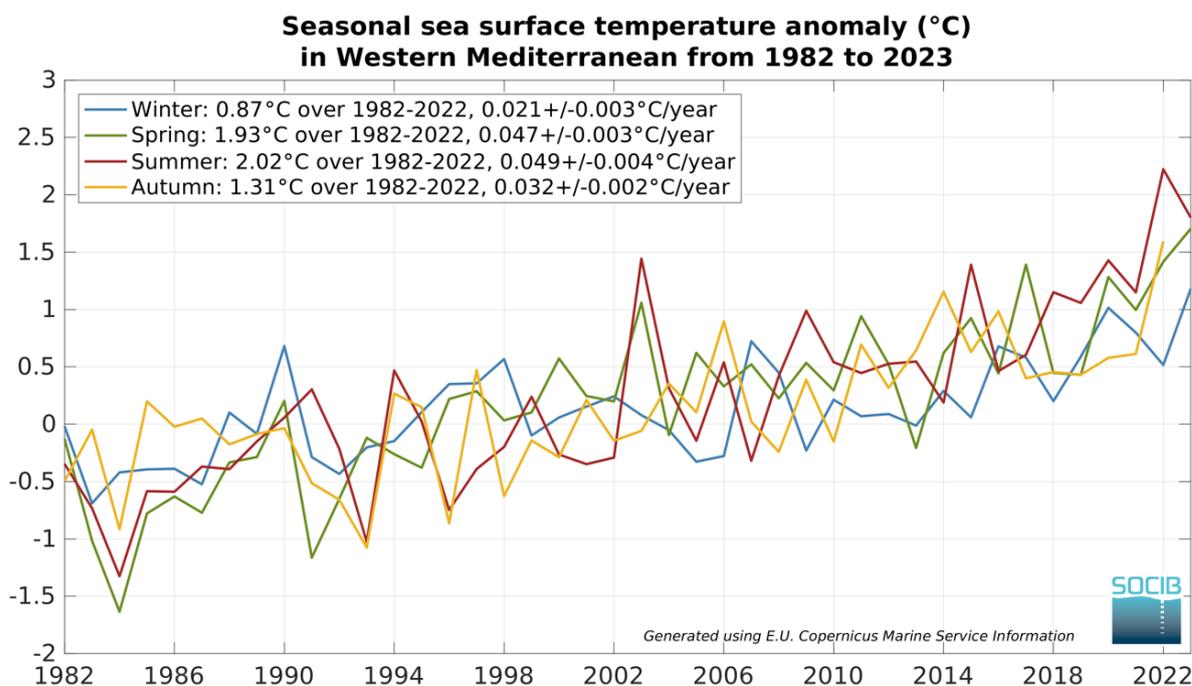
El cambio climático es la mayor amenaza a la que se enfrenta la población mundial en el siglo XXI. En las últimas décadas las temperaturas han mostrado cambios claros y permanentes hacia un clima más cálido debido al forzamiento antropogénico (IPCC, 2014). Sin embargo, no solo las temperaturas medias, sino también los episodios extremos evidencian estos cambios en respuesta al forzamiento radiativo. Las precipitaciones son un elemento especialmente sensible a las variaciones de temperatura y a las modificaciones regionales de la circulación atmosférica, de ahí la dificultad de modelizarla en escenarios de cambio climático. No existe un patrón común a nivel planetario en cuanto a los valores promedios, aunque sí que están aumentando la intensidad de estas, y a su vez las sequías agrícolas y ecológicas (IPCC, 2021).

Según el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), las zonas de clima mediterráneo son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático y sus consecuencias socioeconómicas son más notorias que en otros espacios del planeta (IPCC, 2014; 2018; 2019). Por ejemplo, la región mediterránea es una zona donde las precipitaciones son muy relevantes, debido a su importancia para el desarrollo de actividades económicas de carácter territorial y económico, como son la agricultura y el turismo (Cramer *et al.*, 2018). El 6º Informe del IPCC describe la cuenca del Mediterráneo como “punto caliente” del cambio climático a nivel global, debido a la aceleración de las evidencias y alteraciones experimentadas en los elementos climáticos y a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2022). Por ello, el conocimiento de la realidad climática actual en esta área es de gran interés para calibrar el impacto del cambio climático actual y su proyección futura (Sanz y Galán, 2021).

Participando en el proceso de aumento térmico experimentado en todo el mundo, la cuenca mediterránea tiene sus características específicas (MedECC, 2020; AEMET, 2022a; Chazarra Bernabé *et al.*, 2022), observándose variaciones en el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas (Olcina Cantos y Biener y Camacho, 2019; Del Río *et al.*, 2012; Brunet *et al.*, 2007) y de las precipitaciones (Miró *et al.*, 2018). Por ejemplo, el informe “Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region” (MedECC, 2020) revela que el aumento de las temperaturas experimentado en esta región ha sido superior al registrado en el resto del planeta (1,5°C desde 1880, frente a 1,1° C para el resto de la superficie del planeta). Estas variaciones pueden ser debidas a la alteración de la circulación atmosférica, sobre todo en el hemisferio norte, debido al mayor efecto que está teniendo el calentamiento, especialmente en latitudes polares y subpolares. Este hecho está relacionado con la pérdida de velocidad de la corriente en chorro

(en este caso, del chorro polar del hemisferio norte) que provocaría un aumento considerable de los episodios adversos (olas de calor y olas de frío, sequías intensas y lluvias torrenciales) en latitudes medias, donde se encuentra la zona mediterránea (Francis y Vavrus, 2012; Stendel et al., 2021; Coumou et al., 2018), aunque esta hipótesis continua creando discrepancias en la comunidad científica (Cohen et al. 2020). A ello habría que sumarle el papel que juega un mar cada vez más cálido, como es el caso del mar Mediterráneo. Como señala el informe del verano de 2023 del Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), el incremento acumulado a largo plazo de la temperatura superficial de la cubeta mediterránea fue de 1,5 °C para el periodo de análisis (1982-2023), alcanzando a mediados de julio su valor diario máximo de la serie histórica, llegando hasta los 28,1°C (CEAM, 2023). El incremento de la temperatura experimentado desde comienzo de los años ochenta del siglo pasado es notable en todas las estaciones del año, pero destaca especialmente la acumulación de energía que se produce en este sector del mar Mediterráneo en verano. (Figura 1)

Figura 1. Anomalía de la temperatura superficial marina en la cuenca del Mediterráneo occidental (1982-2023).



Fuente: Sistema de Observación Costero de las Illes Balears (SOCIB, 2023).

Se debe tener en cuenta también el papel que juegan los entornos urbanos, donde los valores térmicos son más elevados que los entornos rurales, debido a que el enfriamiento nocturno es más lento, lo que genera más molestias en las ciudades que en sus alrededores (Royé y Martí Ezpeleta, 2015). A diferencia de los días calurosos, en los que la zona afectada abarca la mayor parte del territorio de la región mediterránea, las noches tropicales se dan en regiones geográficas concretas. En la costa mediterránea española, se ha experimentado en las últimas tres décadas un aumento del número de noches con una temperatura igual o superior a 20 °C (Royé, 2017), así como un incremento de las temperaturas del agua del mar Mediterráneo (Pastor et al., 2017). En esta región, una de las principales actividades económicas es el turismo de “sol y playa” que representa, de media, el 10 % del PIB regional en cada una de las comunidades autónomas de la

zona (Saurí *et al.*, 2011). Por tanto, los cambios en las condiciones climáticas que se generen, y puedan producirse en las próximas décadas, condicionarán el desarrollo de esta actividad y la necesidad de implantar medidas de adaptación en los destinos turísticos desde el punto de vista del planeamiento urbanístico, como también en el diseño de los edificios (Olcina Cantos y Miró Pérez, 2017; Sanz & Galán, 2021). De ahí la importancia de estudiar este fenómeno climático que genera disconfort térmico, es decir, que provoca malestar en la población debido a unas temperaturas, en este caso más altas de lo habitual, que condicionan su actividad. Además, el incremento de las noches tropicales y su relación con el aumento de la frecuencia de las olas de calor afecta directamente a aspectos de la salud humana (Royé *et al.*, 2021) y puede condicionar el diseño de estrategias sanitarias en los destinos turísticos.

En cuanto a las precipitaciones, esa disminución antes comentada de la velocidad de la corriente en chorro, que algunos estudios indican que se ha reducido en un 14 % desde 1980 (Francis y Vavrus, 2012), conlleva una mayor ondulación de esta, es decir, la generación más frecuente de ondas planetarias (picos y valles) con desplazamientos más rápidos de masas de aire cálido hacia latitudes septentrionales y de aire polar o ártico hacia latitudes medias. Guijarro (2002), ya apuntaba a una tendencia al aumento de las precipitaciones en el SE peninsular a consecuencia de un incremento de las frecuencias de situaciones de ciclogénesis argelinas, en consonancia con el estudio de Muñoz *et al.* (2020) han confirmado recientemente el aumento “gotas frías”, en un 20%, en latitudes planetarias medias entre 1960 y 2017 en el hemisferio norte. El actual proceso de calentamiento global parece explicar buena parte de ello, ya que se ha demostrado que las corrientes en chorro se han ido desplazando hacia los polos, al igual que la zona de convergencia intertropical y la célula de Hadley, lo que explicaría esa expansión y mayor presencia del anticiclón de las Azores durante los meses invernales (Cresswell-Clay *et al.*, 2022). A ello habría que sumar también, el enfriamiento de la estratosfera (Steiner *et al.*, 2020), atribuible a una menor presencia de hielo en las regiones polares durante los meses invernales (Kim *et al.*, 2014; Bailey *et al.*, 2021).

Se plantean dos objetivos principales en el presente estudio: a) analizar los cambios observados en las temperaturas y precipitaciones en la franja mediterránea española mediante una revisión de la literatura científica en los últimos años; y b) detectar aquellos procesos que generan un efecto regional propio en el proceso de calentamiento global, dando lugar a una “mediterraneización” de la fachada oriental ibérica. Esta región motiva interés científico debido a su importancia dentro del plano económico y social nacional. Las consecuencias del cambio climático en esta zona, donde habita un tercio de la población española y donde el turismo de sol y playa, junto con la agricultura, cobran una especial relevancia, podrían provocar pérdidas económicas elevadas y alterar el funcionamiento social.

## 2. Metodología

Dado que el artículo es una revisión de la información existente, el método se basa en la consulta de los estudios existentes sobre el cambio climático para el área de estudio. Se ha seleccionado un periodo de estudio desde el año 2000 hasta la actualidad. Se han consultado los informes oficiales de cambio climático del IPCC junto con los realizados por otros organismos públicos. Además, se ha realizado un seguimiento sobre esta temática en revistas internacionales y nacionales para el periodo 2010-2022 con el fin de identificar los temas y resultados de las investigaciones realizadas sobre esta temática.

A partir de ello se han seleccionado los principales aspectos y procesos que evidencian el efecto del proceso de calentamiento climático planetario en este ámbito regional. Para la búsqueda de trabajos en las revistas de investigación se ha efectuado la búsqueda en los propios portales web de las editoriales o en buscadores más generalistas o en repositorios oficiales (CSIC, universidades públicas) a partir de los ítems (en castellano, catalán e inglés) siguientes: cambio climático, mar mediterráneo, calentamiento, temperaturas, precipitaciones, litoral mediterráneo. En la Tabla 1 se enumeran los organismos y documentos consultados para la elaboración de esta investigación.

Tabla 1. Fuentes oficiales e investigaciones consultadas para el desarrollo de la presente investigación (2010-2022).

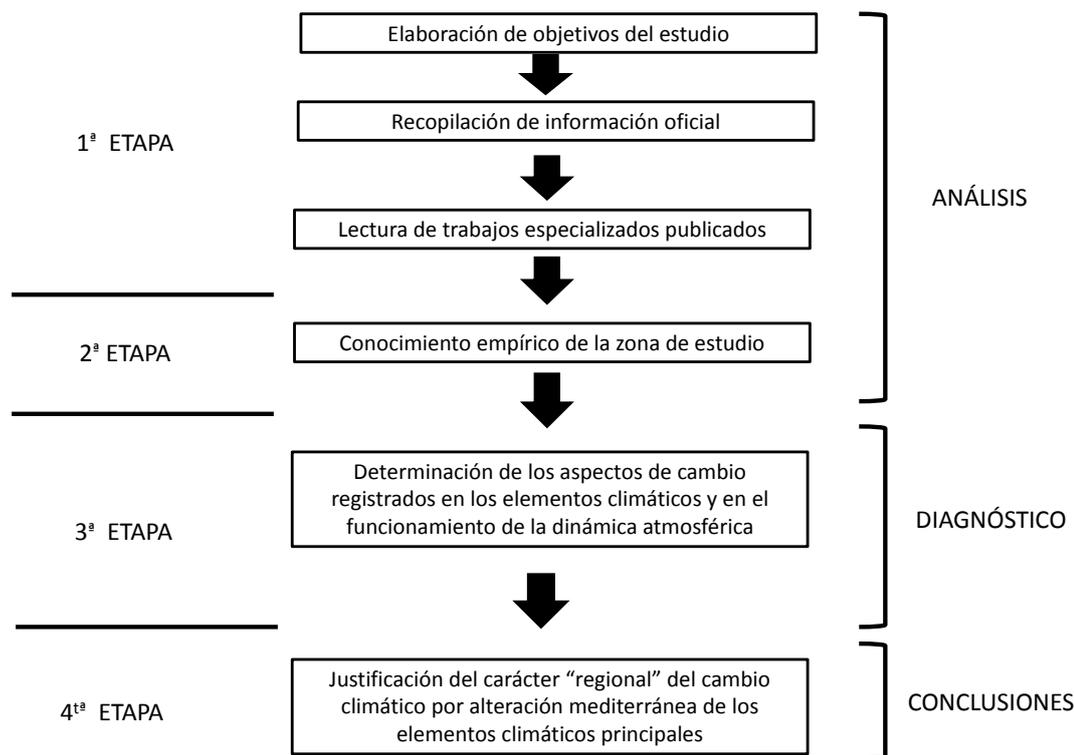
	Documentos oficiales	Revistas de investigación
Internacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>-5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> IPCC Report (2014 y2021-22)</li> <li>-Informe sobre el cambio climático en el Mediterráneo (MedECC)</li> <li>-ESPON Climate project</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Climate Research</li> <li>-Climate Change</li> <li>-Nature Climate Change</li> <li>-Journal of Climate</li> <li>-Weather and Climate Extremes</li> <li>-Atmospheric Research</li> <li>-Atmosphere</li> <li>-Advances on Atmospheric Science</li> <li>-Regional Environmental Change</li> <li>-Journal of Geophysical Research</li> <li>-Atmospheres</li> <li>-Geophysical Research Letters</li> <li>-International Journal of Climatology</li> <li>-International Journal of Biometeorology</li> <li>-Journal of Hydrology: Regional Studies</li> <li>-Water</li> </ul>
Nacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estado del clima en España. Informe anual (AEMET)</li> <li>-Calendario Meteorológico Anual (AEMET)</li> <li>-Informe "Cambio climático y actividad turística" en C. Valenciana.</li> <li>-Dossier sobre el cambio climático en Cataluña (3er informe)</li> <li>-Informes sobre la temperatura de las aguas superficiales del Mar Mediterráneo (CEAM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Boletín de la Asociación Española de Geografía (BAGE)</li> <li>-Cuadernos de Investigación Geográfica</li> <li>-Document d'Análisis Geogràfica</li> <li>-Investigaciones Geográficas</li> <li>-Cuadernos Geográficos</li> </ul>

Elaboración propia.

A fin de acotar aún más la revisión bibliográfica se ha optado por centrar la investigación en tres procesos que manifiestan un comportamiento anómalo en las últimas décadas, como son el comportamiento de las temperaturas en el litoral mediterráneo y la pérdida de confort térmico, el cambio en el régimen de distribución de las precipitaciones a lo largo del año y el análisis de eventos atmosféricos extremos y su impacto sobre la ocupación territorial.

Se maneja un método hipotético-deductivo a partir del análisis de los documentos de planeamiento que se recogen en la Figura 2 y se determinan los elementos climáticos que manifiestan cambio en su evolución durante las últimas décadas y se justifica el carácter regional que imprime la cuenca del mediterráneo en los efectos registrados del proceso global de calentamiento climático.

Figura 2. Esquema metodológico.



Fuente: Elaboración propia.

Para consolidar los argumentos expuestos con información cuantitativa también se han consultado los datos climáticos proporcionados por la AEMET. Para el estudio de los daños ocasionados por los eventos extremos registrados se han revisado informes y estadísticas del Consorcio de Compensación de Seguros, que están disponibles en la página web de esta entidad.

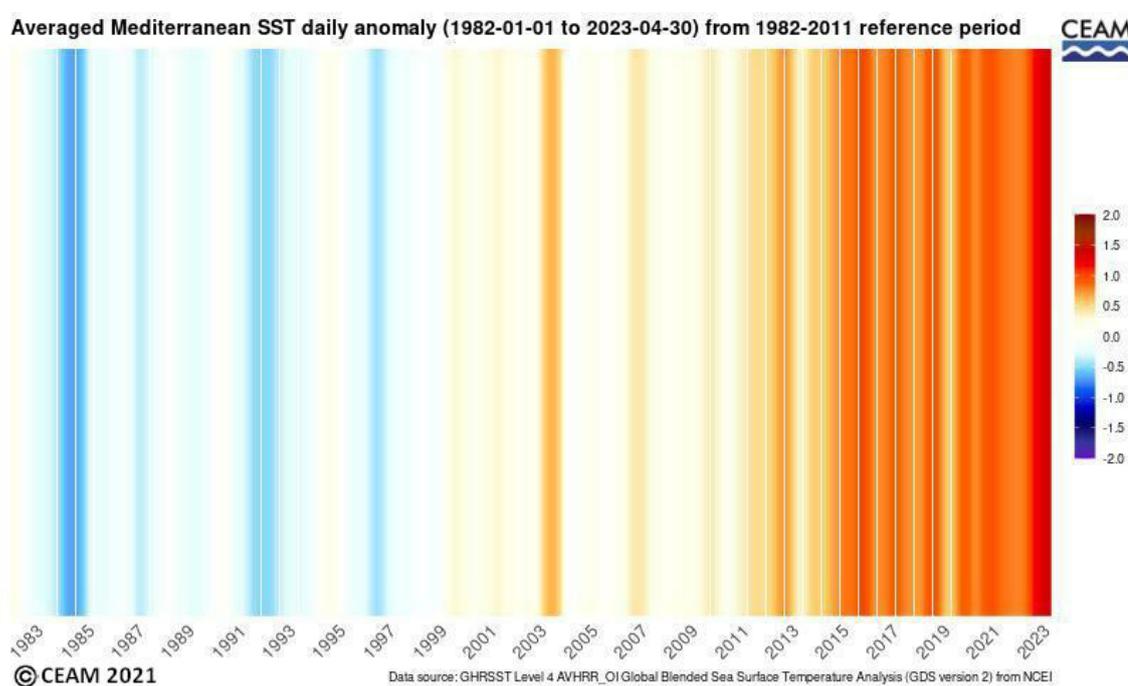
### 3. Resultados

El litoral mediterráneo español presenta unas características propias que hacen que los efectos del cambio climático actual sean únicos en este espacio geográfico. Básicamente, el hecho de que exista un mar bañando sus costas que está experimentando un rápido proceso de calentamiento en las últimas décadas, condiciona el funcionamiento de las temperaturas y de las precipitaciones (Chazarra Bernabé *et al.*, 2022; Romero Fresneda *et al.*, 2020). Como ya se ha comentado en la introducción, la anomalía de la temperatura de la superficie del mar registrado durante el verano de 2023, ya son de 1,5 °C superiores a las existentes hace cuatro décadas (CEAM, 2023), de hecho, esas diferencias han aumentado sobre todo a partir de 2010 como se puede apreciar en la Figura 3. Hay que tener en cuenta que los registros del conjunto de observatorios comprendidos entre Cataluña y las provincias mediterráneas de Andalucía muestran que el incremento de las temperaturas ha sido de 0,8 °C en los últimos cien años, con un aumento muy pronunciado a partir de 1980 (Olcina, 2020), por tanto, el calor acumulado en la cuenca marina es superior al calentamiento experimentado en el aire.

Desde 2010 se ha normalizado que durante los meses estivales se registren temperaturas por encima de los 30 °C en diferentes puntos del mar Balear, según la información dispuesta por las boyas

oceanográficas de Puertos del Estado (Ministerios de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2023). Estos registros se asemejan más a las temperaturas propias de mares tropicales, de hecho, sus efectos ya se están haciendo notar en la biología marina en los últimos años, como muestran numerosos estudios (Izquierdo-Muñoz *et al.*, 2019; Santana-Garcón *et al.*, 2023; Tsikliras y Stergiou, 2014). Las consecuencias de esta tropicalización también implican tres efectos directos sobre los elementos climáticos de la costa mediterránea española: la pérdida de confort térmico, sobre todo en verano, debido al aumento del número de noches cálidas entre la primavera y el comienzo del otoño; la aparición de precipitaciones intensas debido a la transferencia de calor desde la superficie del mar a la atmósfera en los procesos de convección; y el aumento de los fenómenos extremos.

Figura 3. Anomalía diaria de la temperatura superficial del mar (01/01/1982-30/04/2023).



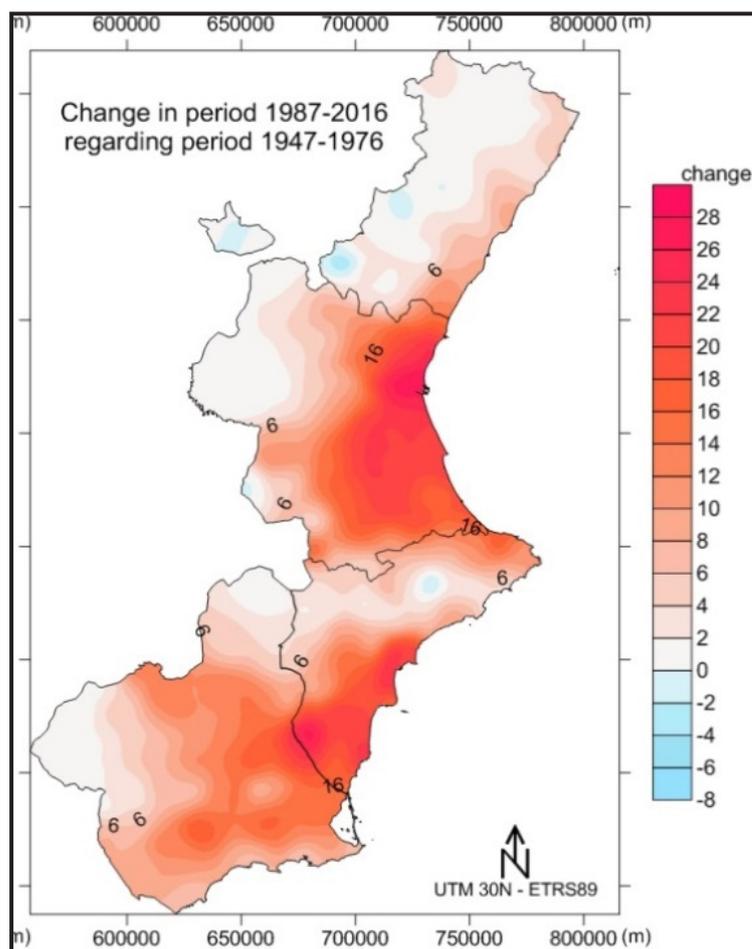
Fuente: CEAM (2023).

### 3.1. Cambios observados en temperaturas

El aumento de la temperatura media anual a nivel global es innegable y la costa mediterránea española no es una excepción en este proceso. La manifestación más evidente de la pérdida de confort térmico en esta región ha sido el aumento muy notable de las llamadas “noches tropicales”, cuando el termómetro no baja de 20 °C en toda la noche. Olcina *et al.*, (2019) han comprobado el incremento en el número de noches tropicales en el sector central del litoral mediterráneo español (Figura 4). Solo algunas áreas de interior muestran una ligera estabilización o descenso en cuanto a la cantidad de noches por encima de los 20 °C, mientras que en las zonas de valle se ha incrementado notablemente. También hay que tener en cuenta que se están expandiendo en los meses de primavera y otoño, tal y como afirma Nuñez Mora (2020). Son varios los estudios que analizan este hecho a nivel regional, por ejemplo, en la Región de Murcia, Espín Sánchez (2017) señala un aumento notable de las noches tropicales en las áreas litorales y prelitorales de más de 9 noches por década entre 1960 y 2016. En cambio El Kenawy *et al.*, (2011), apunta a un aumento de 0,6 días con noches tropicales por década para el periodo 1960-2010 en el cuadrante

nororiental de la península ibérica. En la Tabla 2 se expone el ejemplo de la ciudad de Alicante, como ciudad costera mediterránea que está sufriendo en las últimas décadas un aumento importante de las noches tropicales y ecuatoriales. Si bien, no son únicamente las noches tropicales la única variable utilizada para calcular este aumento de desconfort térmico. Espín-Sánchez *et al.* (2023) utilizan el Índice de Confort Climático para detallar como en áreas litorales y prelitorales de las provincias de Alicante y Murcia se está perdiendo confort térmico en verano debido a un aumento de la temperatura media y a una reducción de la humedad relativa media y de la velocidad media del viento.

Figura 4. Incremento del número de noches tropicales en la Comunidad Valenciana y Murcia. 1987-2016 con respecto al periodo 1947-1976.



Fuente: Olcina-Cantos *et al.* (2019).

Un factor a tener cuenta, expuesto por Royé y Martí Ezpeleta (2016), es que la cercanía al mar y menor latitud son elementos que están directamente relacionados con la mayor persistencia del calor y del estrés térmico durante las noches cálidas. El caso de la proximidad al mar es particular, ya que con valores de humedad relativa del 70% o más, la temperatura que realmente siente el cuerpo humano es unos 4 - 7° más alta respecto a la lectura del termómetro, según el índice HUMIDEX propuesto por Masterton y Richardson (1979), lo que da lugar a lo que se conoce como stress térmico. No obstante, más allá de los factores naturales también hay que tener en cuenta el papel que ejercen los entornos urbanos a la hora de retener el calor durante el día, que dificulta la bajada de las temperaturas durante las horas sin insolación, dando lugar a lo que se conoce

como el “efecto isla de calor” (Quereda et al, 2000). De ahí la necesidad de desarrollar técnicas de mitigación en entornos urbanos, con el fin de equilibrar el balance térmico en las ciudades y, al mismo tiempo, mejorar las condiciones de confort térmico (Katavoutas y Founda, 2019).

Tabla 2. Evolución del número de noches tropicales y ecuatoriales por década en el observatorio de Ciudad Jardín de Alicante (1940-2019).

DÉCADA	NOCHES TROPICALES ( $\geq 20^{\circ}\text{C}$ )	NOCHES ECUATORIALES ( $\geq 25^{\circ}\text{C}$ )
1940	307	1
1950	383	2
1960	318	1
1970	255	0
1980	420	5
1990	599	2
2000	789	12
2010	740	21

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

### 3.2. Cambios observados en precipitaciones

A diferencia de la temperatura, donde se espera un aumento progresivo en todo el planeta, los modelos climáticos apuntan a panorama muy heterogéneo en el caso de las precipitaciones para finales de siglo, con áreas donde se esperan un aumento, y zonas, como es el caso de la cuenca mediterránea, donde se pueden reducir de forma clara (Hausfather, 2018).

Son numerosos los estudios centrados en la costa mediterránea que se han llevado a cabo para conocer las tendencias de las últimas décadas. Valdés-Abellán et al. (2017) afirman, tras estudiar las series de precipitación diaria de los últimos 75-80 años, que las precipitaciones en el sureste de la península ibérica se han reducido entre un 0 y 15%, los periodos secos se están prolongando durante más tiempo y el número de días de precipitación está disminuyendo. Por su parte, Sumner et al. (2003) apunta a una reducción anual de las precipitaciones de entre el 6 y el 14% para Andalucía, y un aumento de hasta el 14% para el resto de la costa mediterránea para finales del siglo XXI. Llasat et al. (2021) se centran exclusivamente en las precipitaciones de carácter convectivo y apuntan a un aumento de la precipitación y de los eventos convectivos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, mientras que en las cuencas internas de Cataluña están aumentando los eventos convectivos pero están disminuyendo las precipitaciones asociadas a estos. Homar et al. (2009) tras analizar la serie de precipitación diaria entre 1951 y 2006 de 18 observatorios situados en las Islas Baleares establece una reducción de la precipitación media anual, un mayor protagonismo de las precipitaciones ligeras y fuertes (hasta 4 mm y más de 64 mm, respectivamente), y una reducción de la proporción de precipitaciones moderadas a intensas (16 a 32 mm) está disminuyendo. Serrano-Notivoli et al. (2018) basándose en el análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación diaria en España para el periodo 1950-2012 y en el conjunto de datos diarios reticulares con una resolución de 5 x 5 kilómetros, constatan, 1) un ligero aumento global de la duración de los eventos pluviométricos, particularmente a lo largo de la franja mediterránea; 2) una reducción de la frecuencia de los eventos pluviométricos de acumulados bajos y un aumento de la frecuencia de los eventos altos y muy altos; y 3) una ligera reducción de la intensidad de los eventos únicos (duración de 1 o 5 días), pero una tendencia negativa significativa de la precipitación media y mediana cuando se consideran todos los días de precipitación ( $p > 0$ ), particularmente en la costa mediterránea.

En cuanto a la intensidad de las precipitaciones, Oria Iriarte (2021) ha estudiado como los episodios más extremos, los que se encuentran en torno a los percentiles 98 y 99, ya están aumentando su probabilidad de ocurrencia y que la intensidad de las precipitaciones también se está incrementando en las últimas décadas. Por otro lado, el informe sobre la evolución futura de las precipitaciones intensas en España (CEDEX, 2021), que toma como referencia el periodo 1971-2000 y utiliza las proyecciones climáticas de EURO-CORDEX (horizonte 2100), indica un aumento de la torrencialidad, con lluvias extremas asociadas a episodios cortos en el este peninsular. Los cambios señalados en la intensidad de las precipitaciones en el área mediterránea española están relacionados con las alteraciones que se están experimentando en la circulación atmosférica en las latitudes medias del hemisferio norte. Ello provocaría un aumento de depresiones aisladas en los niveles altos de la atmósfera (DANA), concentrándose principalmente en el Golfo de Cádiz y al Mediterráneo Occidental en su conjunto. Tomando como referencia el nivel de 200 hPa, en Europa el número de DANA por año, entre 1960 y 1990, se mantuvo estable, en casi 30 años. Sin embargo, desde 1990, este número ha aumentado significativamente, actualmente alrededor de 35-40 (Muñoz *et al.* 2020). De hecho, son estos fenómenos los que provocan en la mayoría de los casos de episodios de precipitación intensa en el este peninsular, los cuales podrían aumentar en las próximas décadas debido al incremento de los procesos termodinámicos en una atmósfera más cálida. Hay que tener en cuenta que ese aumento de la temperatura del mar, que es superior al aumento de la temperatura del aire, ya comentado, conlleva una creciente inestabilidad potencial (Llasat *et al.*, 2021).

También es relevante la modificación estacional de los patrones de precipitación debido a que las lluvias de primavera están disminuyendo a favor de las de otoño. Esto es especialmente significativo en el extremo sur del Sistema Ibérico, donde se encuentran los nacimientos de algunos de los ríos más importantes de España, con sus desembocaduras en el mar Mediterráneo (Júcar, Turia) o en el Atlántico (Tajo). Así se ha señalado en diferentes estudios (De Luis *et al.*, 2010; Miró, 2014) que apuntan a la progresiva extensión territorial de las lluvias típicamente mediterráneas (máximas precipitaciones en otoño) desde la costa mediterránea hacia el interior de la península ibérica, donde el principal pico de precipitaciones generalmente se produce en la primavera (sección oriental de la cordillera ibérica). Este hecho incide directamente en la planificación hidrológica, dado que las lluvias primaverales son determinantes para el normal desarrollo de la actividad agrícola y la acumulación de reservas de agua en embalses y acuíferos, permitiendo paliar el incremento del consumo en los meses más cálidos del año.

Estos cambios en las precipitaciones no sólo se reflejan en las lluvias, sino también en las nevadas. Los estudios en este sentido son bastante escasos y apenas existen referencias, ya que se suelen centrar en áreas de alta montaña con Pirineos y Sierra Nevada, pero no en cotas bajas. No obstante, es necesario comentar algunos trabajos como el de Martínez Ibarra (2010) que tras un análisis documental de más de 100 años (1900-2009) concluye que las nevadas en la costa sureste ibérica muestran una tendencia decreciente, o el de Ginés Llorens (2013), también basado en un análisis bibliográfico que certifica la reducción de nevadas en las últimas décadas en Castellón. No obstante, es necesario destacar que en los últimos años los episodios de nevadas intensas han sido recurrentes en las comunidades mediterráneas españolas, como, por ejemplo el temporal de enero de 2017, que provocó nevadas a nivel del mar en la provincia de Alicante (Jansà Clar, 2018). La Borrasca Gloria, considerada por Oria Iriarte (2020) como el evento más extremo registrado, en cuanto a cantidades de precipitación se refiere acaecido en esta zona, con nevadas de record en la provincia de Castellón y las intensas nevadas registradas en la ciudad de Barcelona en los últimos años (marzo de 2010, febrero de 2018). Estos últimos episodios están relacionados con

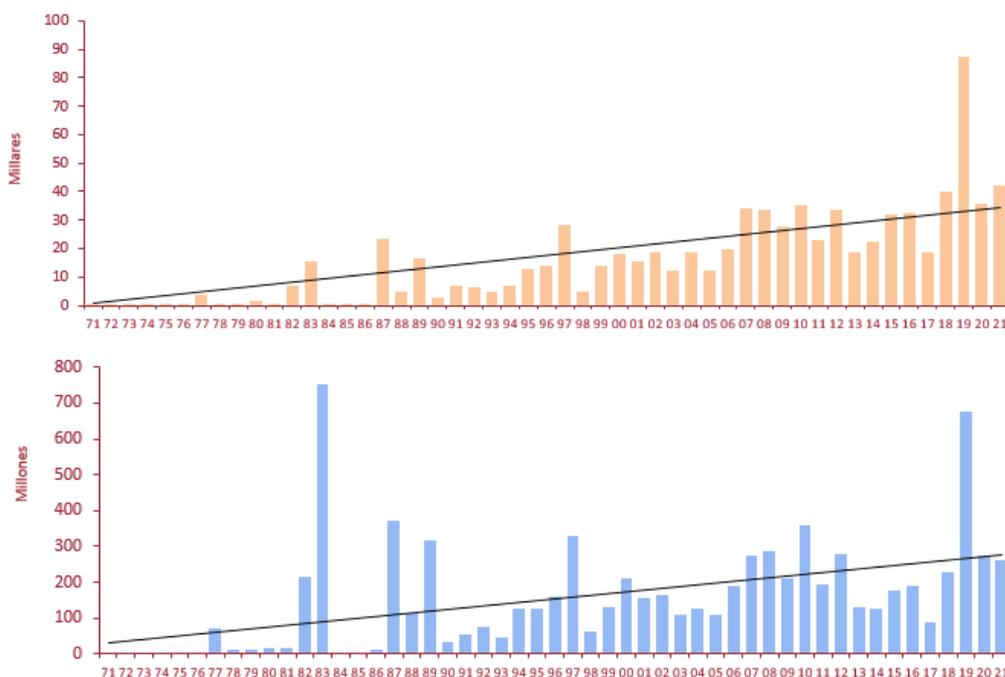
circulaciones de “gota fría” y la entrada de vientos superficiales de levante que, en pocas horas, dejan cantidades muy elevadas de precipitación sólida sobre las montañas mediterráneas.

### 3.3. Incremento de eventos atmosféricos extremos en un territorio de alta exposición

En el litoral mediterráneo se ha comprobado el aumento de episodios de precipitación de gran intensidad horaria, de jornadas de calor prolongado, de temporales marítimos con efectos en la primera línea de costa, así como la génesis más frecuente de nevadas de carácter torrencial en áreas de montaña.

Según la Estadística de Riesgos Extraordinarios recogida por el Consorcio de Compensación de Seguros (2023), las inundaciones (ya sean por embates de mar o por el desbordamiento de cauces) y las tempestades ciclónicas atípicas han supuesto (que en la actualidad incluyen daños por nieve, lluvia, pedrisco y huracanes), desde 1971 hasta 2021, el 93% del total de expedientes realizados por este organismo, lo que supuesto una indemnización total de 10.186.142.988€. Hay que tener en cuenta que Barcelona, Valencia y Alicante (en este orden), son las provincias donde más expedientes se han tramitado en los últimos 50 años, a lo que hay que añadir que las provincias de la fachada mediterránea (desde Málaga hasta Girona) agrupan al 47,6 % del total de expedientes tramitados. Si bien, aunque el coste medio se ha reducido en los últimos años, el número de expedientes y la cantidad de euros destinados a indemnizaciones se ha incrementado en las últimas décadas (Figura 5).

Figura 5. Evolución del número de expedientes e indemnizaciones.



Leyenda: el primer gráfico (naranja) muestra el número total de expedientes registrados por el Consorcio de Compensación de Seguros por año, mientras que el segundo (azul) refleja la cantidad en millones de euros de indemnizaciones pagadas por este organismo entre 1971 y 2021.

Fuente: Consorcio de Compensación de Seguros (2023)

Episodios recientes como la gota fría que dejó importantes inundaciones en el sureste peninsular en 2012 provocando la riada de “San Wenceslao” y las inundaciones provocadas a consecuencias

de una Depresión Aislada en Niveles Altos, que dejaron importantes daños en la cuenca del Segura en septiembre de 2019, se encuentran dentro de los diez principales eventos por volumen de indemnización que ha habido en España en las últimas décadas.

Pradhan et al. (2022) apuntan que los fenómenos climáticos extremos son cada vez más frecuentes, recurrentes y persistentes en Europa. Este hecho podría explicar la continua superación de record en la fachada mediterránea española. Muchos de estos se han producido en series centenarias lo que demuestra que estamos ante unos datos sin precedentes. La mayor parte de ellos tienen como variable protagonistas las temperaturas máximas y mínimas mensuales, que están alcanzando valores cada vez más altos a lo largo de todo el año. Por ejemplo, en julio de 2022 se batió récord de temperaturas máximas medias en la mayoría de los observatorios meteorológicos de las Islas Baleares (AEMET, 2022b). En agosto de 2022, se registró la temperatura más alta registrada en el observatorio de Alicante desde hace 125 años, se batió en record de temperatura mínima más elevada en este mismo observatorio y en el de Valencia, y el aeropuerto de Alicante-Elche superó en dos ocasiones su record de temperaturas máximas en menos de un mes (AEMET, 2022c).

En el caso de las precipitaciones la tónica es similar, con efemérides batidas en los últimos años relacionadas con la intensidad y persistencia de las precipitaciones. De hecho, Oria Iriarte (2019) refleja como en los últimos 50 años ha habido un aumento en el promedio de la cantidad de precipitación diaria de los días muy húmedos en zonas del Mediterráneo, así como una ligera disminución de la duración de los periodos secos en zonas del litoral mediterráneo. En contraposición, el estudio de series climatológicas longevas, como la Murcia-Alcantarilla, que data de 1864, ha permitido comprobar que se ha producido una intensificación de la frecuencia, intensidad y duración de los periodos de sequía durante la segunda mitad del S.XX (Ruiz Álvarez et al., 2016) y se espera que estas puedan seguir incrementándose ante los escenarios de cambio climático previstos (Greve et al. 2018).

Figura 6. Ocupación del dominio público marítimo-terrestre y efectos de temporales marítimos en el litoral mediterráneo español (2017-2022) en Guardamar del Segura (Alicante)



Fuente: Elaboración propia

Por último, nos encontramos ante un aumento de la intensidad de los temporales marítimos en el mediterráneo occidental (Amarouche y Akpınar, 2021), relacionados con depresiones profundas (Makris *et al.*, 2023). Ello ha contribuido a que la vulnerabilidad y la exposición ante eventos atmosféricos de rango extraordinario debido a la implantación de viviendas y equipamientos en áreas indebidamente ocupadas. Un ejemplo de ello se refleja en la Figura 6, que muestra cómo los temporales marítimos acaecidos en los últimos años Guardamar del Segura (Alicante) han provocado continuos destrozos en las viviendas situadas en primera línea de costa.

#### 4. Discusión y conclusiones

Las temperaturas y las precipitaciones muestran cambios que responden, por un lado, a procesos globales, pero también muestran alteraciones relativas a mecanismos regionales, como son la cercanía al mar o los usos del suelo, ya comentados anteriormente. El aumento de las temperaturas es un hecho evidente, no sólo en esta zona de estudio sino también en el resto de la cuenca mediterránea (Miró *et al.*, 2006; Xoplaki *et al.*, 2006; Hertig *et al.*, 2010; Efthymiadis *et al.*, 2011; Simolo *et al.*, 2012; Piccarreta *et al.*, 2014). Además, los cambios proyectados indican que esta tendencia continuará con diferentes magnitudes dependiendo del escenario de cambio climático considerado (Barrera-Escoda *et al.*, 2014; Zittis *et al.*, 2016).

El incremento de las temperaturas mínimas se ha convertido en un factor diferencial en la costa mediterránea española, ya que el número de noches tropicales ha aumentado y la temperatura media de las noches cálidas también muestra una tendencia creciente (Miró *et al.*, 2006; Olcina *et al.*, 2019; Ramos *et al.*, 2012; Royé, 2017). Las razones que explican este incremento podría obedecer a la influencia de tres factores: un mar Mediterráneo cada vez más cálido en términos absolutos, con un alargamiento del periodo de temperaturas templadas (López García, 2015); cambios en los patrones atmosféricos que motivarían el aumento de configuraciones sinópticas que favorecen las advecciones de masas de aire cálidas (Jansà *et al.*, 2016; Sánchez-Lorenzo *et al.*, 2011; Michaelides *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2015); y el papel que ejercen las propias ciudades a la hora de generar las islas de calor urbanas (Querada *et al.*, 2000; Alcoforado y Andrade, 2008).

Las proyecciones apuntan a un continuo aumento de los valores térmicos, lo que es especialmente preocupante si tenemos en cuenta la pérdida de confort climático que ya existe en la actualidad en el área mediterránea española y que conlleva grandes repercusiones a nivel sanitario (Roldán *et al.*, 2016; Ostro *et al.*, 2012) y económico (Olcina y Vera, 2016; Saurí *et al.*, 2013).

Por su parte, las precipitaciones también están experimentando cambios en su tendencia y magnitud. En términos de intensidad, Peñarrocha *et al.* (2022) muestran un aumento del número de extremos en el periodo 1971-1995 en la costa española del Levante. Otros investigadores centran sus objetivos en el análisis de índices de extremos (ETCCDI-Expert Team on Climate Change Detection and Indices) para la detección del cambio climático en España utilizando 12.858 observatorios con alta resolución espacial, mostrando una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos en la costa mediterránea (Serrano-Notivol *et al.*, 2018). En contraste, para el sureste de España, Valdés-Abellán y Úbeda Müller (2020) seleccionan 6 estaciones de la red AEMET en dicha región y encuentran una tendencia general a la reducción de días > 40 mm/día en 5 de las 6 estaciones. Además, observan que con el aumento del umbral los cambios son más importantes, con una tendencia creciente en una estación y decreciente en el resto. Para la provincia de Alicante, el análisis de los 11 índices de precipitación extrema (ETCCDI) basado en 243 observatorios reconstruidos determinó que los días con precipitación superior a 10 mm y 20 mm

presentan tendencias espaciales diferentes con valores negativos (Moutahir et al., 2014), mientras que Sánchez-Almodóvar (2022) no determina una tendencia porque la serie no presenta significación estadística.

Las configuraciones atmosféricas de gota fría están incrementando su presencia en latitudes mediterráneas, lo que genera un aumento del factor de riesgo respecto a episodios de lluvias intensas y torrenciales. Miró et al. (2022) indican que estos episodios muestran que un número significativo de las situaciones de precipitación torrencial estuvieron relacionadas con configuraciones de gota fría, tal y como se determinó en el trabajo previo de Muñoz et al. (2020), en el que se destaca que este tipo de situaciones han tenido un incremento de frecuencia del 20% en los últimos años. En el SE de España, para las fechas en las que se registraron precipitaciones superiores a 200 mm (1941-2017), Martín Vide et al. (2021) también obtuvieron una mayor frecuencia para los episodios de “Advección desde el Este con DANA” (52,9%), seguidas de los producidos por vaguadas (17,6%) y, por último, por una baja de núcleo frío (16,2%). Grimalt-Gilabert et al. (2021), sin embargo, para episodios con umbral superior a 200 mm/día, para las Islas Baleares, obtuvieron las frecuencias más altas en la baja Dinámica (26,4%), las vaguadas (24,5%), la advección del E con DANA (24,5%), y la advección desde el NE con DANA (11,3%). En otro estudio para las provincias costeras de Cataluña, en el NE de la península ibérica, se analizaron 304 días con un umbral de 100 mm/día o más (1950-2005), y se identificaron los 7 patrones más frecuentes mediante Análisis de Componentes Principales, entre los que destacan la baja débil de núcleo frío al E, una situación de bloqueo al SE y advección desde el SE, con diferencias respecto al sureste Martín-Vide et al. (2008). En el caso concreto de la Comunitat Valenciana (provincias de Alicante, Valencia y Castellón), un estudio de Martín-Vide (2002) analiza 25 días con precipitaciones superiores o iguales a 200 mm/día (1975-1990), utilizando la clasificación automática de Jenkinson y Collison. El autor concluye que el 56% de los episodios son de tipo ciclónico puro. En la región de Cataluña, el estudio de Gilabert y Llasat (2018) analiza 261 episodios de inundaciones, en el periodo 1900-2010, e identifica 22 tipos sinópticos donde el 45,6% del total de episodios son de tipo ciclónico puro.

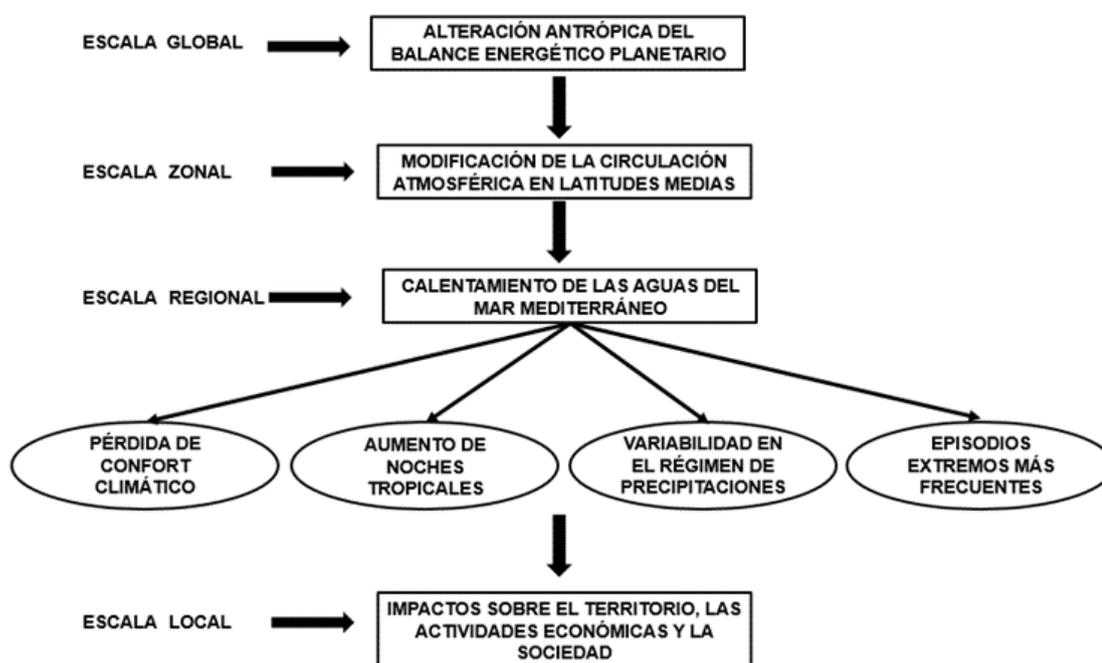
Por otro lado, la mayor presencia de DANAs no justifica exclusivamente ese aumento de las precipitaciones medias en zonas donde predomina el flujo mediterráneo, mientras que están disminuyendo en zonas dependientes del flujo atlántico. Ese incremento parece estar relacionado con una mayor frecuencia de configuraciones sinópticas que dan lugar a una Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) negativa, es decir a situaciones que favorecen un flujo de viento húmedo sobre el litoral mediterráneo, como, por ejemplo, la presencia de altas presiones sobre Centroeuropa (Martín-Vide y López-Bustins, 2006; López-Bustins y Lemus-Cánovas, 2020). En cambio, esa reducción de precipitaciones en la España atlántica, sobre todo en invierno, obedece a una Oscilación del Atlántico Norte positiva, es decir, a la presencia de profundas borrascas sobre Islandia y a un potente anticiclón sobre las Azores que impide la llegada de inestabilidad a la península ibérica (López-Bustins et al., 2008). Este hecho se ha podido comprobar en Andalucía, una región donde existen regiones dependientes del flujo atlántico, regiones donde imperan ambos flujos y regiones exclusivamente mediterráneas (Halifa-Marín et al., 2021; Hidalgo-Muñoz et al., 2011), pero también en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Gómez et al., 2018).

Hay que tener en cuenta para esta variable el papel que vuelve a jugar un mediterráneo cada vez más cálido, ya que aumentaría las entradas de humedad bajo las trayectorias de advección sobre esta zona y podría provocar un aumento de las precipitaciones convectivas (Llasat et al., 2021). De hecho, son varios los estudios centrados en comprobar esa relación entre un mayor aumento

de nubosidad y precipitaciones con las variaciones de las temperaturas superficiales del mar Mediterráneo (Desbiolles *et al.*, 2021; Berthou *et al.*, 2015; Rainaud *et al.*, 2017).

En este estudio se ha analizado los cambios producidos en las precipitaciones y temperaturas, así como el incremento de los episodios extremos en las últimas décadas en la fachada mediterránea española, como consecuencia del calentamiento climático. De acuerdo con la literatura reciente esta revisión bibliográfica ha identificado una serie de resultados que ponen en común un aumento de las noches tropicales en el litoral mediterráneo, y cómo este hecho está afectando a la pérdida de confort térmico, el incremento de las precipitaciones intensas en algunas áreas concretas y una mayor recurrencia de fenómenos extremos. A consecuencia de ello, se está produciendo un impacto sobre el territorio, las actividades económicas y la sociedad, en general (Figura 7).

Figura 7. Alteración “mediterránea” de los elementos climáticos en el proceso actual de cambio climático en la fachada este de España.



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, aún siguen existiendo puntos de debate entornos a algunas cuestiones, como el posible papel que puede jugar un mar Mediterráneo cada vez más cálido en las precipitaciones y en las temperaturas, es decir, hasta qué punto podíamos hablar de una mediterraneización del área de estudio, y si esos cambios constatados pueden ser debidos a cambios en la circulación atmosférica, o a otros factores ajenos a este mar. Los autores de este manuscrito reconocemos las limitaciones de nuestros resultados debido principalmente a la falta de estudios que integren a todo el litoral mediterráneo de la península ibérica en su conjunto a la hora de analizar las diferentes variables, y a la falta de explicaciones acerca de las causas que explican los cambios en temperaturas y precipitaciones, lo que dificulta la extracción de conclusiones globales y la relación causa-efecto. En el estado actual, identificamos que el conocimiento debe de ser mejorado en seguir estudiando la relación que tiene el mar Mediterráneo sobre el clima de la península ibérica, y como los cambios futuros que puede haber en él pueden condicionar las condiciones climáticas futuras.

## Bibliografía

- AEMET (2020). Proyecciones climáticas para el siglo XXI en España. En: *Agencia Estatal de Meteorología*. Recuperado de: [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat)
- AEMET (2022a). Informe sobre el estado del clima en España 2021. Resumen ejecutivo. Recuperado de: [https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/Informes\\_estado\\_clima/Resumen\\_ejecutivo\\_informe\\_clima\\_2021.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Informes_estado_clima/Resumen_ejecutivo_informe_clima_2021.pdf)
- AEMET (2022b). Avance climatológico mensual. Julio de 2022 en Illes Balears. En: *Agencia Estatal de Meteorología*. Recuperado de: [https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes\\_climat/ccaa/illes-balears/avance\\_climat\\_bal\\_jul\\_2022.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/ccaa/illes-balears/avance_climat_bal_jul_2022.pdf)
- AEMET (2022c). Avance climatológico de agosto de 2022 en la Comunitat Valenciana. En: *Agencia Estatal de Meteorología*. Recuperado de: [https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes\\_climat/ccaa/comunitat-valenciana/avance\\_climat\\_val\\_ago\\_2022.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/ccaa/comunitat-valenciana/avance_climat_val_ago_2022.pdf)
- Alcoforado, M.J., Andrade, H. (2008). Global Warming and the Urban Heat Island. En: J.M. Marzluff, E. Shulenberg, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, & C. Zumbunnen. *Urban Ecology* (pp. 249-262). Boston, EEUU: Springer. doi: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_14)
- Amarouche, K., & Akpınar, A. (2021). Increasing Trend on Storm Wave Intensity in the Western Mediterranean. *Climate*, 9(1), 11, 17 pp. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/cli9010011>
- Amengual, A., Homar, V., Romero, R., Brooks, H.E., Ramis, C., Gordaliza, M. & Alonso, S. (2014). Projections of heat waves with high impact on human health in Europe. *Global and Planetary Change*, 119, pp.71-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.006>
- Bailey, H., Hubbard, A., Klein, E.S., Mustone, K.R., Akers, P.D., Marttila, H. & Welker, J.F. (2021). Arctic sea-ice loss fuels extreme European snowfall. *Nature Geoscience* 14, pp. 283-288. doi:<https://doi.org/10.1038/s41561-021-00719-y>
- Barrera-Escoda, A., Gonçalves, M., Guerreiro, D., Cunillera, J. & Baldasano, JM. (2014). Projections of temperature and precipitation extremes in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050). *Climatic Change*, 122(4), pp. 567-582. doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1027-6>
- Berthou, S., Mailler, S., Drobinski, P., Arsouze, T., Bastin, S., Béranger, K., Flaounas, E., Brossier, C.L., Somot, S. & Stéfanon, M. (2016). Influence of submonthly air-sea coupling on heavy precipitation events in the Western Mediterranean basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142, pp. 453-471. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.2717>
- Brunet, M., Jones, P. D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., Della-Marta, P. M., Lister, D., Walther, A., & López, D. (2007). Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. *Journal of Geophysical Research*, 112, D12117. doi:10.1029/2006JD008249
- CEAM (2022). *Informe TSM del Mediterráneo (Verano 2022)*. Departamento de Meteorología y Dinámica de Contaminantes. Fundación CEAM. doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12902.91200>
- CEAM (2023). Mediterranean Sea Surface Temperature Trend. En *Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo*. Recuperado de: <http://www.ceam.es/ceamet/SST/SST-trend.html>
- CEDEX (2021). *Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España*, Madrid. Centro de Estudios Hidrográficos, pp. 404. Recuperado de: [https://ceh.cedex.es/web\\_ceh\\_2018/Imp\\_CClimatico\\_Pmax.htm](https://ceh.cedex.es/web_ceh_2018/Imp_CClimatico_Pmax.htm)
- Chazarra-Bernabé, A., Lorenzo-Mariño, B., Rodríguez-Ballesteros, C. & Botey Fullat, R. (2020). *Análisis de las temperaturas en España en el periodo 1961-2018. Volumen 2. Series de temperaturas medias en España a partir de estaciones de referencia (nota técnica 31.2 de AEMET)*. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología. doi: <https://dx.doi.org/10.31978/666-20-004-X>
- Chazarra Bernabé, A., Lorenzo Mariño, B., Romero Fresneda, R. & Moreno García, J.V. (2022). Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020. *Notas técnicas de AEMET*, 37. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología. doi: <https://doi.org/10.31978/666-22-011-4>
- Ciscar, J.C., Feyen, L., Ibarreta, D., & Soria, A. (Coords.) (2018). *Climate impacts in Europe Final report of the JRC PESETA III Project*. European Commission. doi: <https://doi.org/10.2760/93257>
- Cohen, J., Zhang, X., Francis, J., Jung, T., Kwok, R., Overland, J., Ballinger, T.J., Bhatt, U.S., Chen, H.W., Coumou, D., Feldstein, S., Gu, H., Handorf, D., Henderson, G., Ionita, M., Kretschmer, M., Laliberte, F., Lee, S., Linderholm,

- H.W., ... Yoon, J. (2018). Divergent consensus on Arctic amplification influence on midlatitude severe winter weather. *Nature Climate Change*, 10, pp. 20–29 (2020). doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0662-y>
- Consorcio de Compensación de Seguros (2023). *Estadística Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2021*. Madrid: Consorcio de Compensación de Seguros. Recuperado de: [https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/44193/Estadistica\\_Riesgos\\_Extraordinarios\\_1971\\_2014/14ca6778-2081-4060-a86d-728d9a17c522](https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/44193/Estadistica_Riesgos_Extraordinarios_1971_2014/14ca6778-2081-4060-a86d-728d9a17c522)
  - Coumou, D., Di Capua, G., Vavrus, S., Wang, L. & Wang, S. (2018). The influence of Arctic amplification on mid-latitude summer circulation. *Nature Communications*, 9, 2959. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05256-8>
  - Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N. & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8, pp. 972-980, doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
  - Cresswell-Clay, N., Ummenhofer, C.C., Thatcher, D.L., Wanamaker, A.D., Rhawn, F.D., Asmeron, Y. & Polyak V.J. (2022). Twentieth-century Azores High expansion unprecedented in the past 1,200 years. *Nature Geoscience*, 15, pp. 548–553. doi: <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00971-w>
  - De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Longares, L.A. & Martin-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946–2005, *Global and Planetary Change*, 74, pp. 27-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.06.006>
  - Del Río, S., Cano-Ortiz, A., Herrero, L. & Penas, A. (2012). Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1961–2006). *Theoretical and Applied Climatology*, 109, pp. 605–626. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0593-2>
  - Deng K., Ting M., Yang S. & Tan Y. (2018). Increased Frequency of Summer Extreme Heat Waves over Texas Area Tied to the Amplification of Pacific Zonal SST Gradient. *Journal of Climate*, 31, pp. 5629-5647. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0554.1>
  - Desbiolles, F., Alberti, M., Hamouda, M. E., Meroni, A. N., & Pasquero, C. (2021). Links between sea surface temperature structures, clouds and rainfall: Study case of the Mediterranean Sea. *Geophysical Research Letters*, 48(10), e2020GL091839. doi: <https://doi.org/10.1029/2020GL091839>
  - Efthymiadis, D.; Goodess, C.M. & Jones, P.D. (2011). Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and large-scale circulation influences. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, pp. 2199–2214. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2199-2011>
  - El Kenawy, A., López-Moreno, J. I., & Vicente-Serrano, S. M. (2011). Recent trends in daily temperature extremes over northeastern Spain (1960–2006), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, pp. 2583–2603. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2583-2011>
  - Espín Sánchez, D. (2017). Superación de umbrales meteorológicos, con tendencia cambiante de los valores extremos. In C. Conesa García & P. Pérez Cutillas (Eds.), *Riesgos Ambientales en la Región de Murcia* (pp. 59-84). Murcia, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Recuperado de: <https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Umbrales-Murcia.pdf>
  - Espín-Sánchez, D., Olcina-Cantos, J., & Conesa-García, C. (2023). Temporal Changes in Tourists' Climate-Based Comfort in the Southeastern Coastal Region of Spain. *Climate*, 11(11), 230. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/cli11110230>
  - Francis, F.A. & Vavrus, S.J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes, *Geophysical Research Letters*, vol. 39, L06801, doi: <https://doi.org/10.1029/2012GL051000>
  - Gilabert, J. & Llasat, M.C. (2018). Circulation weather types associated with extreme flood events in Northwestern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 38, 1864-1876. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5301>
  - Ginés Llorens, F. (2013). *Olas de aire frío y temporales de nieve en Castellón*. Universitat Jaume I. 45 pp. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10234/63270>
  - Gómez-Martínez, G., Pérez-Martín, M. A., Estrela-Monreal, T., & del-Amo, P. (2018). North Atlantic oscillation as a cause of the hydrological changes in the Mediterranean (Júcar River, Spain). *Water Resources Management*, 32, pp. 2717-2734. doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1954-0>
  - Greve, P., Gudmundsson, L., and Seneviratne, S. I. (2018). Regional scaling of annual mean precipitation and water availability with global temperature change, *Earth System Dynamics*, 9, pp. 227–240. doi: <https://doi.org/10.5194/esd-9-227-2018>
  - Grimalt-Gelabert, M.; Alomar-Garau, G.; Martin-Vide, J. (2021). Synoptic Causes of Torrential Rainfall in the Balearic Islands (1941–2010). *Atmosphere*, 12, 1035. <https://doi.org/10.3390/atmos12081035>

- Guijarro, J.A. (2002). Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. En Guijarro Pastor, J.A. (Ed.). *El agua y el clima* (pp. 237-246). Madrid, Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9143>
- Halifa-Marín, A., Lorente-Plazas, R., Pravia-Sarabia, E., Montávez, J. P., & Jiménez-Guerrero, P. (2021). Atlantic and Mediterranean influence promoting an abrupt change in winter precipitation over the southern Iberian Peninsula. *Atmospheric Research*, 253, 105485. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105485>
- Ham, YG. & Na, HY. (2017). Marginal Sea Surface Temperature Variation as a Pre-Cursor of Heat Waves over the Korean Peninsula. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 53(4), pp. 445-455. doi: <https://doi.org/10.1007/s13143-017-0047-y>
- Hatfield, J.L. & Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, pp. 4-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hausfather, Z. (2018). Explainer: What climate models tell us about future rainfall. En *Carbon Brief*. Retrieved from: <https://www.carbonbrief.org/explainer-what-climate-models-tell-us-about-future-rainfall/>
- Hertig, E., Seubert, S. & Jacobeit, J. (2010). Temperature extremes in the Mediterranean area: Trends in the past and assessments for the future. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, pp. 2039–2050. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-2039-2010>
- Hidalgo-Muñoz, J. M., Argüeso, D., Gámiz-Fortis, S. R., Esteban-Parra, M. J., & Castro-Díez, Y. (2011). Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), pp. 497-511. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.049>
- Homar, V., Ramis, C., Romero, R. & Alonso, S. (2010). Recent trends in temperature and precipitation over the Balearic Islands (Spain). *Climatic Change*, 98, pp. 199–211. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9664-5>
- IPCC (2014). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- IPCC (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. En T. W. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor (Ed.), *Summary for Policymakers*, (pp. 3–24). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- IPCC (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. In press. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- IPCC (2021). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis*. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)
- IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Recuperado de: [https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf)
- Jansà, A., Homar, V., Romero, R., Alonso, S., Guijarro, J.A. & Ramis, C. (2017). Extension of summer climatic conditions into spring in the Western Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 37, pp. 1938-1950. <https://doi.org/10.1002/joc.4824>
- Jansà Clar, A. (2018). Temporal mediterráneo de lluvia, nieve y viento (Ene 2017). Santos Burguete, Carlos (ed.), *Física del caos en la predicción meteorológica* (pp. 795-803). Madrid, España: Agencia Estatal de Meteorología. doi: <https://dx.doi.org/10.31978/014-18-009-X.52>
- Katavoutas, G. & Founda, D. (2019). Intensification of thermal risk in Mediterranean climates: evidence from the comparison of rational and simple indices. *International Journal of Biometeorology*, 63, pp. 1251–1264. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01742-w>
- Katz, RW & Brown, BG. (1992). Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21, pp. 289-302. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00139728>
- Keellings, D. & Waylen, P. (2012). The stochastic properties of high daily maximum temperatures applying crossing theory to modelling high-temperature event variables. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, pp. 579-590. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0553-2>

- Kim, B.M., Son, S.W., Min, S.K., Jeong, J.H., Kim, S.J., Zhang, X., Shim, T. & Yoon, J.H. (2014). Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss. *Nature Communications*, 5, 4646. doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms5646>
- Izquierdo-Muñoz, A., Rubio-Portillo, E. & Ramos-Esplá A.A. (2019). “Monitoring Tropical Signals in the Tabarca Island MPA. Anthozoans as global warming indicators.” Conference Abstract: XX Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM XX). Braga, 9-12 de septiembre. doi: [10.3389/conf.fmars.2019.08.00124](https://doi.org/10.3389/conf.fmars.2019.08.00124)
- Llasat, M. C., del Moral, A., Cortès, M., & Rigo, T. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 257, 105581. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105581>
- Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., & Sanchez-Lorenzo, A. (2008). Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 171-176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.002>
- Lopez-Bustins, J. A., & Lemus-Canovas, M. (2020). The influence of the Western Mediterranean Oscillation upon the spatio-temporal variability of precipitation over Catalonia (northeastern of the Iberian Peninsula). *Atmospheric Research*, 236, 104819. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104819>
- López García, M. J. (2015). Recent warming in the Balearic Sea and Spanish Mediterranean coast. Towards an earlier and longer summer. *Atmósfera*, 28(3), pp. 149-160. doi: <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.01>
- Makris, C. V., Tolika, K., Baltikas, V. N., Velikou, K., & Krestenitis, Y. N. (2023). The impact of climate change on the storm surges of the Mediterranean Sea: Coastal sea level responses to deep depression atmospheric systems. *Ocean Modelling*, 181, 102149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2022.102149>
- Martín León, F. (2018). Analizando el concepto de noche tropical. En *Revista del Aficionado a la Meteorología*, Recuperado de: <https://www.tiempo.com/ram/449791/analizando-el-concepto-de-noche-tropical/>
- Martín León, F. (2019). “Los inviernos serán más cálidos, pero también con irrupciones más frías”. *Revista del Aficionado a la Meteorología*. Recuperado de: <https://www.tiempo.com/ram/507091/los-inviernos-seran-mas-calidos-pero-tambien-con-irrupciones-mas-frias/>
- Martín-Vide, J. (2002). Aplicación de la clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison a días de precipitación torrencial en el este de España. In *La información climática como herramienta de gestión ambiental bases de datos y tratamiento de series climatológicas: Reunión Nacional de Climatología (7th 2002 Albarracín, España)* (pp. 123-128).
- Martin-Vide, J., & Lopez-Bustins, J. A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26(11), pp. 1455-1475. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.1388>
- Martin-Vide, J., Sanchez-Lorenzo, A., Lopez-Bustins, J. A., Cordobilla, M. J., Garcia-Manuel, A. and Raso, J. M. (2008). Torrential rainfall in northeast of the Iberian Peninsula: synoptic patterns and WeMO influence. *Advances in Science and Research*, 2, pp. 99-105. doi: <https://doi.org/10.5194/asr-2-99-2008>
- Martín-Vide, J., Moreno-García, M. C. and López-Bustins, J. A. (2021). Synoptic causes of torrential rainfall in south-eastern Spain (1941-2017). *Geographical Research Letters*, 47(1), pp. 143-162. doi: <https://doi.org/10.18172/cig.4696>
- Martínez Ibarra, E. (2010). “Análisis de las nevadas acontecidas en la costa de la región natural del SE ibérico durante el periodo 1900-2009”. En *Clima, ciudad y ecosistemas: ponencias y conferencias invitadas al VII Coloquio de la Asociación Española de Climatología* (pp. 199-208). Actas del VII Coloquio de la Asociación Española de Climatología, Madrid, 24-26 de noviembre de 2010. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/8519>
- Masterton, J. M., & Richardson, F. A. (1979). *Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity*. Downsview, Canada: Environment Canada.
- MedECC (2020). *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report* [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France. doi: [10.5281/zenodo.4768833](https://doi.org/10.5281/zenodo.4768833)
- Michaelides, S., Karacostas, T., Sánchez, J L., Retalis, A., Pytharoulis, I., Homar, V., Romero, R., Zanis, P., Giannakopoulos, C., Bühl, J., Ansmann, A., Merino, A., Melcón, P., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bruggeman, A., López-Moreno, JI., Berthet, C., Katragkou, E., Tymvios, F., Hadjimitsis, DG., Mamouri, RE., & Nisantzi, A. (2018). Reviews and perspectives of high impact atmospheric processes in the Mediterranean. *Atmospheric Research*, 208, pp. 4-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.022>
- Ministerios de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2023). Oceanografía. En *Puertos del Estado*. Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

- Miró, J.J.; Estrela, M.J. & Millán, M. (2006). Summer temperature trends in mediterranean area (Valencia region). *International Journal of Climatology*, 2, pp.1051–1073. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.1297>
- Miró, J. (2014). *Downscaling estadístico de series climáticas mediante redes neuronales: reconstrucción en alta resolución de la temperatura diaria para la Comunidad Valenciana. Interpolación espacial y análisis de tendencias (1948-2011)* (Tesis doctoral). Universidad de Alicante, Alicante. Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/36538>
- Miró, J. J., Estrela, M. J., Caselles, V., & Gómez, I. (2018). Spatial and temporal rainfall changes in the Júcar and Segura basins (1955–2016): Fine-scale trends. *International Journal of Climatology*, 38(13), 4699–4722. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5689>
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Olcina-Cantos, J. & Martin-Vide, J. (2021). Future Projection of Precipitation Changes in the Júcar and Segura River Basins (Iberian Peninsula) by CMIP5 GCMs Local Downscaling. *Atmosphere*, 12, 879. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos12070879>
- Miró, J. J., Lemus-Canovas, M., Serrano-Notivoli, R., Olcina Cantos, J., Estrela, M. J., Martin-Vide, J., Sarricolea, P. and Meseguer-Ruiz, O. (2022). A component-based approximation for trend detection of intense rainfall in the Spanish Mediterranean coast. *Weather and Climate Extremes*, 38(100513). doi: <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2022.100513>
- Moutahir, H., de Luis, M., Serrano-Notivoli, R., Touhami, I., & Bellot, J. (2014). Analisis de los eventos climáticos extremos en la provincia de Alicante, Sureste de España. *Cambio Climático y Cambio Global*, 9(October), pp.457-466. doi: <https://doi.org/10.13140/2.1.1999.4564>
- Muñoz, C., Schultz, D. & Vaughan, G. (2020). A Midlatitude Climatology and Interannual Variability of 200- and 500-hPa Cut-Off Lows. *Journal of Climate*, 33 (6), pp. 2201-2222. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0497.1>
- Núñez Mora, J.A. (2020). Noches muy cálidas en las ciudades mediterráneas. En *AemetBlog*. Recuperado de: <https://aemetblog.es/2020/07/03/noches-muy-calidas-en-las-ciudades-mediterraneas/>
- Olcina Cantos, J. y Vera Rebollo, J.F. (2016). Adaptación del sector turístico al cambio climático en España. La importancia de las acciones a escala local y en empresas turísticas. *Anales de Geografía*, 36 (2), pp. 321-352. <https://doi.org/10.5209/AGUC.53588>
- Olcina Cantos, J., & Miró Pérez, J.J. (2017). *Actividad turística y cambio climático en la Comunidad Valenciana*. Alicante: Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Investigaciones Turísticas; Valencia: Agència Valenciana del Turisme. doi: <http://dx.doi.org/10.14198/2017-Actividad-Turistica-ComValenciana>
- Olcina Cantos, J., & Biener Camacho, S. (2019). ¿Está cambiando el clima valenciano? Realidades e incertidumbres. In J. Olcina & E. Moltó (Eds.), *Climas y tiempos del País Valenciano* (pp. 162- 170). Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante.
- Olcina-Cantos, J.; Serrano-Notivoli R.; Miró J.; Meseguer-Ruiz O. (2019). Tropical nights on the Spanish Mediterranean coast, 1950-2014. *Climate Research* 78 (3), pp. 225-236. doi: <https://doi.org/10.3354/cr01569>
- Olcina-Cantos, J. (2020). Clima, canvi climàtic i riscos climàtics al litoral mediterrani. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 66, pp. 159-182, Recuperado de: <https://raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/view/373299>
- Oriá Iriarte, P. (2019). Extremos climáticos relacionados con la precipitación durante los últimos 50 años en España: Evolución de las distribuciones y tendencias. En: *AemetBlog*. Recuperado de: <https://aemetblog.es/2019/07/06/extremos-climaticos-relacionados-con-la-precipitacion-durante-los-ultimos-50-anos-en-espana-evolucion-de-las-distribuciones-y-tendencias/>
- Oriá Iriarte, P. (2020). ¿Ha sido Gloria la mayor borrasca mediterránea de los últimos tiempos? *Selección del blog de AEMET 2020*. p. 35-44. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/12832>
- Oriá Iriarte, P. (2021). ¿Está aumentando la frecuencia o la intensidad de las precipitaciones extremas en el Mediterráneo? *Calendario Meteorológico 2021*. AEMET. Recuperado de: <https://aemetblog.es/2021/05/02/esta-aumentando-la-frecuencia-o-la-intensidad-de-las-precipitaciones-extremas-en-el-mediterraneo/>
- Ostro, B., Barrera-Gómez, J., Ballester, J., Basañaga, X. & Sunyer, J. (2012). The impact of future summer temperature on public health in Barcelona and Catalonia, Spain. *International Journal of Biometeorology*, 56, pp. 1135–1144. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0529-7>
- Pastor, F., Valiente, J.A. & Palau, J.L. (2017). Sea surface temperature in the Mediterranean climatology, trends and spatial patterns (1982–2016). *Pure and Applied Geophysics*, 175, pp. 4017–4029. doi: <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1739-z>

- Peñarrocha, D., Estrela, M. J., & Millán, M. (2002). Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with ex-treme intensity levels: The Valencia region. *International Journal of Climatology*, 22, pp. 677–695. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.747>
- Perkins-Kirkpatrick, SE. & Gibson, PB. (2017). Changes in regional heatwave characteristics as a function of increasing global temperature. *Scientific Reports* 7, 12256. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12520-2>
- Piccarreta, M., Lazzari, M. and Pasini, A. (2015). Trends in daily temperature extremes over the Basilicata region (southern Italy) from 1951 to 2010 in a Mediterranean climatic context. *International Journal of Climatology*, 35, pp. 1964–1975. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4101>
- Piticar, A. (2018). Changes in heat waves in Chile. *Global and Planetary Change*, 169, pp. 234–246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.08.007>
- Pradhan, P., Seydewitz, T., Zhou, B., Lüdeke, M. K., & Kropp, J. P. (2022). Climate extremes are becoming more frequent, co-occurring, and persistent in Europe. *Anthropocene Science*, 1(2), 264–277. doi: <https://doi.org/10.1007/s44177-022-00022-4>
- Purich, A., Cowan, T., Cai, W., van Rensch, P., Uotila, P., Pezza, A., Bosch, G. & Perkins, S. (2014). Atmospheric and Oceanic Conditions Associated with Southern Australian Heat Waves: A CMIP5 Analysis. *Journal of Climate*, 27, pp. 7807–7829. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00098.1>
- Quereda-Sala, J., Gil-Olcina, A., Pérez-Cueva, A., Olcina-Cantos, J., Rico-Amorós, A. & Montón Chiva, E. (2000). Climatic warming in the Spanish Mediterranean: natural trend or urban effect. *Climatic Change* 46, pp. 473–483. doi: <http://doi.org/10.1023/A:1005688608044>
- Rainaud, R., Brossier, C. L., Ducrocq, V., & Giordani, H. (2017). High-resolution air–sea coupling impact on two heavy precipitation events in the Western Mediterranean. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143(707), pp. 2448–2462. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3098>
- Ramos, M.C., Balasch, J.C. & Martínez-Casasnovas, J.A. (2012). Seasonal temperature and precipitation variability during the last 60 years in a Mediterranean climate area of Northeastern Spain: a multivariate analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 110, pp. 35–53. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0608-z>
- Roldán, E., Gómez, M., Pino, M. R., Pórtoles, J., Linares, C., & Díaz, J. (2016). The effect of climate-change-related heat waves on mortality in Spain: uncertainties in health on a local scale. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 30, pp. 831–839. doi: <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1068-7>
- Romero Fresneda, R., Moreno García, J.V., Martínez Núñez, L., Huarte Ituláin, M.T., Rodríguez Ballesteros, C. & Botey Fullat, R. (2020). Comportamiento de las precipitaciones en España y Periodos de sequía (Periodo 1961–2018). *Nota técnica 32 de AEMET*. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología. doi: <https://dx.doi.org/10.31978/666-20-006-0>
- Royé, D., & Martí Ezpeleta, A. (2015). Analysis of tropical nights on the Atlantic coast of the Iberian peninsula. A proposed methodology. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, 69. Recuperado de: <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1923/1839>
- Royé, D. (2017). The effects of hot nights on mortality in Barcelona, Spain. *International Journal of Biometeorology*, 61, pp. 2127–2140. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1416-z>
- Royé, D., Sera, F., Tobías, A., Lowe, R., Gasparrini, A., Pascal, M., de'Donato, F., Nunes, B. & Teixeira, JP. (2021). Effects of Hot Nights on Mortality in Southern Europe. *Epidemiology*, 32(4), pp. 487–498. doi: 10.1097/EDE.0000000000001359
- Ruiz Álvarez, V., Belmonte Serrato, F., García Marín, R. & Ruiz Álvarez, M. (2016). Análisis y evolución temporal de las secuencias pluviométricas secas de larga duración en la Región de Murcia (1864– 2015). En *X Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 335–344). Alicante: Universidad de Alicante. Instituto Interuniversitario de Geografía. Recuperado de: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/57999/1/2016\\_X-Congreso-AEC-Alicante\\_31.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/57999/1/2016_X-Congreso-AEC-Alicante_31.pdf)
- Sánchez-Almodóvar, E. (2022). Análisis de eventos extremos de precipitación en la provincia de Alicante (1981–2020). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 94, pp. 39. doi: <https://doi.org/10.21138/bage.3325>
- Sanchez-Lorenzo, A., Pereira, P., Lopez-Bustins, J.A., & Lolis, C.J. (2011). Summer night-time temperature trends on the Iberian Peninsula and their connection with large-scale atmospheric circulation patterns. *International Journal of Climatology*, 32, pp. 1326–1335. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.2354>
- Santana-Garcon, J., Bennett, S., Marbà, N., Vergés, A., Arthur, R. & Alcoverro, T. (2023). Tropicalization shifts herbivore pressure from seagrass to rocky reef communities. *Proceedings of the Royal Society B*, 290(1990), 11 pp. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1744>

- Santos, J.A., Pfahl, S., Pinto, J.G. & Wernli, H. (2015). Mechanisms underlying temperature extremes in Iberia: a Lagrangian perspective. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 67(1), 26032. doi: 10.3402/tellusa.v67.26032
- Sanz, M.J., & Galán, E. (2021). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de: [https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/impactosyriesgoscespanawebfinal\\_tcm30-518210\\_0.pdf](https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/impactosyriesgoscespanawebfinal_tcm30-518210_0.pdf)
- Saurí, D., Olcina, J., March, H., Martín-Vide, J., Vera, F., Padilla, E. & Serra-Llobet, A. (2011). Case Study Mediterranean Coast of Spain. En: *Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies*. Applied research project 2012/1/4. Final Report. Annex 4. Recuperado de: <https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/Final%20Report%20Case%20Study%20Spain.pdf>
- Saurí, D., Olcina, J., Fernando Vera, J., Martín-Vide, J., March, H., Serra-Llobet, A. and Padilla, E. (2013). Tourism, Climate Change and Water Resources: Coastal Mediterranean Spain as an Example. En P. Schmidt-Thomé & S. Greiving (Eds.), *European Climate Vulnerabilities and Adaptation: A spatial planning perspective* (pp. 231-252)-Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118474822.ch13>
- Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M. A. y De Luis, M. (2018). Recent trends reveal decreasing intensity of daily precipitation in Spain. *International Journal of Climatology*, 38, pp. 4211-4224. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5562>
- Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M. & Nanni, T. (2014) Increasingly warm summers in the Euro-Mediterranean zone: mean temperatures and extremes. *Regional Environmental Change*, 14, pp. 1825-1832. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0373-7>
- SOCIB (2023). Sub-regional Mediterranean Sea Indicators. En *Sistema de Observación y Predicción Costero de las Illes Balears*. Recuperado de: [https://apps.socib.es/subregmed-indicators/ocean\\_temperature.htm](https://apps.socib.es/subregmed-indicators/ocean_temperature.htm)
- Steiner, A. K., Ladstädter, F., Randel, W. J., Maycock, A. C., Fu, Q., Claud, C., Gleisner, H., Haimberger, L., Ho, S.P., Keckhut, P., Leblanc, T., Mears, C., Polvani, L.M., Santer, B.D., Schimdt, T., Sofieva, V., Wing, R. & Zou, C. Z. (2020). Observed temperature changes in the troposphere and stratosphere from 1979 to 2018. *Journal of Climate*, 33(19), pp. 8165-8194. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0998.1>
- Stendel, M., Francis, J., White, R., Williams, P. D., & Woollings, T. (2021). The jet stream and climate change. En T.M. Letcher (Ed.), *Climate change: Observed Impacts on Planet Earth, Third Edition* (pp. 327-357). Amsterdam, Países Bajos: Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109008>
- Sumner, G.N., Romero, R., Homar, V., Ramis, C., Alonso, S. & Zorita, E. (2003). An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century. *Climate Dynamics*, 20, pp. 789-805. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0307-7>
- Teichmann, C., Bülow, K., Otto, J., Pfeifer, S., Rechid, D., Sieck, K. & Jacob, D. (2018). Avoiding Extremes: Benefits of Staying below +1.5°C Compared to +2.0° C and +3.0°C Global Warming. *Atmosphere*, 9, 115. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos9040115>
- Tsikliras A.C. & Stergiou, K.I. (2014) Mean temperature of the catch increases quickly in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 515, pp. 281-284. doi: <https://doi.org/10.3354/meps11005>
- Tian, J., Liu, J., Wang, J., Li, C., Nie, H., Yu, F. (2017). Trend analysis of temperature and precipitation extremes in major grain producing area of China. *International Journal of Climatology*, 37(2), pp. 672-687. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4732>
- Valdes-Abellan, J., Pardo, M.A. and Tenza-Abril, A.J. (2017). Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *International Journal of Climatology*, 37, pp. 1285-1296. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4984>
- Valdés-Abellán, J. y Úbeda Müller, M. (2020). Revisión de los eventos máximos diarios de precipitación en el dominio climático de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante). In M. I. López-Ortiz & J. (eds. Melgarejo (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 109-126). Universitat d' Alacant. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10045/109017>
- Wang, L., Wang, W.J., Wu, Z., Du, H., Shen, X. & Ma, S. (2018). Spatial and temporal variations of summer hot days and heat waves and their relationships with large-scale atmospheric circulations across Northeast China. *International Journal of Climatology*, 38, (15), pp. 5633-5645. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5768>
- Xoplaki, E., Luterbacher, J., & González-Rouco, J.F. (2006). Mediterranean summer temperature and winter precipitation, large-scale dynamics, trends. *Nuovo Cimento*, 29C, pp. 45-54. doi: 10.1393/ncc/i2005-10220-4

- Ye, L., Yang, G., Van Ranst, E., Tang, H. (2013). Time-series modelling and prediction of global monthly absolute temperature for environmental decision making. *Advances in Atmospheric Sciences*, 30, pp. 382–396. doi: <https://doi.org/10.1007/s00376-012-1252-3>
- Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Fnais, M. & Lelieveld, J. (2016). Projected changes in heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and the Middle East. *Regional Environmental Change*, 16, pp.1863-1876. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0753-2>

## Agradecimientos

Los autores agradecen el trabajo de los revisores de este artículo.

## Contribución de autorías

Los tres autores han contribuido en la conceptualización y metodología del trabajo; en la obtención y análisis de la revisión bibliográfica; redacción de la discusión y conclusiones.

## Financiación

Aquí se especificarán las ayudas y financiación recibidas para la investigación y publicación del trabajo.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# El contexto académico, laboral, personal y de procedencia de los docentes de Educación Primaria y el desarrollo de metodologías activas de aprendizaje geográfico en España

Primary Education teachers' academic, employment, personal and geographical context and the development of active geographical learning methodologies in Spain

JAUME BINIMELIS SEBASTIAN<sup>1</sup>

JOE USHER<sup>2</sup>

PÉTER BAGOLY-SIMÓ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departament de Geografia. Universitat de les Illes Balears (España),

<sup>2</sup>School of STEM Education, Innovation & Global Studies. Dublin City University (Irlanda)

<sup>3</sup>Geographisches Institut. Humboldt-Universität zu Berlin (Alemania)

## Resumen

La geografía ocupa un reducido espacio en el ciclo de Educación Primaria en España. Por esta razón, se ha considerado oportuno llevar a cabo una investigación sobre las características de la enseñanza de la Geografía en los centros docentes de Educación Primaria en nuestro país, a partir de una encuesta con la que se ha constatado la difusión de métodos activos de aprendizaje basados en el trabajo de campo y en el uso del entorno más cercano del discente. La implantación de métodos activos ligados a la localidad y al trabajo de campo, ambas estrategias ligadas a las geografías cotidianas o *ethnogeographies*, no ha alcanzado grandes cotas en España. Su desarrollo está condicionado por la formación en geografía, por el contexto geográfico del centro, por el tipo de centro escolar, por la experiencia docente adquirida e, incluso, por el género (maestras y maestros).

Palabras clave: Educación Primaria; geografía; localidad; trabajo de campo.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.11.29

Aceptado: 2024.03.04

Publicado: 2024.10.02

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Jaume Binimelis Sebastian  
[jaume.binimelis@uib.es](mailto:jaume.binimelis@uib.es)

## Abstract

Geography holds a marginal position within the Primary Education cycle in Spain. This has led to the decision to conduct a study on the characteristics of Geography teaching in Primary Education establishments in our country using a survey that has proved the dissemination of active learning methodologies based on fieldwork and the use of students' immediate environment. The implementation of active methods linked to local area and fieldwork, both strategies that are linked to every day's geographies or ethnogeographies, has not reached large approach dimensions in Spain. Their development is conditional on training in the area of Geography, geographical context, type of school center, acquired teaching experience, and, even, gender (female vs. male teachers).

Keywords: Primary Education; Geography; location; fieldwork.

## 1. Introducción

La geografía actualmente ocupa un rol secundario en la etapa de Educación Primaria en España [también en Educación Secundaria Obligatoria (ESO)] (De Miguel, 2018). El conocimiento geográfico se halla integrado en áreas amplias, de límites etéreos y de denominación cambiante desde la Ley General de Educación (De Miguel, 2022). Con la implementación de la LOMLOE en el curso 2022/23, los contenidos geográficos están inmersos, de nuevo, en la materia llamada *Conocimiento del medio natural, social y cultural*, a la que se dedican 2 horas en primer y tercer ciclo y 3 en segundo ciclo. A la insuficiente presencia de la geografía en Educación Primaria se añade el déficit en la formación recibida por los maestros y maestras en las Facultades de Educación. Desde mediados de los años noventa y, sobre todo, con la implementación de los planes de estudio tras la integración de España en el Espacio Europeo de Educación Superior en el curso académico 2010/2011, la geografía "...apenas adquiere carta de presentación en los planes de estudio del Grado de Educación Primaria...", limitándose considerablemente su presencia en asignaturas de cariz didáctico (Martínez, 2017, 210).

En otros ámbitos académicos la geografía, como tal, es una de las materias que de forma autónoma constituye uno de los ejes del sistema educativo obligatorio, como ocurre en el Reino Unido<sup>1</sup> y en Irlanda, donde también es una asignatura de pleno derecho, en una enseñanza basada en el constructivismo, centrada en el estudiante y que, en parte, se basa en el uso del área local y el trabajo de campo como estrategias del aprendizaje geográfico de los alumnos (Dolan et al., 2014). Se apuesta por una enseñanza basada en el desarrollo de investigaciones escolares (*enquiry*), que ponen el acento en la importancia del aprendizaje basado en la localidad (Milner & Jewson, 2010) en el escenario de las denominadas *children's geographies* (Pike, 2011). Por otro lado, desde un punto de vista teórico, se intenta dotar al trabajo de campo de un marcado carácter social, recomendando a los docentes de geografía la práctica de la *Place based Education* que se inspiró en la educación ecológica y la educación para una comunidad rural (Israel, 2012). Este planteamiento, de raíz anglosajona, liga la enseñanza de la geografía escolar a la reivindicación de las denominadas *ethnogeographies* o geografías cotidianas definidas por Martin (2008) (quién tomó la idea de las *ethnomathematics*) desde la necesidad de una relación dialéctica entre las geografías de los escolares y las ideas clave de las geografías académicas, difícil labor para los responsables docentes. La confrontación entre la geografía de la vida cotidiana y la geografía académica (Catling & Martin, 2011), la elección de conocimientos en la elaboración del currículum escolar (Roberts,

1. Ver la siguiente página web: <https://www.gov.uk/national-curriculum/key-stage-1-and-2>

2014) y el debate sobre el *powerful knowledge* (recordemos el proyecto *Geocapabilities*) (Lambert et al., 2015) manifiestan las dudas que genera, también, esta forma de abordar nuestra disciplina en el ámbito de la Educación Primaria y Secundaria.

Mientras tanto, la investigación didáctica sobre la enseñanza de la geografía en la etapa escolar en España ha suscitado escaso interés entre los especialistas (Sebastià & Tonda, 2011, 2015). En general, son aportaciones que muestran las experiencias adquiridas con el uso de recursos, nuevas tecnologías o técnicas de exploración (destacando los itinerarios didácticos). El trabajo de campo, comprendido de forma clásica, ha generado 95 trabajos académicos en los sucesivos congresos de didáctica de la geografía (españoles o ibéricos) desde 1988 hasta 2016, lo que representa un 10% de las aportaciones realizadas (Mateo, 2019). También, fue línea temática específica en el penúltimo congreso ibérico de Didáctica de la Geografía (Macía et al., 2019) con un conjunto de 16 aportaciones. Por otra parte, en la revista *Didáctica Geográfica*, de largo recorrido, el trabajo de campo y el itinerario didáctico centran el interés de 25 artículos. Solamente 3 trabajos están focalizados en el desarrollo de esa vía de aprendizaje entre alumnado de Educación Primaria (Fernández, 2019; Gómez et al., 2018; Martínez et al., 2016). La mayoría de autorías presentan diseños de salidas de campo a modo de unidad didáctica en espacios de diversa índole. Merecen atención dos propuestas, una en la que se concibe el trabajo de campo “...como una metodología para recopilar datos en el estudio del entorno local...” (Esteves et al., 2019) y la segunda, en la que analiza el uso de los espacios verdes urbanos para el desarrollo de métodos activos de indagación geográfica (Gómez-Gonçalves & Corrochano, 2021). En resumen, con la excepción apuntada, la investigación didáctica sobre el uso del trabajo de campo en la localidad, desde el ámbito geográfico, prácticamente no existe en España. Este se concibe en su acepción más clásica, haciendo hincapié en el diseño de salidas e itinerarios para diferentes niveles educativos, con escasa atención a Educación Primaria. Además, la investigación didáctica española en geografía se focaliza en el desarrollo de propuestas y diseño de vías de aprendizaje o en el análisis de los recursos existentes. En definitiva, no se hallan estudios que analicen cómo los docentes de Educación Primaria abordan en realidad esa enseñanza.

Esa inquietud sí se halla en otros ámbitos, cuyos especialistas se preocupan por asuntos que afectan la enseñanza geográfica en la etapa obligatoria básica de Educación, explorando su mejora con estudios desarrollados en diversos centros docentes, contrastados los resultados con las estadísticas oficiales publicadas (Catling et al., 2007). Se analiza, incluso, la influencia de las experiencias y percepciones previas sobre la geografía en la capacidad o confianza de los futuros maestros para el ejercicio de su docencia (Dolan et al., 2014). La encuesta dirigida a los docentes es el método usado para analizar el estado de la enseñanza de la geografía en la etapa escolar, destacando los trabajos de Usher (2021) en Irlanda y, en otros escenarios más lejanos, como son Japón y China, la encuesta también fue la base con la que se radiografió la situación educativa existente (Shimura, 2015; Xuan, Duan & Sun, 2015).

Usher (2021) desarrolló un trabajo en el que explotó los resultados de una amplia encuesta en la que evalúa el estado de la enseñanza de la geografía en la Educación Primaria, incidiendo en el uso del área local como escenario del aprendizaje, el papel que juega el trabajo de campo y la relación de todo ello con metodologías activas de aprendizaje centradas en el alumno. El trabajo realizado muestra resultados parciales de una encuesta, ya testada en Irlanda, dirigida a docentes de Educación Primaria sobre la enseñanza de la geografía en España.

## 2. Objetivos y método

El objetivo principal de este trabajo ha sido conocer la relación entre el contexto académico, laboral, de procedencia y personal del profesorado de Educación Primaria y la práctica docente utilizada en la enseñanza de la geografía, fijando la mirada en el desarrollo de experiencias en el ámbito del área local, con el uso del trabajo de campo y la exploración de la planificación urbana de la localidad como vías de acercamiento al conocimiento y consolidación de competencias geográficas y espaciales. En realidad, la hipótesis de partida se asienta en la convicción de que existen vínculos entre la formación en geografía del profesorado, su contexto laboral, personal y de ubicación y su compromiso con metodologías activas basadas en el estudio de la localidad desde el desarrollo de actividades ligadas al trabajo de campo. En conjunto, se analiza la incidencia en España de métodos de enseñanza ligados a la experiencia del lugar próximo. Para ello, se utilizó una encuesta ya testada (Usher, 2021) en Irlanda que se dirigió a la práctica totalidad de los docentes de Educación Primaria de España. Su ejecución se ha realizado con las pautas que, a continuación, se indican

### 2.1. Universo y población de la muestra

El profesorado que participó en el estudio forma parte de un muestreo probabilístico (Clemente-Díaz, 1992). Se envió la encuesta a los centros docentes, solicitando a la dirección la participación voluntaria de sus educadores, y se repitió varias veces el proceso hasta obtener el tamaño de la muestra necesario.

El cuestionario fue enviado a 11.806 centros docentes, la práctica totalidad de los que imparten Educación Primaria en España. Las últimas cifras oficiales publicadas del curso 2021/2022 señalan que había un total de 13.905 centros docentes que impartían Educación Primaria (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2021). De estos, la mayoría eran centros de Educación Infantil y Primaria (10 260), otros eran de Educación Primaria y ESO (2083) y finalmente, hay también un grupo que impartía Educación Primaria, ESO y Bachillerato y/o Formación Profesional (1562).

Por otra parte, durante el curso escolar 2021/2022 había en España un total de 545.734 maestras y maestros en centros de Educación Primaria e Infantil (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2021). Sin embargo, en esa cifra quedan contabilizados los docentes de Educación Infantil. La cifra queda reducida a 490.471 si se elimina de ese total 55.263 profesores de centros exclusivamente de Educación Infantil. Aun así, la cifra es menor, porque los centros de Educación Primaria, los de Educación Primaria y ESO y los de Educación Primaria, ESO y Bachillerato y/o FP, pueden impartir también Educación Infantil (muchos de ellos lo hacen).

Se tomó la cifra de 490.741 como el universo de la población y, si se considera un nivel de confianza del 99% y un margen de error del  $\pm 5\%$ , el número de personas que se precisaban para la encuesta eran 663. Se obtuvieron 1.236 respuestas, sin embargo, 105 se descartaron al haber sido respondidas por docentes de Educación Infantil, o especialistas (inglés, música...) y que, en consecuencia, no impartían clases de geografía en la asignatura Ciencias Sociales. Finalmente, fueron 1.141 respuestas válidas, lo que da un margen del error de 3,81%.

## 2.2. Fuentes de información

Para el desarrollo del proyecto, se solicitó al *Registro estatal de centros docentes no universitarios* su base de datos con finalidades de investigación, con sus direcciones postales y electrónicas. En este registro se inscriben todos los centros docentes de titularidad pública, concertada o privada que impartan enseñanzas regladas no universitarias. No obstante, en un número sustancial de centros, la base de datos no incluía las direcciones electrónicas (los centros de Asturias, Cataluña, Galicia, Murcia y La Rioja). En el caso de Cataluña, se pudo acceder al archivo *Centres Educatius de Catalunya* del *Registre de Centres Docents*<sup>2</sup>, de la misma forma que se hizo con los casos de La Rioja<sup>3</sup> y Murcia<sup>4</sup>. En Asturias y Galicia fue imposible obtener una base de datos que permitiera de forma automatizada realizar un listado de distribución. Por ello, se copió, de forma artesanal, la dirección electrónica de una parte sustancial de sus centros docentes de Educación Primaria.

Con la información se organizaron dos listas de distribución. La primera contaba con 9.459 centros docentes de 16 Comunidades Autónomas y de 2 Ciudades Autónomas y una segunda lista se dirigió a los 2.347 centros docentes de Cataluña. En el primer caso, la encuesta fue elaborada en castellano y, en el segundo caso, la encuesta fue hecha en *català*, aunque la información obtenida ha sido trabajada de forma conjunta.

## 2.3. La encuesta

La encuesta consta de 26 preguntas que abarcan diversas características de la labor docente del profesorado en la enseñanza de la geografía en Educación Primaria. Está subdividida en 6 apartados, de naturaleza diversa: *Provincia de localización del centro docente*, *Cuestiones demográficas y formación*, *Tipología de centro docente*, *Currículum de Geografía en Educación Primaria*, *El área local en la enseñanza de la geografía en Educación Primaria*, *Tipos de aprendizaje del alumnado y compromiso docente* (desarrolla los siete ítems que forman parte del test *Student Focused Learning and Engagement Subscale*) (Reddy et al., 2015). La encuesta se emprendió en el mes de abril y la recogida de respuestas duró hasta finales de junio de 2022.

## 2.4. El tratamiento de la información

La base de datos obtenida cuenta con un total de 59.332 datos (1.141 docentes x 52 variables) cuantitativos, además de 6 variables (aquellas en las que el encuestado debe de dar una respuesta alternativa si en la cuestión anterior ha respondido “Otra”) de tipo cualitativo y de más difícil tabulación.

Las réplicas obtenidas en la plataforma de *Google forms* se transformaron en una base de datos formato EXCEL. Parte de ésta fue exportada al programa de tratamiento estadístico SPSS (*IBM SPSS Statistics 27*), con el que hemos obtenido los resultados del estudio.

La cantidad de variables de la encuesta es muy amplia, sin embargo, este trabajo muestra resultados parciales del conjunto de datos obtenidos, al centrarse en algunas variables de la primera (datos demográficos y formación), tercera (tipología del centro docente) y quinta sección (área local y trabajo de campo).

2. Ver la página web: <https://educacio.gencat.cat/ca/serveis-tramits/directoris-centres/>

3. Ver la página web: <https://www.larioja.org/educarioja-centros/es/buscador-centros/mapa-centros>

4. Ver la página web: <http://mapaescolar.murciaeduca.es/mapaescolar/>

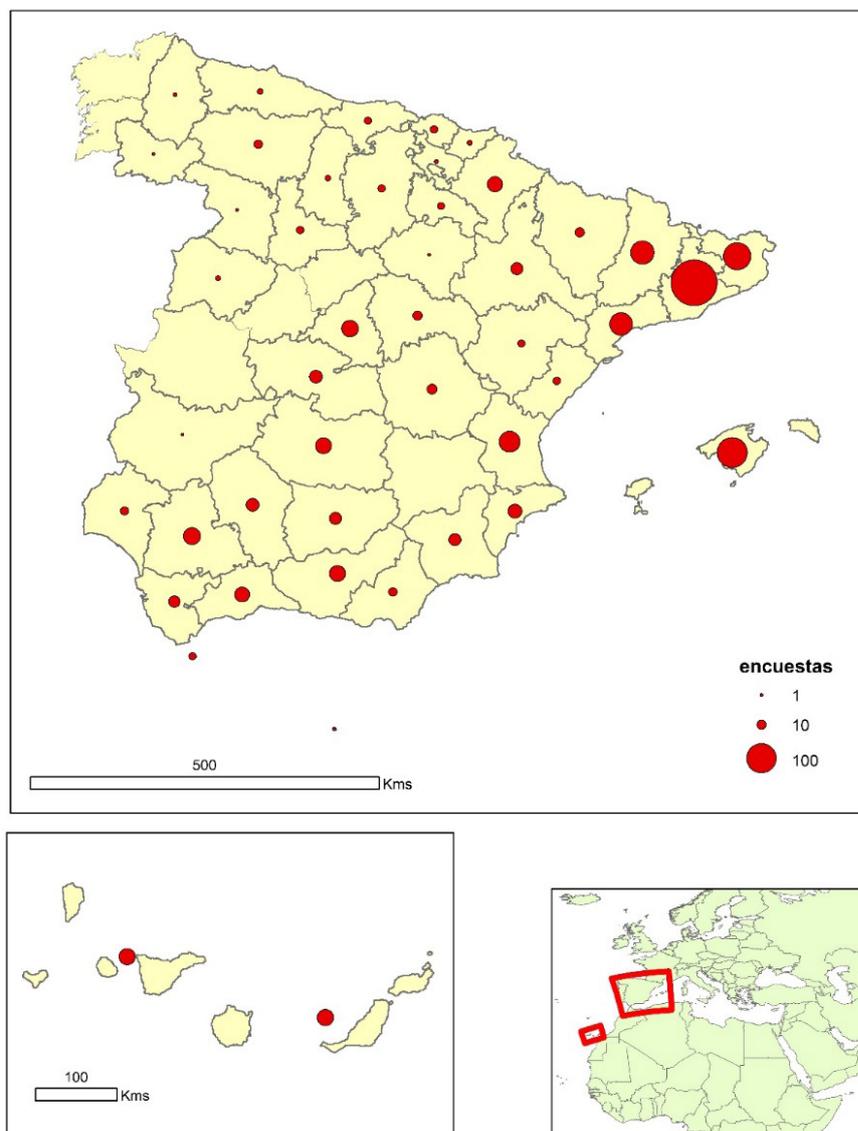
### 3. Resultados obtenidos

#### 3.1. Características de las maestras y maestros consultados

Los encuestados/as son, mayoritariamente, mujeres (73,1%), situándose por encima de los hombres (25,8%). Existe, a su vez, un grupo minoritario que no han querido identificarse con ninguna de las dos opciones (1,1%). La edad de los participantes se concentra en los intervalos de mayor edad, de tal forma que un 72% de los educadores que respondieron a la encuesta tienen más de 40 años. Por otro lado, los participantes acumulan una larga trayectoria en las aulas, con un 77,4% del total con más de 10 años de experiencia y un 41,7% con más de 20 años.

La mayoría de las maestras y maestros enseñan en centros escolares urbanos (76,7%) que son escuelas localizadas en pueblos, cabeceras comarcales o ciudades, mientras que los centros escolares que dan servicio al poblamiento disperso son considerados rurales.

Figura 1. Distribución del número de respuestas según provincia



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

Aunque la encuesta se dirigió a la práctica totalidad de los centros docentes españoles, las respuestas recibidas no se caracterizan por un reparto territorial equilibrado. Hay 23 respuestas en las que no figura la provincia de procedencia de los participantes lo que representa un exiguo 2%. En general, provienen fundamentalmente de Cataluña (457 respuestas, que equivalen a un 40%) e Islas Baleares (107 respuestas, que equivalen a un 9,4%). Tras las cuatro provincias del *Principat e Illes Balears* se sitúa Valencia, con 52 respuestas. Las otras provincias no alcanzan la cifra de 35 respuestas, destacando Sevilla con 34, Madrid con 33 y Navarra con 27. Con un moderado número de réplicas se sitúan las otras provincias andaluzas, las canarias, algunas castellano-manchegas y las aragonesas. La respuesta es muy baja en el resto del territorio español, habiendo provincias con una sola encuesta como son Badajoz, Zamora, Orense y Soria. E, incluso, sin ninguna respuesta, como Cáceres, Albacete, La Coruña, Pontevedra, Segovia y Ávila. Los centros escolares gallegos, extremeños y, en general, los castellanos son los peor representados. En el caso gallego, la dificultad para tener acceso a un listado digital de correos electrónicos es un factor determinante de su escasa representatividad territorial. No alcanzamos a explicar la razón de la falta de respuestas entre los docentes del resto de lugares con nula o escasísima respuesta obtenida (Figura 1).

### 3.2. La formación del profesorado participante

El profesorado participante en el estudio accedió a la carrera docente realizando, mayoritariamente, estudios universitarios de Maestro en Educación Primaria. Un porcentaje significativo de participantes los realizó antes de 1994, cuando todavía existían especialidades temáticas. Son todos profesionales de más de cincuenta años y, por tanto, con gran experiencia acumulada. Sin embargo, el grupo mayoritario realizó su diplomatura después de 1994, cuando desaparecen la mayoría de especializaciones. Este grupo representa el 35% del profesorado participante y está formado por personas de entre 30 años y 50 años. En tercer lugar, se sitúan, con un 18,7%, quienes realizaron el grado de Maestro en Educación Primaria tras la integración del sistema universitario español en el Espacio Europeo de Educación Superior, formado por la gente más joven. El último grupo corresponde a quienes accedieron a la docencia por otras vías, con titulaciones universitarias a veces incluso distintas a los estudios de Magisterio (Tabla 1).

Tabla 1. Formación universitaria que dio acceso a la carrera docente

FORMACIÓN	NÚMERO	PORCENTAJE
Diplomado Educación Primaria (antes 1994)	299	26,4
Diplomado Educación Primaria (después 1994)	395	34,9
Grado Educación Primaria	212	18,7
Otros estudios	225	19,9
Total	1.131	100,0

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

Un total de 260 participantes manifestó tener otros estudios. En este conjunto de 260 participantes, 225 accedieron a la docencia en Educación Primaria a través de esas otras vías (160 desde otros grados y diplomaturas de Magisterio). El resto (35) simplemente ha remarcado disponer de otras formaciones universitarias adicionales, además de los estudios de Educación Primaria.

Por otra parte, más de la mitad del profesorado obtuvo por última vez inputs de conocimientos geográficos en sus estudios universitarios de Magisterio (Educación Primaria y otras especiali-

dades) con un 50,7% (Tabla 2). Mientras, un 36,8% reconoció que esa formación específica no la recibía desde ESO o Bachillerato (denominación que, debido al amplio espectro de edades encontradas entre los participantes, puede incluir el actual Bachillerato o el antiguo BUP). Por último, existe un 12,5% que incorporó contenidos de geografía en su formación en otros estudios.

Tabla 2. Última etapa académica en que se cursó una asignatura de Geografía

ESTUDIOS	NÚMERO	PORCENTAJE
Bachillerato	332	29,1
ESO	88	7,7
Estudios Educación Primaria	283	24,8
Otros estudios	143	12,5
Otros grados Magisterio	295	25,9
Total	1.141	100,0

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

Estos otros estudios (Tabla 3) son de carácter universitario en la mayoría de casos (44%). Sobre todo, licenciaturas y grados específicos de Geografía, de Geografía e Historia, u otros como el grado o licenciatura en Historia en el que, tradicionalmente, la geografía ha estado siempre presente. Además, un 27,3% afirma haber cursado una materia de Geografía por última vez en BUP. Otros pocos afirman, equivocadamente, que su último contacto académico con la geografía se produjo en EGB (4,2%) o en COU (9,8%), lo que demuestra la percepción distorsionada de algunos maestros o maestras sobre su propia formación. En verdad, en BUP la Geografía fue obligatoria en Segundo y ésta fue su única presencia en Bachillerato y COU durante décadas. Es evidente que todas estas respuestas, incluidas las que señalan la Formación Profesional, deben imputarse a la enseñanza secundaria.

Tabla 3. ¿En qué otros estudios se cursó una asignatura de Geografía?

OTROS ESTUDIOS	NÚMERO	PORCENTAJE
BUP	39	27,3
COU	14	9,8
EGB	6	4,2
FP	4	2,8
Licenciatura o grado en Geografía	11	7,7
Licenciatura o grado en Geografía e Historia	14	9,8
Licenciatura o grado en Historia	7	4,9
Otros grados y licenciaturas	14	9,8
Otros sin determinar	34	24
Total	143	100

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

Por otra parte, el profesorado, en general, no ha realizado ningún curso de formación en geografía desde que ejercen su magisterio (66,6%). Mientras que, algunos los realizaron hace más de 10 años (21,9%) y un grupo muy reducido se formó en cursos breves de Geografía en los últimos 10 años (11,1%).

### 3.3. La localidad y el trabajo de campo en la enseñanza de la geografía escolar

La mayoría de educadores en España invierten en el área local, menos de 5 lecciones (un 62,2%) anuales. Incluso, un 12,4% no la tiene en cuenta en sus planteamientos. Por tanto, un 74,6% del profesorado en Educación Primaria concede menos de 5 lecciones anuales al desarrollo de conocimientos geográficos desde el escenario que le ofrece el espacio vivencial e inmediato del alumnado. Mientras que, los docentes que destinan más de 6 lecciones anuales a la localidad son minoría y representan un 25,4% del total.

La falta de recursos es argüida como razón principal del progreso insuficiente de esta vía de aprendizaje, aglutinando un 75,7% de réplicas. Se argumentan, además, otros motivos como son la falta de formación (14,7%), el convencimiento de que el área local ofrece casi nulas posibilidades de aprendizaje (7,7%) y, también, quienes piensan que al alumnado no le interesa en absoluto aprender desde el área local (1,8%).

Además, el 51,2% de los maestros y maestras han afirmado que utilizan el trabajo de campo en el área local en proyectos de investigación. Sin embargo, este porcentaje queda reducido al 28,9%, al descartar un total de 252 docentes que confundieron el trabajo de campo con salidas y visitas, muchas veces ligadas a otros ámbitos del conocimiento, sin vínculo alguno con la geografía.

La falta de tiempo es el motivo más alegado como razón al uso restringido del trabajo de campo con el 32% de las respuestas obtenidas. El currículo oficial concedía una dedicación de 1,5 horas a la materia Ciencias Sociales por semana, razón por la cual consideran imposible poder desarrollar este tipo de actividades. En segundo lugar, están quienes consideran que la normativa vigente no contempla este tipo de aprendizaje (16,2%), ya sea en el ciclo o curso o, en general. Hay, también razones estrictamente personales, cuyo argumento más esgrimido consiste en manifestar que no son docentes especialistas de geografía, que también denota un desconocimiento profundo sobre esos contenidos y las fórmulas usadas en su enseñanza. Por otro lado, están quienes reconocen su falta de formación en esta materia (12,5%). Las dificultades para organizar salidas escolares durante la pandemia del COVID (3,7%), la nula sensibilidad del centro hacia esos métodos (2,6%), la edad del alumnado (1,1%), el apego al libro de texto como única vía de conocimiento (1,1%) o las dificultades logísticas de organización del trabajo de campo (1,1%) forman parte, también, de los pretextos aducidos. Por último, existe un cajón de sastre con otras razones de variada naturaleza (12,5%).

Para finalizar, el uso de métodos activos basados en el área local, fue medido a través de un test formado por siete ítems temáticos concebidos (Usher, 2021) como elementos clave del desarrollo de dicha metodología. La confianza de los docentes para cada uno de los ítems fue medida en una escala de Likert que va del 1 al 5. En general, las maestras y maestros expresan una confianza media en sus capacidades de implementación de proyectos de investigación en la localidad. La investigación sobre transporte o sobre el medio natural son las que crean mayor confianza en los educadores (3,9 y 3,87 de media respectivamente). Mientras que, la investigación sobre las actividades económicas o sobre las características de las áreas urbanas, son las que generan más dudas (3,66 y 3,61, respectivamente). El resto de ítems guardan relación con el medio natural y sus medias son muy parecidas (entre 3,8 y 3,86) (Tabla 4). Por otra parte, las desviaciones típicas son altas para cada uno de los siete ítems, poniendo de manifiesto ese indicador estadístico la existencia de valores alejados de la media y, en buena lógica, de educadores que declaran su escasa confianza en este tipo de enseñanza.

Tabla 4. Confianza del profesorado en el desarrollo de los siguientes temas de investigación en el área local.

	NÚMERO RESPUESTAS	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
Investigación de las actividades económicas de la población	1.116	3,61	0,933
Investigación de las principales características de las áreas urbanas en la localidad	1.118	3,66	0,892
Comprensión de los vínculos entre características del medio natural	1.120	3,80	0,832
Comprensión de la alteración de las características del medio natural por la acción de la población, los animales y las plantas	1121	3,84	0,830
Influencia de las características del medio natural en las plantas y en las vidas de animales y gente	1.122	3,86	0,803
Principales características del medio natural	1.123	3,87	0,799
Aprendizaje sobre modos y rutas de transporte	1.123	3,90	0,872

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

La planificación urbana es una vía para la puesta en práctica de investigaciones escolares de carácter geográfico. Esta cuestión fue respondida por 1.109 docentes, siendo un 29,7% quienes manifestaron que se habían acercado a esta metodología para la realización de sus proyectos (329) (Tabla 5), mientras que el 70% restante lo desconocía o no lo utilizaba. Por otra parte, quienes la introducían en sus métodos educativos habían participado, principalmente (50%), en la investigación de nuevos desarrollos o áreas residenciales de la ciudad o, en segundo lugar, habían contado con el asesoramiento o ayuda como informador de un técnico responsable de la planificación local (21%). Otras actividades se ligaban a la realización de cartografía de usos del suelo (11,3%) y a la exploración de decisiones de planificación local (17,4%).

Tabla 5. Temáticas en la puesta en práctica de proyectos de investigación ligados a la planificación urbana

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Elaboración mapa usos del suelo	39	11,3
Exploración planificación urbana	60	17,4
Consulta responsable planificación urbana	73	21,2
Investigación de nuevos desarrollos residenciales	172	50
Total	344	100

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

### 3.4. La relación entre la formación en Geografía de los maestros y maestras y el desarrollo de metodologías activas de aprendizaje ligadas a la localidad.

Ambos universos, descritos en los epígrafes anteriores, forman parte de la misma realidad. De hecho, dibujan el perfil y algunas de las características de la enseñanza y de los enseñantes de la Geografía en etapa escolar en España. A continuación, se analiza la relación entre las variables de formación descritas con anterioridad y las variables que definen el desarrollo de metodologías activas del aprendizaje de la geografía basadas en la localidad y el trabajo de campo (Tabla 6).

Tabla 6. Relación estadística entre las variables sobre formación y los indicadores del uso del trabajo de campo y la localidad en el aprendizaje de la Geografía en Educación Primaria.

	FORMACIÓN UNIVERSITARIA QUE DIO ACCESO A LA CARRERA DOCENTE	ÚLTIMA ETAPA ACADÉMICA EN QUE SE CURSÓ UNA ASIGNATURA DE GEOGRAFÍA	ASISTENCIA A CURSOS ESPECÍFICOS DE FORMACIÓN EN GEOGRAFÍA POSTERIORES A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO
Número de lecciones asignadas al área local	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(6) = 5,11, p > 0,05, p = 0,530$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(8) = 9,414, p > 0,05, p = 0,309$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(6) = 12,938, p < 0,05, p = 0,044$ Coeficiente de contingencia = 0,108, $p < 0,05$
Uso del trabajo de campo	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(3) = 3,928, p > 0,05, p = 0,269$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(4) = 3,333, p > 0,05, p = 0,504$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(3) = 23,344, p < 0,05, p < 0,0001$ Coeficiente de contingencia = 0,143, $p < 0,05$
La planificación urbana en el estudio de la localidad	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(3) = 7,905, p < 0,05, p = 0,048$ Coeficiente de contingencia = 0,048, $p < 0,05$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(4) = 4,172, p > 0,05, p = 0,383$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(3) = 28,007, p < 0,05, p < 0,0001$ Coeficiente de contingencia = 0,157, $p < 0,05$
Test sobre el área local	Estadístico: Análisis de varianza de un factor Estadístico de Levene: $F(3, 1.114) = 5,487; p < 0,05$ $F(3, 1.114) = 4,759, p < 0,05, p = 0,003, \eta^2 = 0,013$ ; Potencia observada: 0,901 Post-hoc. T3 Dunnett	Estadístico: Análisis de varianza de un factor Estadístico de Levene: $F(4, 1.123) = 5,304; p < 0,05$ $F(3, 1.114) = 4,759, p < 0,05, p < 0,0001, \eta^2 = 0,019$ ; Potencia observada: 0,972 Post-hoc. T3 Dunnett	Estadístico: Análisis de varianza de un factor Estadístico de Levene: $F(3, 1.120) = 2,249; p > 0,05$ $F(3, 1.120) = 4,759, p < 0,05, p < 0,0001, \eta^2 = 0,028$ ; Potencia observada: 0,999 Post-hoc. Bonferroni

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

Las tablas cruzadas entre variables categóricas y el uso del estadístico Chi-cuadrado de Pearson indican que sólo *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario* mantiene una significativa relación a nivel estadístico con *Número de lecciones asignadas al área local*. El coeficiente de contingencia tiene, en este caso, una intensidad cercana al 11%. El resto de variables sobre la formación en geografía no mantienen con *Número de lecciones asignadas al área local* ningún tipo de nexo estadísticamente significativo.

En segundo lugar, el *Uso del trabajo de campo* solamente se relaciona con *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario*. Además, el coeficiente de contingencia nos muestra que esa relación tiene una intensidad cercana al 15%. El resto de variables sobre la formación en geografía no mantienen ningún tipo de nexo, estadísticamente significativo, con el desarrollo de trabajo de campo en su actividad docente.

En tercer lugar, la *Planificación urbana en el estudio de la localidad*, característica que cuantifica quienes usan esa estrategia en sus pesquisas geográficas en el ámbito local, mantiene un vínculo estadísticamente significativo, con *Formación universitaria que dio acceso a la carrera docente* y *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario*. En ambos casos con un coeficiente de contingencia poco intenso. El resto de tablas cruzadas entre variables de formación y desarrollo de metodologías activas de aprendizaje geográfico, centradas en el uso de la planificación local, no ofrecen evidencias significativas en sus nexos.

Por último, se han desarrollado diferentes pruebas de análisis de la varianza (ANOVA) para certificar la relación entre las variables categóricas que definen la formación en geografía de los docen-

tes y el *Test sobre el área local* (se puede rastrear el significado del mismo en el apartado anterior), considerada la variable continua dependiente.

El análisis de la varianza del factor *Formación universitaria que dio acceso a la carrera docente* muestra un test de Levene significativo y, por tanto, se asume que las varianzas son desiguales en las 4 condiciones que plantea la variable o factor independiente. Las pruebas de efectos entre sujetos presentan el factor *Formación universitaria que dio acceso a la carrera docente* como relevante, es decir, se rechaza la hipótesis nula del análisis de varianza que expresa que las cuatro medias son iguales. Al menos varias de ellas presentan diferencias estadísticamente significativas. El factor *Formación universitaria que da acceso a la profesión docente* explica un 1,3% de la variabilidad de las calificaciones (eta cuadrado parcial) y alcanza una potencia observada de .901.

La prueba post hoc considerada ha sido T3 Dunnett que asume varianzas desiguales. Los resultados indican que quienes accedieron a la profesión docente con diplomaturas en Magisterio previas a los años noventa presentan relaciones de medias significativas con quienes se integraron con diplomaturas o grados posteriores a los años noventa y también, con aquellos que lo hicieron desde otros estudios.

El análisis de la varianza del factor *Última etapa académica en que se cursó una asignatura de Geografía* descubre un test de Levene notable y, en consecuencia, las variancias son desiguales en las 5 condiciones que plantea esa variable. Las pruebas de efectos entre sujetos definen el indicador *Última etapa académica en que se cursó una asignatura de Geografía* como significativo, con lo que se rechaza la hipótesis nula del análisis de la varianza. Al menos varias medias presentan diferencias estadísticamente importantes. El factor *Última etapa académica en que se cursó una asignatura de Geografía* explica un 1,9% de la variabilidad de las calificaciones y alcanza una potencia observada de 0,972.

La prueba post hoc T3 Dunnett indica que quienes cursaron materias de Geografía por última vez en ESO y en Bachillerato tienen medias con una conexión estadísticamente significativa con quienes los cursaron en sus estudios universitarios de Educación Primaria y otros grados de Magisterio. Sin embargo, quienes cursaron Geografía en otros estudios universitarios no manifiestan ningún tipo de vínculo estadístico con otras medias del test sobre el área local.

El análisis de la varianza del factor *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario* ofrece un resultado del test de Levene no significativo. Se asume, por tanto, que las varianzas son iguales en las 5 condiciones que se plantean. Las pruebas de efectos entre sujetos nos presentan el factor *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario* como relevante, es decir, se rechaza la hipótesis nula del análisis de varianza. Al menos varias medias presentan diferencias estadísticamente significativas. El factor *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario* explica un 2,8% de la variabilidad de las calificaciones y alcanza una potencia observada de 0,999.

La prueba post hoc considerada ha sido Bonferroni, que asume variancias iguales. Los resultados indican que quienes nunca han realizado cursos de formación en geografía presentan diferencias significativas con quienes sí los han realizado en los últimos 10 años y también, en los últimos 5 años.

### 3.5. Otras circunstancias del contexto personal, laboral, y locacional relacionadas con el desarrollo de metodologías activas del aprendizaje geográfico

Existen otras circunstancias del entorno personal, docente e, incluso, locacional de los maestros y maestras que, desde la hipótesis planteada, influyen en la forma de encarar la enseñanza de los contenidos geográficos, además de las condiciones académicas que han caracterizado la formación del profesorado participante.

Desde este punto de vista, hemos analizado la relación entre las variables que certifican la implicación del docente en la enseñanza geográfica desde una óptica activa y vivencial y variables como son el género, la experiencia docente, el entorno del centro docente, distinguiendo entre urbano y rural y, por último, el tipo de gestión del centro, estableciendo una diferencia entre público, concertado y privado (con sólo 31 respuestas) (Tabla 7).

Tabla 7. Relación estadística entre las variables sobre el contexto personal, laboral y locacional y los indicadores del uso del trabajo de campo y la localidad en el aprendizaje de la geografía en Educación Primaria.

	GÉNERO	EXPERIENCIA DOCENTE (NÚMERO DE AÑOS)	UBICACIÓN DEL CENTRO DOCENTE (URBANA O RURAL)	GESTIÓN DEL CENTRO DOCENTE
Número de lecciones asignadas al área local	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(4) = 8,503$ , $p > 0,05$ , $p = 0,075$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(6) = 7,376$ , $p > 0,05$ , $p = 0,287$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(2) = 5,855$ , $p > 0,05$ , $p = 0,054$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(4) = 17,064$ , $p < 0,05$ , $p = 0,002$ Coeficiente de contingencia = 0,123, $p < 0,05$
Uso del trabajo de campo	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(2) = 0,058$ , $p > 0,05$ , $p = 0,971$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(3) = 9,709$ , $p < 0,05$ , $p = 0,021$ , Coeficiente de contingencia = 0,093, $p < 0,05$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(1) = 6,106$ , $p < 0,05$ , $p = 0,013$ Coeficiente de contingencia = 0,074, $p < 0,05$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(2) = 10,639$ , $p < 0,05$ , $p = 0,005$ Coeficiente de contingencia = 0,097, $p < 0,05$
La planificación urbana en el estudio de la localidad	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(2) = 13,576$ , $p < 0,05$ , $p = 0,001$ Coeficiente de contingencia = 0,110, $p < 0,05$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(3) = 10,910$ , $p < 0,05$ , $p = 0,012$ Coeficiente de contingencia = 0,099, $p < 0,05$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(1) = 22,942$ , $p < 0,05$ , $p < 0,0001$ Coeficiente de contingencia = 0,142, $p < 0,05$	Estadístico: Chi cuadrado de Pearson $\chi^2(2) = 5,965$ , $p > 0,05$ , $p = 0,051$
Test sobre el área local	Estadístico: Análisis de varianza de un factor Estadístico de Levene: $F(2,1125) = 0,805$ ; $p > 0,05$ $F(2, 1.125) = 10,498$ , $p < 0,05$ , $p < 0,0001$ , $\eta^2 = 0,018$ ; Potencia observada: 0,989 Post-hoc. Bonferroni	Estadístico: Análisis de varianza de un factor Estadístico de Levene: $F(3,1124) = 1,456$ ; $p < 0,05$ $F(3, 1.124) = 0,913$ , $p > 0,05$ , $p = 0,434$	Estadístico: Prueba T de Student Urbana: 26,12(4,99) Rural. 27,1 (5,1) $t = 2,77$ ; $p = 0,006$ ; $p < 0,05$	Estadístico: Análisis de varianza de un factor Estadístico de Levene: $F(2,1122) = 0,464$ ; $p > 0,05$ $F(2, 1.122) = 0,209$ , $p > 0,05$ , $p = 0,812$

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de encuesta.

Los resultados del estadístico Chi-cuadrado de Pearson señalan que únicamente *Gestión del centro* docente influye en el *Número de lecciones asignadas al área local*. Las tablas cruzadas muestran que el porcentaje de réplicas procedentes de centros públicos tiene un peso mayor entre quienes destinan más de 6 lecciones dedicadas al área local por año que en los centros concertados. A su vez, también es mayor el porcentaje del profesorado de centros públicos que no realizan ninguna lección sobre el área local que el de los centros concertados.

El *Uso del trabajo de campo* está relacionado con circunstancias laborales y geográficas de acuerdo con los resultados del estadístico Chi-cuadrado de Pearson. La *Ubicación del centro docente* (urbano o rural), la *Experiencia docente* (años) y la *Gestión del centro docente* (público, concertado, privado) influyen en el *Uso del Trabajo de campo*. Todos estos lazos estadísticos encontrados, acorde a los coeficientes de contingencia, son de carácter poco intenso. El porcentaje de quienes realizan trabajo de campo es mayor entre las réplicas llegadas de entre quienes tienen más experiencia, quienes enseñan en centros rurales y, también, entre quienes trabajan en centros públicos.

La consideración de la *Planificación urbana en el estudio de la localidad* en el desarrollo de proyectos vinculados al aprendizaje geográfico está condicionada por el *Género*, por la *Experiencia docente* acumulada y por la *Ubicación del centro docente*. Los hombres manifiestan una mayor adscripción al uso de esas estrategias, al igual que lo hacen los maestros y maestras más experimentados y procedentes de centros rurales.

El *Test sobre el área local* se ve influido en su resultado por los indicadores *Género* y *Ubicación del centro docente*.

El análisis de la varianza del factor *Género* ofrece un resultado del test de Levene no significativo asumiendo, en consecuencia, que las varianzas son iguales en las 3 condiciones que plantea la variable. Las pruebas de efectos entre sujetos nos presentan el factor *Género* como significativo, es decir, se rechaza la hipótesis nula, por tanto, varias medias presentan diferencias estadísticamente significativas. El factor *Género* explica un 1,8% de la variabilidad de las calificaciones y alcanza una potencia observada de 0,989.

Las pruebas post hoc considerada ha sido Bonferroni que asume variancias iguales. Los resultados indican que los hombres presentan diferencias significativas con las mujeres. No existe ningún tipo de vínculo destacable con el grupo de no binarios.

Por otro lado, la prueba t de Student demuestra la existencia de una relación relevante entre el *Test sobre el área local* y la *Ubicación del centro docente*. Existen diferencias en media aritmética y desviación estándar para las dos categorías de la variable independiente. Además, la relación es significativa desde el punto de vista estadístico.

#### 4. Discusión y conclusiones

Los datos obtenidos demuestran que el docente de Educación Primaria en España no enfoca la enseñanza de la geografía haciendo uso habitual del trabajo de campo y de la localidad, tal como lo considera Israel (2012) en su alegato a favor del *place-location Education*. Estas metodologías permiten ligar el conocimiento que proporciona la experiencia vital con el conocimiento más académico (Martin, 2008). Hay trabajos sobre otros países que también han puesto el foco en el docente para evaluar el estado de la enseñanza de la geografía en Educación Primaria y el avance de métodos activos ligados al trabajo de campo en el área local y al concepto de geografía cotidiana. Susan Pike (2015), aun reconociendo la baja formación inicial en Geografía del profesorado, concluye que en Irlanda su enseñanza ha mejorado, con un dominio indiscutible de los métodos activos de docencia. Shimura (2015) realiza un trabajo centrado en la enseñanza de la geografía en la escuela japonesa y constata la débil formación de su profesorado (solamente el 30% de los encuestados estudió Geografía en Bachillerato), que ha contribuido a la persistencia de métodos tradicionales, con gran protagonismo del libro de texto, y a la incapacidad para el desarrollo de

material docente propio sobre la localidad. Mientras tanto, en China, la geografía no forma parte del currículo de Educación Primaria hasta Tercer curso, diluida en una materia denominada Ética, Sociedad y Ciencias. En un estudio, basado en entrevistas, se constata que sólo un 4,5% de los docentes usan un desarrollo curricular basado en el medio local (Xuan, Duan, & Sun, 2015)

Los resultados de la encuesta, diseñada y testada en Irlanda por Usher (2021), y las variables analizadas, han contribuido a constatar la hipótesis de partida. Por tanto, existen diversas circunstancias del contexto académico, laboral, locacional y personal que contribuyen a explicar la falta de incidencia de las metodologías activas ligadas a la localidad y al trabajo de campo en la enseñanza de la geografía en España.

Los docentes asignan un número limitado de lecciones a la localidad, indicador que está muy condicionado por la normativa específica del currículum, que otorgaba un número de horas muy reducido a la enseñanza de Ciencias Sociales. En general, la falta de recursos es el argumento (poco sólido) empleado para justificarlo. Los datos revelan que las metodologías activas ligadas a la experiencia vivencial del alumnado como vía del aprendizaje geográfico están, en definitiva, poco exploradas. Se ha constatado un gran desconocimiento del uso del trabajo de campo en el área local. En realidad, solamente una tercera de los encuestados lo practica en sentido estricto. Ello requiere, en Educación Primaria, el desarrollo de pequeñas incursiones en el patio de la escuela o, a lo sumo, en las calles adyacentes al centro, para la recolección de datos, cuyo uso está vinculado al aprendizaje de habilidades y a la comprensión de procesos y conceptos propios de la geografía.

La exploración de áreas de expansión urbana propias de la localidad es siempre un tema atractivo y controvertido y el asesoramiento, a través de una charla informativa por parte de un técnico ligado a la administración pública, es otra forma, de acercar los temas de interés de la propia ciudad a los escolares. No obstante, esta vía de penetración en el desarrollo de proyectos ligados a la localidad es practicada o conocida por una tercera parte de los docentes participantes.

Los resultados obtenidos en el test sobre aspectos temáticos del área local se caracterizan por una desviación típica que demuestra la existencia de un amplio grupo de educadores que dedican poca atención a estas metodologías.

Solamente una variable con la que se define la formación de los docentes participantes, *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario*, mantiene un nexo estadístico con *Número de lecciones asignadas al área local*, probablemente una variable condicionada por la reglamentación académica y por las directrices del propio centro escolar. Por otra parte, la *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario* también incide en el *Uso del trabajo de campo* como metodología de aprendizaje geográfico. Por último, las tres variables sobre formación (*Formación universitaria que dio acceso a la carrera docente*, *Última etapa académica en que se cursó una asignatura de Geografía*, *Asistencia a cursos específicos de formación en geografía posteriores a la obtención del título universitario*) se significan estadísticamente, en la nota obtenida en el *Test sobre el área local*. Los docentes formados en diplomaturas anteriores a los grados tienen medias en el test más altas que quienes ya han cursado un grado o han accedido a la docencia desde otras diplomaturas o estudios universitarios. Por otro lado, quienes han cursado asignaturas de temática geográfica en su etapa universitaria presentan medias en el test alejadas de quienes manifiestan no haberlas cursado desde la enseñanza secundaria. Por último, quienes se han formado en geografía, tras cursar

estudios universitarios y acceder a la docencia, también presentan medias en el test superiores a quienes no se han formado o lo hicieron hace ya tiempo.

Existen otras circunstancias del contexto personal, laboral y locacional que influyen en el desarrollo de métodos activos basados en la localidad y el trabajo de campo.

El *Número de lecciones asignadas al área local* está influida por la *Gestión del centro docente*. El porcentaje de réplicas de profesorado que destina más de 6 lecciones al área local por año es mayor en centros públicos que en los centros concertados. El *Uso del trabajo de campo* está relacionado con *Ubicación del centro docente*, *Experiencia docente* y *Gestión del centro docente*. El entorno (urbano o rural), los años de experiencia y la gestión del centro influyen en el uso del trabajo de campo. Todos estos lazos estadísticos encontrados son de carácter poco intenso. El porcentaje de quienes realizan trabajo de campo es mayor entre quienes provienen de centros rurales, también entre quienes trabajan en centros públicos y, además, es superior entre quienes tienen más experiencia.

El *Test sobre el área local* se ve influido en su resultado por los indicadores *Género* y *Ubicación del centro docente*. Los hombres tienen una media superior en ese test y quienes enseñan en centros rurales también obtienen una mayor puntuación en el test que quienes desarrollan su docencia en centros urbanos.

En resumen, el desarrollo de metodologías activas ligadas a la localidad y al trabajo de campo no ha alcanzado grandes cotas en España. Sin embargo, existen circunstancias que han favorecido su progresión. Los docentes formados en diplomaturas previas a la implantación de los actuales grados, quienes han realizado asignaturas de Geografía en su etapa universitaria y quienes continúan su formación sobre geografía en la actualidad, alcanzan mejores cotas en varias de las variables indicativas de un cambio de paradigma metodológico. Por último, el desarrollo de métodos activos ligados a la localidad y al trabajo de campo se ven favorecidos en contextos rurales, entre maestros más que en maestras, en centros públicos y, por último, es superior la importancia dada al trabajo de campo entre quienes tienen más experiencia.

## Bibliografía

- Catling, S., Bowles, R., Halocha, J., Martin, F., & Rawlinson, S. (2007). The state of geography in English primary schools. *Geography*, 92 (2), 118-136. doi:10.1080/00167487.2007.12094189
- Catling, S. & Martin, F. (2011). Contesting powerful knowledge: the primary geography curriculum as an articulation between academic and children's (ethno-) geographies, *The Curriculum Journal*, 22 (3), 317-335, doi: 10.1080/09585176.2011.601624
- Clemente-Díaz, M. C. (Ed.). (1992). *Psicología social: métodos y técnicas de investigación*. Madrid, España: Eudema.
- De Miguel, R. (2018). Geografía y tiempo contemporáneo: educación geográfica y enseñanza de las ciencias sociales para el mundo global. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, (2), 36-54. doi:10.17398/2531-0968.02.36
- De Miguel, R. (2022). Un siglo (y más) de educación geográfica internacional desde España. In *La Geografía española actual. Estado de la cuestión. Aportación española al congreso de la UGI-IGU Paris 2020. El tiempo de los geógrafos* (pp. 339-360). Madrid, España: Asociación de geógrafos españoles. Recuperado de <https://www.age-geografia.es/site/wp-content/uploads/2022/07/LA-GEOGRAFI%CC%81A-ESPAN%CC%83OLA-ACTUAL-ESTADO-DE-LA-CUESTIO%CC%81N.pdf>
- Dolan, A. M., Waldron, F., Pike, S., & Greenwood, R. (2014). Student teachers' reflections on prior experiences of learning geography. *International Research in geographical and Environmental Education*, 23 (4), 314-330. doi:10.1080/10382046.2014.946324

- Esteves, M. H., Hortas, M. J., & Mendes, L. (2019). Trabajo de campo en la educación en Geografía: una experiencia en el programa de formación inicial para profesores. *Didáctica Geográfica*, (19). Recuperado de <https://didacticageografica.agegeografia.es/index.php/didacticageografica/article/view/425>
- Fernández Álvarez, R. (2019). Los geoparques como recurso para la enseñanza-aprendizaje del espacio geográfico en Educación Primaria: el paisaje de las áreas de montaña. *Didáctica Geográfica*, (20), 27-53. doi:10.21138/DG.440
- Gómez, A., Corrochano, D., & Parra, G. (2018). Itinerarios didáctico-naturales en educación primaria: el Noroeste de Zamora. *Didáctica Geográfica*, (18). Recuperado de <https://didacticageografica.age-geografia.es/index.php/didacticageografica/article/view/385>
- Gómez-Gonçalves, A.; Corrochano, D. (2021). Are urban Green spaces used as didactical resources in Spanish Primary Education? *Revista INVI*, 36 (103), 349-376.
- Israel, A.L. (2012). Putting Geography Education into Place: What Geography Educators can learn from Place-Based Education and Vice Versa. *Journal of Geography*, 111 (2), 76-81. doi:10.1080/00221341.2011.583264
- Lambert, D., Solem, M. & Tani, S. (2015). Achieving Human Potential Through Geography Education: A Capabilities Approach to Curriculum Making in Schools. *Annals of the Association of American Geographers*, 105 (4), 723-735. doi: 10.1080/00045608.2015.1022128
- Macía-Arce, X.C., Armas-Quintá, X., & Rodríguez-Lestegás, F. (Eds.), *La reconfiguración del medio rural en la sociedad de la información.: nuevos desafíos en la educación geográfica*. Santiago de Compostela, España: Andavira Editorial.
- Martin, F. (2008). Ethnogeography: towards liberatory geography education. *Children's Geographies*, 6 (4), 437-450. doi:10.1080/14733280802338130
- Martínez, L. C. (2017). La enseñanza de la geografía y la formación geográfica en los estudios universitarios de maestro. *Tabaque: revista pedagógica*, 30, 195-217. doi:10.24197/trp.30.2017.195-217
- Martínez, L. C., Fernández-Vega, B., & Molina, I. (2016). Propuesta didáctica para la interpretación del espacio geográfico: la ciudad de Segovia y su entorno. *Didáctica Geográfica*, (16), 135 - 164. Recuperado de <https://didacticageografica.agegeografia.es/index.php/didacticageografica/article/view/299>
- Mateo Girona, M.R. (2019). Las salidas de campo en el medio rural. Análisis de las investigaciones presentadas a los congresos del grupo de trabajo de didáctica de la geografía de la AGE y de la APG (1988-2016). En X.C. Macía-Arce, X. Armas-Quintá & F. Rodríguez-Lestegás (Eds.), *La reconfiguración del medio rural en la sociedad de la información.: nuevos desafíos en la educación geográfica* (pp. 1279-1292). Santiago de Compostela, España: Andavira Editorial.
- Milner, A., & Jewson, T. (2010). Using the school locality. In S. Scoffham (Ed.), *Primary Geography Handbook* (181-193). Sheffield, UK: Geographical Association.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Estadística y Estudios (2021). *Datos y cifras. Curso escolar 2021/2022*. Recuperado de <https://www.educacionyfp.gob.es/dam/jcr:b9311a59-9e97-45e6-b912-7efe9f3b1f16/datos-y-cifras-2021-2022-espanol.pdf>
- Pike, S. (2011). "If you went out it would stick": Irish children's learning in their local environments. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 20 (2), 139-159. doi:10.1080/10382046.2011.564787
- Pike, S. (2015). Primary Geography in the Republic of Ireland: Practices, Issues and Possible Futures. *Review of International Geographical Education Online*, 5 (2), 185-198. Recuperado de <https://dergipark.org.tr/en/pub/rigeo/issue/40876/493503>
- Reddy, L. A., Dudek, C. M., Fabiano, G. A., & Peters, S. (2015). Measuring teacher self-report on classroom practices: Construct validity and reliability of the Classroom Strategies Scale-Teacher Form. *School Psychology Quarterly*, 30 (4), 513-533. doi:10.1037/spq0000110
- Roberts, M. (2014). Policy and practice. Powerful knowledge and geographical education. *The Curriculum Journal*. 25 (2), 187-209, doi: 10.1080/09585176.2014.894481
- Sebastià, R., & Tonda, E. M. (2011). Características y evolución de la Revista Didáctica Geográfica. *Didáctica Geográfica*, 12, 19-48. Recuperado de <https://didacticageografica.agegeografia.es/index.php/didacticageografica/article/view/57>
- Sebastià, R., & Tonda, E. M. (2015). Investigación e innovación en la enseñanza de la Geografía a partir del Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles: análisis bibliométrico. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (68). 429-558. doi:10.21138/bage.1869

- Shimura, T. (2015). Primary Geography Education in Japan: Curriculum as Social Studies, Practices and Teachers' Expertise. *Review of International Geographical Education Online*, 5 (2), 151-165. Recuperado de <https://dergipark.org.tr/en/pub/rigeo/issue/40876/493476>
- Usher, J. (2021). How is geography taught in Irish primary schools? A large scale nationwide study. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 31 (4), 337-354. doi:10.1080/10382046.2021.1978210
- Xuan, X., Duan, Y., & Sun, Y. (2015). Primary Geography Education in China: Past, Current and Future. *Review of International Geographical Education Online*, 5 (2), 111-136. Recuperado de <https://dergipark.org.tr/en/pub/rigeo/issue/40876/493446>

## Agradecimientos

Aquí se especificará, de manera breve, el tipo de aportaciones que ha realizado cada autor durante la investigación y elaboración del trabajo.

## Contribución de autorías

El cuestionario aplicado, en su día, fue diseñado por Joe Usher y aplicado en Irlanda. Se adaptación a la realidad española, su desarrollo posterior y el análisis de resultados ha sido labor de Jaume Binimelis Sebastián. La introducción ha sido, también, labor de Jaume Binimelis Sebastián, con el apoyo de Péter Bágoly-Simó. La discusión y conclusiones del trabajo es fruto de la reflexión conjunto de los tres autores del trabajo.

## Financiación

Este artículo se ha realizado con la financiación del Proyecto de Generación de Conocimiento El conocimiento geográfico sobre España, Europa y el Mundo entre los estudiantes de ESO (COGESO), Proyecto PID2021-124390OB-I00 financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE..

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Estimación y análisis espacial de la susceptibilidad hídrica en cuencas hidrográficas de llanura (Argentina)

Spatial analysis and estimation of the hydric susceptibility in hydrographical basins of plains (Argentina)

VANESA YAEL BOHN<sup>1</sup>  0000-0002-4050-8664

ALDANA MASTRANDRE<sup>1</sup>  0000-0001-6902-1692

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Sur (UNS), CONICET, DGyT. Bahía Blanca, Argentina.

## Resumen

La ocurrencia de eventos extremos de precipitación produce impactos en la dinámica de las cuencas hidrográficas, ocasionando fenómenos de anegamiento, variabilidad de la humedad del suelo y desbordes de cursos de agua, entre otros. En la llanura pampeana argentina, es habitual la alternancia de períodos secos y húmedos. Por esta razón, los estudios de las consecuencias de estos eventos son de gran utilidad para la gestión de los recursos y el uso de la tierra. El objetivo de esta investigación fue estimar la susceptibilidad hídrica en dos cuencas hidrográficas de la llanura argentina, mediante una evaluación multicriterio que incluyó el análisis y ponderación de variables climáticas, fisiográficas, edáficas e hidrológicas. El procesamiento de los datos se realizó en un entorno de SIG (Sistemas de Información Geográfica) y a partir de información proveniente de bases de datos publicadas de libre acceso (ej: bases de datos HydroBASINS e HydroLAKES [Lehner y Grill, 2013]), en formato ráster y vectorial. Como resultado se obtuvo mayor representatividad de la categoría de susceptibilidad hídrica baja (83 % y 52,9 % en las cuencas de los arroyos Napostá Chico y Chasicó, respectivamente) y moderadamente baja en ambas cuencas (14,3 % y 43,8 % en las cuencas de los arroyos Napostá Chico y Chasicó, respectivamente). De las variables analizadas, mediante la elaboración de una matriz de consistencia, se determinó que las de mayor peso en la estimación de la susceptibilidad fueron el desarrollo de paleocanales y los rasgos geomorfológicos.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.06.09  
Aceptado: 2023.09.13  
Publicado: 2024.10.07

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Vanessa Yael Bohn  
[vanesa.bohn@uns.edu.ar](mailto:vanesa.bohn@uns.edu.ar)

Palabras clave: evaluación multicriterio; SIG (Sistemas de Información Geográfica); ponderación de variables; matriz de consistencia.

## Abstract

Rainfall extreme events occurrence impacts the hydrographical basins by flooding, soil humidity variation and creeks and river overflows. In the study area, the alternate wet and dry periods is usual. For this reason, studies about the events effects are relevant for resources and land use management. The objective of this study was to estimate the hydrological susceptibility in two hydrological basins of Argentinean plains, by a multicriteria evaluation which includes the analysis and weighing of climatological, physiographic, edaphic, and hydrological variables. The data processing was done within a GIS (Geographic Information System) and from database information, previously published, and available (i.e.: HydroBASINS and HydroLAKES databases [Lehner y Grill, 2013]), in a raster and vector format. As a result, the hydrological susceptibility category with the highest representativity was low (83 % y 52,9 % in Napostá Chico y Chasicó basins, respectively) and moderately low in both cases (14,3 % y 43,8 % in Napostá Chico y Chasicó basins, respectively). From the analyzed variables, by the consistency matrix elaboration, there was determined that the highly weighted variables were the paleochannels development and the geomorphological features.

Keywords: multicriteria evaluation; GIS (Geographic Information System); variable weighting; consistency matrix.

## 1. Introducción

Los eventos de inundación están entre los desastres naturales más frecuentes y costosos en términos de pérdidas humanas y económicas en diversos lugares del mundo (Pradhan y Youssef, 2011; Olcina Cantos, 2017; Pinos et al., 2017; EM-DAT, 2021; López-Martínez, 2023). Cuando se generan en forma natural, solo se cuenta con las herramientas de la mitigación y la adaptación. Para la planificación de ambas medidas, es necesario contar con un conocimiento basado en estudios retrospectivos de la dinámica de los factores edáficos (textura predominante), topográficos (pendiente), de uso y cobertura de la tierra y, en especial, de los factores climáticos. Estos últimos incluyen el estudio de eventos extremos de precipitación, los que se definen en relación a los excesos o carencias del agua y conforman el 90 % de los llamados desastres “naturales”. Este tipo de eventos remiten a episodios cuya duración es menor a una semana. Cuando superan dicho rango temporal, se trata de eventos climáticos extremos (Barros y Camilloni, 2016). La mayor o menor predisposición a la ocurrencia de un evento en el espacio geográfico, se refiere al concepto de susceptibilidad (Sepulcri et al., 2012). La misma depende del régimen de precipitaciones, uso de la tierra, topografía del terreno (Olivera Acosta et al., 2011) características de permeabilidad y procesos degradativos del suelo (Vélez et al., 2023). La mayor susceptibilidad hídrica se observa en las áreas más afectadas ante un evento de inundación (Soldano, 2009) y es la probabilidad de que una inundación ocurra en un área en dependencia de las condiciones topográficas y de las posibles medidas de adaptación/mitigación. En relación a este concepto, se desarrolló un método para la identificación de las áreas susceptibles a inundaciones sobre la base del mapeo y el cómputo de dos índices, referidos a su potencialidad. Los mismos se obtuvieron a partir de la integración de variables geográficas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se aplicaron en diferentes zonas (montañosas y de menor altitud) dentro de la cuenca del río Prahova (Rumania). Como resultado se obtuvo una zonificación de la susceptibilidad a las inundaciones proveyendo de información cartográfica a aquellas regiones que carecen de mapas de riesgo de inundación. Se constató que los mapas resultantes constituyeron un paso preliminar para el asesoramiento a la población acerca del riesgo de inundación y la vulnerabilidad (Zaharia et al., 2017). Las carac-

terísticas de las cuencas hidrográficas y sus respuestas hidrológicas pueden tener efectos severos en la ocurrencia y la extensión de las inundaciones. En Australia, los mapas de susceptibilidad a las inundaciones se calcularon a partir de índices morfométricos que fueron obtenidos a partir de datos de topografía (DEM SRTM), mapas topográficos y geológicos. Posteriormente a ello, estos índices morfométricos fueron agrupados de acuerdo a su influencia en la ocurrencia de inundaciones. Para la validación del método se tuvieron en cuenta mapas históricos de inundación (Ahmed, Hewa y Alrajhi, 2021) y los resultados brindaron información clave para los sectores encargados de la gestión y toma de decisiones. La susceptibilidad hídrica fue estimada sobre la base de la elaboración de cartografía para la región del Delta del Paraná (Argentina) con el objetivo de proporcionar conocimiento a los sectores agropecuarios y forestales. El grado de afectación del agua se estimó para el tramo medio del delta Paranaense, durante el período 1980 - 2010, mediante el procesamiento de imágenes satelitales de alta resolución. Dicha información analizada en conjunto con las cartas topográficas de la zona constituyó una herramienta clave para los productores agropecuarios, a fin de conocer los impactos derivados de una mayor frecuencia y/o intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos en un área determinada (Sepulcri et al., 2012). Para el sector inferior de la cuenca hidrográfica del río Negro (Patagonia argentina), a nivel temporal, se constató un aumento de dicha susceptibilidad durante períodos pluviométricamente húmedos con el desarrollo de pequeñas lagunas y modificaciones a lo largo del curso de agua principal (García Bu Bucogen, Bohn y Piccolo, 2021). La alternancia de inundaciones y sequías y su ocurrencia en la región pampeana argentina es un fenómeno que forma parte de un mismo proceso que involucra el clima, la red de drenaje deficiente y las limitantes de los suelos para el almacenamiento de los excedentes (Taboada y Damiano, 2017).

El área de estudio involucra dos cuencas hidrográficas de la llanura pampeana argentina: cuenca del arroyo Chasicó y cuenca del arroyo Napostá Chico o Bajo Hondo (Figura 1). En relación al clima, de acuerdo a la regionalización del área pampeana realizada por Aliaga et al. (2017), el área de estudio se desarrolla en las zonas climáticas semiárida y templada del sistema de Ventania. En el primer caso, que incluye las porciones inferiores de ambas cuencas, presenta escasa precipitación anual, vientos intensos y una alta variabilidad de las precipitaciones en cuanto a la ocurrencia de períodos secos y húmedos. En cuanto a la región templada, que incluye a las zonas de cuenca media y alta (en ambos casos), presenta predominio de los vientos del NO e influencia de frentes fríos principalmente en invierno. Los períodos secos no son usuales y, cuando ocurren, presentan baja intensidad y duración (Aliaga et al., 2017).

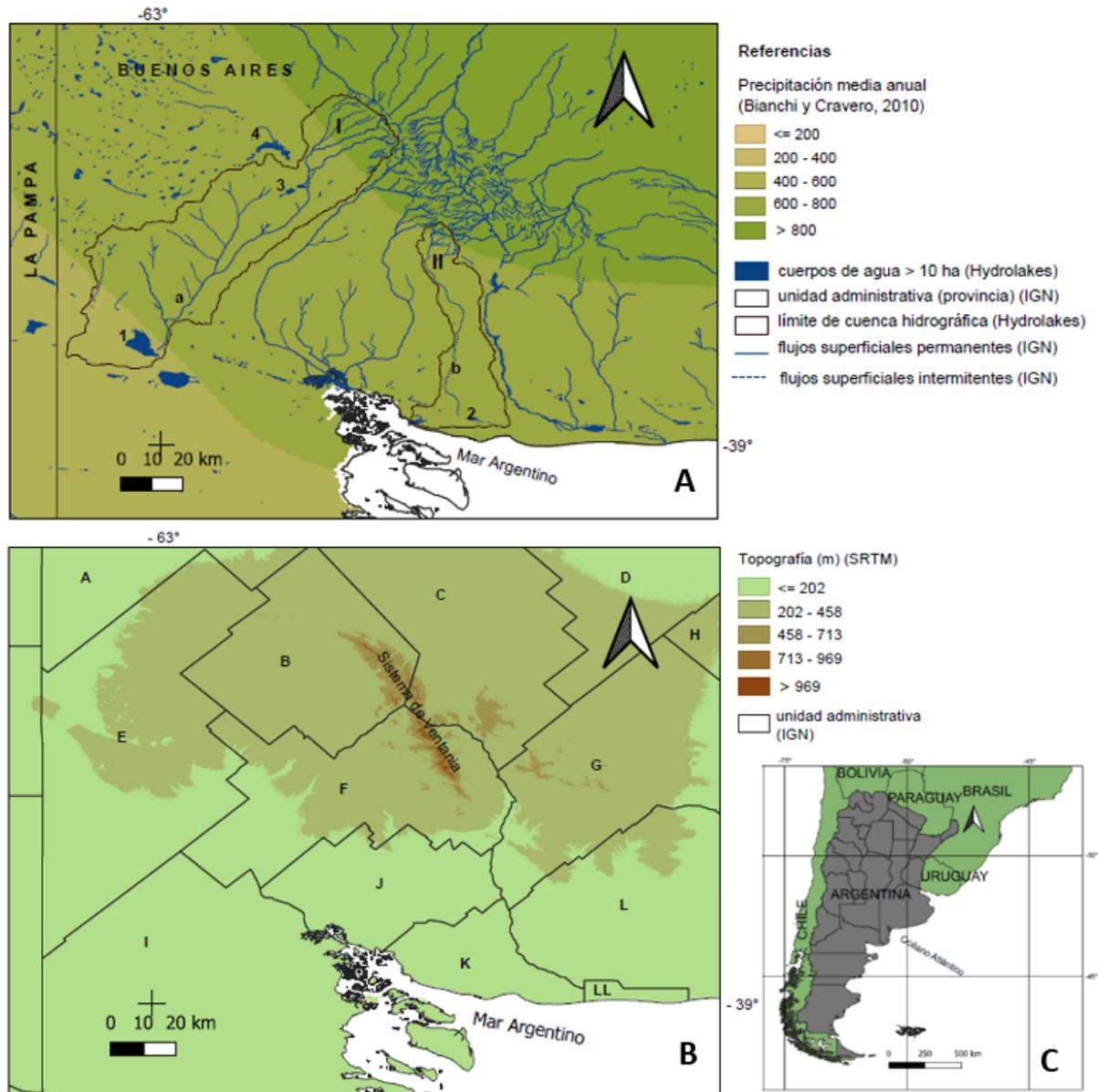
Las precipitaciones, en ambas zonas climáticas, presentan los montos mínimos mensuales durante el invierno, alcanzando 692 mm/año y 369 mm/año, para el período 1960 - 2010 en la región templada del sistema de Ventania (sector medio y superior de ambas cuencas hidrográficas) y semiárida (cuencas hidrográficas inferiores), respectivamente. En cuanto a las temperaturas medias anuales, las mismas fueron de 16 °C y 15 °C, respectivamente, para las mismas regiones y período (Aliaga et al., 2017). La totalidad del área de estudio presentó estaciones térmicas diferenciadas, con valores medios mensuales de 20 - 25 °C durante los meses de verano y de 6 - 15 °C durante el invierno. En cuanto a la topografía, el área de estudio presenta una amplitud de relieve cercana a los 1000 msnm, teniendo en cuenta que la altura máxima se registra en el sistema de Ventania (Figura 1). Desde un punto de vista geomorfológico, incluye las unidades de Positivo Bonaerense y Cuenca tectónica del Salado (Zárate y Rabassa, 2005). Desde el punto de vista hidrológico, ambas cuencas se sitúan en una región de 0,04 km/km<sup>2</sup> de densidad de drenaje (Kruse y Laurenzana, 2005). En cuanto al uso del suelo, predominan las actividades agropecuarias (Puntoriero, Volpedo y Fernández Cirelli, 2014). Específicamente, la cuenca del arroyo Chasicó (Figura 1) se

localiza en el extremo oeste de la región pampeana argentina e incluye las unidades administrativas de Puán, Saavedra, Tornquist y Villarino, alcanzando un área aproximada de 3764 km<sup>2</sup>. Su orientación es NE – SO y limita con las cuencas hidrográficas del río Sauce Chico (al E) y la cuenca del arroyo Pigüé (al N). Presenta dos arroyos principales, el Cochenleufú Grande y Chico, cuyas nacientes se encuentran en las sierras de Curamalal (Sistema de Ventania). Estos confluyen con arroyos menores y desembocan en la laguna Los Chilenos (Figura 1) desde la cual surge el Chasicó, como arroyo efluente. A lo largo de su recorrido recibe el aporte de los arroyos Pelicurá, San Ramón y Sanquilco Grande (Bonorino, Ruggiero y Mariño, 1989). Se trata de una cuenca de carácter endorreico siendo, la laguna Chasicó, el cierre de la misma. La laguna, con un área y profundidad aproximada de 50 km<sup>2</sup> y 10 m, respectivamente, se localiza en una faja tectónica por debajo del nivel del mar (Volpedo y Fernández Cirelli, 2013). Su fuente de alimentación es la precipitación directa, la descarga de agua subterránea y el escurrimiento superficial de toda la cuenca (Bonorino, Ruggiero y Mariño, 1989). La cuenca presenta un comportamiento hidrológico ligado a los aportes de la precipitación, como así también, a aquellos provenientes de la descarga subterránea, recibidos por el arroyo Chasicó en su trayecto (Bonorino, Ruggiero y Mariño, 1989). Dicha dinámica involucra períodos de integración del sistema, con excedentes hídricos y de desconexión, con déficit. Las variaciones en relación con la población local también han sido estudiadas por Zinger (2000) desde la perspectiva de la relación sociedad – naturaleza. Específicamente para el área de la laguna Chasicó, que constituye el cierre de la cuenca endorreica, se han realizado estudios vinculados con las variaciones de su área mediante modelos matemáticos, los cuales contemplaron la evaporación, datos meteorológicos e hidráulicos. Se modeló el comportamiento hidrológico de la laguna en situaciones de extrema sequía para observar sus efectos en los niveles de salinidad y sus condiciones ecológicas (Siniscalchi et al., 2018). Sobre la base de estudios históricos, que mostraron la influencia de la sequía en la salinidad y extensión areal de ciertos cuerpos de agua de la llanura argentina, Kopprío et al. (2014) desarrollaron un modelo ecohidrológico orientado a plantear perspectivas de manejo futuro en la laguna Chasicó. También sus características ópticas y morfométricas fueron analizadas (Bohn, Piccolo y Perillo, 2013; Bohn et al., 2019) para lograr una zonificación espacial y caracterización general. Se demostró la influencia del arroyo en los niveles de turbidez y su profundidad máxima en 2010 fue de ~ 5 m. Los cambios en la biomasa de *O. bonariensis* en relación con el cambio climático y las variaciones de salinidad entre los años 1997 y 2013 fueron analizados (Berasain et al., 2015) y tras ello se detectó que desde 2004 a 2013, cuando comenzó un período seco, se produjo una reducción del área y un aumento de la salinidad tras lo cual *O. bonariensis* mostró un decrecimiento. Por otra parte, el sistema hidrológico de la cuenca del arroyo Chasicó también incluye a la laguna Los Chilenos, la cual actúa como receptora de los caudales de los arroyos cuyas nacientes se encuentran en el sistema serrano y luego confluyen hacia el arroyo principal. Arias y Geraldi (2019) analizaron la respuesta areal de la laguna en relación a eventos secos y húmedos y determinaron que existe correlación.

Al igual que la cuenca del arroyo Chasicó, la del arroyo Napostá Chico es de tipo endorreica (1320 km<sup>2</sup>). El cierre de la misma lo constituye la laguna Unamuno, de carácter permanente (Bohn, 2009) y, de extensiones areales variables (en dependencia de las precipitaciones), de aproximadamente 9,7 km<sup>2</sup> (Bohn, Piccolo y Perillo, 2007). En dicha área, se estudiaron los eventos húmedos y secos durante un período mayor a 60 años y se obtuvo una ocurrencia de 17 y 12 eventos húmedos y secos, respectivamente con duración de entre 2 y 6 meses (en los de categoría moderada) y de 5 - 19 meses para los de categoría extrema (tanto secos como húmedos). Dicha variabilidad y ocurrencia de eventos extremos permite observar la necesidad de un estudio re-

prospectivo con un enfoque desde la estimación de las probabilidades de ocurrencia de desastres naturales tales como inundaciones y sequías (Bohn, 2019).

Figura 1. Localización del área de estudio: A) Delimitación de las cuencas hidrográficas del arroyo Chasicó (I) y arroyo Napostá Chico o Bajo Hondo (II) en el SO de la provincia de Buenos Aires (Argentina): 1) laguna Chasicó; 2) laguna Unamuno; 3) laguna Los Chilenos; 4) laguna De Los Flamencos; a) arroyo Chasicó; b) arroyo Napostá Chico o Bajo Hondo; B) Topografía y unidades administrativas (partidos): A) Adolfo Alsina; B) Saavedra; C) C. Suárez; D) G. La Madrid; E) Puan; F) Tornquist; G) C. Pringles; H) A.G. Chávez; I) Villarino; J) Bahía Blanca; K) C.M.L. Rosales; L) C. Dorrego; LL) Monte Hermoso; C) localización relativa (escala nacional).



Fuente: elaboración propia sobre las siguientes fuentes de datos: Atlas Climático de la República Argentina (Bianchi y Cravero, 2010); Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la República Argentina, Modelo de Elevación Digital (DEM SRTM) (CGIAR-CSI, 2004 - 2023) (<https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>) y bases de datos HydroLAKES e HydroBASINS (Lehner y Grill, 2013).

Todos los hallazgos anteriormente citados muestran el importante dinamismo y variabilidad hidrológica y climática de las cuencas de la región y su relación con los eventos extremos. Es por ello que el objetivo de esta investigación fue realizar una evaluación multicriterio sobre la base de

características climáticas, fisiográficas, edáficas e hidrológicas para la estimación y análisis de la susceptibilidad hídrica en las cuencas hidrográficas anteriormente mencionadas, localizadas en la llanura pampeana argentina.

## 2. Metodología

La susceptibilidad hídrica en las cuencas hidrográficas de los arroyos Chasicó y Napostá Chico, en la llanura pampeana argentina (Figura 1) se estimó a partir de información fisiográfica, hidrológica, edáfica y climática del área. Se aplicó el método de evaluación multicriterio (EMC) mediante la consideración de información previa y dentro de ella el método de agregación de proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP). Esta es una metodología multicriterio con fundamentos matemáticos, desarrollada a fines de la década de 1970 por Thomas L. Saaty (Pacheco y Contreras, 2008). Dicha metodología incluye la descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenándolos en una estructura jerárquica a partir de los cuales se obtienen valores numéricos según los juicios de preferencia y luego se los sintetiza para determinar la prioridad de las variables (Pacheco y Contreras, 2008).

El cálculo de la prioridad se realiza mediante la comparación por pares, teniendo en cuenta la influencia que ejercen unos sobre otros y las jerarquías. De esta manera, se aplica una escala de preferencias (prioridades), mediante la cual se obtiene una matriz con valores de 1 a 9, otorgándoles de igual a extrema importancia (Pacheco y Contreras, 2008). En primera instancia se realizó la ponderación de cada una de las variables y sus categorías. Dicha ponderación, si bien presenta un carácter subjetivo, se sustenta en conocimientos previos y en una exhaustiva revisión bibliográfica. El procedimiento realizado se detalla a continuación para cada una de las variables analizadas: textura de suelo (T), máxima extensión de agua (MEA), desarrollo de paleocauces (P), rasgos geomorfológicos (RG) e índice de aridez de De Martonne (IA), este último calculado para Argentina en el Atlas Climático Digital de la República Argentina (Bianchi y Cravero, 2010). La información vectorial correspondiente a los límites de las cuencas hidrográficas y los cuerpos de agua > 10 ha fueron obtenidas, con libre acceso, de las bases de datos HydroBASINS e HydroLAKES, respectivamente (Lehner y Grill, 2013). Todas las operaciones se realizaron mediante la aplicación del SIG de libre acceso, QGIS 3.16.10.

### 2.1. Textura de suelo (T)

La textura de suelo para el área de estudio fue analizada a partir del mapa, disponible en formato vectorial, de suelos de la República Argentina (E: 1: 500 000) desarrollado y publicado por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) (1990). Las categorías de textura de suelo, presentes para el área fueron las siguientes: franco arenoso, franco limoso, franco arcilloso, areno-franca, franca y arenosa. Las mismas fueron ponderadas (Tabla 1) de acuerdo a los criterios enunciados por FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación) (2009) en relación con la permeabilidad de los suelos según textura y con la ponderación realizada por Bohn y Piccolo (2019) para la estimación de la vulnerabilidad hidrológica en 3 cuencas hidrográficas de la región pampeana argentina. Por último, la información edáfica vectorial proporcionada por INTA (1990) fue reclasificada y convertida a formato ráster en el SIG QGIS 3.16.10.

## 2.2. *Máxima extensión de agua (MEA)*

La MEA para la región fue obtenida, en archivo ráster, de la base de datos Global Surface Water (Pekel et al., 2016), desarrollada a escala global. Dicho set de datos utiliza información de imágenes satelitales LANDSAT correspondientes al período 1984-2021. Cada pixel fue clasificado de acuerdo a la presencia o ausencia de agua. La variable analizada, MEA, provee información a lo largo de dichos años y es la unión de todos los sets de datos de cada año. Los valores 0 y 100 fueron asociados a ausencia y presencia de agua, respectivamente (Tabla 1).

## 2.3. *Índice de aridez (De Martonne)*

Se utilizó el mapa del índice de aridez de De Martonne (IA), elaborado para el Atlas Climático Digital de la República Argentina (Bianchi y Cravero, 2010), sobre la base del índice de aridez mencionado, desarrollado por el geógrafo francés Emmanuel De Martonne en el año 1926. El mismo se calcula hallando el cociente entre la precipitación y la temperatura del aire más el número diez ( $Ia = P / (T + 10)$ ). El mapa, en formato ráster, fue obtenido, con libre acceso y formato ráster, del Geoportal IDESA (<http://geoportal.idesa.gob.ar/>) y corresponde al Atlas climático digital de la República Argentina (Bianchi y Cravero, 2010). A partir del mismo, se determinan áreas desiertas (hiperáridas, IA entre 0 y 5), semidesiertas (áridas, IA entre 5 y 10), semiáridas (IA entre 10 y 20), subhúmedas (IA entre 20 y 30), húmedas (IA entre 30 y 60) y Perhúmedas (IA > 60). Dichas categorías fueron ponderadas de acuerdo a su contribución a la ocurrencia de inundaciones y de mayor humedad del suelo. La misma se realizó según expresa el detalle brindado en la Tabla 1 y sobre la base de conocimientos previos de la hidrología de la región (Bohn, Piccolo y Perillo, 2013; Siniscalchi et al., 2018; Bohn et al., 2019; Arias y Geraldini, 2019). El mapa correspondiente al índice de aridez también fue reclasificado sobre la base de los antecedentes bibliográficos de la climatología del área en relación con la ocurrencia de eventos de anegamiento y sequía en la región (Carbone, Fornerón y Piccolo, 2015; Ferrelli et al., 2021) (Tabla 1) y de acuerdo a la distribución espacial de la precipitación en Argentina (Bustos, Ferrelli y Piccolo, 2017). La misma indica, para la región de estudio, precipitaciones anuales de 800 a 400 mm/año, disminuyendo desde el NE hacia el SO (Figura 1). Dicha información se complementó con datos acerca del número y localización de eventos extremos húmedos registrados en la región (Bohn, Piccolo y Perillo, 2011).

## 2.4. *Desarrollo de paleocauces*

Esta variable, relacionada a la topografía de la región, fue analizada a partir del modelo de elevación digital (MDE-Ar v2.0) desarrollado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina) a partir de una combinación de datos capturados por las misiones satelitales SRTM y ALOS. El mismo cubre la totalidad del territorio continental argentino y su referencia vertical coincide con el Sistema de Referencia Vertical Nacional (SRVN16). Tiene una resolución espacial de 30 m y una precisión vertical de aproximadamente 2 m (<https://www.ign.gob.ar/>). La contribución del desarrollo de paleocauces (P) a la generación de lagunas intermitentes y anegamientos fue constatada por Bohn, Perillo y Piccolo (2011) para el centro sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina), un sector de llanura cercano al área de estudio y de características físicas similares. Los paleocanales o paleocauces fueron estimados a partir del MDE-ar (IGN) y la aplicación de la herramienta para la determinación de acumulación de flujos disponible en QGIS. El mapa resultante, obtenido en formato ráster, se reclasificó en 2 categorías: presencia (100) y ausencia (0) de paleocanales, teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia de inundaciones. La información obtenida fue contrastada con la información vectorial obtenida de la base de

datos del IGN de la República Argentina referida a cursos de agua permanentes e intermitentes. La ponderación se realizó de acuerdo al detalle brindado en la Tabla 1, indicando mayor susceptibilidad hídrica para los píxeles correspondientes a paleocanales (100).

### 2.5. Rasgos geomorfológicos

Los rasgos geomorfológicos para ambas cuencas hidrográficas fueron ponderados sobre la base de conocimientos y antecedentes de la hidrología de la región asignada a información vectorial provista por el INTA (1990) en su mapa de suelos de la República Argentina (E: 1: 500 000). De acuerdo a Kruse y Laurencena (2005) el almacenamiento superficial de agua en la provincia de Buenos Aires (Argentina) (Figura 1.c) se produce en cañadas y bajos, que almacenan temporalmente o retardan la infiltración de agua, lo cual se traduce en el presente trabajo como valores altos en relación a la susceptibilidad hídrica (Tabla 1). Para las lagunas pampeanas de Argentina, numerosos estudios han mostrado la variabilidad de sus áreas en relación a la pluviometría. Ante un aumento en la precipitación u ocurrencia de evento húmedo, las áreas aledañas a las lagunas presentaron anegamiento (Bohn, Piccolo y Perillo, 2013; Ferrelli y Aliaga, 2015; Bohn et al., 2016; Brendel et al., 2021; Carbone, Fornerón y Piccolo, 2015) así como también son susceptibles a inundación, las zonas de valle de la región (La Brújula24, 2021). Muchas de ellas se configuran, en épocas de mayor pluviometría, como bañados de desborde fluvial (Rodríguez et al., 2018). Los arroyos que nacen en llanuras serranas (Kruse y Laurencena, 2005) presentan buen drenaje en sus nacientes mientras que, al ingresar en las zonas de menor pendiente, son alimentados por aguas subterráneas, las cuales se encuentran en relación al régimen de precipitación en la región pampeana argentina (Bohn et al., 2020). En el sector SO de ésta, los arroyos son intermitentes y sus caudales se relacionan con la humedad regional y se alimentan de los excedentes drenados superficialmente (Kruse y Laurencena, 2005).

En un esquema acerca de los procesos hidrológicos del sector norte de la región pampeana argentina, realizado por Aragón et al. (2010), se describe el comportamiento de los principales flujos durante una inundación. Al inicio de ésta, se genera un exceso de agua y el nivel freático presenta un ascenso a la superficie como respuesta. En esta etapa, tanto los flujos de agua subterránea como los de agua superficial predominan por igual en tierras bajas y altas. Con el proceso de precipitaciones intensas, los cuerpos de agua aumentan su superficie favoreciendo el transporte de agua desde las tierras altas hacia las zonas más bajas, por lo que presentan menor y mayor susceptibilidad hídrica en la ponderación asignada, respectivamente (Tabla 1).

Tras la asignación de los pesos correspondientes (Tabla 1), se aplicó la ponderación a las variables que fue obtenida a partir de la comparación por pares (método AHP), mediante el complemento AHP del SIG QGIS v 2.8. Finalmente, se obtuvo el mapa final de susceptibilidad hídrica utilizando la calculadora ráster del SIG, tras la suma de los mapas ráster de cada variable, multiplicados por el peso correspondiente.

Tabla 1. Fuentes y características de los datos utilizados para la estimación de la susceptibilidad hídrica de dos cuencas hidrográficas de la llanura argentina.

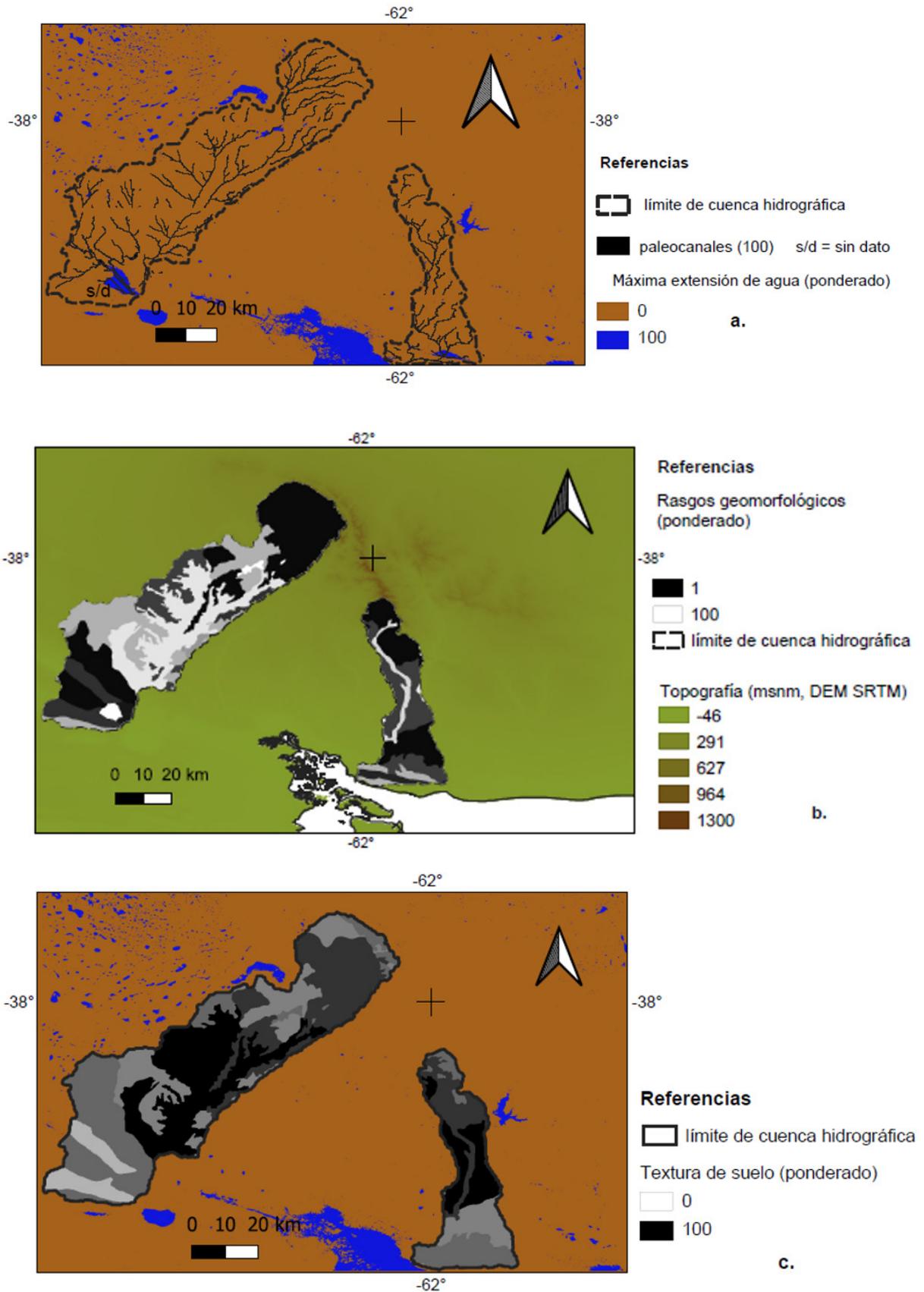
Variable/parámetro		Fuente	Ponderación
Rasgos hidrológicos	Máxima extensión de agua (MEA)	Pekel et al. (2016)	Presencia de agua: 100 Ausencia de agua: 0
Rasgos climatológicos	Índice de aridez de De Martone (IA)	Atlas Climático de la República Argentina (Bianchi y Cravero, 2010)	IA 0-10, desierto y semidesierto = 5 IA 10-20, semárido de tipo Mediterráneo = 20 IA 20-30, subhúmedo = 30 IA 30-60, húmedo = 50 IA > 60, perhúmedo = 70
Rasgos edáficos	Textura del suelo (T)	INTA (1990)	Franco arcillosa: 100 Franco limosa: 80 Franco arenosa y arenosa franca: 60 Franca: 50 Arenosa: 30
Rasgos topográficos	Rasgos geomorfológicos (RG)	INTA (1990)	Pendiente: 5 Afloramiento rocoso: 5 Lomas con tosca subsuperficial: 20 Albardón: 20 Loma medanosa: 20 Loma: 25 Meseta con tosca: 60 Planicie: 70 Llanura: 70 Duna: 15 Planicie arenosa: 10 Borde de valle: 85 Valle: 90 Lago/laguna: 100
	Paleocanales (P)	IGN MED-ar (30 m) Operaciones SIG	Presencia de paleocanales: 100 Ausencia: 0

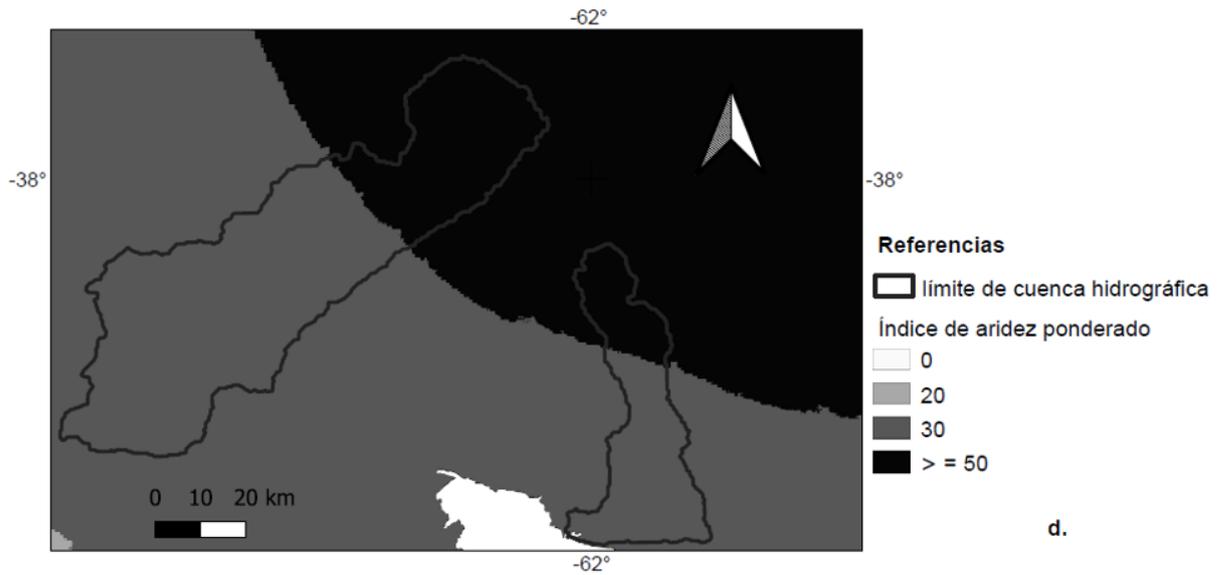
Fuente: Elaboración propia

### 3. Resultados

Como resultado se obtuvieron los mapas de las variables ponderadas, para ambas cuencas hidrográficas. En el caso de la presencia de paleocanales, estimados a partir del MED-ar, se obtuvo una densidad superior a la de los flujos superficiales (Figura 2.a). Este rasgo se observó en ambas cuencas, en las que, tal como se expresó anteriormente, los arroyos principales son de carácter permanente (Figura 1) y presentan sus nacientes en el sistema de Ventania. En cuanto a la MEA, se destacaron las áreas ocupadas por las lagunas permanentes de la región (Figura 1): Chasicó, Los Chilenos, Los Flamencos, Unamuno y cuerpos de agua con extensión aproximada de 1 km<sup>2</sup> (Figura 2). En relación a los rasgos geomorfológicos, las zonas de pendiente, planicie, valle y loma presentaron mayor representatividad. En el primer caso, el valor de ponderación fue bajo (5) mientras que, en los 3 restantes, fue alto (25, 70, 90) dada la relación de estas geofomas con la escorrentía y/o el anegamiento (Figura 2.b).

Figura 2. Variables ponderadas (0 – 100) para la estimación de la susceptibilidad hídrica en dos cuencas hidrográficas de la llanura pampeana argentina: a) desarrollo de paleocanales y máxima extensión de agua; b) rasgos geomorfológicos; c) textura de suelo; d) índice de aridez.





Fuente: elaboración propia sobre las siguientes fuentes de datos: Bianchi y Cravero (2010), Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN), Pekel et al. (2016) e INTA (1990).

El mapa de la variable textura edáfica realizado sobre la base del mapa de suelos de la República Argentina (1: 500 000) (INTA, 1990) presentó valores altos (Tabla 1) en la ponderación para los sectores medios de ambas cuencas hidrográficas, dada la presencia de suelos con textura franco arcillosa. En el caso de las zonas de cuenca inferior, en ambos casos predominó la textura arenosa y franco arenosa, por lo que se obtuvieron valores de 30 - 50 para la ponderación. En los sectores de la cuenca alta, en ambos casos, predominó la textura franca y franco limosa (Figura 2.c). La ponderación del índice de aridez mostró relación con el trazado de las isohietas de la región (Bianchi y Cravero, 2010) y la zonificación de la región pampeana según su régimen pluviométrico (Aliaga et al., 2016), con mayor humedad en los sectores de cuenca alta, para ambos casos (Figura 2.d). Tras la elaboración de la matriz de consistencia (Tabla 2), realizada según la escala de Saaty (1980) se obtuvo un  $CR = 0,05$  y los pesos para cada variable fueron los siguientes: MEA, 0,121; índice de aridez, 0,155; textura de suelos, 0,094; desarrollo de paleocanales, 0,339 y rasgos geomorfológicos, 0,292. Con el criterio de probabilidad de susceptibilidad hídrica la ponderación obtenida se consideró acertada, por la contribución de cada variable al mencionado proceso.

Tabla 2. Relación de consistencia entre las variables analizadas, obtenida a partir de los mapas ráster de cada variable ponderada

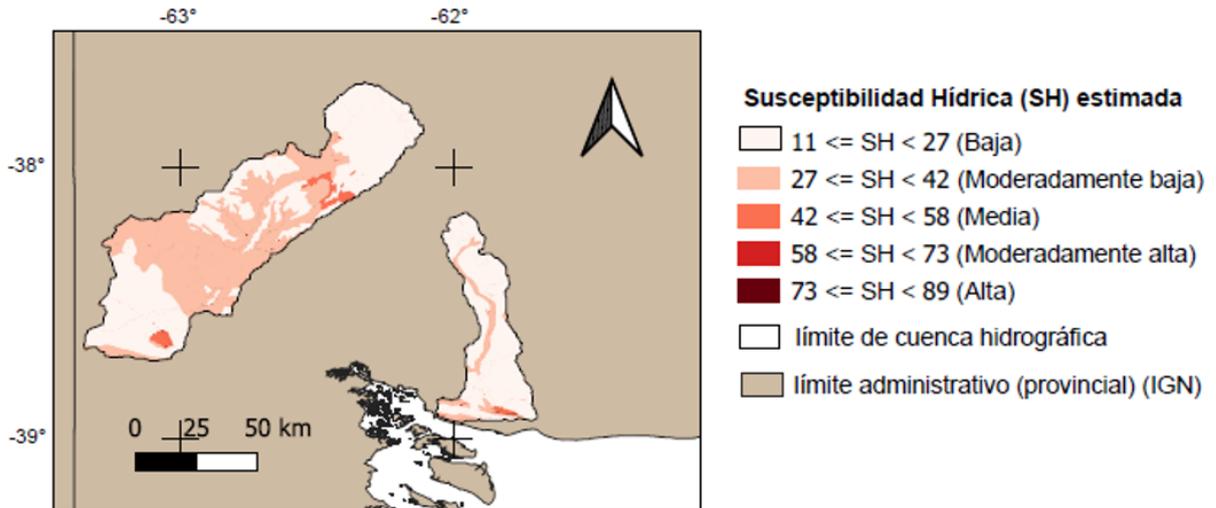
Variable	Índice de aridez	Máxima extensión de agua	Desarrollo de paleocanales	Textura de suelo	Rasgos geomorfológicos
Índice de aridez	1	1	0,50	3	0,33
Máxima extensión de agua	1	1	0,33	1	0,50
Desarrollo de paleocanales	2	3,03	1	5	1
Textura de suelo	0,33	1	0,20	1	0,50
Rasgos geomorfológicos	3,03	2	1	2	1

Fuente: elaboración propia, realizada en el SIG QGIS 3.16.10.

De acuerdo a la ponderación obtenida para cada variable se aplicó la siguiente fórmula, mediante el uso de la calculadora ráster del SIG QGIS:

$$\text{Mapa final de Susceptibilidad hídrica (MFSH)} = (\text{IA.tif} * 0,155) + (\text{MEA.tif} * 0,121) + (\text{P.tif} * 0,339) + (\text{T.tif} * 0,094) + (\text{RG.tif} * 0,292)$$

Figura 3. Mapa final de susceptibilidad hídrica estimada



Fuente: elaboración propia

El MFSH (1 - 100) (figura 3) para las cuencas hidrográficas estudiadas mostró las 5 categorías en ambas cuencas hidrográficas, siendo la Alta, de escasa representatividad. Para la cuenca del arroyo Chasicó, las clases más representativas fueron la de baja y muy baja susceptibilidad hídrica, con el 52,9 y 43,8 %, respectivamente (error en la estimación de la representatividad: 0,66 %). En cuanto a la distribución espacial de estas áreas, las mismas se encontraron en variados sectores: cuencas alta, media y baja (Figura 3), relacionada con afloramientos rocosos (Figura 2.b) y suelos de textura arcillosa, de escasa permeabilidad (Figura 2.c). Los cuerpos de agua que se desarrollan en la cuenca, la laguna Chasicó y Los Chilenos, mostraron SH moderadamente alta, dada su permanencia de agua, densidad de paleocauces en la cubeta y características geomorfológicas (Figuras 2.a y b).

Al igual que en el caso anterior, en la cuenca del arroyo Napostá Chico, la mayor representatividad fue obtenida por las clases de SH baja y moderadamente baja, con el 83 y el 14,3 %, respectivamente (error en la estimación de la representatividad: 0,36 %). Si bien se presentaron todas las categorías de SH, la mencionada unidad hidrográfica mostró mayor homogeneidad en la distribución espacial de la SH, en comparación con la cuenca del arroyo Chasicó. Además de las anteriormente mencionadas, se destacó la categoría de SH media, vinculada con la cubeta de la laguna Unamuno (Figura 3). En ambos casos, no se infiere la influencia del grado de aridez, representada mediante el IA, como elemento forzante en la estimación de la SH (Figuras 2.d y 3).

## 4. Discusión

El método desarrollado en el presente trabajo, para la estimación de la SH en dos cuencas de la llanura pampeana argentina incluyó variables climáticas, edáficas, topográficas e hídricas, obteniéndose de ese modo, una estimación meramente física. De las mismas, tal como se describió anteriormente, la variable de desarrollo de paleocanales y rasgos geomorfológicos fueron las que presentaron un mayor peso, según su importancia. No obstante, la inclusión de la variable antrópica en el espacio geográfico para la estimación de la SH se prevé en trabajos futuros tal como se ha hecho mediante la inclusión de la variable de usos y coberturas del suelo, en relación a la vulnerabilidad hidrológica de cuencas de llanura (Bohn y Piccolo, 2019). En relación con los resultados hallados, éstos mostraron una mayor representatividad de la clase de SH baja y moderadamente baja, lo cual coincide con la información correspondiente a riesgos de desastres aportada por el SINAGIR (Plan Nacional de Reducción de Riesgo de Desastres 2018 - 2023), brindada a través del IGN de la República Argentina. En ella, los partidos administrativos vinculados a ambas cuencas mostraron media, baja y muy baja cantidad de registros de eventos (base de datos DESINVENTAR) entre los que se destacaron inundaciones regionales, inundaciones de núcleos urbanos, inundaciones de llanura y tormentas severas. Las unidades administrativas de interés, dada su localización (Figura 1) fueron los siguientes: Tornquist (21 eventos registrados), C. de Marina L. Rosales (11), Puan (18), Saavedra (16), Villarino (15), Coronel Suárez (18) y Bahía Blanca. Este último fue el único que registró un nivel medio de registros, con 102 eventos, durante los años 2018 al presente.

La potencialidad de los SIG ha sido nuevamente demostrada en el presente trabajo, al igual que en otros trabajos predictivos de variables ambientales tales como los realizados por Mastrandrea y Ángeles (2021) y García Bu Bucogen, Bohn y Piccolo (2021). Éstos brindan, además, la posibilidad de otorgar dinamismo a las estimaciones a partir de las variables que incorporan el rasgo temporal. En el caso del presente estudio, dicho dinamismo puede lograrse a partir del cálculo del índice de aridez para distintas épocas o períodos. Otro rasgo a discutir en relación con la metodología aplicada es el predominio de la subjetividad en la ponderación de las variables. No obstante, los resultados son validados de acuerdo al respaldo que muestra el proceso de ponderación. En este caso, la misma ha sido basada en bibliografía y conocimientos previos al igual que lo han realizado con éxito otros autores (i.e.: Marcano Montilla y Cartaya Ríos, 2012) y que, en ciertas ocasiones, se completaron con control de campo y/o procesamiento de imágenes satelitales (Varón Gutiérrez y Vargas Cuervo, 2019). En este contexto se destacan, también, metodologías de índole cuantitativa, también basadas en la integración de variables en un entorno SIG, para la estimación de la susceptibilidad hídrica que contemplan el cálculo de índices sobre la base de variables vinculadas a los procesos de inundación y escurrimiento. En este caso, las variables analizadas incluyen la forma de la cuenca hidrológica, índices de humedad, litología, densidad de drenaje, entre otras (Zaharia et al., 2017).

En regiones de escasez de datos, la metodología presentada cobra interés como forma de alcanzar la estimación de susceptibilidad o riesgo y de otros parámetros predictivos. Ello, debido a que se basa en la combinación de diferentes fuentes de datos, publicadas por organismos regionales, nacionales y/o globales las que, mayormente, existen para todas las regiones geográficas. Ante esto, uno de los desafíos que se presentan, es la resolución espacial y las escalas geográficas. La relación espacial de las variables y la calidad de los datos tienen efectos sobre la precisión de los resultados. Ello hace necesaria la validación de los mismos (Zaharia et al., 2017). En el presente trabajo, la utilización de diferentes escalas espaciales en el proceso de estimación de la susceptibi-

lidad hídrica fue validado estadísticamente, mediante el proceso de Jerarquías Analíticas (Saaty, 1980) el cual ofrece un soporte de validación o comprobación estadístico de tales pesos o valores. Estos procedimientos, incluyendo escalas geográficas diferentes en su proceso de estimación, han arribado exitosamente a estimaciones hidrológicas para otras cuencas hidrográficas de Argentina (Bohn y Piccolo, 2019) y en relación a la identificación de áreas susceptibles de inundación y riesgo de inundación, sobre la base de cartografía y datos satelitales, de diferente resolución espacial logrando su validación (Zaharia et al., 2017). Las escalas mayores son utilizadas, también, como herramienta de validación de productos obtenidos a partir de escalas de menor detalle (Esparza, 2019).

## 5. Conclusiones

El método aplicado en el presente trabajo se realizó sobre la base de fuentes de información disponibles a nivel global y nacional, lo cual permite aplicarlo en otras áreas geográficas de similares características. De todas las variables involucradas en la estimación de la SH, la referida a los aspectos climáticos es la única de tipo dinámica. Esto significa que es posible, sobre la base del método desarrollado en el presente trabajo, el estudio de la evolución de la SH, bajo distintos escenarios climáticos, de eventos secos o húmedos. No obstante, en el presente trabajo, la variable climática se analizó sobre la base de datos promedio y no así teniendo en cuenta su variabilidad anual y/o interanual.

Tal como se enunció en el apartado área de estudio, las cuencas estudiadas poseen características físicas similares y se encuentran cercanas desde el punto de vista geográfico. Climáticamente, la cuenca del arroyo Chasicó se encuentra vinculada a un área de transición y al desarrollo de la diagonal árida argentina (Bruniard, 1982) mientras que la cuenca del arroyo Napostá Chico se localiza en sectores de isohietas de 600 - 800 mm/año. No obstante, a pesar de ello, ambas cuencas son relativamente homogéneas y mostraron escasa representatividad en altos rangos de SH. La mayor SH observada se relacionó con el desarrollo de cuerpos de agua lagunares y tramos de arroyo. Este último constituye un aspecto positivo en cuanto a la posibilidad de predicción de conflictos y/u ocurrencia de daños ante un evento extremo de precipitación. Si bien ambas cuencas son relativamente homogéneas y mostraron escasa representatividad en altos rangos de SH, la cartografía de susceptibilidad hídrica elaborada constituye una herramienta útil y un insumo clave para la toma de decisiones. Particularmente en lo que refiere a la previsión y/o anticipación de los posibles impactos que los eventos hidrometeorológicos extremos generan, especialmente para los habitantes que residen en sus proximidades, así como para el desarrollo de las actividades productivas que se llevan a cabo en el área de estudio.

## Bibliografía

- Ahmed, A., Hewa, G., & Alrajhi, A. (2021). Flood susceptibility mapping using a geomorphometric approach in South Australian basins. *Natural Hazards*, 106, 629–653. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04481-z>
- Aliaga, V.S., Ferrelli, F., Alberdi Algañaraz, E.D., Bohn, V.Y., & Piccolo, M.C. (2016). Distribución y variabilidad de la precipitación en la Región Pampeana, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42(1), 261-280. <http://dx.doi.org/10.18172/cig.2867>
- Aliaga, V.S., Ferrelli, F., & Piccolo, M.C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*; 37 (1), 1237-1247.

- Aragón, M.R., Jobbagy Gampel, E.G., & Viglizzo, E.F. (2010). Surface and groundwater dynamics in the sedimentary plains of the Western Pampas (Argentina), *Ecohydrology*, 4 (3), 433-447. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/eco.149>
- Arias, J., & Geraldí, A.M. (2019). "Análisis de la dinámica hídrica espacial de las lagunas Las Encadenadas de Saavedra y Los chilenos con imágenes satelitales ópticas". En *Actas Científicas GAEA*, 80° Semana de la Geografía (pp. 33-40). Actas de la 80° Semana de la Geografía. Corrientes, 4 al 7 de septiembre de 2019. Recuperado de <https://www.gaea.org.ar/>
- Barros, V. y Camilloni, I. (2016). *La Argentina y el cambio climático. De la física a la política*. Buenos Aires: Eudeba.
- Berasain, G.E., Colautti, D.C., Remes Lenicov, F., Argemi, F., Bohn, V.Y., & Miranda, L.A. (2015). Impact of water salinity on *Odontesthes bonariensis* (Actinopterygii, Atherinopsidae) fisheries in Chasicó Lake (Argentina), *Hydrobiologia*, 752 (1), 167-174. Doi: 10.1007/s10750-014-1980-8
- Bianchi, A.R., & Cravero, S.A.C. (2010). *Atlas climático digital de la República Argentina*.
- Salta, Argentina: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria. Recuperado de <http://inta.gob.ar/documentos/atlas-climatico-digital-de-la-republica-argentina-1/>
- Bohn, V.Y., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2007). Aplicación del índice estandarizado de precipitación a la laguna Unamuno. *Geoacta*, 32, 75-81. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/98581>
- Bohn V.Y., Perillo G., & Piccolo M.C. (2011). Distribution and morphometry of shallow lakes in a temperate zone (Buenos Aires province, Argentina). *Limnetica*, 30 (1), 89-102. Doi: 10.23818/limn.30.08
- Bohn, V.Y., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2011). Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de Climatología*, 11, 31-43. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/21270>
- Bohn, V.Y., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2013). Características bio-ópticas y morfometría de una laguna de zona templada. *Estudios Geográficos*, LXXIV (274), 311-328. <http://dx.doi.org/doi:10.3989/estgeogr.201311>
- Bohn, V.Y., Delgado, A.L., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2016). Assessment of climate variability and land use effect on shallow lakes in temperate plains of Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 75 (9), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-5569-6>
- Bohn, V.Y. (2019). Análisis estadístico de eventos secos y húmedos en la cuenca del arroyo Napostá Chico (provincia de Buenos Aires, Argentina). En A. Cortelezzi, I. Entraigas, F. Grosman, & I. Masson (eds), *Encuentro de saberes para la gestión responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos* (pp. 147-149). Azul, Argentina. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado de <https://ecosistemas.exa.unicen.edu.ar/libro-emeap-2019/>
- Bohn, V.Y., & Piccolo, M.C. (2019). Estimation of hydrological vulnerability in river basins of Argentinean plains. *International Journal of River Basin Management*, 17 (4), 1-13. Doi: 10.1080/15715124.2019.1683855
- Bohn, V.Y., Piccolo, M.C., Perillo, G.M.E., Pralongo, P.D., & Fornerón, C.F. (2019). Caracterización óptica de las lagunas Sauce Grande y Chasicó (Provincia de Buenos Aires). *Biología Acuática*, 27, 51-60. Recuperado de <https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/article/view/6645>
- Bohn, V.Y., Rivas, R.E., Varni, M.R., & Piccolo, M.C. (2020). Using SPEI in predicting water table dynamics in Argentinian plains. *Environmental Earth Sciences*, 79 (469), 1-16. Doi:10.1007/s12665-020-09210-0
- Bonorino, A.G., Ruggiero, E., & Mariño, E. (1989). *Caracterización hidrogeológica de la cuenca del arroyo Chasicó, provincia de Buenos Aires*. Informe 44. La Plata, Argentina. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC).
- Brendel, A.S., Ferrelli, F., Piccolo, M.C., & Perillo, G.M.E. (2021). Efectos de la variabilidad pluviométrica sobre la morfometría de los recursos hídricos de una cuenca hidrográfica de la Región Pampeana (Argentina). *Revista Geográfica Venezolana*, 62 (1), 92-106. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/137216>
- Bruniard, E.D. (1982). La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica*, 95, 5-20. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/40992410?origin=JSTOR-pdf>
- Bustos, M.L., Ferrelli, F., & Piccolo, M.C. (2017) Estudio Comparativo de Tres Modelos Climáticos en Argentina. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40 (1), 34-43. [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_1\\_34\\_43](http://dx.doi.org/10.11137/2017_1_34_43)
- Carbone, M.E., Fornerón, C.F., & Piccolo, M.C. (2015). Impacto de los eventos de sequía en la región de la cuenca hidrográfica de la laguna Sauce Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 63, 131-142 <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2015.63.09>

- EM-DAT (2021). «Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED the international disaster database». School of Public Health, Université Catholique de Louvain, Bélgica. <<https://www.emdat.be/>> [consulta: 4 de septiembre de 2021].
- García Bu Bucogen, G., Bohn, V.Y., & Piccolo, M.C. (2021). “Análisis temporal de la susceptibilidad hídrica en la cuenca inferior de Río Negro”. En: *V Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica y III Congreso Internacional de Tecnologías de la Información Geográfica: “Modelización y TIG aplicados a procesos espaciales urbanos y regionales”*(102-108). Tandil, 10 al 12 de noviembre de 2021. Recuperado de <https://vcongresonacionalt.wixsite.com/vcongresonacionaltig/>
- Esparza, J.B. (2019). Identificación y análisis de áreas inundables a partir de una metodología de integración de escalas espaciales. Caso de estudio: La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Cuaderno urbano*, 27(27), 135-166. Epub 01 de junio de 2019. <https://dx.doi.org/10.30972/crn.27274122>
- Ferrelli, F., & Aliaga, V.S. (2015). *Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la región pampeana, Argentina* (Trabajo de aplicación final). Universidad Nacional de Luján, Argentina.
- Ferrelli, F., Brendel, A., Piccolo, M.C., Perillo, G.M.E. (2021). Evaluación de la tendencia de la precipitación en la región pampeana (Argentina) durante el período 1960-2018. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 51, 41-57. DOI:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.69962>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (1990). *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina: Instituto de Suelos, INTA Castelar.
- Kopprío, G. A., Freije, R.H., Arias-Schreiber, M., & Lara, R. (2014). An ecohydrological adaptive approach to a salt lake in the semiarid grasslands of Argentina: future management perspectives. *Sustainability Science*, 9, 229–238. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0207-7>
- Kruse, E., & Laurencena, P. (2005). “Aguas superficiales. Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento”. En: *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*” (313-326). La Plata, Argentina.
- La Brújula24 (7 de enero de 2021). Desbordan arroyos y ríos por las copiosas lluvias en Sierra. La Brújula24. Recuperado de <https://www.labrujula24.com/notas/2021/01/07/desbordaron-arroyos-y-rios-tras-las-abundantes-lluvias-registradas-en-sierra-de-la-ventana-n99725/>
- Lehner, B., & Grill G. (2013). Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171–2186. <https://doi.org/10.1002/hyp.9740>
- López-Martínez, F. (2023). Ordenación del territorio y gestión de riesgos de inundación: evolución y análisis normativo a escala nacional. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 69(1), 81-106.
- Marcano Montilla, A., & Cartaya Ríos, S. (2012). Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa, empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la cuenca del río San Julián, estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación*, 36(75), 67-88. Recuperado en 07 de junio de 2023, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142012000100005&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142012000100005&lng=es&tlng=es)
- Mastrandrea, A., & Ángeles, G. (2021). Evaluación Multicriterio aplicada a la determinación de escenarios de peligrosidad en la cuenca del arroyo Napostá Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 60 (1), 181-202. Doi:10.30827/cuadgeo.v60i1.15337
- Olcina Cantos, J. (2017). Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata: Ciências Sociais E Humanidades*, 29(29). <https://doi.org/10.15304/s.29.4213>
- Olivera Acosta, J., Morales, G.M., García Rivero, A.E., Salgado, E.J., López, M.L., Estrada, R., Campos Dueñas, M., & Miravet, B.L. (2011). El uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios de peligros de inundaciones en cuencas fluviales: caso de estudio: cuenca Guanabo, ciudad de La Habana. *Proyección*, 10, 143-163. Recuperado de <https://bdigital.uncu.edu.ar/13623>.
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma, Italia: FAO.
- Pacheco, J.F., & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Serie Manuales 58. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Naciones Unidas. CEPAL.
- Pekel, J.F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A.S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540, 418-422. doi:10.1038/nature20584

- Pinos, J., Timbe, L., & Orellana, D. (2017). Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador. *Maskana*, 8(2), 147–162. <https://doi.org/10.18537/mskn.08.02.11>
- Pradhan, B., & Youssef, A.M. (2011). A 100-year maximum flood susceptibility mapping using integrated hydrological and hydrodynamic models: Kelantan River Corridor, Malaysia. *Journal of Flood Risk Management*, 4 (3), 189-202. [Doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01103.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01103.x)
- Puntoriero, M.L., Volpedo, A.V., & Fernández Cirelli, A. 2014. Riesgo para la población rural en zonas con alto contenido de arsénico en agua. *Acta Toxicológica Argentina*, 22 (1), 15-22. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/8105>
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. London, Reino Unido: Mc Graw Hill.
- Sepulcri, M.G, Pizarro, M.J, Flamengo, E, Herrera, M, Borus, J., & Giordono, L. (2012). Cartografía de susceptibilidad hídrica en el delta del río Paraná. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(2), 182-189. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1669-23142012000200013&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142012000200013&lng=es&tlng=en)
- Rodríguez, M., Cortese, B., Armendáriz, L.C., Simonetti, M.A., Donadelli, J.L., & Rodrigues Capitulo, A. (2018). “Empleo de rasgos bioecológicos de macroinvertebrados como herramientas para la gestión de bañados de desborde fluvial de la llanura pampeana argentina”. En *Actas del III Congreso Latinoamericano sobre Conflictos Ambientales* (116-117). Veracruz, 1 al 5 de octubre de 2018. Recuperado de <https://www.redcolca.org/>
- Siniscalchi, A.G., Kopprío, G., Raniolo, L.A., Gómez, E.A., Díaz, M.S., & Lara, R.J. (2018). Mathematical modelling for ecohydrological management of an endangered endorheic salt lake in the semiarid Pampean region, Argentina. *Journal of Hydrology*, 563, 778 - 789. DOI 10.1016/j.jhydrol.2018.06.014
- Soldano, A., Giraut, M., & Goniadzki, D. (2007). Mapa de susceptibilidad urbana ante inundaciones, Caso: Ciudad de Goya, provincia de Corrientes. En *TELEDETECCIÓN - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional* (pp. 449-456). Mar del Plata, Argentina: Ed. Martin. Recuperado de <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg60.pdf>
- Soldano, A. (2009). “Inundaciones: ¿Qué es susceptibilidad? Conceptos sobre riesgo”. En: *Síntesis temática realizada para el Foro Virtual de la RIMD creado para la Capacitación en Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones*. Falda del Carmen, 16 al 20 de marzo de 2009.
- Taboada, M.A., & Damiano, F. (2017). Inundación y manejo de suelos en la Argentina. En S. Waldman, *Inundaciones y manejo de cuencas: Clima, suelo, prácticas agrícolas, medio ambiente* (pp. 145-169), Buenos Aires, Argentina: Orientación Gráfica <http://hdl.handle.net/11336/117125>
- Varón Gutiérrez, S.D., & Vargas Cuervo, G. (2019). Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas con la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28 (1), 152-174. Doi: 10.15446/rcdg.v28n1.70856.
- Vélez, C.A.L., Villamar, J.M., & Gil, H.A.P. (2023). Susceptibilidad a eventos por inundaciones en un sector del área urbana del Cantón Rocafuerte (Manabí-Ecuador): aproximación desde un enfoque multicriterio. *Polo del Conocimiento*, 8(5), 186-210.
- Volpedo, A.V., & Fernández Cirelli, A. (2013). El lago Chasicó: similitudes y diferencias con las lagunas pampásicas. *Agua AUGMDOMUS*, 5 (1), 1-18. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11336/29230>
- Zaharia, L., Costache, R., Prăvălie, R., & Ioana-Toroimac, G. (2017). Mapping flood and flooding potential indices: a methodological approach to identifying areas susceptible to flood and flooding risk. Case study: the Prahova catchment (Romania). *Frontiers of Earth Science*, 11, 229–247. <https://doi.org/10.1007/s11707-017-0636-1>

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur (UNS) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). El trabajo se desarrolla en el marco del proyecto de investigación PGI VULNERABILIDAD HIDROLÓGICA Y PROBLEMAS AMBIENTALES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LLANURA (REGIÓN PAMPEANA, ARGENTINA) subsidiado por la UNS. Los autores agradecen a las agencias y autores de las diferentes bases de datos utilizadas en el presente trabajo por permitir el libre acceso.

## Contribución de autorías

Conceptualización, V.Y.B.; Metodología, V.Y.B. y A.M.; investigación, V.Y.B. y A.M.; análisis formal, V.Y.B.; análisis de los datos, V.Y.B.; revisión-edición, V.Y.B. y A.M.; escritura, preparación del manuscrito, V.Y.B.

## Financiación

El trabajo se realiza en el marco del Proyecto de investigación Vulnerabilidad hidrológica y problemas ambientales en cuencas hidrográficas de llanura (región Pampeana, Argentina), subsidiado por la Universidad Nacional del Sur (UNS, Argentina).

## Conflicto de intereses

Las autoras de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Hogares con Pobreza Multidimensional en Bogotá. Aspectos de su distribución espacial a escala de manzana

Households with Multidimensional Poverty at Bogotá. Aspects of their spatial distribution at the block scale

JUDITH SALINAS GONZÁLEZ<sup>1</sup>  0000-0002-5370-2669

ANA ESTER BATISTA ZAMORA<sup>2</sup>  0000-0003-1907-4838

<sup>1</sup>Universidad del Valle, Colombia

<sup>2</sup>Universidad de Málaga, España

## Resumen

El objetivo de la investigación es indagar acerca de los niveles de segregación y homogeneidad de la distribución espacial que experimentan los hogares afectados por Pobreza Multidimensional en Bogotá, a diferentes escalas: por un lado, el conjunto del aglomerado capitalino, por otro, las 19 localidades que lo conforman. Además, y para aquellas localidades en las que los niveles de segregación son mayores, identificaremos la presencia de agrupamientos estadísticamente significativos con altas y bajas concentraciones de hogares pobres. Se trata de una investigación netamente cuantitativa, y la información necesaria para llevarla a cabo ha sido obtenida del Censo de Población de 2018, a escala de manzana, y las cifras han sido tratadas con una variedad de instrumentos estadísticos orientados a dar cuenta de diferentes aspectos de la segregación: Índices de Theil y de Segregación, Cociente de Localización, y autocorrelación espacial (I de Moran y clústeres LISA). Los resultados obtenidos indican, por un lado, que los niveles de homogeneidad de las distribuciones espaciales de los hogares con Pobreza Multidimensional difieren entre las localidades que conforman el aglomerado capital; por otro, que en aquellas en las que la homogeneidad es mayor, los hogares pobres están afectados por niveles mayores de segregación residencial, con distribuciones espaciales no aleatorias que muestran una clara separación espacial entre los agrupamientos estadísticamente significativos alto-alto y bajo-bajo.

Palabras clave: Pobreza Multidimensional; entropía; segregación; autocorrelación espacial; hogares.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.12.11

Aceptado: 2024.10.01

Publicado: 2024.10.10

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Judith Salinas González [judith.salinas@correounivalle.edu.co](mailto:judith.salinas@correounivalle.edu.co)

## Abstract

The aim of this paper is to address the levels of segregation and homogeneity in the spatial distribution experienced by households affected by Multidimensional Poverty in Bogotá, at different scales: on the one hand, the entire capital agglomeration, and, on the other, the 19 localities that comprise it. Additionally, for those localities where levels of segregation are higher, we will identify the presence of statistically significant clusters with high and low concentrations of poor households. This is a purely quantitative investigation, and the necessary information to carry it out has been obtained from the 2018 Population Census, at block scale. Data have been analyzed using a variety of statistical instruments aimed at accounting for different aspects of segregation: Theil and Segregation Index, Location Quotient, and spatial autocorrelation (Moran's I, and LISA clusters). The results indicate, on one hand, that the levels of homogeneity in the spatial distributions of households with Multidimensional Poverty differ among the localities comprising the capital agglomeration; on the other hand, that in those where homogeneity is higher, poor households are affected by higher levels of residential segregation, with non-random spatial distributions showing a clear spatial separation between statistically significant high-high and low-low clusters.

---

Keywords: Multidimensional Poverty; entropy; segregation; spatial autocorrelation; households.

---

## 1. Introducción

La población residente en cualquier ciudad es heterogénea en función de una multiplicidad de variables -económicas, étnicas, sociales...-, una heterogeneidad que suele venir acompañada de un correlato espacial; la tendencia general es que los residentes individuales y los hogares de los que forman parte se agrupen en función de una o algunas variables fundamentales, llegando incluso a caracterizar las porciones del tejido urbano en las que se localizan. En virtud de esta concentración espacial pueden cuantificarse diferentes niveles de segregación residencial, con consecuencias positivas -las menos, y tan sólo presentes cuando la segregación es por concentración de grupo (Rodríguez, 2001)- o negativas, las más frecuentes. La desigualdad en la distribución del ingreso es una de las variables fundamentales que subyacen en la segregación residencial; y aunque es cierto que afecta al espectro social completo, también lo es el hecho de que las alternativas residenciales de una persona u hogar se van estrechando conforme disminuye su renta.

Sin embargo, es sabido que la pobreza no es sólo monetaria, sino que hay todo un conjunto de aspectos que también contribuyen a identificar a individuos y hogares como pobres: entre ellos, educación, calidad de la vivienda, o acceso a la sanidad. Puede argüirse que estos últimos aspectos están correlacionados con el ingreso, pero, en esencia, estamos haciendo referencia a dos aproximaciones a la hora de identificar a los pobres: por capacidad de consumo -variable ingreso, que implica potencialidad para consumir-, y por consumo efectivamente realizado -resto de variables, que implican el disfrute de los ítems a los que hacen referencia-. Método directo, el primero, y método indirecto, el segundo (Feres y Mancero, 2001).

Dentro del conjunto de métodos indirectos de identificación y cuantificación de la pobreza uno de los más completos, en nuestra opinión, es el denominado Índice de Pobreza Multidimensional,

cuyo cálculo considera 5 dimensiones y 15 variables diferentes (DANE, 2019)<sup>1</sup>; como método indirecto que es, no se centra en el ingreso, pero tampoco utiliza un número escaso de variables de consumo efectivamente realizado, sino que es el reflejo de un amplio espectro de la realidad social. Es cierto que, aun así, quedan aspectos que podrían coadyuvar a una mejor identificación de los pobres (que quedarían englobados en lo que Torres (2018) denomina “pobreza oculta”), así como también posibilidades de mejora del propio índice (Sánchez et al, 2021); pero el hecho de que pueda ser calculado a partir de variables censales, le aporta otra de sus grandes ventajas: que puede ser georreferenciado a escala de manzana urbana, lo que permite añadir con un gran nivel de detalle el componente espacial en su estudio.

Para Colombia, en general, y Bogotá, en particular, está disponible la información sobre el número de hogares afectados por Pobreza Multidimensional, a escala de manzana, correspondiente a 2018, fecha del último Censo de Población y Viviendas. Con escasas excepciones, como Muñoz (2020), las investigaciones sobre la distribución espacial de los hogares afectados por Pobreza Multidimensional de las que disponemos toman como escala de trabajo el departamento (Astorquiza y Ospina, 2020), la localidad (Jiménez, 2015; Mayorga et al., 2021), o, en el mejor de los casos, el barrio (Gutiérrez, 2017; Barbosa y Rodríguez, 2017), por lo que la manera en la que estos hogares se distribuyen en el interior de cada una de ellas no es considerada. Una distribución intra-localidad que dista de ser homogénea: pueden identificarse en su interior áreas con comparativamente fuerte presencia de estos hogares pobres, que contrastan con otras en las que su ausencia es más que notoria.

Esta heterogeneidad puede ser aprehendida al emplear como unidad de análisis la manzana, y es ahí donde reside la originalidad de la investigación que presentamos. Efectivamente, tomando la manzana como unidad espacial de referencia podemos no sólo cartografiar a esta escala la incidencia del fenómeno, sino, lo que es más importante, establecer niveles de segregación de estos hogares pobres a diferentes escalas. ¿Son los valores de la segregación de Bogotá, tomada como un conjunto, similares a los de las localidades que la integran?, o, por el contrario, ¿podemos identificar diferencias entre ellas? Y, desde el punto de vista espacial, ¿cuán homogénea es la distribución en el tejido urbano de estos hogares pobres? Y, en relación con ella, ¿es posible identificar en el interior de las localidades áreas con concentraciones -y ausencias- estadísticamente significativas de estos hogares pobres? En este contexto debe situarse el objetivo de nuestra investigación: indagar acerca de los niveles de homogeneidad y segregación que experimentan los hogares afectados por Pobreza Multidimensional en Bogotá, no sólo en el conjunto del aglomerado capitalino, sino también en el interior de las localidades que lo conforman; y, en aquellas localidades en las que la situación de segregación sea mayor, describir, a escala de manzana, la distribución espacial de estos hogares, e identificar la existencia de agrupamientos estadísticamente significativos con altas y bajas concentraciones de hogares pobres.

1. Las dimensiones y variables que emplea el Departamento Administrativo Nacional de Estadística son las siguientes: Dimensión Condiciones Educativas: Analfabetismo; Bajo logro educativo. Dimensión Condiciones de la niñez y la juventud: Inasistencia escolar; Rezago escolar; Barreras de acceso a servicios de cuidado de la primera infancia; Trabajo infantil. Dimensión Trabajo: Trabajo informal; Desempleo larga duración. Dimensión Salud: Sin aseguramiento a salud; Barreras de acceso a salud dada una necesidad. Dimensión condiciones de la vivienda y servicios públicos: Sin acceso a fuente de agua mejorada; Inadecuada eliminación de excretas; Material inadecuado de pisos; Material inadecuado de paredes; Hacinamiento crítico.

## 2. Estado de la cuestión

Localizada en el Departamento de Cundinamarca, en el centro del país, Bogotá, Distrito Capital, es el epicentro político, económico, administrativo, industrial, artístico, cultural, deportivo y tecnológico de Colombia; está constituido por 20 localidades (19 urbanas, y una rural), y cuenta con una población de 7.181.569 habitantes en 2023, lo que supone un 15% del total de habitantes de Colombia. Su dinámica urbana ha venido caracterizada por múltiples dinámicas de desigualdad en términos sociales, políticos, económicos y culturales que, sumadas a la densa legislación urbana que viene construyéndose hace 25 años, y a la participación de diferentes actores institucionales distritales y locales, dan cuenta de la entropía urbana que vive la ciudad (Salinas, 2017).

Su proceso de urbanización, acelerado y con una dinámica de crecimiento sobre su periferia que en la mayoría de los casos no es planificada, no se debió exclusivamente a la industrialización; a dicho proceso contribuyeron también notablemente complejas razones políticas y sociales, como la pobreza y la violencia, que motivaron la migración del campo a la ciudad a lo largo del siglo XX, determinando un crecimiento exponencial de la población en las zonas urbanas y el establecimiento de cinturones de miseria en sus alrededores. (Guallart, 2011). Es así como en la actualidad la mayoría de los bordes urbanos de Bogotá abundan asentamientos humanos informales.

Acorde a lo indicado en el Plan de Ordenación Territorial (Secretaría, 2020), la actual Bogotá es el resultado de una sucesión de formas de producción de ciudad, donde diferentes patrones se han ido añadiendo de forma progresiva: patrones tradicionales (consolidación de manzanas) se suman a patrones de consolidación por barrios, y a configuraciones como agrupaciones y a la ciudad informal. La sumatoria de dichos patrones se hace evidente en la variedad de morfologías, donde cada una es independiente de su entorno, lo que pone en evidencia la desigualdad y la heterogeneidad de la forma de la ciudad. Bogotá es además un espacio urbano de segregaciones múltiples, que parece dividir en dos el entramado urbano: El norte, por un lado, el Sur, por otro. Una dualidad que muestra el sentido de la separación entre ricos y pobres, y que demuestra así mismo, lo poco democrática que ha sido la ocupación del espacio, y las tensiones producidas en tal ocupación. Hoy día, estos fenómenos históricos hacen de Bogotá una ciudad desigual y compleja.

Tal y como indica Alfonso (2022, p.229) “la segregación residencial es la forma concreta de la división socioespacial de las clases sociales, que toma cuerpo en estructuras habitacionales de escala metropolitana en las que son fácilmente identificables patrones de agrupación a través de relatos que describen la ocupación de ciertos vecindarios por las clases altas, y a los sectores populares aglomerados en el extremo contrario”. En el caso de Bogotá históricamente la principal diferenciación se produce entre el norte -asiento de las clases altas- y el sur -lugar de residencia de las clases populares-. Ya desde fines del siglo XIX aparecen barrios elitistas, como Chapinero, proceso enmarcado en un desplazamiento gradual de las élites hacia el norte, un movimiento que será predominante ya en la década de los cincuenta del siglo pasado (Jaramillo, 2007), mientras que en el sur se levantaban barrios obreros, como Las Cruces o San Cristóbal. El centro, por su parte, se convierte en una suerte de barrera entre ambos extremos, un centro en el que se estaba registrando la conversión de las antiguas casonas en alojamientos plurifamiliares a través de su subdivisión interna, como medio de incrementar los ingresos por alquiler en el contexto de un aumento de las necesidades de vivienda en el marco de la llegada de inmigrantes desde las provincias (Gutiérrez, 2014).

El control urbanístico que progresivamente se va implementando sobre este punto de partida va a propiciar la aparición de una ciudad a grandes rasgos segregada, en la que los menos pudientes se ven obligados a residir en la periferia y lejos de las centralidades urbanas (Sánchez et al., 2022; Zambrano, 2022), desbordándose en procesos de informalidad urbana hacia los municipios vecinos (López, 2023). Aún hoy, en el aspecto que nos interesa, estas diferencias entre norte y sur son perceptibles: efectivamente, Jiménez (2016) indica que pese a las mejoras que los indicadores han registrado desde comienzos de este siglo, son las localidades del norte las que se encuentran en las mejores condiciones en lo relativo a la incidencia del Índice de Pobreza Multidimensional, tanto en su valor global como en las diferentes dimensiones de su cálculo, mientras que las del sur se encuentran en la situación contraria. Una realidad que ha sido magnificada por la neoliberalización de las políticas habitacionales, que ha concentrado los proyectos de vivienda más asequible al sur (Martínez, 2023); y todo ello en un contexto en el que la periferia urbana bogotana aún gravita en gran medida hacia el centro, mostrando unos niveles de autosuficiencia inferiores a los de otras metrópolis latinoamericanas (Tiznado-Aitken et al., 2023).

En la actualidad el modelo de estratificación de la población cataloga las diferentes zonas de Bogotá a partir de las condiciones de las viviendas, pero no tiene en cuenta la capacidad de pago de las personas que la habitan (Gutiérrez et al., 2022), habiéndose indicado que el estrato es muy poco asertivo a la hora de calificar el nivel de vida de un hogar (Cajamarca y Lovich, 2014). Es así como es posible encontrar hogares con diferentes niveles socioeconómicos en una misma zona homogénea desde el punto de vista de la estratificación. A esta realidad contribuye también el hecho de que este modelo de estratificación, con consecuencias sobre el pago de impuestos y servicios, puede desalentar la movilidad residencial (Aliaga-Linares y Álvarez-Rivadulla, 2010); efectivamente estos autores indican que desde el momento en que pasar a residir en zonas de estratos superiores al propio implica el pago de servicios más caros, hay población que pese a haber ascendido en la vertiente económica prefiere quedarse en su residencia. Es más, Uribe (2008) indica que el 58% de la población no se mudaría hacia barrios de estratos más elevados aún si se convirtiesen en ricos, al tiempo que Alfonso (2022) contrapone el “nomadismo residencial” de la población correspondiente a los estratos 1 a 4 al sedentarismo del resto.

Consecuencia de todo ello es que se ha registrado la existencia de niveles importantes de cercanía espacial de población de condiciones económicas disímiles, por cierto, sin encontrar evidencias de empobrecimiento o criminalidad (Higuera, 2016). Ya a comienzos de siglo Medina et al. (2008) indicaban que, efectivamente, Bogotá era una ciudad altamente segregada, pero ya entonces encontraban evidencias de que la ciudad era cada vez más mezclada, debido a la existencia de movimientos migratorios dentro de la región metropolitana.

En parte esta cohabitación se debe a la llegada de contingentes de población a zonas habitadas por estratos comparativamente superiores; estos últimos no necesariamente se mueven de su localización (como acabamos de indicar, cambiar la residencia a un área encuadrada en un estrato superior implica un incremento de gastos), sino que, en muchas ocasiones, se “encastillan” tras muros (Peñalosa, 2021). El resultado es la existencia de vecindarios homogéneos desde el punto de vista del estrato en el que las viviendas fueron incluidas, pero conteniendo cierta mezcla de población desde el punto de vista socioeconómico; en consecuencia, conforme nos acercamos, lo que aparece como algo homogéneo a escala de localidad, o aún Unidades de Planeamiento Zonales, va revelando la existencia de cierta heterogeneidad interna, a escala de manzana, la segregación está tomando un carácter más micro y localizado que en momentos etapas anteriores (Bucheli, 2022). Bogotá, en consecuencia, presenta un panorama de segregación complejo, con

mayor proximidad entre pobres y ricos (Thilbert & Osorio, 2017), al menos a escala de localidad, y que tiene reflejo incluso en niveles de mortalidad netamente diferenciados (Rodríguez-Villamar et al., 2023).

### 3. Fuentes y metodología

#### 3.1. Fuentes

La información estadística necesaria para la realización de nuestra investigación proviene del Censo Nacional de Población y Vivienda de 2018, el último realizado en la República. Son dos las variables que hemos empleado para la realización de la investigación que presentamos, ambas referidas al Distrito Capital de Bogotá, y cuyas cifras pueden obtenerse en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (en adelante DANE). La primera de ellas es el porcentaje de hogares afectados por Pobreza Multidimensional; esta cifra no ha sido calculada por nosotros, sino que la hemos tomado de la información publicada por el DANE, y disponible para su descarga en <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/ipm/> La razón para no haber realizado por nosotras mismas la identificación de estos hogares pobres reside en el hecho de que la información de las quince variables que integran su cálculo, y a las que anteriormente hicimos referencia, no está disponible a escala de manzana, con la correspondiente georreferenciación, por lo que la única opción disponible es la que hemos tomado.

La segunda variable es el número total de hogares, también a escala de manzana. En este caso las cifras han sido obtenidas a partir del empleo de la herramienta REDATAM, disponible para su empleo en la propia página del Censo: <http://systema59.dane.gov.co/bincol/rpwebengine.exe/PortalAction?lang=esp> Y de la combinación de ambas variables hemos calculado el número de hogares con Pobreza Multidimensional.

Una vez obtenida esta información, y como paso previo a su tratamiento estadístico, fueron eliminadas las manzanas encuadradas en la localidad rural de Sumapaz. Así, la matriz final de información, georreferenciada a escala de manzana, quedó compuesta por de 38.405 registros -manzanas-, con dos variables para cada una de ellas: total de hogares, y el número de hogares con Pobreza Multidimensional, un total de 76.810 valores individuales.

#### 3.2. Instrumentos estadísticos

La matriz de información ha sido tratada con diferentes instrumentos estadísticos, tanto espaciales como a espaciales. El primero de ellos es el Índice de la teoría de la información espacial -Índice de Entropía- (H); este índice nos permite identificar un abanico de situaciones que van desde un extremo en el que se sitúan unidades espaciales completamente homogéneas -en las cuales el valor del índice es 0-, a otro en el que se localizan unidades espaciales con diversidad máxima -valor 1-. Valores cercanos a 0 indican que los grupos en el interior de las unidades censales tienen una representación parecida a la correspondiente al conjunto de la ciudad, mientras que valores cercanos a 1 son indicativos de máxima segregación, las unidades censales están habitadas por un solo grupo de población o, en nuestro caso, hogares. Así, un valor de 1 será indicativo de una situación de máxima segregación espacial, puesto que cada unidad espacial estará habitada por un único grupo de población (en nuestro caso, existirán únicamente hogares pobres); mientras que un valor de 0 será indicativo de que la composición de hogares pobres y no pobres es

igual, en cada manzana, a la existente en el conjunto de la localidad, indicando, en consecuencia, la situación de segregación espacial mínima posible. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$H = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{t_i(E - E_i)}{ET} \right]$$

Siendo:

$$E = \sum_{m=1}^M \pi_m \ln \left( \frac{1}{\pi_m} \right)$$

Donde  $\pi_m$  es la proporción del grupo  $m$  en la ciudad,  $E$  y  $E_i$  representan la entropía en la unidad mayor -Conjunto de Bogotá y localidades- y en cada unidad censal -manzanas-, respectivamente;  $T$  es el total de hogares,  $t_i$  el total de hogares en la unidad censal  $i$  y  $m$  el número de grupos.

El segundo Índice es el de Segregación ( $S$ ), que es indicativo de la distribución de un grupo minoritario (los hogares con Pobreza Multidimensional) con respecto al total de hogares existentes en cada manzana. Su cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i}{X} - \frac{t_i - x_i}{T - X} \right|$$

Sus valores oscilan entre 0, indicativo de que los niveles de segregación son mínimos, y 1, cuando estos son máximos (esto es, la totalidad de los hogares con Pobreza Multidimensional residirían en la misma manzana).

En lo relativo a la vertiente espacial, son dos los instrumentos que hemos empleado. El primero de ellos es el Cociente de Localización. Se trata de un instrumento estadístico de cálculo sencillo, pero con la gran virtud de que nos permite identificar y, por tanto, cartografiar, las unidades espaciales -manzanas-, en las cuales el valor de la variable analizada es superior al que dicha variable presenta en el conjunto del área de estudio -Bogotá o sus localidades-. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$Q = \frac{\frac{E_{ij}}{E_j}}{\frac{E_i}{E_n}}$$

Donde  $E_{ij}$  es el número de hogares con Pobreza Multidimensional en la manzana  $j$ ;  $E_j$  el total de hogares en la manzana  $j$ ;  $E_i$  el total de hogares con Pobreza Multidimensional en el conjunto de la unidad espacial, y  $E_n$  el total de hogares en la unidad espacial. Valores inferiores a 1 son indicativos de que el peso de los hogares con Pobreza Multidimensional en una manzana determinada es

inferior al que tiene esa misma variable en el conjunto del área de estudio, al tiempo que valores superiores a 1 indican la situación contraria, con mayor sobre representación cuanto más elevado sea el valor del Cociente.

El segundo instrumento que hemos empleado se corresponde con la autocorrelación espacial, cuyo uso, tal y como indican Gamir *et al.* (1995), está especialmente indicado en situaciones en las que el componente social juega un papel determinante, desde el momento en que la población suele residir de un modo segregado. En el caso de que la distribución espacial de la variable no sea aleatoria, la autocorrelación puede ser positiva -cuando valores similares tienden a localizarse próximos en el espacio, siendo indicativa de agrupamiento-, o negativa -la situación contraria, siendo indicativa de dispersión-. Partiendo de la base de que, como en los párrafos que siguen veremos, ninguna de las distribuciones espaciales a las que hemos prestado atención es aleatoria, para identificar si la autocorrelación espacial aplicada a los hogares con Pobreza Multidimensional es positiva o negativa hemos acudido al cálculo de uno de los dos contrastes más utilizados, el Índice de Moran. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2}$$

Donde  $Z_i$  es la desviación del valor de la variable en una unidad espacial  $i$  con respecto a su media;  $W_{ij}$  es la ponderación geográfica entre la unidad espacial  $i$  y la unidad espacial  $j$ ;  $n$  es el número total de unidades espaciales; y  $S_0$  es una constante para todas las unidades espaciales.

Además, hemos añadido la cartografía correspondiente a los agrupamientos estadísticamente significativos (clústeres LISA), que descomponen el valor de la  $I$  de Moran indicado cuánto contribuye cada unidad espacial al valor total. De esta manera podemos identificar agrupamientos de concentraciones de valores extremos, tanto elevados, como bajos, de la variable objeto de estudio (Celemín, 2009).

Todo ello a partir del empleo de los paquetes estadísticos Geosegregation Analyzer (Índices de Entropía, de Segregación, y Cociente de Localización) y GEODA (Autocorrelación Espacial, clústeres LISA).

## 4. Resultados

Tal y como se puede apreciar en la tabla 1, son las localidades de Ciudad Bolívar, Kennedy, Bosa y Suba las que mayor número de hogares afectados por Pobreza Multidimensional presentan (todas por encima de los 20.000); en términos relativos son Usme y Ciudad Bolívar, con porcentajes por encima del 15%, las que se sitúan a la cabeza. En el extremo opuesto, son La Candelaria y Antonio Nariño las localidades que menor número de hogares pobres contienen, siendo Teusaquillo aquella en la que menor peso relativo representan, un comparativamente exiguo 2,64%.

Tabla 1. Hogares con Pobreza Multidimensional (PM) e Índices de Entropía (H) y Segregación (S) de estos hogares, por localidad

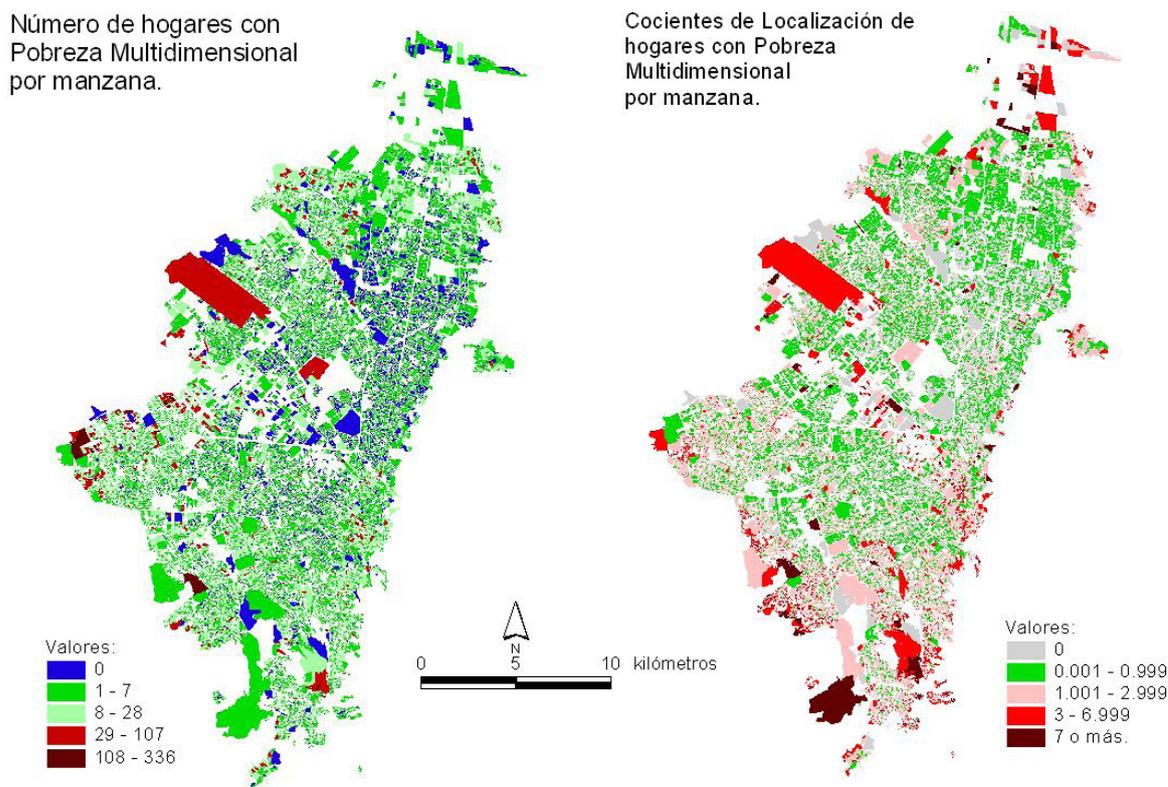
Localidad	Total de hogares	Hog. con PM	% con PM	H	S
Antonio Nariño	26.347	1.616	6,13%	0,0948	0,3328
Barrios Unidos	48.509	2.183	4,50%	0,1626	0,4687
Bosa	232.356	26.577	11,44%	0,0663	0,2589
La Candelaria	8.542	889	10,41%	0,1412	0,4009
Chapinero	69.025	3.038	4,40%	0,2367	0,5556
Ciudad Bolívar	200.284	30.750	15,35%	0,1303	0,3523
Engativá	269.082	15.689	5,83%	0,1059	0,3623
Fontibón	125.287	6.888	5,50%	0,114	0,3805
Kennedy	337.162	27.874	8,27%	0,1003	0,3428
Los Mártires	27.579	2.375	8,61%	0,1619	0,4274
Puente Aranda	81.346	4.298	5,28%	0,1202	0,3627
Rafael Uribe	115.465	13.121	11,36%	0,0963	0,3135
San Cristóbal	121.360	16.678	13,74%	0,0358	0,2885
Santa Fe	43.068	6.045	14,04%	0,1314	0,3685
Suba	338.696	22.033	6,51%	0,1251	0,4045
Teusaquillo	60.318	1.592	2,64%	0,1439	0,4366
Tunjuelito	58.240	5.594	9,61%	0,0661	0,2736
Usaquén	198.706	9.549	4,81%	0,1803	0,4857
Usme	109.567	18.583	16,96%	0,1104	0,3156
Total Bogotá	2.470.939	215.372	8,72%	0,1412	0,3986

Fuente: Censo Nacional de Población 2018. Elaboración propia.

Llevada la distribución de los números absolutos a un mapa a escala de manzana, se aprecia claramente cómo la incidencia a esta escala de la presencia de hogares pobres es escasa; efectivamente, en la figura 1 puede apreciarse cómo el mapa está teñido de tonos verdes oscuros en la porción norte de capital, indicativos de la existencia de un máximo de 7 hogares pobres por manzana, salpicados por manzanas en las que no existe ningún hogar afectado por Pobreza Multidimensional; los tonos verdes, en este caso más claros e indicativos de la existencia de un máximo de 28 hogares pobres por manzana se extienden por el sur de Bogotá (con menor presencia de manzanas sin este tipo de hogar). En definitiva, son muy escasas las manzanas en las que el número de hogares pobres es numéricamente elevado, y éstas tienden a situarse en los márgenes del aglomerado capital. Una distribución de los números absolutos que viene a confirmar no sólo la pervivencia de la distribución de los hogares según renta que se arrastra desde fines del XIX, sino también lo indicado por Jiménez (2016) en lo relativo a las mejores condiciones de las localidades septentrionales, cuestiones ambas a las que hicimos referencia en párrafos anteriores.

Esta diferenciación entre la sobre representación en las manzanas localizadas en las estribaciones meridionales de la Cordillera y la infrarrepresentación en las ubicadas en las septentrionales, creemos que es muestra de la utilidad del empleo de este estadístico. Efectivamente, esta distribución espacial ha captado el hecho de que las primeras se corresponden con viviendas básicamente de autoconstrucción, sin mayor rigor técnico y sobre los terrenos que las parcelaciones irregulares ofrecen; las segundas, en contraste, contienen viviendas construidas por empresas especializadas, que eligieron terrenos óptimos para su localización y seleccionados diseños arquitectónicos adecuados a los mismos (Baracaldo y Fonseca, 2020). Misma localización, diferente riesgo ambiental, y diferente situación en lo relativo a la incidencia de hogares pobres.

Figura 1. Bogotá. Número de hogares con Pobreza Multidimensional y Cocientes de Localización de hogares con Pobreza Multidimensional (2018).



Fuente: Censo Nacional de Población, 2018. Elaboración propia.

En este contexto podemos preguntarnos por los niveles de heterogeneidad y segregación en la distribución que exhiben los hogares pobres, a dos escalas: el total bogotano, y las localidades que lo componen para, de esta forma, comprobar el nivel de heterogeneidad existente a escala municipal, y en qué medida se replica en las 19 localidades urbanas que componen el aglomerado capitalino.

Para ello hemos acudido en primer lugar al cálculo del Índice de Entropía, tomando el valor del conjunto bogotano como umbral para diferenciar dos grupos de localidades: las que están por debajo del valor de Bogotá -esto es, con distribuciones de los hogares con Pobreza Multidimensional más heterogéneas, menos segregadas, que el conjunto de la capital-, y las que están por encima, lo que indica que la distribución de este grupo de hogares es más homogénea, esto es, la cercanía a situaciones de segregación elevada es mayor. Los valores se muestran en la tabla 1; el correspondiente a la capital es bajo, 0,1412, lo que es consecuente con lo que venimos indicando: en la gran mayoría de las manzanas bogotanas puede encontrarse hogares con Pobreza Multidimensional, pese a que, efectivamente éstos estén sobre representados en determinadas porciones del tejido urbano. Pero hay un conjunto de cinco localidades en las que los valores son superiores: Chapinero, Barrios Unidos, Los Mártires, Teusaquillo y Usaquén. Como podemos comprobar (tabla 1), son localidades en las que la presencia de estos hogares pobres es comparativamente escasa en términos absolutos, y también en términos relativos (en todos los casos se sitúa por debajo del porcentaje del total de la capital); pero pese a estos bajos números el Índice de Entropía apunta a que la situación de segregación de estos hogares es superior a la que experimentan no

sólo cuando la escala de estudio es el conjunto de la capital, sino también con respecto al resto de localidades que la conforman.

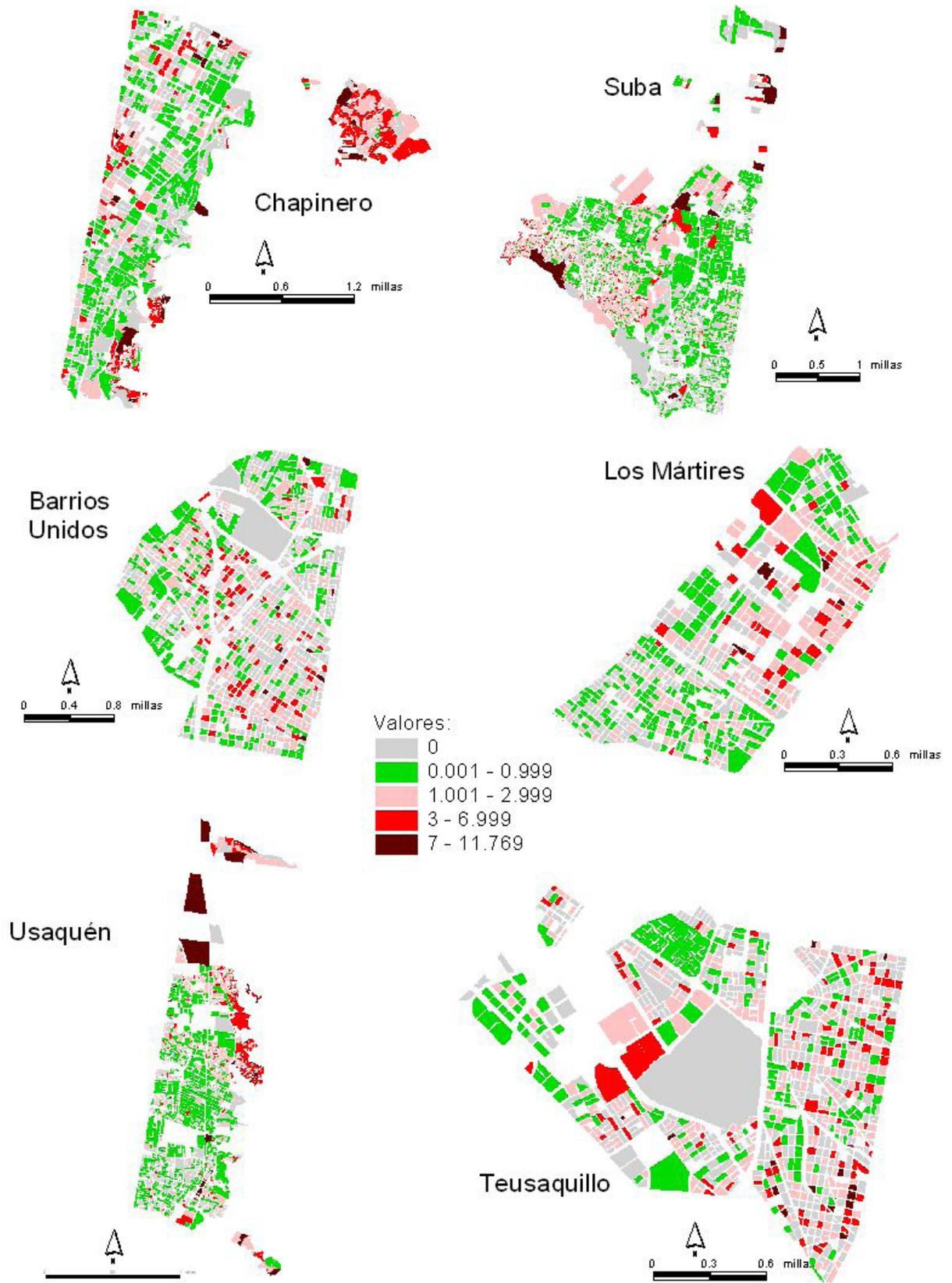
En segundo lugar, podemos cuantificar los niveles de segregación residencial que afectan a estos hogares pobres, de nuevo tomando Bogotá como un conjunto, e indagando sobre esta cuestión a escala de localidad. Para ello, y como en el apartado metodológico habíamos indicado, emplearemos el Índice de Segregación, cuyos valores se muestran en la tabla 1. En ella es posible apreciar que el valor del Índice correspondiente a Bogotá podría considerarse como medio (Massey y Denton, 1993), al situarse en el 0,3986. Según la interpretación tradicional de este valor (Massey y Denton, 1988), el 39% de los hogares pobres debería cambiar su lugar de residencia para obtener una distribución homogénea de estos hogares con Pobreza Multidimensional. Los valores de este mismo indicador, pero aplicado a las localidades, se muestran también en la tabla 1. En ella puede comprobarse cómo la mayor parte presentan resultados inferiores al conjunto de Bogotá, y que son únicamente seis las que lo hacen por encima, y aún en estos casos, los valores son en todos los casos medios (el máximo, 0,5556 de Chapinero no alcanzaría el umbral de elevado, establecido en 0,6). La nómina de localidades coincide exactamente con la anterior: Barrios Unidos, Chapinero, Los Mártires, Teusaquillo y Usaquén, a las que se une Suba; una correspondencia que está en consonancia con lo apuntado en el apartado metodológico, ya que, efectivamente los valores más elevados del Índice de Entropía son indicativos de situaciones de mayor segregación, detectadas por estos valores superiores en el Índice de Segregación.

Tenemos, en consecuencia, seis localidades cuya relación entre hogares afectados por Pobreza Multidimensional y resto de hogares es indicativa, a tenor de los valores de H, de una mayor homogeneidad que la correspondiente al total de Bogotá: una homogeneidad que debe entenderse en el sentido de una menor presencia del grupo de hogares minoritarios -los pobres-; efectivamente, el porcentaje de hogares afectados por Pobreza Material es, en todos los casos, inferior al del conjunto capitalino, situándose, con las únicas excepciones de Los Mártires y Suba, al menos cuatro puntos porcentuales por debajo de aquel. A este hecho se suma que los hogares pobres se encuentran más segregados en ellas de lo que lo están en el conjunto de Bogotá -valores de S superiores al del total de la capital-. La conclusión es, por tanto, que la presencia reducida de hogares pobres viene de la mano de mayores niveles de segregación residencial.

Podemos añadir la vertiente espacial de esta situación, en dos direcciones. En primer lugar, cartografiando los valores de los Cocientes de Localización de cada una de las seis localidades en las que a partir de ahora centraremos nuestro análisis (Barrios Unidos, Chapinero, Los Mártires, Suba, Teusaquillo, y Usaquén); en segundo, cartografiando los clústeres estadísticamente significativos de hogares afectados por Pobreza Multidimensional existentes en cada una de ellas.

En la figura 3 mostramos la distribución espacial de la primera de las variables. Pese a ser un indicador estadístico simple, las distribuciones de los valores del Cociente de Localización muestran la presencia de concentraciones de manzanas con sobre representación de hogares pobres claramente marcadas en la práctica totalidad del tejido urbano de las localidades, tan sólo en Teusaquillo están más diluidas en el espacio. En consecuencia, los niveles comparativamente elevados de segregación residencial a los que nos venimos refiriendo tienen un evidente correlato espacial.

Figura 2. Localidades seleccionadas. Hogares con Pobreza Multidimensional. Distribución de los Cocientes de Localización.



Fuente: Censo Nacional de Población, 2018. Elaboración propia.

Si bien en casos como Chapinero, Usaquén o Los Mártires la distribución de las manzanas con sobre representación de hogares pobres coincide razonablemente bien con la estratificación (tomada en todos los casos a los que haremos referencia de Secretaría, 2019), hay otras en las que se aprecian disparidades: en Barrios Unidos se registra un agrupamiento de manzanas con sobre representación en el entorno del sector de La Castellana -manzanas de estrato 5-; igual ocurre en Teusaquillo, donde en el área de Nicolás de Federman -estrato 5- se dibuja un agrupamiento de manzanas con sobre representación de hogares con Pobreza Multidimensional, y en Suba, donde el agrupamiento de manzanas con sobre representación del área de Casablanca se dibuja sobre manzanas de estrato 6.

Por otro lado, podemos preguntarnos por la aleatoriedad o no aleatoriedad de estas distribuciones espaciales, para lo que hemos acudido a la autocorrelación espacial. Como se aprecia en la tabla 2, ninguna de ellas es aleatoria -valores z en todos los casos por encima de 2,54, y los correspondientes a p por debajo de 0,01-. Por su parte, los valores de la I de Moran son positivos en todos los casos, indicando la presencia de autocorrelación espacial positiva; en otras palabras, la distribución espacial de los valores altos y bajos de hogares pobres están espacialmente más agrupados de lo que correspondería si los procesos espaciales fuesen aleatorios.

Tabla 2. Localidades seleccionadas de Bogotá. Hogares con Pobreza Multidimensional, I de Moran, valor p y valor z

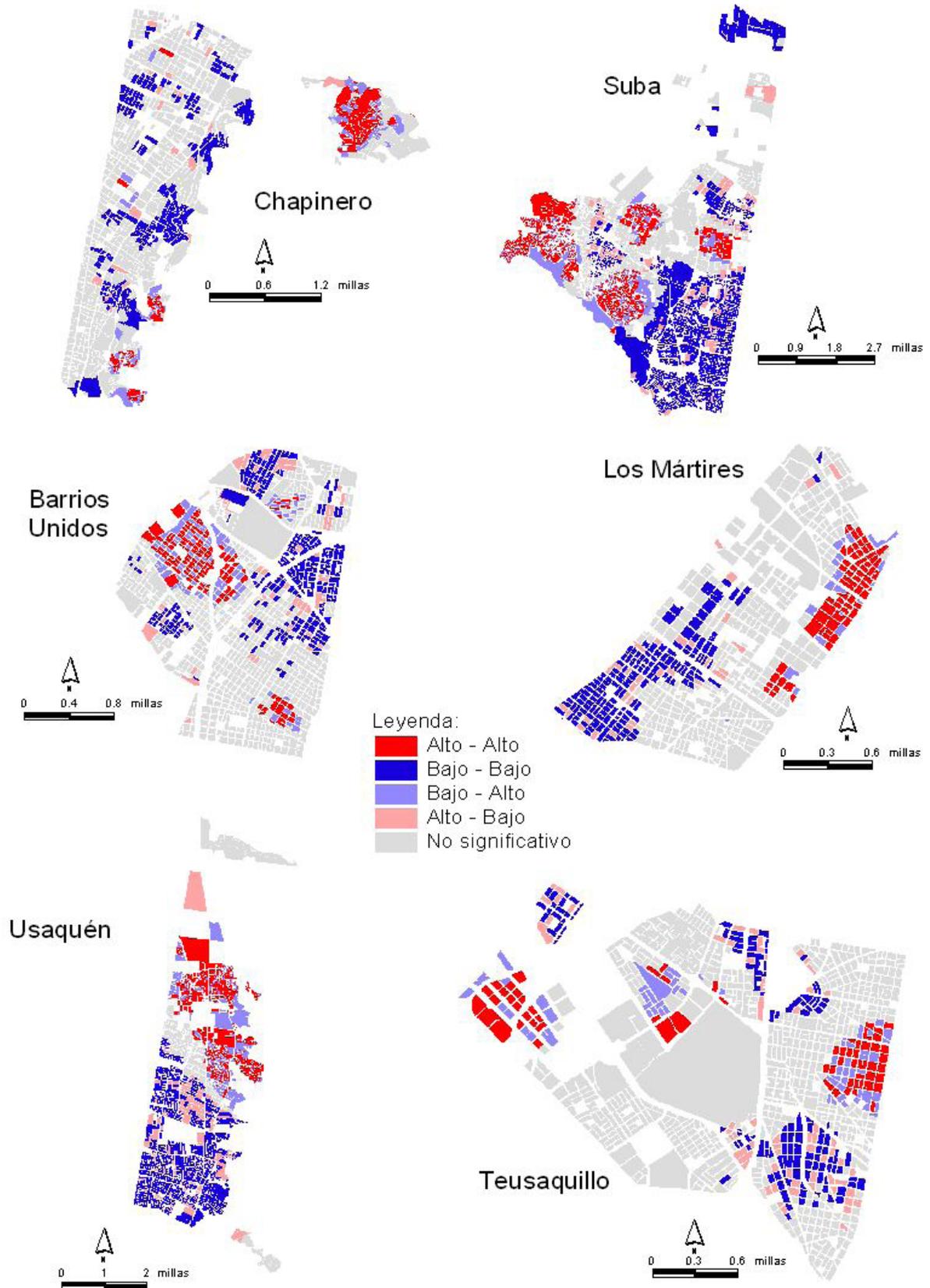
	Total de hogares	Hogares con PM	% con PM	I*	p	z
Barrios Unidos	48.509	2.183	4,50%	0,151	0,001	20,5939
Chapinero	69.025	3.038	4,40%	0,145	0,001	12,1560
Los Mártires	27.579	2.375	8,61%	0,302	0,001	20,0635
Suba	338.696	22.033	6,51%	0,199	0,001	108,0323
Teusaquillo	60.318	1.592	2,64%	0,027	0,001	5,2695
Usaquén	198.706	9.549	4,81%	0,065	0,001	35,9596

\* Todos los valores significativos al 99%

Fuente: Censo Nacional de Población, 2018. Elaboración propia.

En la figura 3 mostramos los agrupamientos estadísticamente significativos de hogares afectados por Pobreza Multidimensional en las seis localidades objeto de estudio. En todas ellas se aprecia cómo los agrupamientos alto-alto (marcados en rojo) están notablemente separados espacialmente los bajo-bajo (marcados en azul), en consonancia con la distribución de los valores de los cocientes de localización.

Figura 3. Localidades seleccionadas. Hogares con Pobreza Multidimensional. Distribución de los agrupamientos estadísticamente significativos.



Fuente: Censo Nacional de Población, 2018. Elaboración propia.

Esta separación espacial está especialmente marcada en el caso de la localidad de Los Mártires, en la que el clúster alto-alto se localiza en el área de La Favorita y Santa Fe, y el bajo-bajo en el extremo opuesto, sobre Veraguas y Santa Isabel; también en Teusaquillo (Alfonso López y Quesada, en el este, y Ciudad Salitre en el Oeste), y en Usaquén. En ésta última se aprecia cómo la práctica totalidad de las manzanas que componen la localidad pertenecen a alguno de los agrupamientos: el alto-alto se localiza en la mitad septentrional, el bajo-bajo en la meridional, separados ambos por un conjunto de manzanas articulado aproximadamente por la calle 147 en el área de Estrella del Norte, Caobos Salazar y Cedro Salazar, un área ocupada por manzanas de estrato 4, y que conforma una especie de colchón con respecto a los estratos 5 y 6. Vías de comunicación que también separan los agrupamientos en Barrios Unidos, frontera delimitada por la línea del Trasmilenio, y las calles 72 y 80 que dejan al oeste las concentraciones de valores elevados, y al este, las de valores bajos.

## 5. Conclusiones

Los resultados derivados de nuestra investigación presentan la originalidad de haber sido obtenidos a partir de la combinación de indicadores espaciales y a-espaciales de segregación residencial, una metodología que resulta novedosa en su aplicación a la pobreza multidimensional bogotana. Además, nuestra aportación tiene un marcado tinte geográfico, puesto que uno de sus pilares es la distribución espacial de los hogares afectados por pobreza multidimensional. Así, hemos comprobado cómo el número de hogares afectados por este tipo de pobreza no es excesivamente elevado en la ciudad de Bogotá, y están presentes en la mayor parte de las manzanas que se dibujan en el tejido urbano capitalino. Sin embargo, esto no significa que su distribución en el tejido urbano bogotano sea homogénea: es así como, cuando en lugar de cartografiar los números absolutos, nos centramos en el peso que este tipo de hogar supone sobre el conjunto de hogares presentes en cada una de las manzanas, entonces se puede apreciar la existencia de áreas periféricas en su mayor parte, en las que su sobre representación es evidente. Pero más allá de esta simple constatación, es destacable el hecho de que hemos puesto de manifiesto que los niveles de segregación residencial que afecta a este tipo de hogar está en relación con el grado de entropía: allí donde los valores del Índice de Theil son más elevados, también lo son los correspondientes al Índice de Segregación.

En este sentido, uno de los hallazgos de nuestra contribución indica que en cinco de las localidades que componen el Distrito Capital de Bogotá la presencia de hogares pobres es escasa, tanto en términos relativos como absolutos. Sin embargo, se trata de las localidades en las que sus niveles de segregación espacial están por encima de los correspondientes al conjunto de la capital y, por supuesto, de las 14 localidades restantes. En otras palabras, aunque en ellas los hogares afectados por pobreza multidimensional son comparativamente pocos y su peso sobre el conjunto de hogares es también escaso, se encuentran más segregados de lo que el total de hogares pobres lo está en el conjunto de la capital.

La distribución espacial de los hogares pobres en estas cinco localidades (Barrios Unidos, Chapinero, Los Mártires, Teusaquillo y Usaquén) se caracteriza en todas ellas, con la excepción de Teusaquillo, por la presencia de clústeres de manzanas con sobre representación de hogares pobres, conjuntos bien definidos y que vienen a coincidir razonablemente bien con la distribución por estratos de población. Además, hemos constatado, a través de la autocorrelación espacial, que ninguna de estas cinco distribuciones espaciales es aleatoria. En este sentido, la cartografía de los

agrupamientos estadísticamente significativos muestra que, efectivamente, hay una clara división en el espacio entre áreas compuestas por manzanas con números relevantes de hogares pobres, rodeadas por otras en esta misma situación (agrupamientos alto-alto), y otras caracterizadas por manzanas con pocos hogares pobres rodeadas por manzanas también con muy escasa presencia de este tipo de hogar (agrupamientos bajo-bajo), separados unos de otros por importantes vías de comunicación.

Como en el texto hemos indicado, es cierto que en localidades como Chapinero, Usaquén o Los Mártires la localización de los agrupamientos coincide bastante bien con la correspondiente a los estratos de población. Pero en el resto, los agrupamientos se dibujan sobre un tejido urbano extremadamente homogéneo desde el punto de vista de la estratificación; en este sentido, creemos que nuestros hallazgos pueden ser de utilidad para el planificador, desde el momento en que permiten identificar concentraciones de hogares pobres estadísticamente significativas en contextos de homogeneidad de estratos socioeconómicos.

A partir de aquí se abren diferentes líneas de continuidad; por un lado, puede resultar de interés replicar la metodología que hemos empleado atendiendo a cada una de las cinco dimensiones que contempla la Pobreza Multidimensional, pero yendo más allá, tal y como hemos hecho nosotros, de cartografiar los valores absolutos. Así, podemos preguntarnos por la incidencia y los niveles de segregación existentes en las diferentes localidades que conforman el Distrito Capital; y también indagar no sólo acerca de la existencia de agrupamientos estadísticamente significativos correspondientes a cada una de las cinco dimensiones, sino también acerca de las coincidencias espaciales entre dichos agrupamientos. A modo de ejemplo, los clústeres alto-alto correspondientes a la dimensión Condiciones educativas, ¿se localizan en las mismas áreas que los correspondientes a la dimensión Condiciones de la vivienda y servicios públicos?

Y, por otro lado, también puede ser de interés considerar la ampliación de la investigación a otras fechas en las que la información sobre hogares con pobreza multidimensional esté disponible. Desde el momento en que la unidad espacial de referencia básica, la manzana, virtualmente no sufre cambios, los resultados no estarían afectados por el Problema de la Unidad Espacial Modificable (MAUP); por ello, podríamos estar seguros de que los cambios que se registrasen se deberían exclusivamente a las variables, al número y distribución espacial de los hogares pobres. Esto permitiría, en primer lugar, identificar cambios en las distribuciones espaciales no aleatorias (¿la localización de los agrupamientos estadísticamente significativos se ha mantenido constante, o se han registrado cambios?), y también contribuir a la valoración de los resultados de políticas públicas de reducción de la pobreza, una vez más, con un marcado componente espacial.

## Bibliografía

- Alfonso Roa, O. A. (2022). Segmentación y segregación residencial en Bogotá. *Revista de Economía Institucional*, 25(48), 215-239. doi: 10.18601/01245996.v25n48.12
- Aliaga-Linares, L., & Álvarez-Rivadulla, M. J. (2010). *Segregación residencial en Bogotá a través del tiempo y diferentes escalas*. Recuperado de/retrieved from [https://aciur.net/images/documentos/2009/Segregacion\\_Residencial\\_Bogota-Aliaga\\_Lisette-Documento.pdf](https://aciur.net/images/documentos/2009/Segregacion_Residencial_Bogota-Aliaga_Lisette-Documento.pdf)
- Astorquiza Bustos, B.A., & Ospina Muñoz, M.C. (2020). ¿Menos pobres más vulnerables? Una medición alternativa de la pobreza basada en el progress out of poverty index. *Desarrollo y Sociedad*, 1(86), 13-42. doi: 10.13043/DYS.86.1
- Baracaldo Orrego, J. C., & Fonseca Melo, R. S. (2020). *Aproximación al análisis de la segregación ambiental en el suelo urbano de Bogotá*. (Tesis de Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Recuperado de/retrieved from <http://hdl.handle.net/11349/24535>

- Barbosa Marín, K., & Rodríguez Escudero, N. (2017). *Privación de las capacidades, una mirada desde el índice de pobreza multidimensional de Bogotá – Caso Usme*. (Tesis de Maestría), Universidad de Lasalle, Bogotá. Recuperado de/retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.com/economia/516>
- Bucheli, J.F. (2022). The influence of the “Fragmented city” on wellbeing: do mixed neighborhoods affect young adults’ life trajectories in Bogota? *Journal of Urban Management*, 11(4), 450-466. doi: 10.1016/j.jum.2022.08.003
- Cajamarca Azuero, C. A., & Lovich Villamizar, V. (2014). Consideraciones sobre la movilidad social y los servicios públicos domiciliarios en Bogotá, 2004-2011. *Revista Científica General José María Córdova*, 12(14), 95-109. Recuperado de/retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/recig/v12n14/v12n14a06.pdf>
- Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18(1), 11-31. Recuperado de/retrieved from [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652009000100002](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652009000100002)
- DANE (2019). *Medición de la pobreza multidimensional Colombia*. Recuperado de/retrieved from <https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/medicion-pobreza-multidimensional-colombia.pdf>
- Feres, J. C., & Mancero, X. (2001). *Enfoques para la medición de la pobreza. Breve revisión de la literatura*. Santiago de Chile, Chile: CEPAL. Recuperado de/retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4740>
- Gamir Orueta, A., Ruiz Pérez, M., & Seguí Pons, J. M. (1995). *Prácticas de análisis espacial*. Barcelona, España: Oikos-Tau.
- Guallart, V., Hernández, C., & Muller, W. (2011). *Multi-Bogotá: el porvenir de la ciudad discontinua, una propuesta optimista para Bogotá siglo XXI*. Bogotá, Colombia: Maremagnum.
- Gutiérrez Rocha, R. F. (2014). Segregación urbana en Bogotá. Crítica al ordenamiento y control urbanístico en materia de construcción. *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, 7(13), 68-83. doi: 10.11144/Javeriana.CVU7-13.sueb
- Gutiérrez López, J. A., Nieto Martínez, H. D. & Quenguan López, L. F. (2022). Modelo de estratificación como generador de segregación en Bogotá. *Bitácora Urbano Territorial*, 32(1), 191-204. doi: 10.15446/bitacora.v32n1.87760
- Gutiérrez Serna, A. S. (2017). *La pobreza multidimensional: una mirada desde el microterritorio y las comunidades locales. Estudio de caso: Barrio San Agustín, Bogotá, D.C.* (Tesis de Grado) Universidad del Rosario. Bogotá. doi: 10.48713/10336\_13780
- Higuera Cantor D. E. (2016). Micro segregación socio-espacial o mezcla social en Bogotá. Identificación de factores morfo-tipológicos que la explican. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 3(1), 27-46. Recuperado de/retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revcep/article/view/51595>
- Jaramillo, S. (2006). *Reflexiones sobre las políticas de recuperación del Centro (y del Centro Histórico) de Bogotá*. Documento CEDE 2006-40. Recuperado de/retrieved from <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8030/dcede2006-40.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jiménez Barbosa, W. G. (2015). *La calidad de vida en la ciudad de Bogotá. Una evaluación mediante el empleo del Índice de Pobreza Multidimensional*. (Tesis Doctoral). Universidad de Manizales. Manizales. Recuperado de/retrieved from <https://repository.cinde.org.co/handle/20.500.11907/481>
- Jiménez Barbosa, W. G. (2016). Calidad de vida en Bogotá: evaluación mediante el empleo del Índice de Pobreza Multidimensional (IPM). *Cienc Tecnol Vis Ocul*, 14(1), 61-77. doi: 10.19052/sv.3577
- López Borbón, W. (2023). La informalidad urbana en los municipios circunvecinos de Bogotá medida a partir del Índice de informalidad. *Territorios*, 49, 1-19. doi: 10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.12442
- Martínez Sierra, U. (2023). Las dinámicas urbanas de Bogotá en el contexto de globalización neoliberal. *Revista de Geografía Norte Grande*, 85, 1-23. Recuperado de/retrieved from <https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/28429>
- Massey, D. S., & Denton, N. A. (1988). The dimensions of residential segregation. *Social Forces*, 67, 281-315. doi: 10.1093/sf/67.2.281
- Massey, D. S., & Denton, N. A. (1993). *American apartheid: segregation and the making of the underclass*. Cambridge, Estados Unidos: Harvard University Press.
- Mayorga Henao, J. M., Hernández Ortega, L. M., & Lozano, M. C. (2021). Segregación y pobreza multidimensional en el sistema urbano colombiano. *Bitácora Urbano Territorial*, 31(II), 113-129. doi: 10.15446/bitacora.v31n2.89600

- Medina, C. Morales, L. & Núñez, J. (2008). *Quality of life un urban neighborhoods in Colombia; the cases of Bogotá and Medellín*. (Borradores de Economía, 536). Recuperado de/retrieved from <https://www.banrep.gov.co/en/borrador-536>
- Muñoz Bernal, N. (2020). *Segregación residencial en Bogotá: identificación y propuesta de política pública diferenciada*. (Tesis de Maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de /retrieved from. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78908>
- Peñalosa Londoño, E. (2021). *Ciudad, igualdad, felicidad*. Bogotá, Colombia: Villegas Editores.
- Rodríguez Vignoli, J. (2001). *Segregación residencial socioeconómica: ¿qué es?, ¿cómo se mide? ¿qué está pasando?, ¿importa?* Santiago de Chile, Chile: CEPAL. Recuperado de/retrieved from <https://hdl.handle.net/11362/7149>
- Rodríguez-Villamar, L.A., Marín, D., Piñeros-Jiménez, J.G., Rojas-Sánchez, O.A., Serrano-Lomelin, J., & Herrena, V. (2023). Intraurban geographic and socioeconomic inequalities of mortality in four cities in Colombia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 992. doi: 10.3390/ijerph20020992
- Salinas, J. (2017). *Retos y oportunidades de la ciudad global para la gestión urbana en Bogotá*. (Tesis de Maestría). Universidad Piloto de Colombia. Bogotá. Recuperado de/retrieved from <https://core.ac.uk/reader/226168500>
- Sánchez Torres, R.M., Maturana Cifuentes, L. & Manzano Murillo, L. (2021). Estimación alternativa de la pobreza multidimensional en Colombia. *Revista de Economía. Institucional*, 22(43), 137-168. doi: 10.18601/01245996.v22n43.07
- Sánchez Torres, R.M., Manzano Murillo, L.D., & Maturana Cifuentes, L.A. (2022). Informalidad laboral, pobreza monetaria y multidimensional en Bogotá y el Área Metropolitana. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 53(208), 31-63. doi: 10.22201/iiec.20078951e.2022.208.69754
- Secretaría de Planeación de Bogotá (2017). *Estratificación socioeconómica*. Recuperado de/retrieved from <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estratificacion/estratificacion-por-localidad>
- Secretaría de Planeación de Bogotá (2020). *Plan de Ordenamiento Territorial. Tomo I. Región, las dinámicas regionales o de ciudad región*. Bogotá, Colombia: Secretaría de Planeación. Recupedado de/retrieved from [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/tomo\\_1\\_region\\_pot\\_2020\\_version\\_2.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/tomo_1_region_pot_2020_version_2.pdf)
- Thilbert, J., & Osorio, G. A. (2017). Segregación urbana y metropolitana en América Latina: el caso de Bogotá. En Roa, A. (Dir.), *Bogotá en la encrucijada del desorden. Estructuras socioespaciales y gobernabilidad metropolitana*. (pp.463-500). Bogotá, Colombia: Universidad Externado de Colombia. Recuperado de/retrieved from <https://books.openedition.org/uec/1935>
- Tiznado-Aitken, I., Vecchio, G., Guzman, L.A., Arellana, J., Humberto, M., Vasconcellos, E., & Muñoz, J.C. (2023). Unequal periurban mobility: travel patterns, modal choices and urban core dependence in Latin America. *Habitat International*, 133. doi: 10.1016/j.habitatint.2023.102752
- Torres Penagos, M. F. (2018). Índice de Pobreza Multidimensional Oculta para la localidad de Teusaquillo (Bogotá): propuesta metodológica a partir de percepciones ciudadanas. *Cuadernos de Economía*, 37(74), 555-588. doi: 10.15446/cuad.econ.v37n74.56164
- Uribe-Mallarino, C. (2008). Estratificación social en Bogotá: de la política pública a la dinámica de la segregación social. *Universitas Humanística* 65, 139-171. Recuperado de/retrieved from <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/univhumanistica/article/view/2245/1512>
- Zambrano Pantoja, F. (2022). *Bogotá: un lento tránsito hacia la modernidad*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

## Agradecimientos

Aquí se especificará, de manera breve, el tipo de aportaciones que ha realizado cada autor durante la investigación y elaboración del trabajo.

## Contribución de autorías

Judith Salinas González: Investigación; adquisición de fondos; metodología; recursos; redacción -borrador original-.

Ana Ester Batista Zamora: Conceptualización; curación de datos; análisis formal; validación; redacción -borrador original-; redacción -revisión y edición-.

## Financiación

La presente investigación se enmarca en los resultados de una beca otorgada por la Asociación Universitaria Iberoamericana de Posgrado a Judith Salinas González, para la realización de una Estancia de Investigación en la Universidad de Málaga (España).

## Conflicto de intereses

Las autoras declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# La grana kermes y el aprovechamiento histórico de la coscoja (*Quercus coccifera* L.): perspectiva ambiental de un recurso forestal milenario

The grana kermes and the historical use of the kermes oak (*Quercus coccifera* L.): environmental perspective of an ancient forest resource

PABLO GIMÉNEZ-FONT<sup>1</sup>  0000-0002-1171-715X

<sup>1</sup>Universidad de Alicante, España

## Resumen

La grana kermes fue una materia tintórea muy valiosa desde la Antigüedad hasta principios del siglo XIX. Se obtenía de un insecto (*Kermes* sp.) que se desarrollaba sobre la coscoja y representó un recurso económico importante para muchas comunidades campesinas, que mantuvieron los coscojares para tal fin. El artículo plantea la cuestión desde un punto de vista ambiental, valorando la entidad alcanzada por esta explotación en la península ibérica y la relación entre su crisis y los procesos de deforestación posteriores. Se analiza de forma más detallada el caso del antiguo reino de Valencia por tratarse de una de las principales zonas productoras y comercializadoras de grana kermes en el Mediterráneo. Las conclusiones evidencian que este recurso forestal supuso el manejo de la especie vegetal y la reproducción del insecto, generando unos ecosistemas exclusivos (coscojares) hasta la crisis producida por la llegada de otros productos tintóreos.

Palabras clave: Kermes; coscojar; garriga; paisaje histórico; patrimonio biocultural

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.12.26  
Aceptado: 2024.04.16  
Publicado: 2024.10.16

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Pablo Giménez-Font  
[pablo.gimenez@ua.es](mailto:pablo.gimenez@ua.es)

## Abstract

Grana kermes was a very valuable dyeing material from ancient times until the beginning of the 19th century. It was obtained from an insect (*Kermes* sp.) that developed on the kermes oak and represented an important economic resource for many farming communities, which maintained the kermes oak groves. The article raises the issue from an environmental point of view. It assesses the importance reached by this exploitation in the Iberian Peninsula and the relationship between its crisis and the subsequent deforestation processes. The case of the ancient kingdom of Valencia is analyzed in more detail, as it is one of the main producing and trading areas of grana-kermes in the Mediterranean. The conclusions show that this forest resource meant the management of the plant species and the reproduction of the insect, generating exclusive ecosystems (kermes oak groves) until the crisis produced by the arrival of other dye products.

Keywords: Kermes; kermes oak groves; garrigue; historical landscape; biocultural heritage

## 1. Introducción

El aprovechamiento histórico de la vegetación natural ha tenido distintos objetivos, siempre relacionados con los recursos que se pretendían obtener. En muchas ocasiones estos recursos se relacionaban directamente con la propia vegetación –madera, fibras, hojas, frutos o leña-, pero también tenía cierta importancia la conservación o promoción de distintas especies o formaciones vegetales que albergaban a animales valiosos, incluidos los insectos. Los aprovechamientos de animales y plantas silvestres han sido muy dispares a lo largo de la historia, y actualmente se engloban dentro de los conceptos de patrimonio y diversidad biocultural (Lindholm y Ekblom, 2019), cuyo conocimiento es cada vez más importante en las estrategias de conservación de la naturaleza. En este caso, pretendemos centrar la atención sobre las materias tintóreas y el posible impacto ambiental y paisajístico de su aprovechamiento pasado, principalmente por la escasa atención que han recibido pese a tratarse de actividades muy relevantes en determinadas regiones del planeta. Uno de los casos más estudiados es el del conocido como “Palo Brasil” (*Paubrasilia echinata* Lam.) en América del Sur y la casi desaparición de este árbol –cuya madera se usaba también para la fabricación de instrumentos musicales- por la intensa sobreexplotación sufrida desde el s. XVI (Dean, 1996). Otro ejemplo lo encontraríamos en la cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) que infecta los nopales y que se aprovechaba intensamente para los tintes rojos en la América precolombina y posteriormente en Europa, durante la Edad Moderna, hasta convertirse en la exportación más valiosa de Nueva España después de los metales preciosos (Roquero, 1998). En este caso, la importancia económica generó una industria rural de cría del insecto en regiones especializadas (p.e. Mixteca y Oaxaca en México), superando esa línea ambigua entre recursos silvestres y recursos cultivados que pueden señalar el nivel de progreso industrial de la producción textil, aunque fuera en la lejana metrópoli. Precisamente en Europa, Harsch (2022) ha realizado una aproximación al impacto de la actividad tintórea en el medio natural de la Toscana (Italia), que ha permitido, desde una perspectiva histórica, valorar la transición del aprovechamiento de numerosos productos colorantes silvestres hacia una explotación de recursos cultivados. Se trataría, al igual que puede deducirse para España, del reflejo de una mayor integración económica entre el campo y la ciudad, contribuyendo a la formación de un espacio económico regional donde la industria textil fue muy relevante. En la misma línea, Stockland (2020) ha analizado un estudio sobre la crisis de materias tintóreas locales en Francia durante las primeras décadas del s. XIX y los intentos por recuperar estas producciones a pesar de los graves problemas ecológicos ocasionados por la intensa deforestación producida por la expansión de la agricultura.

Este conjunto de trabajos y perspectivas de investigación invitan a centrar la atención sobre la grana kermes en la península ibérica, procedente de los hemípteros *Kermes vermilio* Planch. y *Kermes ilicis* L., al tratarse de una de las principales materias tintóreas –con algunas aplicaciones medicinales- dominante durante milenios y con un interés creciente en Europa, especialmente a partir de la Edad Media.

El kermes, insecto endémico del Mediterráneo que se desarrolla sobre *Quercus coccifera* y, en menor medida, *Q. ilex*, estaba en la base de colores tan deseados y exclusivos como el rojo escarlata o el carmesí, caracterizándose no solo por la intensidad lograda sino, sobre todo, por su perdurabilidad en el tiempo sobre lanas y sedas. Símbolo de prestigio desde el mundo antiguo –se cita en el Antiguo Testamento- para algunas regiones del Mediterráneo su recolección fue considerada como una de las principales riquezas, en combinación con la industria del tinte y los productos textiles (Martínez-García, 2022). En al-Andalus el rojo escarlata o *qarmazí* era un color dominante entre las élites sociales, y a partir de la baja Edad Media lo fue también en el resto de la Europa cristiana (Rodríguez, 2012). A pesar de esta importancia, la historiografía no le ha dedicado la suficiente atención, especialmente desde su variable ambiental. Destacan el estudio pionero de Cotte y Cotte (1918) y, singularmente, los importantes trabajos de Cardon (1999) y el mencionado de Stockland (2020) para Francia; mientras que en España se han analizado -de forma monográfica pero desde un punto de vista local o regional- por parte de Sánchez (1987) para el marquesado de Villena (ss. XIV-XVI) y, más recientemente, Martín (2021) para la Andalucía Occidental en el s. XV. Son abundantes las referencias en otros trabajos que se irán citando a lo largo de este artículo, pero la gran mayoría de ellos adolecen, a pesar de su interés, de la perspectiva ambiental en el tratamiento de este aprovechamiento plurisecular de los insectos y de la especie forestal que los acogía. Entre otras causas, se podría justificar este hecho en que se trataba de una explotación poco regulada -muchas veces complementaria en la economía campesina y relegada a las clases más pobres o marginales- que ha dejado escaso rastro documental y que perdió rápidamente su importancia relativa a mediados del Quinientos. El dinamismo del mundo de los tintes, junto a los cambios intrínsecos producidos por la sucesión de modas, hizo que se encadenaran los descubrimientos de nuevas materias tintóreas, bien provenientes de plantas o animales, bien de productos químicos. La irrupción de la cochinilla americana resultó, sin duda, el elemento de mayor impacto sobre el comercio de la grana kermes, que quedó relegada a un producto exclusivo, pero menor, durante la Edad Moderna y hasta finales del s. XIX.

En todo caso, la grana resulta un ejemplo excelente de recolección de recursos silvestres, una actividad que junto con la caza o la pesca permite explicar la supervivencia y reproducción de los hogares en la economía campesina tradicional (Furió, 2001). El medio ofrecía numerosos recursos vegetales, animales o minerales –los componentes básicos de un ecosistema- que tenían un gran valor tanto para la propia subsistencia como para el comercio. En una organización tradicional del espacio que podríamos calificar de plurisecular, prácticamente todos los elementos que lo componían tenían una utilidad o, por el contrario, eran marginados, cuando no eliminados en la medida de las posibilidades técnicas. El prolongado impacto de la actividad humana, en tierras como las que circundan el Mediterráneo, acabó generando una verdadera coevolución en ecosistemas sometidos a equilibrios antropogénicos, determinados por su interés económico en un momento concreto de la historia, y que se formaron y transformaron en consonancia con las necesidades de la sociedad. De esta forma se pueden explicar, por ejemplo, formaciones aparentemente naturales como los saladares -que albergaban las plantas barrilleras-, los pastizales en espacios húmedos de los que se obtenían también fibras vegetales o, también, diferentes tipos de bosques abiertos o *montes*, donde determinadas especies forestales se veían beneficiadas por

los recursos –frutos, madera, hongos o insectos- que proporcionaban; sin olvidar los extensos espartizales que conformaron el *campus spartarius* al que se refiere Estrabón en el sureste de la península ibérica y cuyo comercio incentivaron los fenicios (Gosner, 2021). Como en este último caso, existen territorios cuya especialización productiva se puede contabilizar en milenios: sobre la grana, tanto Dioscórides como Plinio o Estrabón se refieren a la importancia de la península ibérica (Cortijo, 2007), mientras que el geógrafo Al-Bakri concreta en Valencia, Sevilla o Cádiz su obtención (López-Marigorta, 2023), destacando también la producción textil del entorno de Balansiya (Valencia) en la época de al-Andalus (Rodríguez, 2012).

La posterior llegada de los productos americanos dismantelo progresivamente la importante actividad campesina de recolección y tratamiento de materias tintóreas en tierras peninsulares, generando también una excesiva dependencia hacia productos foráneos. Esto generó que en España, durante el s. XVIII, se incrementara notablemente el interés por el control y la innovación de las materias tintóreas (Molas, 1994). En 1768 la Real Junta General de Comercio y Moneda advertía del “abandono, o casi común olvido a que con el uso de la Cochinilla de las Américas ha llegado en España la que la Naturaleza concedió a sus Provincias”, lo que provocaba una devaluación de un producto tan excelente: “con noticia de aprovecharse de este descuido los Extranjeros, llevándose para sus tintes a bajísimos precios la que por gentes pobres se suele recoger todavía en varios parajes” (Canals, 1768: I-II). Este hecho motivó que el académico Juan Pablo Canals y Martí, Director General del Ramo de la Rubia y del Tinte del Reino, realizase una disertación sobre el kermes publicada en 1768, que tan útil ha sido para esta investigación. El objetivo principal no solo era potenciar el uso de este tinte, sino facilitar su aprovechamiento por parte de la población más desfavorecida, “cultivándose” o “fomentando este insecto español [...] en los parajes convenientes”.

Figura 1. Una rama de coscoja con kermes, junto con una ilustración del s. XVIII en la que se dibuja también el insecto.



Fuentes: Estación Biológica de Torretes de Ibi (CIBIO-UA) y Canals y Martí, 1767

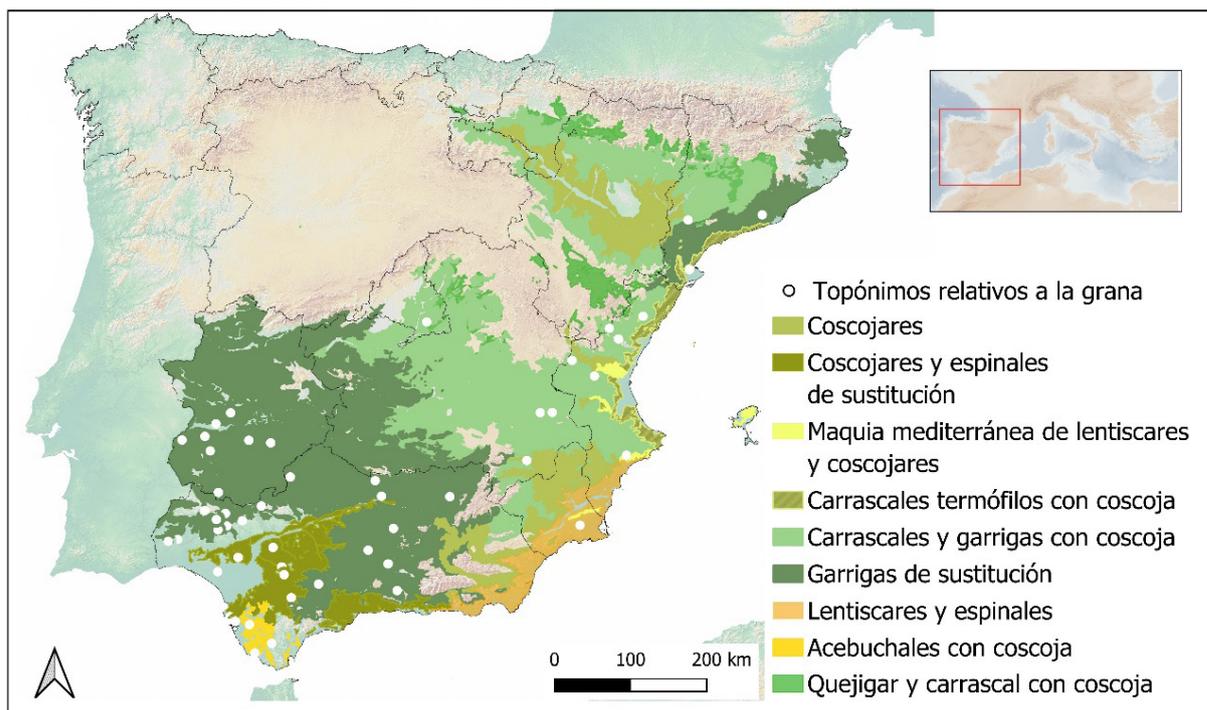
Partiendo de estas bases, el objetivo de este trabajo consiste en reunir la mayor parte de documentación localizada en España y ofrecer una lectura en clave ambiental -a modo de punto de partida para posteriores análisis- sobre este recurso forestal. Un recurso que posiblemente permitió la conservación y protección, cuando no el manejo, de la formación genéricamente denominada como coscojares y garrigas. De esta forma, estos ecosistemas, fundamentales del mundo mediterráneo, podrían haber estado gestionados por el ser humano durante siglos o milenios, con el fin de obtener una mayor eficiencia de las explotaciones de kermes: una hipótesis que puede ayudar a mejorar la idea que, actualmente, se tiene del estado y composición de algunas formaciones forestales a lo largo de la Edad Media y parte de la Edad Moderna. La lectura se centra, particularmente, en el reino de Valencia, considerado como una de las principales zonas productoras y comercializadoras de grana kermes en la península ibérica durante el periodo analizado, siendo una de las regiones más importantes del Mediterráneo hasta el fin de la extracción y venta de esta materia tintórea.

## 2. *Quercus coccifera* y producción de kermes

Aunque la distribución de la coscoja (*Quercus coccifera* L.) es prácticamente circunmediterránea, su presencia es más abundante en el sector occidental de la cuenca mediterránea y, especialmente, en la península ibérica. En este territorio existen complejas comunidades de coscojares termo y mesomediterráneos, de distribución interior y periférica -costera y subcostera- salvo el norte y noroeste, donde son muy escasas (Blanco et al., 1997).

La coscoja, al desarrollarse en ombroclimas muy diversos, tiene una amplia distribución y aparece en un número destacable de series de vegetación en las que se comporta como una especie dominante o como una de las principales etapas de sustitución (figura 2). Se llega a considerar una formación climácica en coscojares de distribución iberolevantina, formando parte de garrigas densas y heterogéneas dominadas por *Quercus coccifera* y generando etapas maduras donde las condiciones pluviométricas no permiten la consolidación de carrascales; mientras que, en zonas todavía más semiáridas, donde predominan lentiscales y espinales, la coscoja aparece en umbrías y fondos de barranco. Igualmente, en la formación que Rivas-Martínez (1987) define como *serie mediterránea castellano-aragonesa basófila de la carrasca*, la formación potencial de mayor extensión de España, la coscoja es uno de los principales arbustos esclerófilos del sotobosque y puede llegar a substituir a la carrasca en forma de garrigas, sin que sea necesaria una degradación importante. Esto mismo ocurre también en los encinares catalanes o en los de Andalucía occidental y sur de Extremadura. En general, en las etapas preforestales o sustitutivas de la encina son comunes la coscoja y otros arbustos perennifolios que forman densas maquias y garrigas, tratándose de las primeras etapas de sustitución tras la eliminación de carrascales y formaciones de bosque mixto mediterráneo, en un proceso que pudo producirse hace milenios. De esta forma, y con numerosas variaciones, se puede considerar que los coscojares fueron una formación dominante en gran parte de la península ibérica, con una evolución histórica marcada y condicionada por la vocación del territorio. Esto es, desde la desaparición derivada de la expansión de la agricultura y el arrinconamiento a espacios con suelos menos profundos, hasta la transición a etapas regresivas de matorrales degradados de romerales y tomillares o pastizales.

Figura 2. Distribución de dominios de coscojares potenciales y de sustitución en la España peninsular



Fuente: elaboración propia a partir de Rivas-Martínez (1987)

Al predominio de la especie *Quercus coccifera* hay que sumar su estrecha vinculación con la grana, ya que es el propio parásito quien da nombre a la especie desde, al menos, tiempos griegos (*kó-kkos*, grano) y latinos (*cusculium*, *coscus*) con un sustrato lingüístico mediterráneo posiblemente anterior (García-Hernández, 2014). En España, el *Diccionario de voces geográficas españolas* (ca. 1800: 28) todavía definía *Coscojal* como “el terreno poblado de coscojas, que son una especie de carrascales en que se cria la grana kermes”; mientras que numerosas publicaciones científicas del s. XVIII y XIX, desde las *Observaciones* de Cavanilles (1795-97) hasta el *Examen de las Encinas* de Colmeiro y Boutelou (1854), relacionan esta especie con su principal producción, la de acoger a la grana, que se complementaba con usos más generalistas como la obtención de leña, cisco de carbón o sustancias para encurtir cuero a partir de sus raíces (Miguelez, 1805).

En estas primeras publicaciones de carácter científico y técnico existe una confusión entre el *Kermes ilicis* descrito por Linneo en 1754 y de color más oscuro, y el *Kermes vermilio*, caracterizado posteriormente en Francia por Planchón en 1864 y que, con una cutícula de color más anaranjado, afecta predominantemente a *Q. coccifera* (figura 1). Cavanilles, a su paso por la Tinença de Benifassà (Castelló), señala una variedad de coscoja arbustiva y la diferencia de otra arborescente. Sobre la primera “la Cochinilla o Kermes (*Coccus ilicis* Linn.)” se cría únicamente en las hojas, mientras que en la segunda se cría en las ramas. Concretamente el botánico valenciano escribe: “Noté que el karmes [sic] no solamente se criaba en la humilde coscoxa, sino también en la encina de poca altura; pero que prefería los ramos de esta para morir y dexar su larga sucesión, quando al contrario en la coscoxa tomaba para este efecto solamente las hojas” (1795: 5). En parecidos términos se expresan Melón y Sandalio (1826), que diferencian entre una coscoja baja donde el insecto crece en las hojas y otra de mayor porte donde crece en troncos y ramas. Resulta factible que para la obtención de grana se utilizara indistintamente ambas especies de kermes, aunque la preferencia por la coscoja, y no por la encina, señala una probable querencia por *Kermes vermilio*,

caracterizado erróneamente como *K. ilicis*. Pocas décadas antes, Canals y Marti (1767: 20-21), señalaba como “sucede à menudo, que se hace en un mismo año otra producción de esta Grana, inmediatamente despues de la primera, pero es diferente en quanto á su calidad, porque la ultima es mas pequeña, y dà el color menos vivo. La de la primera producción se halla casi siempre pegada à la corteza del tronco, à la de las rampas, y à los pezones de las hojas. La de la segunda se halla rara vez en estas mismas partes de la planta; pero casi siempre aplicada sobre las hojas”. Thurneysser, en su historia natural de Portugal de mediados del s. XVI, también cita granas de distintas calidades, recogidas de forma diferenciada por su distinto valor económico (Herold, *trad.* 2023).

El kermes se cosechaba desde mediados o finales de la primavera -cuando se depositaban los huevos y la hembra generaba una cavidad cerrada sobre su mismo cuerpo- hasta principios del verano, antes de que las larvas comenzaran a salir del receptáculo esférico. Lógicamente, tanto el número de insectos como su ciclo biológico era diferente dependiendo de las condiciones ambientales y la grana no maduraba al mismo tiempo en todas las zonas productoras, un hecho que permitía la movilidad de los recolectores, tanto en territorios pequeños como en grandes desplazamientos que podían alcanzar cientos de kilómetros. En las inmediaciones de Jijona (Alicante), Escolano (principios del s. XVII) menciona que “se adelanta a muchas en la cosecha de la grana”, ya que este territorio gozaba de alguna ventaja competitiva que lo especializó singularmente en la producción de kermes, que superaba los 5000 ducados según Viciara (1566)<sup>1</sup>. Tal vez se tratara de una ancestral actividad que facilitaba la reproducción del insecto y la presencia de coscojares termófilos con unas condiciones óptimas para la cría de kermes, tal y como se relataba en el *Mercurio de España* a principios del s. XIX: “El kermes que se anida en las coscojas de las cercanías del mar en terrenos bajos y climas calientes, es más grueso, y abunda mas en materia colorante, al mismo tiempo que es mayor que el que se recoge en parages enteramente contrarios” (Melón y Sandalio, 1826: 238).

Generalmente, la recolección de la grana, como producto alternativo de la economía campesina, se ejecutaba con mano de obra temporal. Mayoritariamente se realizaba por parte de mujeres, ancianos y niños o, en el caso de varones adultos, de forma complementaria a otras labores, como el pastoreo. Las agallas se desprendían con un “peu de llebre”<sup>2</sup> (Mayo, 1691, en Cataluña), una espátula de madera o bien “a pulgar”, utilizando las uñas (Fisher, 1803, para Alicante), que en ocasiones se dejaban crecer para facilitar la tarea (Canals, 1767, refiriéndose al Languedoc)<sup>3</sup>. De forma poco sostenible, en ocasiones se llegaba a cortar las ramas infectadas con kermes y se sacudían o vareaban para que cayesen las agallas, imposibilitando así la producción de nuevas cosechas. Esta acción estaba sancionada por ordenanzas como la de Almansa en 1536, al igual que emplear herramientas prohibidas, como garrotes o capazos (*belix y espuertas*) para acelerar el proceso (Sánchez 1987; Pereda, 2013). La recolección era, al parecer de Melón y Sandalio (1826: 238) “difícil y penosa” porque “la coscoja en que anida el insecto es por lo común muy ramosa, y la espesura que forman sus ramas, los pies que salen reunidos formando matorral, y lo espinoso de sus hojas obligan á coger grano á grano el kermes que contienen”. Los coscojares y garrigas, formaciones densas de difícil acceso, también eran el hábitat de numerosas especies animales: en Portugal, Thurneysser (1555-1556) describe como las mujeres se untaban los pies y las botas con

1. Al menos durante el s. XVI en Jijona se subastaba la recogida de la grana. En 1544, por ejemplo, se recogen disputas sobre el momento de la recolección, por hallarse algunos lugares sin la grana todavía madura (Galiana, 1995).

2. Covarruvias Orozco, en 1611, también cita el uso de “pies de lebres” para la recolección de estos gusanos (trans. en Papavero y Claps, 2014: 46). Se trataría, en principio, de las inflorescencias de plantas del género *Trifolium*, conocidas así desde, al menos la antigüedad clásica (Disocórides) y la Edad Media, siendo la medicina su aplicación fundamental (Gual Camarena, 2023).

3. Según un tratado de 1844, una mujer podía recoger dos libras por día empleando este procedimiento manual (Casas, 1844), testimonio similar a los recopilados en otras fuentes (Melón y Sandalio, 1826; Cardon, 1999).

ajo, que también comían, para evitar las víboras y otras “alimañas” venenosas que vivían debajo de las coscojas (Herold & Cabral, 2023); mientras que la cosecha se hacía preferiblemente “a la madrugada con el rocío, porque entonces las hojas de la Coscoja están más flexibles, y menos punzantes, que cuando el Sol las ha endurecido, y erizado” (Canals, 1767: 20).

El kermes recolectado se extendía sobre una sábana y se rociaba con vinagre para exterminar a los huevos. Una vez seco y cribado, mezclando a proporción los cuerpos del insecto o *cascabillo*<sup>4</sup> y el polvo que desprendían, se recogía en talegos de cuero o barriles para su comercialización, aunque en ocasiones se trituraba todo en un molino para obtener un polvo encarnado que se compactaba en pastillas. Hay estimaciones que hablan de que, para lograr un gramo de producto, se requerían entre 60 y 80 individuos (Cardon, 1999); mientras que un kilogramo de insectos podía producir solo 50 gramos de carmín (Cuesta y Pazos-López, 2020), lo que representaba el comercio de miles de millones de insectos procesados durante una campaña a lo largo del Mediterráneo<sup>5</sup>. Con la masiva irrupción de la cochinilla americana y la multiplicación de materias tintóreas, el kermes se reservó sobre todo para tejidos de primera clase y “ropas entrefinas”, algunas directamente conocidas como “Granás”. En unas ordenanzas reales para los tintoreros de seda y lana de 1758, se refleja como la “grana silvestre de las coscojas” [...] “sirve singularmente para el color de Grana de Venecia” (Cédula, 1758), denotando su interés comercial y exclusivo todavía a mediados del s. XVIII, aunque reservada fundamentalmente como materia prima destinada a la exportación a los grandes centros tintóreos del momento.

Inicialmente, al menos en tiempos bajomedievales y salvo excepciones como la del califato de Córdoba (López-Marigorta, 2023), la recolección de grana estuvo poco regulada en España (Torró, 2009), aunque su creciente interés económico atrajo la atención de algunos señoríos, tal y como ocurría en Francia desde la Alta Edad Media (Cardon, 1999). De hecho, en la península ibérica su abundancia pudo servir para incrementar el valor de algunas tierras de cara a la colonización posterior a la conquista cristiana, como es el caso de Caudete (marquesado de Villena) o de Benidorm, donde en su carta puebla de 1325 se refleja la posibilidad de recolectar grana libremente<sup>6</sup> (Furió, 2001). La recolección no estaba exenta de conflictividad –social y jurisdiccional-, especialmente entre poblaciones vecinas, que se veían invadidas por recolectores de kermes, en ocasiones contados por centenares. Los ejemplos son abundantes y podemos remitirnos a los de tierras valencianas durante la Edad Media, como en la Sierra de la Grana -topónimo bien elocuente- y las quejas de los vecinos mudéjares de Relleu ante la venta de kermes por parte de cristianos de poblaciones vecinas durante 1295 (Torró, 2009); o Aspe, que en 1434 denunciaba la llegada de más de trescientos oriolanos en busca de grana y otros productos forestales (Barrio, 2008). Progresivamente se fue imponiendo una regulación más severa mediante ordenanzas (p.e. Elche, 1492), con penas en caso de incumplimiento, que pasaban por la necesidad de fijar un calendario de inicio para la recolección (“romper la grana”), obtener permisos municipales para la cosecha, o requerir el pago de un canon al señorío o al municipio. La casuística era diversa (Sánchez, 1987; Martín, 2021) y en algunos lugares de señorío la recolección se arrendaba anualmente, o su comercio era monopolizado directamente por la señoría (Chinchilla, según González, 1993); mientras que, en otros, se reservaba al vecindario o se explotaba conjuntamente

4. Definición recogida en Chinchilla en el s. XV, según Sánchez (1987: 368-369).

5. Las evidencias documentales parecen confirmar estas cifras: Suárez (1778) informa que se requiere de una onza de grana (unos 29 g) para tinter –en combinación con otros productos- una sola libra de lana (prenda de entre 355 y 460 g de peso, dependiendo de la zona). Según Cardon (1999), para teñir un único trozo de tela fina de color rojo brillante de unos 25 kilos hay que cosechar, secar, empaquetar y transportar de 1,5 millones a 2 millones de insectos. Las proporciones son aún mayores en el caso de la seda.

6. En Caudete todavía hay referencias a la extracción de abundante grana en los inicios del s. XVI (Martínez-Paterna, 1632), mientras que, muy cerca de Benidorm, en Finestrat, se cita la cosecha de grana en 1796 (Franco, 1797).

entre varios términos vecinos, tras mancomunarse (Elche y Aspe, en Hinojosa, 1990). En España se ha estudiado con detalle la explotación medieval de la grana en el marquesado de Villena, un gran estado feudal localizado en el sureste de la península ibérica. El señorío contaba con un gran patrimonio forestal, donde la obtención de kermes representó una importante fuente de riqueza durante la Edad Media, existiendo específicamente el impuesto denominado *alcabala de la grana* (Sánchez, 1987; Pereda, 1988; González, 1993 y 2002). Posteriormente, se forjaron distintos convenios entre Almansa, Chinchilla o Caudete desde el s. XIV y ordenanzas de los ss. XV y XVI que regulaban algunos aspectos de acceso a zonas reservadas y de recolección, que no podría comenzar hasta que oficiales expertos diesen licencia para ello. Los *Caballeros de la Sierra*, un organismo que se arrendaba anualmente para la vigilancia y control de los recursos forestales (Ortega, 2013), se encargaban del cumplimiento de las ordenanzas; mientras que Almansa contaba a principios del s. XVI con un oficial responsable, denominado *fiel de granas* (Pereda, 2013)<sup>7</sup>. Las formaciones esclerófilas dominadas por la coscoja, como ecosistemas manejados por el ser humano para garantizar su rentabilidad, serían claramente dominantes en este territorio, antes del decaimiento del comercio del kermes y la gran expansión agraria vivida durante la Edad Moderna.

### 3. La grana en los coscojares ibéricos

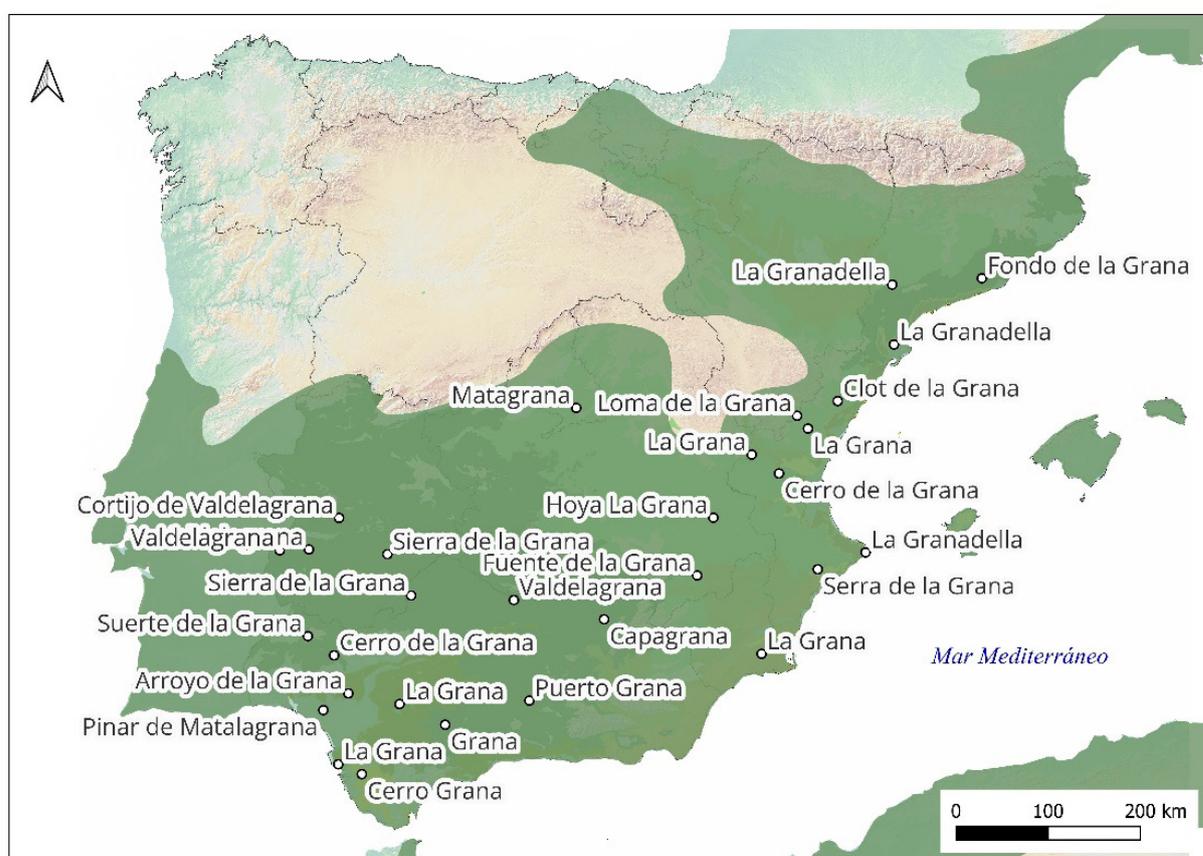
En la península ibérica hay indicios documentales de una importante producción de grana kermes desde, al menos, tiempos romanos. Como muestra de ello, *Plinio el Viejo* escribe: “Sin embargo, la carrasca desafía a todos estos sus productos [los del roble] con su sola agalla. Esta es la grana que surge como un tumorcillo roñoso de la chaparra, de la pequeña carrasca de hojas espinosas; la llaman coscojo. Proporciona a los pobres de Hispania el segundo pago del tributo. Hemos comentado su uso y su técnica al hablar de la púrpura. Se produce también en Galacia, África, Pisidia, Cilicia; la peor se da en Cerdeña” (trad. en García-Hernández, 2014: 275). Del texto se infiere que ya formaba parte de las recolecciones fundamentales de la economía campesina, existiendo un potente comercio de kermes a lo largo del imperio (Cotte y Cotte, 1918), hasta el punto de que en el yacimiento de Emerita-Augusta se han localizado posibles restos de una factoría de grana (Martínez-García, 2022).

Si bien los coscojares están extendidos en toda la península ibérica dominada por el clima mediterráneo, y que estas formaciones son potencialmente generadoras de grana, la documentación histórica recopilada señala dos grandes zonas productoras. La primera se encontraría en el oeste, en la actual Andalucía occidental, Alentejo portugués y sur de Extremadura, donde Valverde (2009), en sus anotaciones al *Libro de la Montería* de Alfonso XI de Castilla (s. XIV), recoge una abundante toponimia, alguna de la cual está todavía presente desde tiempos medievales (La Mata de la Grana, Sierra de La Grana, Cabeza de la Grana, etc.). Tal es así que la recopilación de topónimos actuales en España puede representar de una forma bastante fidedigna aquellos antiguos territorios del kermes (figuras 2 y 3). El aprovechamiento de la grana, al menos desde la Edad Media, generó intensos circuitos comerciales en torno a los puertos de Sevilla y Cádiz, pero fundamentalmente relacionados con la segunda zona productora, localizada en el este peninsular y con el antiguo reino de Valencia como centro principal. En este último territorio concurrían espacios de recolección de grana -hasta cierto punto especializados, como el entorno de las sierras

7. Tanto las acciones de furtivos como la recolección antes del periodo establecido eran habituales, como demuestra la investigación de Sánchez (1987), de manera que la presencia de guardas responsables de “guardar la grana” era común en otros lugares, como es el caso del sector fronterizo entre Alicante y Murcia, una importante región productora (Ferrer, 1988) donde aparecen referencias anteriores a 1582 (Navarro-Belmonte, 2012).

de La Grana y el Cabeçó d'Or en Alicante- con una importante demanda por parte de la industria textil y una infraestructura portuaria muy dinámica en lo relativo al comercio con las costas atlánticas y el resto del Mediterráneo. De hecho, el circuito comercial relacionado con los puertos valencianos, especialmente a partir de finales del s. XIV, tenía como particularidad una serie de productos exclusivos para la exportación (seda, caña de azúcar, arroz) entre los que se encontraba la grana (Cuadrada, 2001). A lo largo de ese siglo y durante el XV, se registran importaciones de grana kermes desde Andalucía, que algunos autores relacionan con el hecho de que la producción valenciana ya era insuficiente para la creciente demanda de la próspera industria textil (Ferrer, 1997); sin olvidar que Valencia era también una escala básica en el mercado de los tintes hacia Europa (García-Mansilla, 2017).

Figura 3. Algunos topónimos relacionados con la grana en España y distribución de *Quercus coccifera*.



Fuentes: Nomenclátor Geográfico Nacional (Instituto Geográfico Nacional), Nomenclátor Geográfico de Andalucía (Instituto Cartográfico y Estadístico de Andalucía), Nomenclátor Toponimic Valencià (Institut Cartogràfic Valencià), Noms Geogràfics (NGCat - Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). Capa de distribución de la coscoja a partir de Caudullo et al. 2023. Relieve hipsométrico procedente del Servicio de Cartografía de la UAM. Elaboración propia.

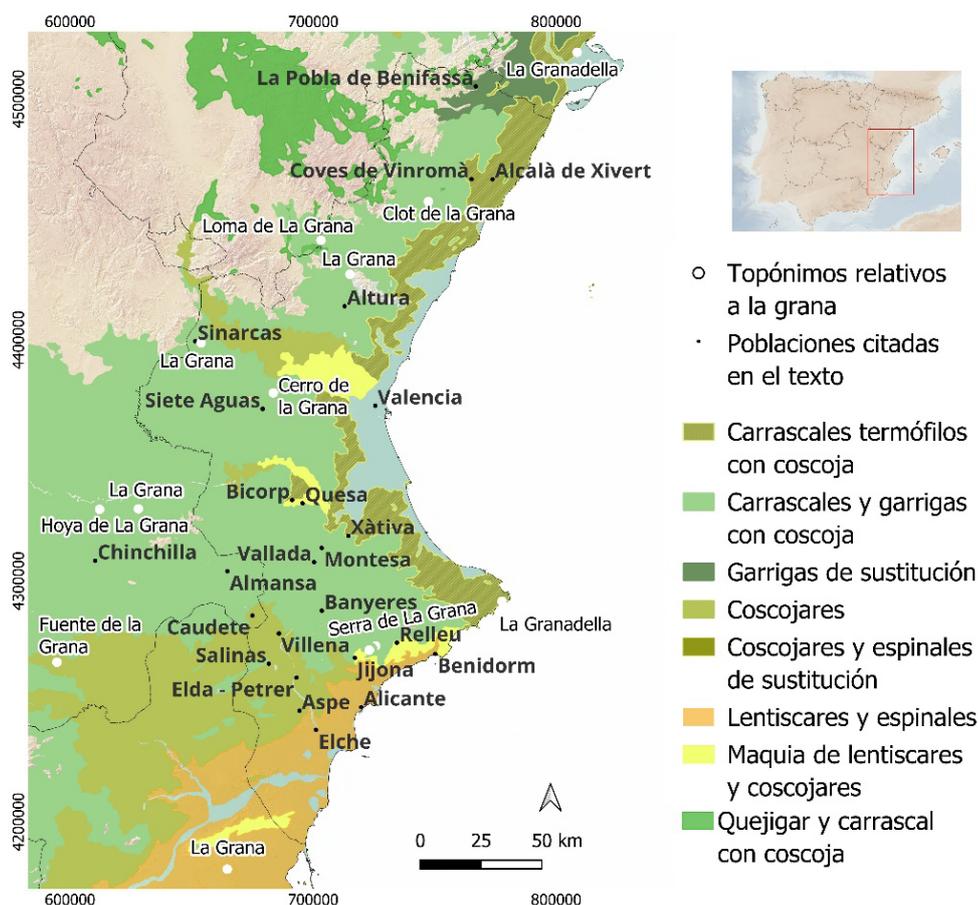
Se podría considerar que este periodo fue el más boyante para la producción y comercialización de grana kermes, al menos entre la época bajomedieval y la Edad Moderna. A partir del s. XVI el nuevo tinte de la cochinilla, procedente de América a través de Sevilla, fue incorporado rápidamente por tintoreros españoles e italianos, siendo estos últimos los que dominaban el comercio de los tintes rojos. Greenfield (2010: 93) describe categóricamente como “hacia 1580 la cochinilla había desplazado los rojos tradicionales del quermés a los márgenes del mercado textil europeo”. Sin embargo, todavía se mantuvo una importante demanda especializada de grana kermes, destacando las regiones productoras de la Provence, el Languedoc (Narbona) y el reino de Valencia

(Alicante) (Mulas, 2019). A mediados del s. XVIII el mercado de tejidos de lujo –el más rentable y exclusivo, asociado a las sedas- solo utilizaba kermes en los principales centros productores: los tintes de Venecia y los de Oriente medio (Persia), según Canals (1768).

### 3.1. La importancia de las montañas valencianas

En el caso concreto de la región especializada de Valencia, la dimensión comercial de sus producciones, intensificada en tiempos bajomedievales con la formación del reino cristiano, afectó a la economía campesina fomentando el interés y los esfuerzos no solo sobre productos agropecuarios y manufacturas, sino también sobre determinados recursos naturales como el que nos ocupa. Tras la conquista de los ss. XIII y XIV, se mantuvo la demanda internacional de manufacturas que ya destacaba en tiempos andalusíes, lo que animó la llegada de mercaderes extranjeros (italianos, franceses o alemanes) y mantuvo a Valencia como un centro internacional en el comercio textil, que incluía también el comercio de materias tintóreas (Navarro, 2022). De esta forma coincidió, en este territorio, el negocio con la producción, que basó una parte de su importancia en la explotación de dos insectos: los gusanos de seda y el kermes. Los primeros, sobre los que existe un gran número de estudios, se cultivaron masivamente en viviendas particulares y granjas, posicionando al árbol de la morera como uno de los principales cultivos valencianos durante siglos; los segundos, bastante más desconocidos, se recolectaron por casi todo el territorio.

Figura 4. Topónimos relacionados con las principales zonas productoras en el reino de Valencia y territorios del marquesado de Villena, sobre la base de los dominios de coscojares potenciales y de sustitución



Fuentes: elaboración propia a partir de Rivas (1987). Los topónimos aparecen referidos en el texto.

Las referencias de autores como Viciano (1564-1566) o Escolano (ca 1611) y la recopilación de citas dispersas en diversas fuentes, permiten hablar de varias zonas productoras, aunque la recolección era prácticamente generalizada en todo el territorio: el entorno de las sierras de Espadà y de Valldàngel (Desde Altura a Coves de Vinromà y Alcalà de Xivert, en Castelló), Sierras de la Atalaya y el Tejo (entre Sinarcas y Siete Aguas, en Valencia), un gran espacio continuo entre la Serra d'Énguera (Bicorp, Quesa, Montesa, Vallada, en Valencia), el Vinalopó (desde Elche y Aspe hasta Banyeres, pasando por Petrer, Elda y Salinas) en conexión con Villena y su antiguo marquesado y, singularmente, el entorno de las sierras del Cabeçò d'Or y de la Grana (Relleu, La Torre y Jijona, en la actual provincia de Alicante) (figura 4). En este último territorio, el más pequeño pero el más especializado, existían temporeros de la grana para los que la recolección significaba un trabajo fundamental en el cómputo laboral anual. A finales del s. XVIII, Cavanilles, al escribir sobre Jijona, señala como, alrededor de marzo, numerosas cuadrillas salían en busca de kermes “recorriendo la España y parte de Portugal”, cuya ausencia “contribuye á conservar eriales numerosos y descuidar los olivos y algarrobos” (1797: 189). En otro escrito de 1819, referido al kermes “que abundan en las sierras de Segura y Alcaraz, y otras partes de la Mancha y Andalucía”, señala como “los naturales de dichas sierras no cuidan de recogerla, operación que hacen los valencianos, saliendo todos los años en su busca en la temporada de verano”<sup>8</sup>. El diccionario de Madoz, hacia 1850, cifra en más de 500 los hombres dedicados a esta labor, mientras que hay referencias datadas a finales del XIX donde se señala la presencia de jijonencos en la provincia de Cádiz, donde se vendía turrón y “en donde se solían trasladar desde el mes de febrero para hacer la temporada de la grana, que consistía en contratar hombres de aquellas poblaciones andaluzas y recoger en los montes vecinos esta cochinilla que se envasaba en barriles para embarcarlos en Cádiz con destino a Alicante” (transcrito en Garrigós y Pérez, 1994: 73).

Durante el s. XIX, cuando el predominio de la cochinilla americana empieza a competir con la aparición de tintes sintéticos, se comprueba cómo, a pesar de todo, la grana kermes mantiene cierta productividad en tierras valencianas, al menos en la primera mitad del siglo. Laborde, en su *Itinerario descriptivo de las provincias de España* (1816) ofrece una de las pocas cuantificaciones encontradas sobre la producción de grana en España, con la característica añadida de tratarse de datos que coinciden con el momento en el que se está aclimatando la cochinilla del nopal para ser producida directamente en tierras valencianas. En la obra del autor francés se presentan tres tablas de producción con datos para el reino de Valencia, que representa mayoritariamente el área comprendida por las *montañas de Alcoy, Gijona y Alicante*, aunque cita a Siete Aguas (Valencia) como región productora. Por la entidad de los datos que se presentan a continuación (figura 5), no se puede descartar que se trate de grana procedente de otras regiones de España y que se comercializara a través del puerto de Alicante.

La producción de Kermes era la más reducida de cuantas aparecen en la tabla, puesto que solo se alcanzaban los 200 quintales; sin embargo, el precio del quintal es, de lejos, el más elevado de todas las producciones, alcanzando los 5000 reales de vellón por quintal producido (la segunda cifra más alta es la de la almendra con, únicamente, 210 reales por quintal). El 70% del total se dedicaba a la exportación internacional (140 quintales), junto con 40 quintales más para exportación nacional, por lo que se deduce que 20 quintales de kermes se quedaban en tierras valencianas. La producción total, que equivale aproximadamente a 10 toneladas<sup>9</sup>, alcanzaba el millón de reales. Atendiendo a los cálculos anteriormente citados, los 200 quintales recogidos en la obra de Laborde supondrían entre 600 y 800 millones de insectos, unas cifras que, a pesar del contexto

8. *Miscelanea de Comercio, Artes y Literatura*, n. 13, 29 de noviembre de 1819.

9. Cálculo aproximado medio, basado en el valor quintal de Aragón 50,40 kg y el quintal de Castilla, de 46,02 kg.

decadente y del dominio de la cochinilla americana, representan la producción y el valor obtenido de una las regiones productoras de *grana fina* más importantes del mundo. Claramente, el kermes era un producto ya minoritario pero muy exclusivo, reminiscencia del antiguo y esplendoroso comercio que se movió desde los puertos valencianos hacia el Mediterráneo, tal y como ocurría en Marsella (Stockland, 2020). La cifra de 200 quintales, correspondiente a las primeras décadas del s. XIX, es recogida por Jaubert de Passá en su publicación de 1844, donde señala que la producción de kermes “es muy común en las montañas que circundan la huerta de Valencia. Si el descubrimiento de la América y el uso de la cochinilla no hubiese proporcionado a las manufacturas un color mas brillante y más rico, el kermes sería aun en el día uno de los más preciosos ramos del comercio valenciano; sin embargo, el uso de la cochinilla no es tan absoluto que pueda substituir en un todo al del kermes, pues aun se consume gran cantidad” (1844: 560-561).

Figura 5. Algunas producciones del reino de Valencia a principios del s. XIX

PLAN APROXIMADO DE ALGUNAS PRODUCCIONES DEL REYNO DE VALENCIA.			
PRODUCCIONES.	CANTIDAD.	PRECIO. RS. VN.	PRODUCTO.
Vino . . . . .	3,500,000 cántaros	7 $\frac{1}{2}$	26,250,000.
Vino de Alicante..			800,000.
Pasas . . . . .	40,000 quintales	30	1,200,000.
Higos secos. . . . .	24,000 quintales	32	896,000.
Aceyte. . . . .	350,000 arrobas	45	15,750,000.
Almendras. . . . .	4,500 quintales	210	945,000.
Dátiles y Palmas. .			600,000.
Seda. . . . .	1,500,000 libras	50	75,000,000.
Lana. . . . .	20,000 quintales	160	3,200,000.
Sosa. . . . .	25,000 quintales	40	} 6,069,000.
Barrilla. . . . .	100,000 quintales	50	
Agua-azul. . . . .	4,000 quintales	24	
Lino. . . . .	8,000 quintales	200	1,600,000.
Cáñamo . . . . .	75,000 quintales	180	13,500,000.
Arroz. . . . .	140,000 cahices	200	28,000,000.
Kermes . . . . .	200 quintales	5,000	1,000,000.
Sal. . . . .	6,000 toneles		888,000.
Trigo . . . . .	600,000 cargas	144	86,400,000.
<i>TOTAL. . . . .</i>			<u>262,125,000.</u>

Fuente: Laborde (1816: 120). La tabla aparece en la edición aumentada de M. Cabrerizo

Desde la década de 1820 la cochinilla americana (*Dactylopius coccus* Costa) fue introducida en Valencia a través de los experimentos de climatización de especies promovidos por el Duque del Infantado y la Real Sociedad Económica de Amigos del País, teniendo un éxito inmediato (Calatayud, 1999). Años antes, Laborde describe como llega a Valencia “una porción de hojas de nopal, o palas, llenas de insectos vivos, que servirán para formar un criadero de fomento, de donde podrán proveerse de la grana verde, o semilla, que necesitan para anidar los particulares que quieran dedicarse a este nuevo cultivo, o industria rural” (1816: 135). A pesar de este desarrollo y de la

irrupción de los tintes sintéticos a mediados de siglo, desde la propia Real Sociedad Económica se mantuvo el interés por promover la grana autóctona, premiando un estudio en Jalance (Valencia) sobre la plantación de coscojas para la cría de grana kermes en 1847<sup>10</sup>.

#### 4. Discusión: una lectura ambiental de la decadencia

En las actividades relacionadas con la recolección, en sentido amplio, las sociedades del pasado incentivaron la producción de plantas y animales silvestres a través del manejo forestal. Esta gestión consistía básicamente en el favorecimiento de determinadas especies, la eliminación de competidoras y el incremento de la productividad mediante podas y aclareos. Esta realidad es claramente observable en la estructura y morfología de las formaciones vegetales de muchos montes peninsulares (García-Fernández, 2002), donde también se incluye la siembra, como es el caso particular de algunas plantas barrilleras o del esparto, cuya explotación estuvo vigente hasta mediados del s. XX en España (Marco, 2010). Por el momento desconocemos si pudo haber siembra de coscojas, pero es lógico pensar en determinadas formas de gestión, que de momento tampoco se han podido documentar. No obstante, teniendo en cuenta que los coscojares suelen ser formaciones arbustivas cerradas, intransitables por la densidad y características de la vegetación, podría pensarse en algún tipo de aclareos selectivos que facilitarían el acceso y la extracción, o podas para evitar ejemplares arborescentes, e incluso la conservación de los individuos más longevos y menos vigorosos, que eran más propensos a la infección según Melón y Sandalio (1826). Además, junto al manejo de la vegetación, está también la relación productiva con los insectos. En este sentido destaca, en gran parte del territorio donde se reproducía la grana, la importante industria sedera, que vivió un auge durante la Edad Moderna y generó depuradas técnicas de cría y explotación de los gusanos originarios de Asia; sobre el kermes, sin embargo, no existe apenas información al respecto. Por el momento, solo cabe la conjetura de si llegó a incentivarse su cría o, dicho de otro modo, si se lograron técnicas para expandir la infestación sobre el mayor número posible de coscojas, la especie prioritaria a conservar. La capacidad de desplazamiento de las larvas de kermes es muy limitada, y no pueden pasar de una rama a otra si no son ayudadas por vectores externos, animales o ambientales<sup>11</sup>. Aunque una vez eclosionados los huevos, almacenados en la cámara de incubación del insecto-madre, se perdía su uso para el tinte, la dispersión de las larvas garantizaba las futuras cosechas. Canals (1767: 26) sugiere una técnica que probablemente se utilizaría en algunas zonas productoras: “en la estación conveniente, que por lo común es a fines de mayo, se cortarían algunas pequeñas ramas, que estuviesen cargadas de muchos kermes, de aquellos que ya huviessen puesto sus huevos, pero sin haver salido los hijuelos; y se atarian estas ramas á los pimpollos de las carrascas, en que se quisiesen multiplicar”. Yendo un poco más allá, se pueden incluso apuntar otras lecturas sobre la *humanización de los insectos*, un apasionante capítulo de la larga domesticación de la naturaleza: en el caso de la cochinilla americana, se cree que la intensa y prolongada cría de los insectos *Dactylopius coccus* en el altiplano del sur de México pudo generar una nueva subespecie, de mayor tamaño y productividad (Greenfield, 2010). Aunque no hay evidencias de un aprovechamiento tan intenso y masivo como el de la *Opuntia ficus-indica* y la cría de su insecto parásito en la América precolombina, cabría preguntarse hasta qué punto el aprovechamiento milenario de *Kermes vermilio* no pudo generar algo parecido.

10. El estudio no se ha podido localizar. Se ha conservado un *Informe de la Comisión de Agricultura sobre los ensayos para la propagación de la grana Kermes y gusanos trevoltinos, realizados por D. José Linares*, aunque el manuscrito se dedica fundamentalmente a los gusanos de seda.

11. Incluso actualmente estos vectores son bastante desconocidos, identificándose hasta el momento al viento y algunas aves (Martín-Bernal et al. 2002).

En todo caso, en la actualidad estos insectos son difíciles de localizar y los coscojares puros –o, al menos, que denoten un antiguo aprovechamiento económico tan exclusivo, sin acompañamiento del gran cortejo florístico que los caracteriza– son inexistentes, incluso en sectores con topónimos tan elocuentes como las mencionadas sierras “de la Grana”. De hecho, en la Francia de principios de s. XIX ya se denunciaba la desaparición del insecto a causa de los intensos desmontes practicados para la expansión de la vid, con la interesante apreciación de un naturalista -Fournier- de que el insecto progresaba en grandes masas continuas y no en manchas aisladas (Stockland, 2020). A mediados del s. XIX, Gustave Planchon determinaba científicamente la especie *Kermes vermilio*, mientras se sorprendía de la escasa presencia de un insecto tan abundante siglos atrás (Planchon, 1864).

Por lo que respecta a España, la situación fue similar a la de Francia, cuando no más evidente muchos años atrás. En la introducción a su *Descripción de varias especies nuevas de Encina (Quercus de Linneo)*, publicado en los *Anales de Historia Natural* (1803), el naturalista Luis Née destacaba su preocupación por la progresiva desaparición de quercíneas, al talarse y no reponerse. Unos años atrás, en los interrogatorios de Francisco de Zamora en la Cataluña de 1789, se afirmaba, al hablar de Martorell, que la grana crecía en abundancia en las coscojas, aunque la cosecha era desconocida para sus habitantes, pudiendo aprovecharse para la demanda de productos tintóreos de la industria barcelonesa. Sin embargo, se incidía en que: “No conosen los naturales el kermes ni puede esperarse (sin tomar otras providencias) grande cosecha de este insecto, por la razón de haverse desmantelado muchissimos bosques en donde se criaba con muchissima abundancia en dichos arbustos [*coscoll*], y los pocos que han quedado los cortan todos los años para el miserable uso de hormigueros” (transcrito en Codina et al. 1992: 33).

Se trata de testimonios que representan una realidad bien conocida, como es la intensa deforestación sufrida en España durante la Edad Moderna. El incremento de las roturaciones de tierras forestales se acompañó de un crecimiento de los aprovechamientos extractivos básicos (leña y carbón, principalmente, junto con el sobrepastoreo) para atender la mayor demanda motivada por el incremento demográfico. De tal manera que las formaciones forestales que no se talaron fueron progresivamente degradadas y simplificadas. Una de las evidencias más contrastadas de este hecho fue la paulatina sustitución de formaciones dominadas por las quercíneas por pinos, proceso bien estudiado en el territorio valenciano (Giménez-Font, 2008); cuando no, directamente, por etapas más regresivas de tomillares o incluso formaciones de espartizales cultivados (Marco, 2010). Sin embargo, el concepto de coscojar es muy diverso e incluye comunidades de una amplia distribución, donde *Quercus coccifera* es la especie dominante y otras donde forma parte de un cortejo florístico más heterogéneo. En este sentido, además, hay que tener en cuenta que, en la complejidad morfológica y florística de las formaciones denominadas genéricamente como garriga en Valencia y Cataluña, es difícil discernir la mayor o menor relevancia de la actividad humana secular -en algunos casos se consideran una degradación del encinar- respecto a unas condiciones ambientales óptimas para la especie. En todo caso, parece evidente que mientras la producción de kermes representó una actividad económica importante, diversas ordenanzas y licencias se dirigieron a proteger los ecosistemas que lo generaban, es decir, los coscojares, tal y como han demostrado estudios para el señorío de Villena durante la baja Edad Media (González, 2008), en Andalucía occidental durante el s. XV (Martín, 2021) o, todavía a mediados del s. XVIII, en la Manchuela (Sánchez, 1987) o el Languedoc (Stockland, 2020). El incremento de la presión roturadora y la degradación de los espacios forestales fue pareja, igualmente, a la irrupción de la grana cochinilla americana, que rápidamente generó una grave crisis en la recolección de kermes; ¿hasta qué punto ambos hechos pueden relacionarse? Como reflexiona D. Cardon

(1999), conforme el producto dejó de ser rentable el ecosistema antropizado que lo sustentaba fue variando progresivamente: las técnicas de poda y extracción se descuidaron, se permitió la entrada de ganados en los coscojares, posiblemente se incrementaron los incendios con fines pecuarios y se aumentó la explotación de la coscoja como combustible. Como resultado, el número de insectos debió decrecer masivamente, acelerando la decadencia de este aprovechamiento milenario, aunque en la península unas décadas antes de que lo hiciera en el resto de Europa, donde la cochinilla americana tardó un poco más en monopolizar el comercio del tinte rojo. De esta forma, durante la segunda mitad del s. XVIII en España, el interés del reformismo ilustrado por incentivar o recuperar la producción de kermes se topó con unos ecosistemas maltrechos y una actividad extractiva que ya era muy secundaria, tras dos siglos de predominio de la cochinilla de las Indias. Únicamente concentrada en algunos espacios productivos exclusivos, la viabilidad de la grana chocaba con la sobreexplotación de las quercíneas, la liberalización de espacios comunales y la expansión masiva de nuevas roturaciones. De esta forma, las menciones a esta materia tintórea prácticamente desaparecen de la numerosa literatura disponible durante el Setecientos sobre producciones agrarias y forestales en la España mediterránea, como si su extracción ya fuera marginal o inexistente ¿tuvo este hecho consecuencias sobre las formaciones forestales? y ¿en qué grado? Son cuestiones que quedan abiertas para futuras investigaciones.

A los cambios en los poblamientos vegetales a causa de las talas, el ya lejano abandono de las explotaciones de grana, la fragmentación de las masas forestales o la presencia de repetidos incendios forestales y repoblaciones durante el s. XX, hay que sumar el uso más reciente de pesticidas. Entre estos y otros procesos, resulta imposible vislumbrar en nuestros bosques actuales los restos de esta histórica actividad, ni tampoco ejemplares de kermes, muy difíciles de localizar aquí y en otras zonas tradicionalmente productoras.

## 5. Conclusiones

Las reflexiones desarrolladas hasta aquí pretenden destacar algunas evidencias que, tanto en forma de certezas documentadas como de algunas conjeturas, permiten plantear una hipótesis de investigación a desarrollar en futuros trabajos, que afronten la recolección de la grana kermes desde una perspectiva ecológica.

Parece evidente la extraordinaria entidad que la producción y comercialización de este producto alcanzó en su momento de esplendor durante la Edad Media. Pero si atendemos a la supuesta correspondencia entre gramos de kermes y número de insectos necesarios para su obtención, las cifras relativas a principios del s. XIX para el reino de Valencia resultan todavía sorprendentes y señalan la magnitud del volumen de insectos manejados en los periodos más boyantes. También el hecho de que, en contraste con la actualidad, la presencia del hemíptero *Kermes* sp. fue muy abundante, al menos, hasta mediados del s. XIX.

Históricamente, la grana dio lugar a una potente industria rural, tanto en la península ibérica como en otras regiones de la Europa mediterránea, permitiendo al campesinado introducirse -junto con otras producciones- en una economía de mercado gracias a un producto forestal exclusivo. Esto generó una política proactiva, en forma de distintos regímenes de explotación, encaminada a gestionar los conflictos entre diversos grupos involucrados, pero también y, sobre todo, a conservar y desarrollar el coscojar, que sería una formación dominante en extensos territorios de vocación forestal. En nuestra opinión, la importancia económica y social de esta explotación del matorral no ha sido suficientemente valorada o, directamente, no se ha tenido en cuenta en

los estudios de historia ambiental y de historia del paisaje mediterráneo. Cabría pensar, así, en las panorámicas visuales que predominarían en muchas zonas productoras, con grandes y continuas extensiones de garrigas que el alemán J. Münzer (1494-1495: 61) describió sucintamente en su trayecto entre Xàtiva y Alicante: “mientras cabalgábamos por entre montañas, vimos muchos campos de grana”. Esos tupidos coscojares, predominantes en el paisaje vegetal de amplios territorios y recorridos por cientos de recolectoras -mujeres, ancianos y niños- durante el verano, presentarían fases de marchitamiento y defoliación estacional, producidos por la masiva cría de los insectos chupadores de savia. Determinar hasta qué punto el ser humano pudo gestionar la garriga para tal fin, sigue siendo una de las hipótesis de trabajo a resolver.

En España, el desmantelamiento de la industria del kermes fue más rápido que en otras regiones productoras debido a la masiva introducción y total disponibilidad del tinte americano, monopolizado por la metrópoli. Y aunque se reconoce el mantenimiento de la grana en los circuitos comerciales del textil europeo y la conservación de territorios productivos hasta finales del s. XIX, es evidente que, de forma mayoritaria y progresiva, los coscojares dejaron de ser espacios productivos y valiosos, lo que produjo su degradación o, directamente, su eliminación y sustitución por campos de cultivo. Un fenómeno éste, olvidado por la historiografía pero que hay que incorporar a los factores, ya conocidos, que explican el proceso de roturación masiva de zonas forestales, vivido especialmente durante los siglos XVII al XIX.

Las repercusiones inmediatas de esta deforestación de las garrigas, junto con los problemas de conservación del suelo y la inestabilización de las laderas, generaron una pérdida de fertilidad y debieron afectar al nicho ecológico de muchas especies vegetales y animales. En el caso que nos ocupa, el declive de la recolección de kermes repercutió en un descenso progresivo del número de estos insectos endémicos de la entomofauna mediterránea, hasta considerarse actualmente como una especie minoritaria, víctima -como tantos otros insectos- del uso masivo de plaguicidas, los cambios en los usos y coberturas del suelo y otros factores todavía no identificados. La principal causa, sin embargo, parece ser la relacionada con la desaparición de una actividad ancestral que otorgó la categoría de valioso recurso forestal a las formaciones de *Quercus coccifera*, conservadas así durante siglos o milenios.

## Bibliografía

- Anónimo (ca. 1800). *Diccionario de voces geográficas españolas*. Madrid, España: Real Academia de la Historia.
- Barrio, J. A. (2008). El campesinado en la frontera meridional del Reino de Valencia. Del hambre de tierras y el autoabastecimiento a la búsqueda del beneficio y la especulación, siglos XIII-XV. En *Pautas de consumo i nivells de vida al món rural medieval* (pp. 1-36). Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Blanco, M., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., García, M., Génova, M. ... & Sainz, H. (1997). *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Barcelona, España: Planeta.
- Calatayud, S. (1999). Difusión agronómica y protagonismo de las élites en los orígenes de la agricultura contemporánea: Valencia, 1840-60. *Historia Agraria* 17, 99-127.
- Canals i Martí, J.P. (1768). *Memorias que de orden de la Real Junta General de Comercio, y Moneda se dan al Público, sobre la Grana Kermes de España que es el Coccum, o cochinitilla de los antiguos*. Madrid, España: Imp. de la viuda de Eliseo Sánchez.
- Cardon D. (1999). La garrigue, monde de l'écarlate. *Études Rurales*, 151-152, 33-42. Doi: <https://doi.org/10.3406/rural.1999.4114>
- Casas, N. (1844). *Tratado de la cría de las aves de corral, de las abejas, de los gusanos de seda, cochinitilla, grana, quermes y de los peces*. Madrid, España: Antonio Calleja.
- Caudullo, G., Welk, E., & San-Miguel-Ayán, J., (2023). Chorological maps for the main European woody species. Mendeley Data, V17, doi: 10.17632/hr5h2hcg4.17

- Cavanilles, A. J. (1795-1797). *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, Población y Frutos del Reyno de Valencia*. Madrid, España: Imprenta Real de Madrid, 2 vol.
- Cédula (1758). *Real Cedula de Su Magestad de diez de Noviembre de mil setecientos cincuenta y siete, aprobando las Ordenanzas, que han de observar los Artes de Tintoreros de sedas, y lanas de estos Reynos*. (Trans. en Garrigós y Pérez, 1994).
- Codina, J.; Moran, J. & Renom, M. (eds.) (1992). *El Baix Llobregat el 1789. Respostes al qüestionari de Francisco de Zamora*. Barcelona, España: Curial- Publicacions de l'Abadia de Montserrat.
- Colmeiro, M. & Boutelou, E. (1854). *Examen de las encinas y demás árboles de la Península que producen bellotas, con la designación de lo que se llaman Mestos*. Sevilla, España: imprenta de José Geofrin.
- Cortijo, M. L. (2007). Los árboles silvestres en la Iberia de Estrabon. *Zephyrus*, 60, 209-219. Recuperado de/Retrieved from <https://revistas.usal.es/uno/index.php/0514-7336/article/view/5580>
- Cotte, J., & Cotte, C. (1918). Le kermès dans l'antiquité. *Revue archéologique*, 7, 92-112.
- Cuadrada, C. (2001). *La mediterrània, cruïlla de mercaders (segles XIII-XV)*. Barcelona, España: Rafael Dalmau.
- Cuesta, A.M. & Pazos-López, Á. (Comisarios) (2020). *Esplendor, materia y significado. Los colores en la Edad Media*. Catálogo de exposición virtual. Universidad Complutense de Madrid, del 4 al 17 de noviembre de 2019. Recuperado de/Retrieved from <https://www.ucm.es/capire/projos-quermes>
- Dean, W. (1996). *A ferro e fogo. A história e a devastação da mata atlântica brasileira*. 6. Aufl. São Paulo, Brasil: Companhia das letras.
- Ferrer, M. T. (1988). *Les aljames sarraïnes de la governació d'Oriola*, Barcelona, España: CSIC.
- Ferrer, M. T. (1997). El comerç català a Andalusia al final del segle XV. *Acta historica et archeologia mediavalia*, 18, 301-334.
- Fisher, C. (1803) [1823]. *Description de Valence, ou tableau de cette province*. Paris, Francia: Vernarel et Tenon. Traducción francesa del original *Gemälde von Valencia* (1803).
- Franco, V.I., (1797). *Contextación a las observaciones sobre la necesidad de la cría de arroz en la Ribera del Xúcar, Reyno de Valencia, e influencia de su cultivo en la salud pública, que publicó el Abate D. Josef Antonio Cavanilles*. Valencia, España: Tomás de Orga.
- Furió, A. (2001). La domesticación del medio natural. Agricultura, ecología y economía en el País Valenciano en la baja Edad Media. En J. Clemente (Ed.), *El medio natural en la España medieval. Actas del I Congreso sobre eco-historia e historia medieval* (pp. 57-104). Mérida, España: Universidad de Extremadura.
- Galiana, F. (1995). *Historia de Jijona*. Alicante, España: Instituto de Cultura «Juan Gil-Albert».
- García-Fernández, J. (2002). La explotación de los montes y la humanización del paisaje vegetal (cuestiones de método previas). *Investigaciones Geográficas*, 29, 5-22.
- García-Hernández, B. (2014). Cusculium (Plin. XVI 32), cocus (Chiron 237) y coccolubis (Colum. III 2.19), sustrato mediterráneo y formas latinas. *Emerita*, 82(2), 273-289. Doi: <https://doi.org/10.3989/emerita.2014.04.1410>
- García Marsilla, J. V. (2017). Los colores del textil. Los tintes y el teñido de los paños en la Valencia medieval. En G. Castelnuovo & S. Victor (Eds.), *L'Histoire à la source: acter, compter, enregistrer (Catalogne, Savoie, Italie, XII e-XV e siècle) Mélanges offerts à Christian Guilleré* (pp. 283-315). Chambéry, Francia: Université Savoie Mont Blanc.
- Garrigós, Ll. & Pérez, J.L. (1994). *Panorama histórico de la química en Alicante*, Alicante, España: Instituto de Cultura "Juan Gil-Albert".
- Giménez Font, P. (2008). *Las transformaciones del paisaje valenciano en el siglo XVIII. Una perspectiva geográfica*. València, España: Alfons el Magnànim.
- Greenfield, A.B. (2010). *Un rojo perfecto*. Valencia, España: Universitat de València. Traducción de *A Perfect red: Empire, Espionage and the Quest for the Colour of Desire*. New York, USA: Haper Collins Publishers, 2005.
- González, J.D. (1993). *La industria de Chinchilla en el siglo XV*. Albacete, España: Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel".
- González, J.D. (2002). *La fiscalidad agraria en el señorío de Villena durante la Baja Edad Media*. Albacete, España: Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel".
- Gosner, L. R. (2021). Esparto crafting under empire: Local technology and imperial industry in Roman Iberia. *Journal of Social Archaeology*, 21(3), 329-352. Doi: <https://doi.org/10.1177/14696053211016628>
- Gual Camarena, M. (2023). *Vocabulario de Comercio Medieval. El legado Gual Camarena*. Universidad de Murcia. Recuperado de/Retrieved from <https://www.um.es/lexico-comercio-medieval/>

- Harsch, M. (2022). L'impatto dell'attività tintoria sull'ambiente: Firenze alla fine del Medioevo. *Imprese e Storia* 45, 26-49. Doi: <https://doi.org/10.3280/ISTO2022-045002>
- Herold, J. (traductor) (2023). *A História Natural de Portugal de Leonhard Thurneysser zum Thurn ca. 1555-1556 e 1562 Tradução Portuguesa*. Lisboa, Portugal: Academia das Ciências de Lisboa. Doi: [doi.org/10.58164/bsdj-5415](https://doi.org/10.58164/bsdj-5415)
- Herold, J. & Cabral, J. (2023). Observations on Portuguese natural history by Leonhard Thurneysser zum Thurn (1531–1596), including the dyes derived from Kermes vermilio and *Dracaena draco*. *Archives of Natural History*, 50(1), 133-148. Doi: <https://doi.org/10.3366/anh.2023.0833>
- Hinojosa, J. (1990). *Textos para la historia de Alicante. Historia medieval*. Alicante, España: Ayuntamiento de Alicante.
- Jaubert de Passá, F. (1844). *Canales de Riego de Cataluña y Reino de Valencia*. Valencia, España: Benito Monfort [Ed. Facs. Min de Agric., Pesca y Alimentación, Madrid, 1992].
- Laborde, A. de (1816). *Itinerario descriptivo de las provincias de España, su situación Geográfica, población, historia civil y natural, agricultura, comercio, industria, hombres célebres y carácter y costumbres de sus habitantes, traducción libre del que publicó en francés*. Traducción y edición de Mariano Cabrerizo. Valencia, España: Impr. de Ildefonso Mompíe. <https://bvpb.mcu.es/es/consulta/registro.do?id=449691>
- Lindholm, K.J. & Ekblom, A. (2019). A framework for exploring and managing biocultural heritage. *Anthropocene* 25, 100195. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100195>
- López-Marigorta, E. (2023). How al-Andalus wrapped itself in a silk cocoon: the tiráz between Umayyad economic policy and Mediterranean trade. *Mediterranean Historical Review*, 38(1), 1-23. Doi: <https://doi.org/10.1080/09518967.2023.2181525>
- Marco, J.A. (2010). *El esparto y los atochares: una aproximación a su significado, aprovechamiento e impronta en el paisaje*. San Vicent del Raspeig, España: Ajuntament-Cercle d'Estudis Sequet però Sanet.
- Martín, E. (2021). El aprovechamiento de los recursos naturales: la grana en Andalucía occidental durante el siglo XV. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie III*, 34, 501-522.
- Martín-Bernal, E.; Hernández, R.; Ibarra, N.; Pérez, V. & Cañada, J.F. (2002). *Cochinilla de las encinas. Kermes vermilio Planc. Hemiptera. Fam. Kermesidae*. Recuperado de/Retrieved from [https://bibliotecavirtual.aragon.es/es/catalogo\\_imagenes/grupo.do?path=3714809](https://bibliotecavirtual.aragon.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=3714809)
- Martínez-García, M. J. (2022). *Los tintes y la popularización del lujo en el Egipto romano: Dyes and Luxury popularization at Roman Egypt*. Sevilla, España: Aula Magna - McGraw Hill.
- Martínez Paterna, F. (1632). *Historia de la Ciudad de Orihuela y de sus pueblos oritanos; tratase de su obispado, gobernación y baylía general; de los montes, de los ríos y fuentes e islas, de los promontorios, senos y puertos que tiene esta provincia*. Orihuela, España. [Trascrito en Vilar, J.B. (1982). *Orihuela, una ciudad valenciana en la España Moderna* (pp. 857-876). Murcia, España: Patronato "Ángel García Rogel".
- Mayo, P. (1691). *Remallet de tinturas, y breu modo de donar -las, a totas robas de llana, teles y fil, ab lo modo de beneficiar algús ingredients necessaris per los Arts, de la tintura, y perayria*. Barcelona, España: Joseph Moyá.
- Melón, J.A. & Sandalio, A. (1826). "Observaciones dirigidas á la real Junta de Fomento de la riqueza del reino por los profesores de ciencias naturales D. Juan Antonio Melón, y D. Antonio Sandalio de Arias, acerca del insecto llamado Kermes" en *Mercurio de España, octubre de 1826*, 236-239.
- Miguelez, C. (1805). *Arte de curtir, ó instrucción general de curtidos*. Madrid, España: Imprenta Real. (Edición Facsímil de la editorial Maxtor).
- Molas, P. (1994). La política del tinte en la España del siglo XVIII. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie IV, Historia Moderna*, 7, 55-68.
- Monaghan, M. D. (2001). *Coats of many colours: Dyeing and dyeworks in classical and hellenistic greece* (Tesis doctoral). University of Leicester: Ann Arbor. Recuperado de/Retrieved from <https://www.proquest.com/dissertations-theses/coats-many-colours-dyeing-dyeworks-classical/docview/301589626/se-2>
- Mulas, C. (2019). *Storia naturale, esplorazione floristica e botanica coloniale nel Regno di Sardegna tra 1750 e 1820. Ricerca, sperimentazione e commercializzazione di vegetali tessili e tintori* (Tesis doctoral). Università degli Studi di Cagliari: Cagliari. Recuperado de/Retrieved from <https://iris.unica.it/handle/11584/261260>
- Münzer, J. (1494-1495). *Viaje por España y Portugal (1494-1495)*. Madrid, España: Ediciones Polifemo (2002).
- Navarro, G. (2022). Textiles in the Crown of Aragon: Production, Commerce, Consumption. En G. Owen-Crocker, M. Barrigón, N. Ben-Yehuda, & J. Sequeira (Eds.), *Textiles of Medieval Iberia: Cloth and Clothing in a Multi-*

- Cultural Context (Medieval and Renaissance Clothing and Textiles)* (pp. 93-122). Martlesham, U.K.: Boydell & Brewer. doi:10.1017/9781800106529.005
- Navarro-Belmonte, C. (2012). *Diccionari onomàstic de la Vall de Novelda: els noms de lloc i de persona dels termes municipals de Novelda i de la Romana (segles XV-XX)* (Tesis Doctoral). Universidad de Alicante: Alicante. Recuperado de /Retrieved from <http://hdl.handle.net/10045/28535>
  - Née, L. (1803). "Descripción de varias especies nuevas de Encina (Quercus de Linneo)". *Anales de Ciencias naturales*, 3 (9), 260-278.
  - Ortega, J. I. (2013). Los caballeros de la sierra y la vigilancia de montes en la baja Edad Media castellana. *Miscelánea medieval murciana*, 37, 155-164.
  - Papavero, N. & Claps, L. (2014). *Alguns dados históricos sobre as cochonilhas do carmim (Hemiptera, Homoptera, Dactylopiidae): notas sobre etimologia, seu cultivo no Brasil no século XVIII e na primeira metade do século XIX*. Sao Paulo, Brasil: Universidad de Sao Paulo. Doi: <https://doi.org/10.11606/9788575062340>
  - Pereda, M. J. (1988). Conservación y repoblación de arbolado en Almansa a mediados del siglo XVI. En *I Congreso de Historia de Castilla-La Mancha* (pp. 89-96). Albacete, España: Servicio de Publicaciones Junta de Castilla la Mancha.
  - Pereda, M. J. (2013). *Almansa desde los Reyes Católicos hasta la Transición*. Almansa, España: Ayuntamiento de Almansa.
  - Planchon, G. (1864). *Le kermès du chêne aux points de vue zoologique, commercial et pharmaceutique*. Paris, Francia: Bohem et film.
  - Rivas-Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Madrid, España: ICONA.
  - Rodríguez, L. (2012). La producción textil en al-Andalus: origen y desarrollo. *Anales de Historia del Arte*, 22, 265-279.
  - Roquero, A. (1998). Materias tintóreas en la época de Felipe II. En I. González Tascón (Coord.), *Felipe II. Los ingenios y las máquinas. Ingeniería y obras pública en la época de Felipe II* (pp. 262-275). Madrid, España: Ministerio de Cultura.
  - Sánchez, J. (1987). La grana un producto de la economía del marquesado de Villena. En *Congreso de Historia del Señorío de Villena. Albacete 23-26 octubre 1986* (pp. 361-370). Albacete, España: Instituto de Estudios Albaceten-ses.
  - Stockland, P. É. (2020). Insectes, teinture et industrie de l'Ancien régime au Premier Empire. *Annales historiques de la Révolution française*, 399, 153-178. Recuperado de /Retrieved from <https://www.cairn.info/revue-Annales-historiques-de-la-revolution-francaise-2020-1-page-153.htm>
  - Suárez, M. G. (1778). *Memorias instructivas y curiosas: sobre agricultura, comercio, industria, economía, química, botánica, historia natural &c, sacadas de las obras que hasta hoy han publicado varios autores extrangeros, y señaladamente las reales academias y sociedades de Francis, Inglaterra, Alemania, Prusia y Suecia* (Tomo 2). Madrid, España: Pedro Marín.
  - Torró, J. (2009). Field and canal-building after the Conquest: modifications to the cultivated ecosystem in the kingdom of Valencia, ca. 1250-ca. 1350. En *Worlds of history and economics: Essays in Honour of Andrew M. Watson* (pp. 77-108). València: España: Universitat de València.
  - Valverde, J.A. (2009). *Anotaciones al Libro de la montería del rey Alfonso XI*. Edición a cargo de José Antonio de la Fuente Freyre. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.

## Agradecimientos

A Juan Antonio Marco Molina, Francesc X. Llorca-Ibi, Segundo Ríos y Carles Sanchis Ibor, por las citas, comentarios y apreciaciones. A María Luisa Alemany Agulló por proporcionarnos una lujosa reproducción facsímil de la *Memoria* de J.P. Canals y Martí.

## Financiación

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i Paleopinsapo II (PID2022-141592NB-I00) financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Public perception and participation towards biogas plants in wastewater treatment facilities: Study cases in southern Spain

Percepción y participación pública en las plantas de biogás de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales: Casos de estudio del sur de España

JAVIER LIÑÁN CHACÓN<sup>1</sup>  0000-0001-6403-3571

MARINA FROLOVA<sup>1</sup>  0000-0002-4614-5809

<sup>1</sup> Departamento de Análisis Geográfico Regional e Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Granada,

## Abstract

Biogas stands as one of the most adaptable renewable energy resources, distinguished by its storage capabilities. Its distinctive attributes position it as an exemplary energy source, leveraging waste to generate power. However, beneath this supposedly smart practice of producing electricity, is there real justice for the local community in the biogas planned and sitted? This research delves into the themes of citizen engagement and local perceptions concerning biogas plants development. With this aim a survey was held among residents near two biogas facilities located within wastewater treatment plants in Andalusia. The findings reveal a significant gap in knowledge on biogas development, and a disconnection between the biogas plants and the local community. These insights lead to the conclusion that it is necessary to align the renewable energy facilities' planning with the needs and expectations of the local community, thereby fostering a more inclusive and informed approach to its deployment.

Keywords: planning process; survey; renewable energies; energy transition.

### Fechas • Dates

Recibido: 2024.01.19  
Aceptado: 2024.02.08  
Publicado: 2024.10.16

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Javier Liñán Chacón  
jlinan@ugr.es

## Resumen

El biogás se presenta como uno de los recursos de energía renovable más adaptables, distinguido por capacidad de almacenamiento. Sus atributos distintivos lo posicionan como una fuente de energía ejemplar, aprovechando residuos para generar energía. ¿Sin embargo, bajo las apariencias de práctica inteligente, existe una justicia real para la comunidad local en la planificación y emplazamiento de las plantas de biogás? Esta investigación profundiza en los temas de participación ciudadana y percepciones locales respecto al desarrollo de plantas de biogás. Mediante una encuesta realizada entre los residentes cercanos a dos plantas de biogás ubicadas dentro de plantas de tratamiento de aguas residuales en Andalucía. Los resultados revelan una brecha significativa en el conocimiento sobre el desarrollo de biogás y una desconexión entre las plantas de biogás y la comunidad local. Estas percepciones conducen a la conclusión de que es imperativo alinear el desarrollo de instalaciones de energía renovable con las necesidades y expectativas de la comunidad local, fomentando así un enfoque más inclusivo e informado en su implementación.

---

Palabras clave: planificación; encuesta; energías renovables; transición energética.

---

## 1. Introduction

In order to respond to the challenge of climate change, there is an urgent need to reduce greenhouse gas emissions (Waite, 2017). United Nations Sustainable Development Goal 7 (SDG7) recommends a substantial increase in the proportion of renewable energies (RE), to be able to guarantee access to affordable, reliable and sustainable energy. European Union (EU) climate policies have also set targets for the proportion of energy that should be produced from renewable sources, and member states are required to meet them (Carvalho, 2012; Lucas et al., 2016). Of the various greenhouse gases (GHG), methane is responsible for 25% of global warming. The main sources of anthropic gas emissions are mining, agriculture and waste dumps (landfills). During the 26th United Nations Climate Change Conference held in Glasgow in 2021 (COP26), it was agreed to reduce methane emissions by 30% by the year 2030 in comparison with 2020 levels. Some 103 countries signed this agreement with the exception of some very high emitters such as China, Russia and India. This agreement established the main lines for the policy encouraging the use of biogas as a means of mitigating greenhouse gas emissions (Flotats et al., 2009).

In order to comply with emission reduction targets and with the international commitments assumed under the Paris Agreement, the Spanish government has drafted and approved the Integrated National Plan for Energy and Climate 2021-2030 (PNIEC) setting out the targets for renewable energy development up to 2030. Within Spanish energy planning, biogas is regarded as an important complement to decarbonizing industrial and transport processes in substitution of natural gas, although it treats biogas as a secondary energy source in comparison with other renewable energies. In Royal Decree-Law 6/2022, of the 29th March 2022 passed in a bid to alleviate the high electricity prices caused by the war in Ukraine, the environmental and democratic controls on the construction of renewable installations were weakened, a measure that affected both power plants and auxiliary renewable infrastructures. Within this law, biogas was classified as a renewable gas, and one of its main objectives was to facilitate the transport of renewable gases from their production centres to the places where they are consumed. It also sought to enable the development of isolated networks connecting consumers with producers. Under the new law, gas transport networks were classified as “infrastructures of public utility”, a new status that enables the expropriation of the land required for their construction.

Despite the advantages, bioenergy, in general, also has a number of inherent drawbacks (low-energy density, scattered distribution, direct and indirect land-use change, etc.) (García-Frapolli *et al.*, 2010). Bioenergies induce both direct and indirect land-use changes when farmers decide to change the way they farm their land, switching from food crops to the more intensive forms of agriculture required for biofuel production (Palmer, 2014). In this way, bioenergy transforms pre-existing agricultural landscapes and their related social practices (Gunderson *et al.*, 2016, Frolova *et al.*, 2019b). Energy crops tend to raise public concerns particularly in rural areas where people are worried that they will take the place of traditional food crops (Chodkowska-Miszczyk *et al.*, 2019; Zemo *et al.*, 2019; Martínát *et al.*, 2013). In the specific case of biogas produced from waste, the landscape and land-use impacts are much smaller, because it does not require energy crops planting and the biogas refineries are located in existing agricultural or industrial installations (farms, wastewater treatment plants, solid waste treatment plants or other industrial complexes). This means that the plant itself has a much smaller impact (Ferrario *et al.* 2017). As industries and local councils have a mandatory obligation to treat their waste streams, the digestion, generation, and utilization of biogas obtained from such streams can reduce both the amount of waste and its environmental impact, while producing clean energy (Capodaglio *et al.*, 2016). It can also reduce atmospheric GHG emissions.

Substantial government grants have been made available for the promotion and development of biogas plants in Spain, although according to the industry body (the Spanish Biogas Association, AEBIG), the premiums for biogas energy production have been around 35% lower than the average for other European countries and fewer facilities of this kind have been developed in Spain than in the rest of Europe (Hernández *et al.*, 2016). In 2001, the European Union approved Directive 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources, which in relation to biogas obliged member states to establish a certification system for the gases from renewable sources. In Spain, this legislation is still at the information-gathering stage (April 2023) and its objectives are relatively unambitious in that they do not set a target date for a system to come into force guaranteeing the renewable origin of the gas. Instead, the proposed legislation only mentions some of the milestones that must be reached in relation to the compliance of sustainability criteria and for the reduction of greenhouse gas emissions applicable to bioliquids, biogas and biomass solid fuels.

Spain's National Energy and Climate Plan (PNIEC) classifies biogas within the management of organic waste. This means that biogas also meets the criterion of providing environmental benefits in terms of its use/recycling of waste products. Several studies show that biogas projects involving the construction of new facilities are not always well received by certain residents, although this situation varies within Europe, and even within each country (Capodaglio *et al.*, 2016; Chodkowska-Miszczyk *et al.*, 2021; Martínát *et al.*, 2022). There is an increasing number of studies that analyze the reasons for opposition to these projects (Chodkowska-Miszczyk *et al.*, 2019; Upreti & van den Horst, 2004), in particular once they are up and running (Stober *et al.*, 2021; Kulla *et al.*, 2022). In order to increase public acceptance of biogas facilities, the most critical issues at stake should be investigated, identified, and addressed at a local level (Capodaglio *et al.*, 2016). This can best be achieved by canvassing people's opinions in surveys and by involving a wide range of different stakeholders in the development of biogas projects (Magnani, 2012).

This study seeks to analyse the perception and participation of the local community during the planning phase of biogas plants considered as models of sustainability. The article is divided into five parts. Firstly, a conceptual background on consideration of justice in public participation in

the planning of renewable energy is established. Secondly, the research methodology, study area and case studies are presented. Thirdly, the results are explained, in particular the characteristics of resident's perception of biogas plants and public participation in the process of its planning. Finally, our results are compared them with previous research findings and recommendations for improvement of participation processes for biogas plants are presented.

## 2. Conceptual background

Significant research has been conducted into the public acceptance of renewable energy projects, focusing in particular on the concept of "NIMBY" (Not In My Back Yard). NIMBY opposition to RE developments due to their spatial proximity to peoples' homes or towns is widely viewed either as a rational choice or as an example of individual selfishness, ignorance and irrationality. The latter is often attributed to a lack of public understanding of the relevant science, which results in people only supporting such projects if they are built "somewhere else" (Owens & Drifill, 2008, Batel & Devine-Wright, 2015). However, empirical evidence suggests that NIMBY assumptions are often inaccurate (Van der Host, 2007). For that reason, this paper approach is nearer to the focus on Locally Unwanted Land Uses (LULUs), because wastewater treatment plants can be seen by residents as an unwanted facility (Frantál *et al.*, 2023). One of the alternative theoretical concepts that seems to explain and understand the discrepancy between generally positive attitudes towards renewable energy projects and the opposition to certain siting decisions is justice theory, and within that distributive and procedural justice theory. According to this theory, both the perceived costs and benefits of the facilities, and the relevant characteristics of the planning process must be taken into consideration.

When dealing with local acceptance of renewable energy projects, distributive justice centres on the costs and benefits as local residents perceive them. The benefits include not only monetary benefits, but also for example job creation, tourism, community improvement, and reduced energy costs. It also assesses the costs. In addition to purely economic costs, such as reduced property prices and a decrease in the number of tourists, there are other non-monetary costs such as unpleasant smells, adverse landscape impact, or changes/constraints on the quality of life (including increased local traffic) (Capodaglio *et al.*, 2016). The idea is that all the consequences of the energy system (costs and benefits) must in some way be fairly distributed throughout the whole of society. This includes ensuring that the poorest groups in society have access not only to the energy system, but also to the energy policy decision-making process (Jenkins *et al.*, 2016; Sovacool *et al.*, 2017). Energy justice is distinguished by three main principles: distribution, process and transition (Bielig *et al.*, 2022). The basis of this research is the procedural energy justice that springs from the principle of equality and representativeness within decision-making processes, so as to enable non-discriminatory, inclusive access to participation (Bielig *et al.*, 2022). Procedural justice theory focuses on how these structural aspects of procedure can influence the perception of justice and the behaviour of the authorities towards citizens (Bielig *et al.*, 2022; Capodaglio *et al.*, 2016). Broadly speaking, procedural justice covers transparency and fairness in decision-making processes within the context of participative approaches, while distributive justice deals with fairness in the distribution of costs and benefits between the different actors, such as for example in the siting of infrastructures (Bielig *et al.*, 2022; Goedkoop & Devine-Wright 2016; McCauley *et al.*, 2013). It is hoped that procedural energy justice will strengthen participation and democracy and develop the resilience of local people in the fight against climate change (Van Bommel & Hoffken, 2021).

From this perspective, the way in which the public participation process is carried out is of key importance for the acceptance of biogas plants. In the case of renewable energy, citizen participation consists of involving the general public and local stakeholders in taking decisions that affect them, their community or territory (Reed et al., 2017). Research has shown that public preferences regarding the siting of biogas plants have changed from negative to positive as a result of the holding of public participation processes that residents of the affected areas consider to be fair (Kulla et al., 2022). According to Raven et al. (2009), the sustainable application and the acceptability of renewable energy projects may only be achieved when all the interested parties participate in all the different phases of the project (design, construction, operation and decommissioning). According to different research studies, the key factors affecting attitudes towards biogas plants are the general perception, and in particular the negative views about biogas plants expressed by people in rural areas (Chodkowska-Miszczuk et al., 2019) regarding the real or perceived reduction in the quality of the environment around biogas plants (including the release of bad smells and an increase in traffic) and the damage they may cause in terms of the attractiveness of the area for tourism (Chodkowska-Miszczuk et al., 2020).

There are also various farming-related issues, such as the ethically controversial processing in biogas plants of energy crops cultivated on good-quality arable land, changes in the regional agricultural systems and displacement of food production when biogas plants come into service (Martinát et al., 2017). Another key factor is the impact on the communities situated near the plants and their limited knowledge of the envisaged impacts (Acikgoz, 2011). This hypothesis that proximity to the plant is an important factor in public perceptions has also been tested, with the variable being the distance between the respondent's place of residence and the AD plant. Lastly, it should highlight the factors related with a lack of transparency and clarity when it comes to sharing information about biogas plant projects and the lack of local participation in the planning phase (Martinát et al., 2022; Chodkowska-Miszczuk et al., 2019; Dobers, 2019; Soland et al., 2013).

### 3. Methodology

#### 3.1. Cases studies

For this research, two model cases for the development of a biogas plant in Spain were selected. Biogas plants are normally associated with another business activity which supplies them with the raw material. Two model cases are selected with similar characteristics. The selection criteria were: i) the biogas plant is situated in a larger complex of "biofactories"; ii) there are no conflicts associated with these biofactories; and iii) they were developed as a result of the implementation of a sustainable wastewater treatment plan. The raw material is waste from urban wastewater treatment plants. The biogas plants are part of the process of enhancing the value of this waste. Both plants have won awards for their sustainability strategies and form part of larger complexes known as "biofactories", where the wastewater treatment work is complemented with research and dissemination activities. That research mostly focused on increasing the efficiency of biogas production, while the dissemination activities (e.g. school visits) centred on the water cycle. Biogas in both cases has been promoted as an important means of saving energy at the plant. These plants are the result of private initiative.

They were constructed and operated together with others of a similar kind in Spain by a private company called Hidralia, which is part of the Suez International Group, one of whose specialist business areas is water cycle management. Both plants are managed by public/private companies in which the private manager is Hidralia and its public partners are the various local councils. The companies are known by their initials, i.e. EMASESA in Seville and EMASAGRA in Granada. The biogas plants form part of the sustainability strategies of the two companies in that they were built to enable each complex to become self-sufficient in energy. In the Seville case study, construction of the plant was financed with public funds.

Figure 1: Cases studies location map.



Source: The authors

The power plant in Granada has an installed power of 0.6 MW with an annual production of 4 GWh. It has been in operation since 2015. It is part of a wastewater treatment plant that serves a population of around 425,000 people. It is situated in an agricultural area of great landscape, historic and cultural value known as the Vega of Granada. The land in this area is highly productive due to the fertility of its soil and its ancient irrigation system, which originated in the 11th century (Castillo *et al.*, 2014). According to technical staff from the plant interviewed in 2020, 13,982 tons of sludge, 336 tons of sand and 23 tons of fat were “recycled” by the plant. The biogas plant has four outputs: sands, solid agricultural fertilizer, heat and electricity. The electricity and heat are used to supply the plant’s energy needs, covering 116 % of energy demand with peaks of 140 %. The surplus energy has enabled them to extend the sustainability plan towards the objective of powering a fleet of electric vehicles. The local population near the plant live in medium-sized municipalities (Churriana de la Vega, Cúllar-Vega, Vegas del Genil, Las Gabias and Armilla) with compact town centres (10,000-15,000 inhabitants each), which serve as dormitory towns for workers from the large central city (Granada). Most of the people who live in this area are middle-class. The biogas plant in Seville has an installed power of 2.52 MW and has been in operation since 2003. It supplies 95 % of the plant’s energy requirements. It is located within a wastewater treatment plant that serves a population of 950,000 people. It is situated to the south of the city of Seville near a district known as Fuente del Rey, which belongs to the municipality of Dos Hermanas. This area has a mix of industrial uses, large infrastructures and a military base (El Copero). One of the most interesting characteristics of this biogas plant is the variety of raw

materials that it accepts: apart from the sludge produced by the treatment process, it also handles garden waste and other organic residues. These include, for example, 35 tons of oranges from the 48,000 decorative orange trees in the city, which were previously thrown away (EMASESA, 2021). Most of the people that live in the vicinity of the plant are blue collar workers in nearby districts of the cities of Seville and Dos Hermanas.

### 3.2. Survey: elaboration and application

The questionnaire contained 12 questions which could be subdivided into three blocks (Public perception, attitudes, and participation in the planning process). The interviewees were also asked a series of questions about their gender, age, level of education and current employment status so as to enable us to construct a sociodemographic profile of each person. They were also asked to provide their current address, so permitting us to calculate the distance between their home and the plant. In order to complement the information collected in the review and fill in certain gaps in the questionnaire, we contacted the companies that developed and operate the plants and arranged interviews with the managers.

In the first block of survey, the interviewees were asked about their general attitude to biogas plant and this type of energy. In the second block of survey, we asked for their opinions about the advantages and disadvantages of the biogas plant for the community. For each statement, they were proposed to choose one of five answers on a Likert scale (strongly disagree, disagree, neither agree nor disagree, agree or strongly agree). The advantages of biogas plant can be grouped together in eight categories: (i) it produces clean, renewable energy; (ii) it contributes to environmental protection and helps combat climate change; (iii) it uses materials which otherwise would not be used in any way; (iv) it creates jobs and additional income; (v) it brings economic benefits for the town; (vi) it is a tourist attraction; (vii) it is an attraction that could be used to promote the municipality; and (viii) general development. In a similar way, seven main disadvantages or negative impacts of the biogas plant were identified: i) it would not function without economic incentives; ii) it affects the local environment; (iii) it worsens the quality of life in the municipality (smell, dirt, etc.); iv) it does not bring any economic benefit for the local community; v) it discourages tourists from visiting our town; vi) it causes conflict and divisions within the local community; (vii) the value of real estate in the town has fallen. In the third block, the interviewees were asked on the process of social participation in the planning process.

The study area comprised the territory in a 0-5 km radius around a biogas plant situated within a wastewater treatment complex. This radius was considered suitable for the study area because it includes the main population centres around the AD plants. One of the biogas plants is situated near Seville (population 700,000) and the other is near Granada (population 114,000). The survey was conducted using a standardized questionnaire amongst the inhabitants of the towns and villages situated nearest to the biogas plants. Only adults over 18 years old were allowed to take part. The estimated time for completing the questionnaire was 20 minutes. The interviewees received information about the objectives of this paper. Questionnaires were sent to neighbourhood associations via the social network Facebook. The most active groups focused on sharing neighbourhood-news and representative of local society were selected, thus avoiding sectoral or political groups. The data were collected in an Excel file which was securely stored. The anonymity of the individual answers was guaranteed. The survey was conducted from November 2020 to February 2021. The sampling error of the survey is 9.46% (below the recommended maximum of 10% ) (Gareiou *et al.*, 2021) with a confidence interval of 95%.

### 3.3. Data analysis

For data analysis we first found correlations between different answer options, these correlations were analysed using the bivariate correlation tool in the IBM SPSS Statistics software program. It is important to emphasize that assessing possible dependencies between the variables using the Pearson proof correlation coefficient does not indicate the degree of dependence or independence. Furthermore, in conjunction with the Chi-square significance test and Cramer's test were applied to test the effect size of the relationships between the two variables. The correlations involving individual variables and subgroups within the population, such as gender, socioeconomic status, proximity to the plant and age, among other factors were of particular interest. The final stage of the research was to try to find correlations between the answers to the questionnaire and the socioeconomic data provided by the interviewees in order to find out whether there were certain groups in the community that were particularly opposed to/in favour of the biogas plant and compare these findings with the results of similar studies.

## 4. Results

### 4.1. Sample characteristics

The survey was aimed at local people who live in the vicinity of one of the two biogas plants (Seville or Granada). The nearest urban area to either plant was Fuente del Rey situated at less than 700 m away from the Seville AD plant and the most distant was Granada city, which is 4 km away from the Granada AD plant. 185 responses were received to the questionnaire. Of these, 160 had been living in the area for more than 10 years. 95 responses were received for the Granada case study and 90 for the Seville study. None of those interviewed worked at the biogas plant. The interviewees had an average age of 39 in Granada and 40 in Seville. The average age in Spain as a whole in 2021 was 43.8 years old (National Statistics Institute - INE, 2022).

Figure 2. Characteristics of the interviewed population

Data	Granada	Seville	Total	%
Nº	95	90	185	100
Female	36	56	92	49.7
Male	58	34	92	49.7
Other	3	0	3	1.6
<b>Employment status</b>				
Self-employed	15	7	22	11.89
Employee	66	49	115	62.1
Retired	4	9	13	7.02
Student	7	14	21	11.4
Unemployed	0	9	9	4.8
<b>Distance from plant (km)</b>				
Near: Less than 2	14	41	55	29.7
Medium: 2 to 3	77	56	133	71.9
Far: 3 to 5	1	0	1	0.5
<b>Age (years)</b>				
Young 18-25	13	15	28	15.13
Adult 26-65	80	75	155	83.7
Mature Over 65	2	0	2	1.08

Data	Granada	Seville	Total	%
Level of education				
Primary	0	11	11	5.9
Secondary	28	32	60	32.4
Further	66	34	111	60
Resident in the area (years)				
Less than 5	15	0	15	8.1
From 5 to 10	10	0	10	5.4
Over 10	70	90	160	86.5

Source: The authors

A maximum distance of 5 km was established between the residence of the interviewed person and the biogas plant. Within that, 29.7 % of the interviewed population lived at least three kilometres from the plant (Figure 2). It is also important to note that the plants are located in areas where residential building is not permitted, either because it is protected agricultural land (Granada case study) or because it is a military-industrial area (Seville case study). The socioeconomic data show that 62 % of those interviewed were employed people, followed by self-employed (11.9 %) and students (11.4 %). The group of interviewees had a high percentage of university graduates, particularly in Granada where 60 % met this criterion while in Seville was 40 %.

#### 4.2. Public attitude to the biogas plants

In general, the participants showed a positive attitude to these biogas plants with high acceptability ratings. The Granada biogas plant received a higher rating than the one in Seville. To assess the acceptability of the biogas plant, the interviewees were asked if, hypothetically, they could turn back the clock to a time before the construction of the plant, whether they would give the plant the go-ahead or reject it. The interviewees' answers showed that they would once again allow the plant to be constructed. A positive correlation was observed between the people who live furthest away from the plant and the highest levels of acceptance, with a value of 0.268<sup>1</sup>. At the other extreme, there was also a correlation between rejection of the construction and people who live near the plant (0.456<sup>1</sup>), people with primary education (0.2601<sup>1</sup>) and unemployed people (0.260<sup>\*\*</sup>). The people with further education had a neutral attitude, in other words, they were neither for nor against these plants. Some interviewees preferred not to offer any opinion on this question, namely students (0.246<sup>1</sup>) and young people (0.232<sup>1</sup>).

Lastly, they were asked about their preferences regarding future developments of biogas plants for which they were given three possible answers. 65.76% said that they would accept the construction of other biogas plants. There is a correlation between this answer and the proximity of the interviewee's residence to the plant (0.216<sup>1</sup>). A further 28.26% had no problem with other biogas plants being built, but not in their community. A slight correlation was observed between this answer and the proximity of the interviewee's residence to the plant (0.216<sup>1</sup>). Only 6.52% of the participants answered that no more biogas plants should be built anywhere. There is a slight correlation of 0.2122<sup>1</sup> between this option and unemployed people. As regards acceptability, the results highlight that distance, and in particular proximity to the biogas plant, is an important factor, as manifested by the fact that the most unfavourable opinions about the plant and the

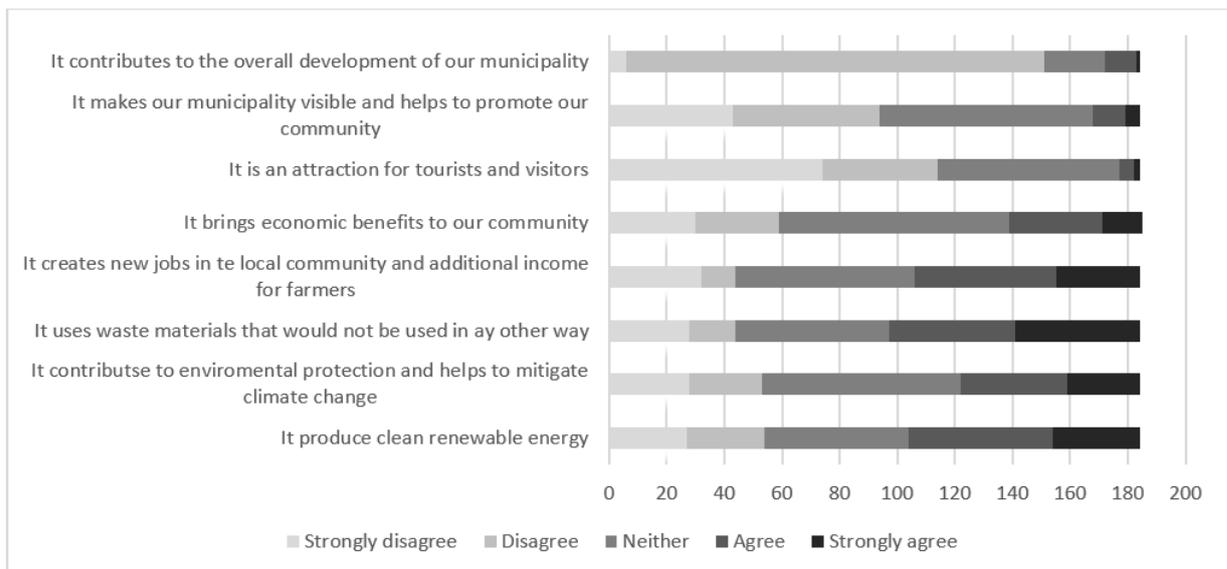
1. A significant correlation at 0.001

construction or development of new plants came from the people that live less than 2 km away from the plant.

### 4.3. Public perception

In the answers to the second block of questions, various interesting trends can be observed in the biogas advantages' perception (Figure 3). When asked if biogas plant "uses materials which would otherwise not be used in any way", 47.02% of the interviewees said they agreed, and there was a correlation between the answer "neither", retired people (0.246\*\*) and those living furthest away (0.215\*\*). There was also a high level of agreement with the statement that "It produces clean, renewable energy", for which a correlation was observed between residents who lived less than 2 Km away from the biogas plant (0,249\*\*) and the answer "agree". When asked about whether "It protects the environment and helps mitigate climate change", 37.29 % replied "neither agree nor disagree", and there was a correlation between unemployed people (0.404\*\*) and "strongly disagree".

Figure 3: Opinions about possible positive impacts of the biogas plant



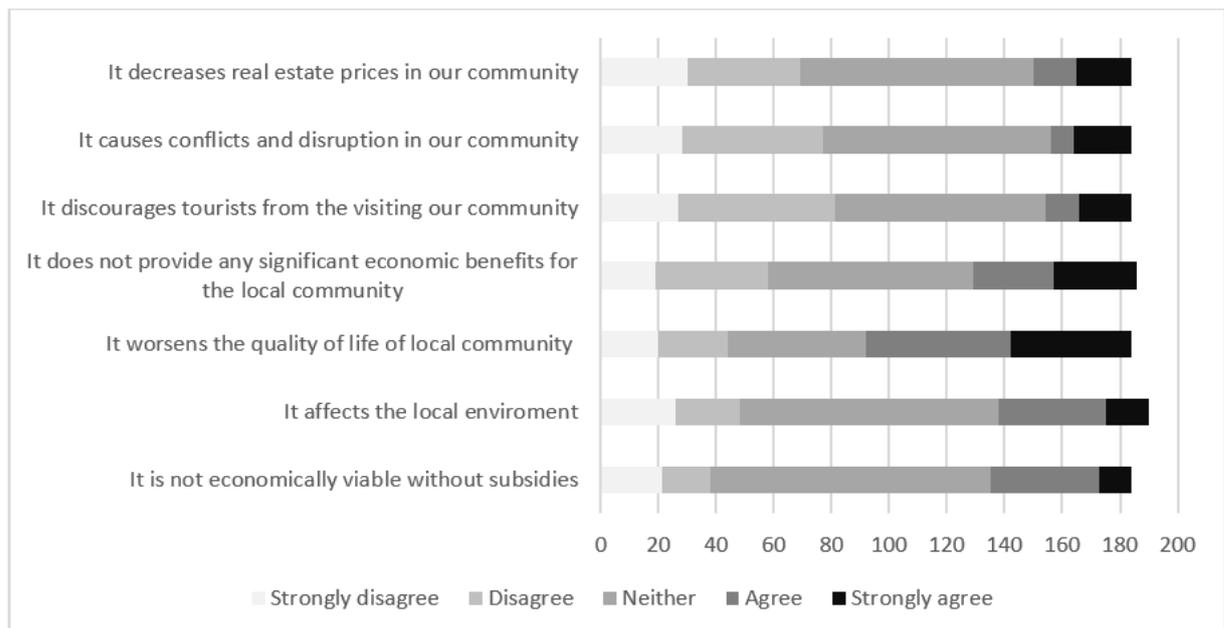
Source: The authors

For the next statement, "It brings economic benefits to community", 43.24% of the interviewees answered "neither". Correlations were observed between "strongly disagree" and older people (0.258\*\*) and residents with primary education (0.261\*\*). The answer "disagree" was associated with those living near the plant (0.266\*\*). For its part, the assertion that the plant makes a "contribution to the general development of our municipality" was rejected by the vast majority of interviewees (78.38%). Correlations were found between "strongly disagree" and people who had been living in the area for less than 5 years (0.251\*\*) and between "disagree" and the people living a medium distance (2-3 km) away from the plant (0.238\*\*). 50.8% disagreed with "It makes our municipality visible and helps to promote our community" and correlations were observed between the "disagree" answer and people living near the plant (0.266\*\*) and people with secondary education (0.356\*\*). For its part, 61.62% of the interviewees disagreed with "It is an attraction for tourists and visitors", for which correlations were observed between the "disagree" answer and

people who had been living in the municipality for the longest period (0.250\*\*), adults (0.302\*\*), and self-employed people (0.212\*\*). Conversely, the “agree” response was correlated with residents living close to the plant (0.224\*\*). “It creates new jobs in the local community and additional income for farmers” garnered support from 42.15% of the respondents. Correlations were observed with the unemployed (0.212\*\*) and with those who had been living in the municipality for a short time (0.223\*\*). For its part, the “neither” response was correlated with the group with secondary education (0.259\*\*) and with retirees (0.207\*\*).

Respondents were asked about their opinions of seven possible negative impacts of the AD plant (Figure 4). They were clearly unsure or indifferent about if “it is not economically viable without subsidies” as 52.43% chose the “neither” option, for which there was a slight correlation with women (0.250\*\*). A correlation was also observed between agreement with this statement and the group with further education (0.249\*\*), employed people (0.229\*\*) and those living nearby (0.261\*\*). The negative impact about which most people agreed was “It worsens the quality of life of the local community (smell, dirt, increased traffic)” with 49.72%. Two groups showed correlations with the “agree” answer, those with further education (0.296\*\*) and those living furthest away (0.225\*\*). In the “strongly agree” answer, correlations were observed with secondary education (0.285\*\*) and residents living nearby (0.497\*\*). This is followed by ‘indifference,’ accounting for 25.95% of the interviewees, with correlations with young people (0.328\*\*), students (0.215\*\*), and the people living further away (0.324\*\*). 23.78% of the interviewees disagreed with this statement.

Figure 4: Opinions about possible negative impacts of the biogas plants.



Source: The authors.

As for the statement that “It affects the local environment”, the most common answer was “neither” at 48.65%, with correlations with women (0.348\*\*), primary education (0.258\*\*), retirees (0.197\*\*), people living 2-3 km away (0.289\*\*), and those living in the municipality for more than 5 years (0.281\*\*). “Neither” was also the most frequent answer to the statement that “It does not provide any significant economic benefits for the local community” at 38.38%, with a slight

correlation with those living furthest away (0.210\*\*). This was followed by options indicating disagreement at 31.24%. A correlation of 0.264\*\* was observed between the “disagree” answer and young people. 30.8% selected options indicating agreement with this statement, for which there were correlations with retirees (0.230\*\*) and the people living closest to the plant (0.266\*\*). 43.78% of the interviewees disagreed with the statement relating to the impact on local tourism “It discourages tourists from visiting our municipality”, for which correlations were observed with older people (0.238\*\*) and those with further education (0.254\*\*). 39.46% had no opinion either way (“neither”), for which correlations were observed with young people (0.258\*\*) and students (0.268\*\*). 16.21% agree with the statement, correlating with the student group (0.268\*\*) and the younger age group (0.258\*\*).

The statement that ‘It caused conflicts and disruption in our community’ was rejected by 41.62% of the respondents, for which a correlation was observed with the people with further education (0.226\*\*). The “indifferent” answer was chosen by 42.7% of interviewees, with a slight correlation with younger people (0.226\*\*). Finally, 15.13% agreed with the statement, for which a correlation was observed with those living nearby (0.348\*\*). When asked whether “It decreases real estate prices in our community”, 43.78% of respondents answered “neither” and 37.29% disagreed with the statement, with slight correlations with older people (0.258\*\*) and people with secondary education (0.258\*\*). 18.38% of the interviewees agreed with this statement, for which a correlation was noted with the people living nearby (0.292\*\*).

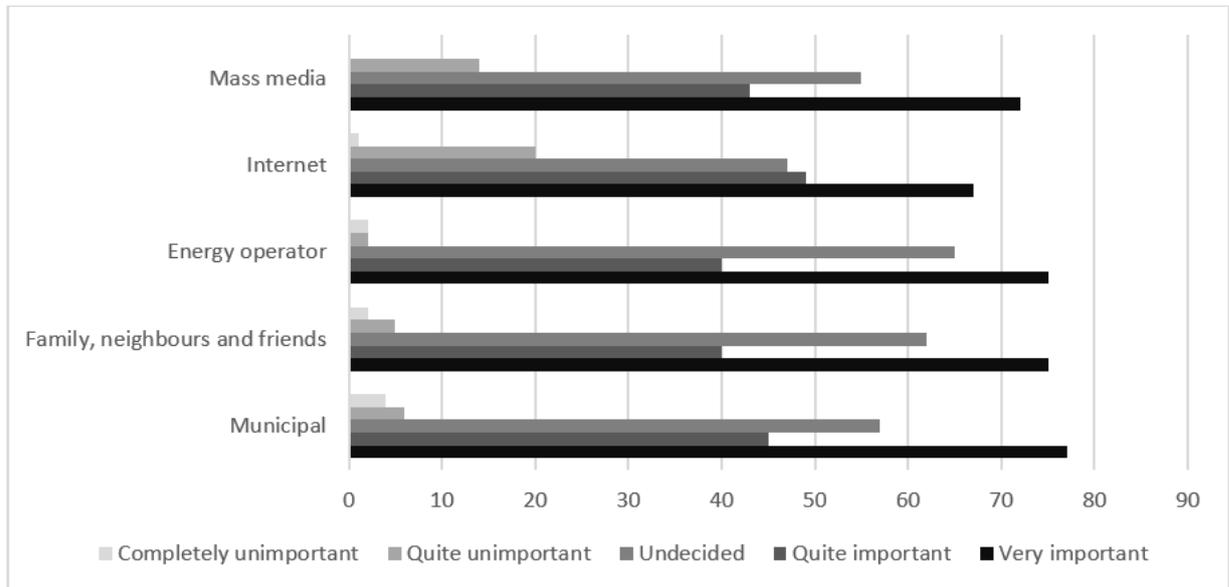
#### 4.4. Public participation

In both cases although the interviewees complained about an almost non-existent participation process, they raised few objections about the plants themselves or about possible future developments. As regards the answers to the question about the quality of the information provided to local people during the planning phase, most of those interviewed believe that the information they received was insufficient and biased. There is a correlation between the retired population (0.3\*\*) and the population who live near the plant (0.263\*\*) and the people who expressed the strongest opinions regarding the insufficiency of the information. By contrast, as regards “the information was sufficient and impartial”, there is a correlation between the answers strongly disagreeing with this statement and the groups of male interviewees (0.212\*\*) and over 65s (0.26\*\*). This level of disagreement is less intense as the level of education rises because the group with further education studies (0.23\*\*) have a greater correlation with more moderate values. There is also a correlation between the people who live at a medium distance (2 to 3 km) from the plant (0.227\*\*) and not being aware of the quality of the information (i.e. those who answered “don’t know”). As for the questions about the available participation tools and those used by the people interviewed, the vast majority, 89 %, did not make use of the opportunity to participate in the process and considered that the possibilities were insufficient. The most common way of participating was by consulting the project documents in the local council offices.

As regards the sources of information about the biogas plant (Figure 5), the interviewees were asked to indicate which sources they had used and how important this source of information had been for them in the process. The available options were local government, family, the developer, Internet and the media. They were asked to assess the importance of these options on a five-point Likert scale: completely unimportant, quite unimportant, undecided, quite important, and very important. Results showed that 64.94% considered the Local Council (announcements, local newspapers, municipality’s websites, Facebook, etc.) as an unimportant information source, for

which a correlation was observed with the people living near the plant (0.292\*\*). Most of the interviewees (62.16%) also considered “Family, neighbours, and friends” as unimportant, for which a correlation was also observed with people living near the plant (0.238\*\*).

Figure 5: Opinions about the sources of information



Source: The authors

The information source “Operator/developer that planned the construction of the AD plant (brochures, lectures, etc.)” was considered important by 62.16% of the population. A correlation was observed between the “important” answer and those who live near the plant (0.262\*\*). The information source ‘Internet (I searched for such information by myself)’ was deemed important by 57.3% and a correlation was observed with women (0.209\*\*) and those living furthest away (0.361\*\*). The interviewees were also asked about the involvement of the developer of the plant in the participation process and about how competently they operated the biogas plant. In both cases over 57,84 % indicated that they did not know the name of the company that developed the project. As regards the question whether the company took the objections of the local population seriously, most of the responses were negative. Strong disagreement was shown by several different groups such as men (0.244\*\*), people who live nearby (0.276\*\*), people who have been living in the area for less than 5 years (0.225\*\*), and people with secondary education (0.281\*\*).

## 5. Discussion

In terms of public opinion, the results show that the Seville plant aroused stronger feelings of rejection than the Granada plant. This rejection was due to two factors, the first of which was proximity, as found in other studies too (Chodkowska-Miszczuk *et al.*, 2020; Shumacher & Schultmann, 2017; Acikgoz, 2011), in that the biogas plant is very close (680 metres) to the nearest urban area, Fuente del Rey, in the province of Seville, where 11.1 % of the interviewees live. In the case of the Granada plant, it is slightly further away (1,560 m) from the nearest urban area (where 19 % of the interviewees live). In the correlations obtained during this research, research shows that the people who live less than 3 km away from the plant have more negative opinions of both

the participative process and the impacts of the plant, so leading to a lower level of acceptance of the project. The second factor behind the greater rejection of the Seville plant is its size. This plant is a very large facility with a power capacity of 2.52 MW, while the Granada plant has a capacity of just 0.6 MW. Our research also shows that the oldest population groups and those with a low level of education (primary education) are the groups most opposed to the construction of biogas plants.

The general acceptance of the biogas plants is high in both Seville and Granada, but the results show that the interviewees were not informed during the design, construction and operation phases. Older people and people with lower levels of education consider themselves most excluded from the participation process. This may be due to the fact that the main source of information about the construction of the plant was through the internet and the media, resources to which older people and people with lower levels of education generally have less access. As other research studies make clear (Navrátil *et al.*, 2021; Chodkowska-Miszczuk *et al.*, 2020; Chodkowska-Miszczuk *et al.*, 2021; Martín *et al.*, 2022), access to information during the design phase of the biogas plant is often limited, and the internet and the media are the preferred channels by which people receive information about biogas plants. In case studies, a similar situation applied, suggesting that digital media have an important role to play as a source of information about biogas plant projects.

Although the cases explored in this paper were mentioned in the local and regional press as positive examples of renewable energy production and sustainability that did not give rise to conflict (Diario de Sevilla, 2023), the results of research show that a suitable social participation process was not carried out. It did not comply with the principles of equality or representativeness of the local community and therefore cannot be viewed as a process with procedural justice. Another result was the absence of any bidirectional relationship between the developer and the local community, confirming the findings of previous studies (Frantál *et al.*, 2023; Kulla *et al.*, 2021). In Spain, there is a long-standing persistent tendency towards a top-down, technocratic, hierarchical planning system inherited from the period when policy-making was highly centralized, before 1978 (Frolova *et al.*, 2019b). National government policy has been keeping grass-roots initiatives at arm's length in the formal decision-making process on Spanish renewable planning. In addition, up until quite recently, the institutionalized power of energy companies has allowed them to influence the rollout of RE facilities (Frolova & Pérez, 2008). Current energy policy is therefore far from complying with the requirements of distributive energy justice.

For the interviewees, the most highly valued positive impact/benefit of the biogas plants is “using materials that would not be used in any other way”. This benefit was especially highly valued by self-employed people and people with a high level of education. The most frequently mentioned reasons for local opposition were odour leakages (Kulla *et al.*, 2022), but in case studies, the public could not distinguish whether the bad smell was coming from the biogas plant or from the water treatment plant in the same facility. The most frequently cited disadvantage was that “it worsens the quality of life”, although there was no correlation between this complaint and any particular group. Older people, retired people and people with the lowest levels of education generally had stronger views regarding the negative impact of the cases studied here.

Lastly, acceptance of the plant was lower amongst people with lower incomes (unemployed) and lower levels of education, and in this case at least, did not increase with the level of education. The increase in the acceptability of the plant is directly correlated with the distance between the plant

and the interviewee's place of residence. The greater the distance between their homes and the biogas plant, the greater their acceptance of the existing plant and of the possible construction of new plants in the future. This paper shows that the most important factor continues to be proximity to the plant. The distance between the interviewee's home and the plant is proportional to the negativity of their attitude towards it; a finding that crops up repeatedly in other research studies (Martinát *et al.*, 2022, Chodkowska-Miszczuk *et al.*, 2020). Rejection is also higher in older people, retired people and those with a lower level of education, who have a more negative opinion of the biogas plants than other people, while younger people and those with further education show higher levels of acceptance. Therefore, our study emphasizes that the groups most opposed to the plant have specific characteristics (old age and lower levels of education). Identifying these groups is useful in that it can help prevent conflicts and increase acceptance.

## 6. Conclusions

Biogas-based energy is an important means of mitigating climate change in that it can be used to decarbonize industrial processes and transport systems as a substitute for natural gas. However, it can generate social conflicts linked to procedural and distributive “injustice”, as perceived by the local population. The aim of this study was to enable a better understanding of the acceptability and potential conflicts of projects generally considered as good practice in the rollout of renewable energies, which make use of and recycle residues and wastewater and have a low impact on the landscape or on land uses. While there are numerous studies on the acceptability of biogas plants fed by energy crops (and in particular corn), the study has yet to come across any research about biogas plants in wastewater treatment facilities, despite the fact that in Spain this type of plant is more common in comparison with the rest of the European Union, where biogas plants based on energy crops tend to dominate. In the study, a comprehensive analysis of social participation in projects of biogas plants in wastewater treatment facilities, presented in media as smart practices, have been conducted. This analysis has shown that biogas plants have a high level of acceptability for most interviewees, although there is a group with strongly unfavourable opinions about the cases studied here and regarding the possible future construction of new plants, who may have been excluded from the decision-making processes.

The main results of this paper are as follows:

Firstly, population groups with more negative attitudes towards biogas plants have been detected, namely older people and people with a lower level of education. Another group with a poor opinion of these plants are the residents who live closest to them. This means that the perception of these biogas plants in wastewater treatment facilities is far from uniform, and that some groups in society have a worse opinion of them than others.

Secondly, in the analysis of citizen participation in these cases, it concluded by confirming that the participation of local people was very limited. The participation processes applied in these cases could not be viewed as procedurally just, given that the scenario depicted by the results is one of very low public participation, a negative attitude towards the participation process, poor information, and very little contact with the plant developer/operator.

Thirdly, the advantages and disadvantages of biogas plants were analysed. In the case of the positive impact or advantages, fairly similar ratings were given to three items: reuse of waste materials, production of renewable energy and contribution to climate change mitigation. While in the

disadvantages, the most frequently cited was “it worsens the quality of the environment” as the main perceived negative effect of the gas plant.

The participative process was not fair from the point of view of energy justice. While there is no involvement of the local community in energy policy decision-making, there can be no fair energy transition. The social groups that felt most excluded from these processes were older people, people with lower levels of education and people on low incomes. In this way, research shows that some groups in society could be more vulnerable to procedural and distributive injustice in the energy transition process.

Finally, in terms of gender, the female interviewees showed greater acceptance of the plant and greater involvement in the different participation channels (survey and public hearing). In order to increase acceptance of plants of this kind, the general public must become more involved in energy policy, so as to gain a better understanding of the effects of renewable energy production on their local areas. It is also important to design social participation processes in such a way that the most vulnerable groups in society (such as older people and people with lower levels of education) do not feel excluded and that the information about these projects is accessible to them. It is also important that projects of this kind create positive socioeconomic benefits for the most affected residents due to biogas plants proximity to their homes.

## References

- Acikgoz, C. (2011). Renewable energy education in Turkey. *Renewable Energy*, 36(2), 608-611. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.08.015>
- Bielig, M., Kacperski, C., Kutzner, F., & Klingert, S. (2022). Evidence behind the narrative: Critically reviewing the social impact of energy communities in Europe. *Energy Research & Social Science*, 94, 102859. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102859>
- Van Bommel, N., & Höffken, J. I. (2021). Energy justice within, between and beyond European community energy initiatives: A review. *Energy Research & Social Science*, 79, 102157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102157>
- Carvalho, M.D. (2012). EU energy and climate change strategy. *Energy*, 40, 19–22, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.012>
- Castillo Ruiz, J., Martínez Hidalgo, C., & Pérez Córdoba, G. (2015). El sistema histórico de riego de la Vega de Granada. Reconocimiento y protección desde la perspectiva del Patrimonio Agrario. *Irrigation, Society and Landscape. Tribute to Tom F. Glick*, 763-790. doi: <http://dx.doi.org/10.4995/ISL2014.2014.190>
- Capodaglio, A. G., Callegari, A., & Lopez, M. V. (2016). European framework for the diffusion of biogas uses: emerging technologies, acceptance, incentive strategies, and institutional-regulatory support. *Sustainability*, 8(4), 298. doi: <https://doi.org/10.3390/su8040298>
- Chodkowska-Miszczuk, J., Martinát, S., & Van Der Horst, D. (2021). Changes in feedstocks of rural anaerobic digestion plants: External drivers towards a circular bioeconomy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 148, 111344. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111344>
- Chodkowska-Miszczuk, J., Martinát, S., & Cowell, R. (2019). Community tensions, participation, and local development: Factors affecting the spatial embeddedness of anaerobic digestion in Poland and the Czech Republic. *Energy Research & Social Science*, 55, 134-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.05.010>
- Chodkowska-Miszczuk, J., Martinát, S., Kulla, M., & Novotný, L. (2020). Renewables projects in peripheries: determinants, challenges and perspectives of biogas plants—insights from Central European countries. *Regional Studies, Regional Science*, 7(1), 362-381. doi: <https://doi.org/10.1080/21681376.2020.1807399>
- Diario de Sevilla (2023, 21 de diciembre). Hidralia, camino de la autosuficiencia energética y neutralidad en carbono [Comunicado de prensa] URL: [https://www.diariodesevilla.es/medio-ambiente/Hidralia-autosuficiencia-energetica-neutralidad-carbono\\_0\\_1858615899.html](https://www.diariodesevilla.es/medio-ambiente/Hidralia-autosuficiencia-energetica-neutralidad-carbono_0_1858615899.html)
- Dobers, G. M. (2019). Acceptance of biogas plants taking into account space and place. *Energy Policy*, 135, 110987. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110987>

- EMASESA, (2021). Observatorio del agua Emasesa. Memoria anual 2021. web: <https://www.emasesa.com/wp-content/uploads/2022/05/Informe-Anual-Observatorio-2021.pdf>
- Ferrario, V., & Castiglioni, B. (2017). Visibility/invisibility in the 'making' of energy landscape. Strategies and policies in the hydropower development of the Piave river (Italian Eastern Alps). *Energy policy* 108, 829-835 doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.012>
- Flotats, X., Bonmati, A., Fernández, B., & Magrí, A. (2009). Manure treatment technologies: on-farm versus centralized strategies. NE Spain as case study. *Bioresource Technology*, 100(22), 5519-5526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.050>
- Frantál, B., Frolova, M., & Liñán-Chacón, J. (2023). Conceptualizing the patterns of land use conflicts in wind energy development: Towards a typology and implications for practice. *Energy Research & Social Science*, 95, 102907. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102907>
- Frantál, B., Van der Horst, D., Martinát, S., Schmitz, S., Silva, L., Golobic, M., & Roth, M. (2018). Spatial targeting, synergies and scale: Exploring the criteria of smart practices for siting renewable energy projects. *Energy policy*, 120, 85-93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.031>
- Frolova, M., Centeri, C., Benediktsson, K., Hunziker, M., Kabai, R., Scognamiglio, A., Martinopoulos, G., Sismani, G., Brito, P., Muñoz-Cerón, E., Słupiński, M., Ghislanzoni, M., Braunschweiler, D., Herrero-Luque, D., & Roth, M. (2019a) Effects of renewable energy on landscape in Europe: Comparison of hydro, wind, solar, bio-, geothermal and infrastructure energy landscapes. *Hungarian Geographical Bulletin*, 68(4), 317-339. doi: <https://doi.org/10.15201/HUNGEOBULL.68.4.1>
- Frolova, M., Frantál, B., Ferrario, V., Centeri, C., Herrero-Luque, D., & Grónás, V. (2019b). Diverse energy transition patterns in Central and Southern Europe: A comparative study of institutional landscapes in the Czech Republic, Hungary, Italy, and Spain. *Tájökológiai Lapok*, 17, 65-89. URI: <http://hdl.handle.net/10481/70888>
- Frolova, M., & Pérez Pérez, B. (2008). El desarrollo de las energías renovables y el paisaje: algunas bases para la implementación de la Convención Europea del Paisaje en la Política energética española. *Cuadernos Geográficos*, 43, 289-309. Recuperado a partir de <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/1119>
- Frolova, M., Pérez-Pérez, B., & Herrero-Luque, D. (2022). Diverse responses of coastal communities to offshore wind farming development in Southern Spain. *Moravian Geographical Reports*, 30(4), 324-339. doi: <https://doi.org/10.2478/mgr-2022-0021>
- García-Frapolli E., Schilman A, Berrueta VM, Riojas-Rodríguez H, Edwards RD, Johnson M, & Masera, O. (2010). Beyond fuelwood savings: Valuing the economic benefits of introducing improved biomass cookstoves in the Purépecha region of Mexico. *Ecological Economics*, 69(12), 2598-2605. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.08.004>
- Gareiou, Z., Drimili, E., y Zervas, E. (2021): Public Acceptance of Renewable Energy Sources. *Low Carbon Energy Technologies in Sustainable Energy Systems*, 309-27. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822897-5.00012-2>
- Goedkoop, F., & Devine-Wright, P. (2016). Partnership or placation? The role of trust and justice in the shared ownership of renewable energy projects. *Energy Research & Social Science*, 17, 135-146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.04.021>
- Hernández, R. y Chamorro, C. (2016). Situación actual y perspectivas del biogás y el biometano en España y Europa. *Tecnología energética Vol.5* pág. 11 doi: <http://dx.doi.org/10.6036/ES8149>
- IDAE (2021) Hoja de ruta del Biogás. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de: [https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/energia/files-1/es-es/Novedades/Documents/00HR\\_Biogas\\_V6.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/energia/files-1/es-es/Novedades/Documents/00HR_Biogas_V6.pdf)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>
- Instituto Nacional de Estadística. (2022) INEbase. *Indicadores de Estructura de la Población*. Recuperado de <https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=1161&dh=1>
- Jenkins, K., McCauley, D., Heffron, R., Stephan, H., & Rehner, R. (2016). Energy justice: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 11, 174-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.10.004>
- Kulla, M., Novotný, L., Pregi, L., Dvořák, P., Martinát, S., Klusáček, P., Navrátil, J., Krejčí, T., & Frantál, B. (2022). The good, the bad, and the nobody: Exploring diversity of perceptions of anaerobic digestion plants in Central and Eastern Europe. *Energy Research & Social Science*, 89, 102644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102644>

- Lucas, J. N. V., Francés, G. E., & González, E. S. M. (2016). Energy security and renewable energy deployment in the EU: Liaisons Dangereuses or Virtuous Circle?. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62, 1032-1046. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.069>
- Martinát, S., Chodkowska-Miszczuk, J., Kulla, M., Navrátil, J., Klusáček, P., Dvořák, P., Novotny, L., Krejci, T., Pregi, L., Trojan, J. & Frantál, B. (2022). Best Practice Forever? Dynamics behind the Perception of Farm-Fed Anaerobic Digestion Plants in Rural Peripheries. *Energies*, 15(7), 2533. doi: <https://doi.org/10.3390/en15072533>
- Martinát, S., Dvořák, P., Frantál, B., Klusáček, P., Kunc, J., Kulla, M., & van der Horst, D. (2013). Spatial consequences of biogas production and agricultural changes in the Czech Republic after EU accession: mutual symbiosis, coexistence or parasitism. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis-Geographica*, 44(2), 75-92. WEB: [https://www.academia.edu/download/87842584/AUPO\\_Geographica\\_44-2\\_Martinat\\_et\\_al\\_RGB.pdf](https://www.academia.edu/download/87842584/AUPO_Geographica_44-2_Martinat_et_al_RGB.pdf)
- Martinát, S., Navrátil, J., Trojan, J., Frantál, B., Klusacek, P., & Pasqualetti, M. J. (2017). Interpreting regional and local diversities of the social acceptance of agricultural AD plants in the rural space of the Moravian-Silesian Region (Czech Republic). *Rendiconti Lincei*, 28, 535-548. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12210-017-0628-9>
- McCauley, D. A., Heffron, R. J., Stephan, H., & Jenkins, K. (2013). Advancing energy justice: the triumvirate of tenets. *International Energy Law Review*, 32(3), 107-110. URI: <http://hdl.handle.net/1893/18349>
- Navrátil, J.; Martinát, S.; Krejčí, T.; Klusáček, P.; Hewitt, R.J. (2021). Conversion of Post-Socialist Agricultural Premises as a Chance for Renewable Energy Production. Photovoltaics or Biogas Plants? *Energies*, 14, 7164. doi: <https://doi.org/10.3390/en14217164>
- Palmer, J. R. (2014). Biofuels and the politics of land-use change: tracing the interactions of discourse and place in European policy making. *Environment and planning A*, 46(2), 337-352. doi: <https://doi.org/10.1068%2Fa4684>
- Raven, R. P., Mourik, R. M., Feenstra, C. F. J., & Heiskanen, E. (2009). Modulating societal acceptance in new energy projects: towards a toolkit methodology for project managers. *Energy*, 34(5), 564-574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.012>
- Reed, M. S., Vella, S., Challies, E., De Vente, J., Frewer, L., Hohenwallner-Ries, D., Huber, T., Neumann R., Oughton, E., Sidoli del Ceno J. & van Delden, H. (2018). A theory of participation: what makes stakeholder and public engagement in environmental management work? *Restoration ecology*, 26, S7-S17. doi: <https://doi.org/10.1111/rec.12541>
- Soland, M., Steimer, N., Walter, G. (2013). Local acceptance of existing biogas plants in Switzerland. *Energy Policy* 61, 802–810. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.111>.
- Sovacool, B. K., Burke, M., Baker, L., Kotikalapudi, C. K., & Wlokas, H. (2017). New frontiers and conceptual frameworks for energy justice. *Energy Policy*, 105, 677-691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.005>
- Stober, D., Suškevičs, M., Eiter, S., Müller, S., Martinát, S., & Buchecker, M. (2021). What is the quality of participatory renewable energy planning in Europe? A comparative analysis of innovative practices in 25 projects. *Energy Research & Social Science*, 71, 101804. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101804>
- Upreti, B. R., & van der Horst, D. (2004). National renewable energy policy and local opposition in the UK: the failed development of a biomass electricity plant. *Biomass and bioenergy*, 26(1), 61-69. doi: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00099-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00099-0)
- Waite, J.L. (2017). Land reuse in support of renewable energy development. *Land Use Policy*, 66, 105–110. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.04.030>
- Zemo, K. H., Panduro, T. E., & Termansen, M. (2019). Impact of biogas plants on rural residential property values and implications for local acceptance. *Energy policy*, 129, 1121-1131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.008>

## Acknowledgements

This research is part of a project entitled “Adaptation to the energy transition in Europe: the environmental, socio-economic and cultural aspects” (CSO2017-86975-R), financed by the Ministry of the Economy, Industry and Competitiveness (MINECO), the State Research Agency (AEI) and the European Regional Development Fund (ERDF). Our special thanks and sincere appreciation to Dr. Stanislav Marinát for his invaluable comments and suggestions, which have greatly enhanced the quality of this research.

## Contribución de autorías

Javier Liñán Chacón: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing – original draft, review & editing.

Marina Frolova Ignatieva: Supervision, Project administration, Methodology, Writing – review & editing.

## Financiación

This research was conducted withing the framework of a project entitled: “Adaptation to sustainable energy transition in Europe: Environmental, socio-economic and cultural aspects (ADAPTAS)” (Ministry of Economy, Industry and Competitiveness and State Research Agency of Spain, and European Regional Development Fund, CSO2017-86975-R).

## Conflicto de intereses

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## APPENDIX:

## Questionnaire original (Spanish)

Nos gustaría pedirle que complete este cuestionario para el proyecto de investigación sobre aspectos sociales como la percepción y participación social en las plantas de biogás. Su participación en esta encuesta es anónima. Solo se publicarán los resultados agregados de la encuesta y los resultados se utilizarán únicamente para las necesidades de nuestro proyecto de investigación. Completar el cuestionario no debe llevar más de 10 minutos de su tiempo. Gracias por su colaboración.

## CUESTIONARIO PARA LA POBLACIÓN DE COMUNIDADES CON UNA PLANTA DE BIOGÁS EN FUNCIONAMIENTO

[1] Hay una planta de biogás, en funcionamiento en la área donde reside. Podría usted volver atrás en el tiempo anterior a la construcción y evaluar su actitud hacia ella. Usted estuvo de acuerdo con la construcción de la planta de biogás en su comunidad? Por favor, marque solo una opción.

1 -Definitivamente de acuerdo 2-De acuerdo 3 - No lo sé 4 - En desacuerdo 5 - Absolutamente en desacuerdo

[2] Esta usted de acuerdo con la afirmación siguiente: "La población de la comunidad fue suficientemente informada sobre el plan de construcción de la planta de biogás". Por favor marque solo una opción.

1 -Definitivamente de acuerdo 2-De acuerdo 3 - No lo sé 4 - En desacuerdo 5 - Absolutamente en desacuerdo

[3] Esta usted de acuerdo con la afirmación siguiente: "La información sobre el planteamiento de la planta de biogás fue relevante, imparcial y describe la planta desde una visión realista? Por favor marque solo una opción.

1 -Definitivamente de acuerdo 2- De acuerdo 3 - No lo sé 4 - En desacuerdo 5 - Absolutamente en desacuerdo

[4] ¿Tuvo oportunidad de participar en el proceso de planificación? Si la tuvo, usted utilizó alguna de las formas de participación enumeradas en la tabla siguiente: Por favor, marque las repuestas en cada línea.

Formas de participación	Tuve posibilidad de participar	Utilice la posibilidad y participe
a) Se organizó una excursión para ver una planta de biogás en otra comunidad.	Si / No	Si / No
b) Se llevó a cabo una audiencia pública organizada por la administración de la comunidad o el inversionista de la planta de biogás.	Si / No	Si / No
c) Se expuso en el ayuntamiento local la documentación de proyecto de la planta de biogás.	Si / No	Si / No
d) Se organizó una encuesta centrada en la opinión de la población local sobre la planta de biogás planificada	Si / No	Si / No
e) Se organizó un debate con un experto independiente.	Si / No	Si / No
f) Alguna otra forma de participación? Por favor indíquela		

[5] Considera usted, que las posibilidades para su participación en la planificación de la planta de biogás fueron suficientes: Por favor marque solo una opción.

1 -Definitivamente de acuerdo 2-De acuerdo 3 - No lo sé 4 - En desacuerdo 5 - Absolutamente en desacuerdo

[6] ¿Qué fuentes de información sobre la planificación de la planta de biogás ha utilizado en su comunidad? Por favor, marque el nivel de importancia de la fuente individual de información. Por favor, marque las repuestas en cada línea.

(1= Muy insignificante, 2= insignificante, 3=No lo sé, 4=significante, 5= Muy significativa)

a)	Gobierno local (Anuncios públicos, periódicos locales, páginas web o redes sociales como Facebook, Twitter)	1 2 3 4 5
b)	Familia, vecinos, amigos	1 2 3 4 5
c)	Inversor, quién planteó la construcción de la planta	1 2 3 4 5
d)	Internet ( Con la búsqueda de la información por iniciativa propia)	1 2 3 4 5
e)	Medios de comunicación (TV, radio etc.)	1 2 3 4 5

[7] Está usted de acuerdo con la afirmación siguiente: "El operador de la planta de biogás en su comunidad se toma seriamente las objeciones de la población local hacia la planta de AD y las intenta solucionar" Por favor, marque un opción solo.

1 - Definitivamente de acuerdo 2 - De acuerdo 3 - No lo sé 4 - En desacuerdo 5 - Absolutamente en desacuerdo

[8] Está usted de acuerdo con la afirmación siguiente: "El operador de la planta de biogás en su comunidad es competente y sabe cómo operar su instalación" Por favor, marque un opción solo.

1 - Definitivamente de acuerdo 2 - De acuerdo 3 - No lo sé 4 - En desacuerdo 5 - Absolutamente en desacuerdo

[9] Cuáles son los beneficios de tener una planta de biogás en tu municipio? Por favor, marca tu respuesta en cada línea.

Beneficios de una planta biogás en funcionamiento:	Muy desacuerdo	En desacuerdo	No lo sé	De acuerdo	Muy de acuerdo
a) Produce energía limpia y renovable.	1	2	3	4	5
b) Contribuye a la protección ambiental y ayuda a combatir el cambio climático.	1	2	3	4	5

Beneficios de una planta biogás en funcionamiento:	Muy desacuerdo	En desacuerdo	No lo sé	De acuerdo	Muy de acuerdo
c) Utiliza materiales que no se utilizarían de ninguna forma.	1	2	3	4	5
d) Genera nuevos empleos e ingresos adicionales a los agricultores.	1	2	3	4	5
e) Trae consigo beneficios económicos al municipio (Ej. disminuir el coste de calefacción de los edificios públicos)	1	2	3	4	5
f) Es un atractivo turístico.	1	2	3	4	5
g) Es un elemento de promoción del municipio, haciéndolo visible al exterior.	1	2	3	4	5
h) Contribuye al desarrollo general del municipio.	1	2	3	4	5

[10] Cuáles son los impactos negativos de una planta de biogás en funcionamiento para el municipio? Por favor, marque las respuestas en cada línea.

Impactos negativos de una planta de biogás en funcionamiento	Muy desacuerdo	En desacuerdo	No lo sé	De acuerdo	Muy de acuerdo
a) No funcionaria son incentivos económicos.	1	2	3	4	5
b) Afecta al medio ambiente local.	1	2	3	4	5
c) Perturba visualmente el paisaje local.	1	2	3	4	5
d) It Empeora la calidad de vida del municipio (Olor, suciedad, incremento del tráfico).	1	2	3	4	5
e) No trae un beneficio económico importante al municipio.	1	2	3	4	5
f) Evita que los turistas visiten nuestro municipio.	1	2	3	4	5
g) Causa conflictos y división en la comunidad local.	1	2	3	4	5
h) El valor inmobiliario ha decrecido en el municipio.	1	2	3	4	5

[11] Si volviéramos atrás en el tiempo y tuviera la posibilidad de decidir nuevamente sobre la planta de biogás planificada en tu comunidad, ¿Estarías de acuerdo en construirla? Por favor, marque un opción solo.

1 – Definitivamente de acuerdo 2 – De acuerdo 3 – No lo sé 4 – En desacuerdo 5 – Absolutamente en desacuerdo

[12] ¿Cómo evaluaría usted personalmente el desarrollo de plantas de biogás en su región? Por favor, marque un opción solo.

1 – No se deberían construir plantas AD en ninguna parte.

2 – Se podrían construir algunas plantas, pero no próximas a mi municipio.

3 – No me molestaría si se construyeran otras plantas AD cerca o en mi municipio.

[13] Edad: ..... años Sexo: 1 – Hombre 2 – Mujer

Su grado de educación es: 1 – primaria 2 – secundaria 3 – terciaria

Actividad económica: 1 – Empleado 2 – Autónomo 3 – Dependiente 4 – Jubilado 5 – Desempleado 4 –

Estudiante

A qué distancia vivo de la planta de biogás (estimación) .....metros

Nombre del municipio:..... Cuánto tiempo lleva viviendo en el municipio:.....

Trabajo en la planta de biogás del municipio: 1 – Si 2 – No

Gracias por su tiempo. Su ayuda es muy apreciada.

# Influencia de indicadores morfológicos urbano-edilicios hacia una ciudad compacta y sostenible: Área Metropolitana de Mendoza

## Influence of urban-building morphological indicators towards a compact and sustainable city: Metropolitan Area of Mendoza

DANA CECILIA OTERO<sup>1</sup>  0000-0001-5876-6365

MARIELA EDITH ARBOIT<sup>1</sup>  0000-0003-1929-5382

DORA SILVIA MAGLIONE<sup>2</sup>  0000-0003-4708-7089

GRACIELA MELISA VIEGAS<sup>3</sup>  0000-0001-6248-4678

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA), Centro Científico Tecnológico (CCT) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Santa Cruz, Argentina.

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

### Resumen

El crecimiento poblacional urbano en Latinoamérica está acompañado de un proceso expansivo disperso de las ciudades y mayor consumo energético. Las normativas urbano-edilicias poseen potencial para mitigar estas problemáticas. Mediante un relevamiento y diagnóstico de normativas se estudiaron los marcos regulatorios urbano-edilicios de los seis municipios del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), posibilitando cartografiar zonificaciones de usos del suelo y analizar estadísticamente los indicadores municipales comunes con un árbol de decisión para identificar su influencia desde una perspectiva energética. El trabajo permitió reconocer heterogeneidad de indicadores, diversos rangos parcelarios por municipio con baja ocupación del suelo de media y baja altura edilicia, en detrimento del objetivo del Plan Provincial de Ordenamiento Territorial (PPOT) de una ciudad compacta y sostenible. Finalmente, la investigación identificó: fragmentación administrativa, desarticulación normativa e incipiente acceso a la información; manifestando la necesidad futura de acordar entre municipios un ajuste de indicadores hacia la consecución del objetivo mencionado.

Palabras clave: árbol de decisión; desarrollo urbano; indicadores morfológicos; normativa; planificación territorial.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.07.04  
Aceptado: 2024.05.23  
Publicado: 2024.10.24

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Dana Cecilia Otero  
[dotero@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:dotero@mendoza-conicet.gob.ar)

## Abstract

Urban population growth in Latin America is accompanied by a dispersed expansive process of cities and increased energy consumption. Urban-building regulations have the potential to mitigate these problems. Through a survey and diagnosis of regulations, the urban-building regulatory frameworks of the six municipalities of the Mendoza Metropolitan Area (AMM) were studied, making it possible to map land use zoning and statistically analyze common municipal indicators with a decision tree to identify their influence from an energy perspective. The work made it possible to recognize heterogeneity of indicators, various parcel ranges by municipality with low land occupation of medium and low building height, to the detriment of the objective of the Provincial Land Management Plan (PPOT) of a compact and sustainable city. Finally, the investigation identified: administrative fragmentation, regulatory disarticulation and incipient access to information; expressing the future need to agree between municipalities on an adjustment of indicators towards the achievement of the aforementioned objective.

---

Keywords: decision tree; urban Development; morphological indicators; normative; territorial planning.

---

## 1. Introducción

Las ciudades ocupan menos del 2% de la superficie terrestre, consumen alrededor del 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU-Habitat, citado por Organización de las Naciones Unidas, s.f.). La dimensión urbana y la planificación espacial impactan sobre el consumo y la producción de energía, donde: transporte y accesibilidad, forma urbana e infraestructura, presentan potencial para lograr una transición a mediano y largo plazo hacia energías renovables (Asarpota & Nadin, 2020). Por estas razones, las ciudades deben implementar acciones para mitigar los impactos del cambio climático. La transición hacia una ciudad energéticamente sostenible requiere incorporación de normativas regulatorias en los diferentes niveles gubernamentales, con las cuales buscar un aprovechamiento más eficiente de los recursos regionales y minimizar los impactos negativos de la matriz energética. La morfología urbana y la movilidad repercuten en el consumo energético mayormente a macroescala; mientras que a microescala afectan los usos del suelo, morfología edilicia y tecnologías constructivas, al considerar el comportamiento térmico edilicio.

A macroescala, el consumo de suelo de las metrópolis amenaza la sostenibilidad urbana, por ello, es preciso comprender la relación entre morfología urbana, uso del suelo y expansión urbana (Zambon et al., 2018). La literatura reconoce impulsores de ocupación del suelo: incremento poblacional y de ingresos, desarrollo de infraestructura de transporte, aumento del uso del automóvil, subsidios dirigidos al consumo de suelo y planificación débil o inadecuada; así como postergadores de expansión urbana: planificación integral del uso del suelo, subsidios para renovación urbana, mejora de infraestructura y transporte público en la ciudad; donde la fragmentación administrativa y la competencia entre las jurisdicciones locales resulta determinante para el éxito o fracaso en cuanto a la restricción de la expansión (Colsaet, Laurans & Levrel, 2018).

A microescala, estudios internacionales revelaron que los códigos de edificación constituyen una herramienta para reducir el consumo de energía residencial, complementándose con políticas de regulación del costo de energía las cuales por sí solas no siempre inducen a la aplicación de medidas de eficiencia energética (Novan, Smith & Zhou, 2020). Considerando la necesidad de mejorar la eficiencia energética edilicia desde el diseño, otros trabajos simulaban demandas energéticas

para identificar los indicadores morfológicos más influyentes posibilitando, a los planificadores urbanos, ajustar valores hacia un mejor desempeño energético (Wang et al., 2022).

La literatura latinoamericana expone barreras a nivel gubernamental (regulatorias y financieras) para promocionar estrategias tecnológicas referidas a eficiencia energética edilicia (Cristino et al., 2021). También enfatiza la necesidad de una normativa metropolitana sistematizada e integrada de fácil acceso, superando la fragmentación gubernamental, además de propiciar la articulación con entes de servicios e infraestructura pública y vincular la planificación urbana con los presupuestos públicos, como hacer prevalecer el interés público sobre el privado en el ordenamiento territorial y evitar informalidades en la producción del suelo urbano (Ortiz-Sánchez, Fernández-Salas & Devoto-Ykeho, 2020).

En Argentina, si bien existe un avance normativo hacia la promoción del uso de energías limpias, en diferentes niveles estatales, aún resta contemplar aspectos regulatorios de la morfología urbano-edilicia en instrumentos de planificación y normativa local (Fernández, Gentili & Campo, 2022); destacándose que los cambios normativos de indicadores repercuten en la morfología urbano-edilicia (Bernasconi, 2021). Algunos autores definen que debería primar el interés público, en relación con los cambios en las regulaciones urbano-edilicias desarrolladas en las últimas décadas, donde se enfatiza la gestión urbana público-privada como un instrumento de mejora (Peresini, 2021).

A nivel local, distintos estudios demuestran la necesidad de afrontar la aplicabilidad efectiva de estrategias energético-ambientales en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM). En correspondencia, las formas de intervención territorial en las últimas cuatro décadas exponen correlaciones positivas entre expansión urbana, crecimiento poblacional y consumos energéticos (Molina et al., 2020). Respecto a los indicadores urbano-edilicios se debe tener en cuenta el ajuste al modelo socioambiental local al transferirlos desde otros modelos urbanos sostenibles foráneos (Gómez-Piovanio & Mesa, 2013). Finalmente, por medio de trabajos conjuntos entre instituciones científico-técnicas y gubernamentales-administrativas, es posible mejorar los comportamientos energético-ambientales del tejido urbano mediante la incorporación de indicadores (Basso et al., 2013).

### ***1.1. Metodologías y herramientas usadas en estudios urbanos***

El progreso en tecnologías de información y comunicación posibilita hoy relevar, acopiar y procesar una enorme cantidad de datos urbanos. La utilización de herramientas estadísticas predictivas se destaca en el tratamiento eficiente de datos, siendo aplicadas en diversas temáticas dentro de estudios urbanos (Koumetio-Tekouabou et al., 2022). Los métodos estadísticos predictivos posibilitan un procesamiento de información más conveniente y acorde a las necesidades de respuestas urbanas en planificación; donde los árboles de decisión se encuentran entre los cinco métodos más utilizados desde 2018 (Nosratabadi et al., 2020). El árbol de decisión se utiliza en problemas de clasificación y de regresión; se basa en un algoritmo (decisión) que separa al conjunto de datos en grupos simples (árbol binario) y permite detectar vínculos (correlaciones) al considerar variables dependientes e independientes; es fácil de interpretar como predicción para clasificación y regresión (Fernández-Casal, Costa-Bouzas & Oviedo-de la Fuente, 2021; Berlanga-Silvente, Rubio-Hurtado & Vilà-Baños, 2013).

Por otra parte, el sector residencial urbano es un consumidor importante de energía, situación sostenida en el tiempo por la vida útil de las construcciones; al mismo tiempo es posible reducir

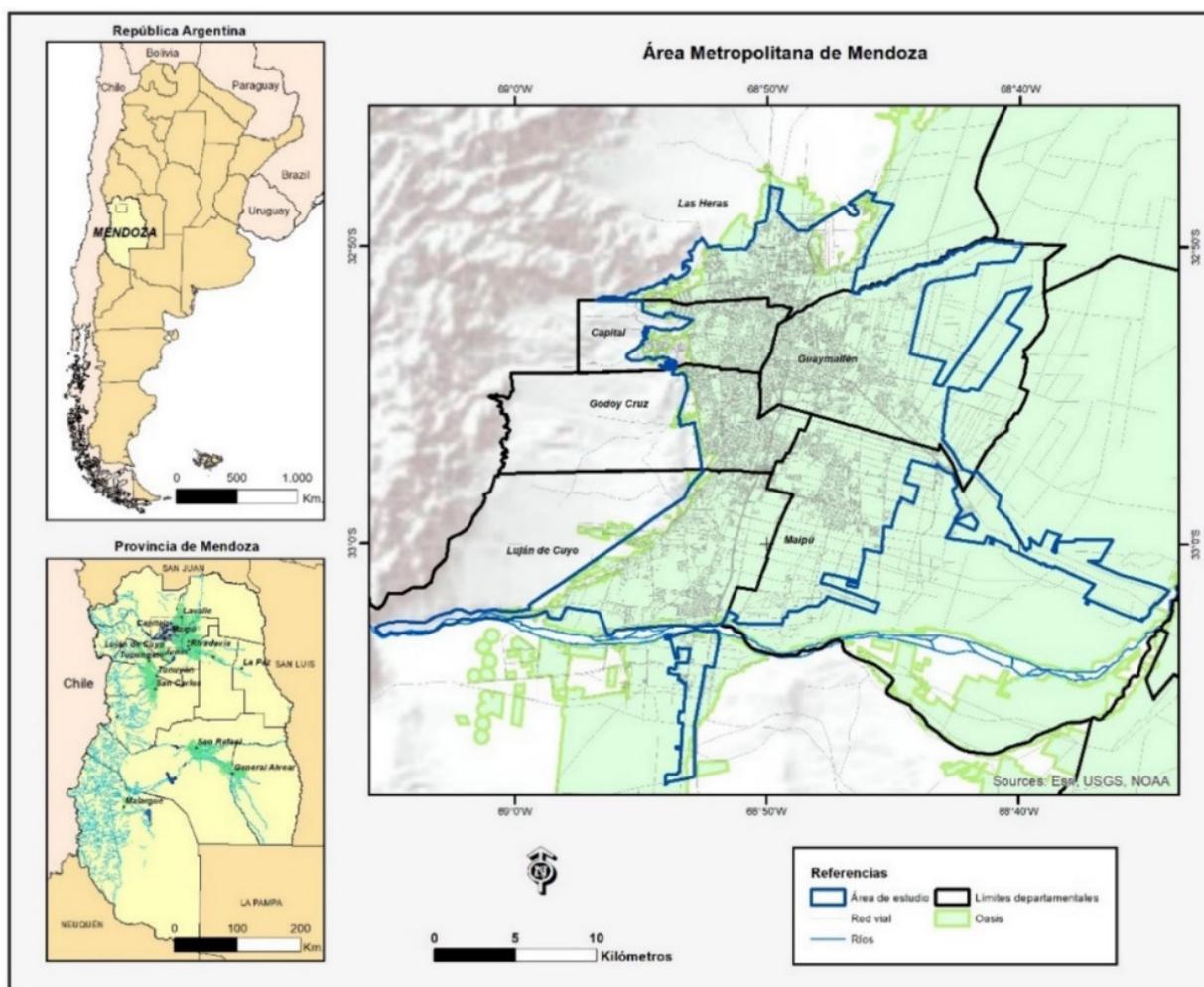
el consumo de energía con ayuda de regulaciones urbano-edilicias a largo plazo. Además, existen metodologías y herramientas tecnológicas accesibles que posibilitan, con mayor celeridad, reorientar los objetivos de planificación hacia un desarrollo sostenible a partir de las regulaciones. Por ello, en trabajos anteriores se examinaron los marcos regulatorios municipales individualmente (Otero & Arboit, 2019; Otero, Cohn & Arboit, 2019; Otero, Arboit & Cohn, 2020; Otero & Arboit, 2021), destacándose la zonificación residencial en las áreas urbanas municipales y la importancia de los indicadores propuestos en la zonificación. En ese marco, este trabajo busca presentar la situación actual de los marcos regulatorios vigentes en los seis municipios del AMM, con miras a un código único entendiendo al AMM como una unidad territorial que requiere de planificación conjunta y, además, evaluar la congruencia de los indicadores con el objetivo del PPOT de una ciudad compacta y sostenible. Para ello, se propone un análisis de los indicadores urbano-edilicios comunes, mediante la herramienta estadística de árbol de decisión, a fin de evaluar su influencia en la morfología resultante desde una perspectiva energética e identificar la congruencia de estos con el objetivo del PPOT.

### 1.2. Caso de estudio

El AMM se ubica en el Centro-Oeste argentino, al Noroeste de la provincia de Mendoza y está conformada por seis municipios conurbados (figura 1), concentrando el 62% de la población provincial (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023, p. 26). Presenta clima mesotermal árido con inviernos templado-fríos, veranos cálido-secos e intensa radiación solar (media anual: 18,06 Mj/m<sup>2</sup> día). La distribución de las horas anuales en confort es del 21,53%, con una necesidad de calefacción del 70,14% de las horas y una necesidad de enfriamiento que corresponde al 8,33% del total de horas. En cuanto a los servicios energéticos públicos de las viviendas, del 100% al 99,60% accede a electricidad y del 92,70% al 65,80% a gas por red, presentando el municipio de Maipú los valores más bajos en comparación con el resto de los municipios del AMM (Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas, 2021).

La morfología urbano-edilicia en el AMM es producto de un proceso histórico y sucesivos marcos regulatorios. Los códigos de edificación surgen en la década de 1970 con una base de criterios homogénea, modificados en el tiempo según necesidades en cada municipio, en consecuencia, resultado de numerosas ordenanzas. En 2017, el PPOT sienta las bases para un desarrollo ambiental y territorial sustentable; simultáneamente compromete a los municipios a elaborar su propio plan en esa misma línea. Entre el 2018 al 2021 se aprueban los planes municipales de ordenamiento territorial (PMOTs) en los municipios del AMM, que repercuten en la sistematización y actualización de los códigos urbanos y de edificación, además de diversas normativas referidas a zonificación y usos del suelo, indicadores, regímenes especiales para conjuntos habitacionales, entre otras, como también en la incorporación de regulaciones referidas a instrumentos económicos y de sostenibilidad urbano-edilicia.

Figura 1. Ubicación AMM y contorno del área de estudio.

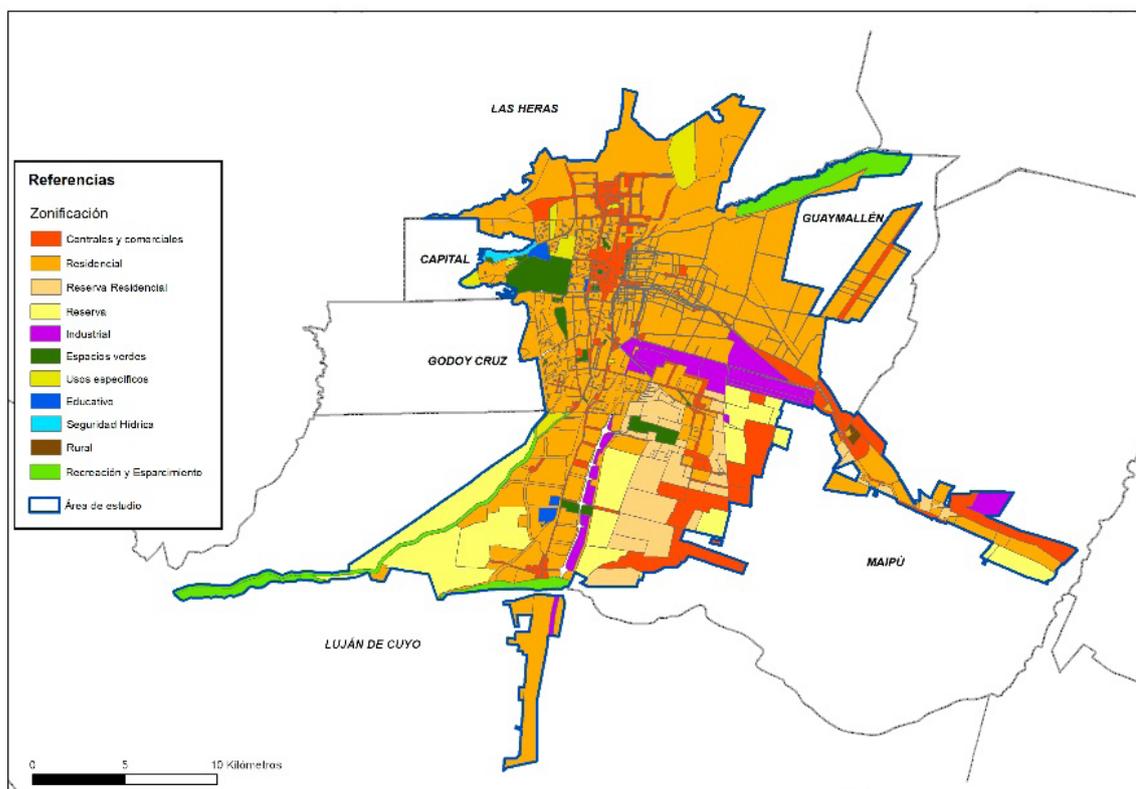


Fuente: Elaboración propia, colaboración cartográfica R. Cohn.

Conceptualmente, la zonificación delimita usos y condiciones de ocupación del suelo en una porción de territorio. El PPOT considera a la zonificación como una herramienta primordial para ordenar el territorio con el fin de tender al modelo territorial deseado de ciudad compacta y, a su vez, al AMM como una unidad territorial. En la actualidad la zonificación del AMM está conformada por seis zonificaciones municipales individuales.

La definición del área de estudio (45040,40 ha) del presente trabajo (contorno en figura 1) resulta de la fusión del área urbana 2017 según Molina et al. (2020); del área urbana PPOT propuesta en la Ley Provincial 8999/2017, y de las zonificaciones municipales relevadas, cuyos indicadores y usos del suelo (residenciales y comerciales urbanos) obedecieran los criterios de clasificación territorial del PPOT (figura 2). Cabe aclarar que se descartaron los sectores (5343,19 ha) de la zonificación municipal territorialmente aislados y zonas: industrial, espacios verdes (parques), usos específicos (ANAC, Autódromo, Cementerio, Ejército, Ex Aeroparque, etc.), educativo (universidades), seguridad hídrica (e Inundación Dique) y rural.

Figura 2. Macrozonificaciones municipales relevadas en el AMM.



Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal, colaboración cartográfica R. Cohn.

## 2. Metodología

En primera instancia, se relevaron exhaustivamente los marcos regulatorios en cada municipio, explorando documentación municipal (ordenanzas municipales, cartografías, otras) como también legislación provincial en bases de datos oficiales (Dirección General de Catastro, s.f.; Legislatura Mendoza, s.f.; otros) y fuentes documentales (exploración de archivos municipales y bibliotecas, compilación de documentos históricos recientes departamentales).

En el relevamiento de los marcos regulatorios se exploraron las legislaciones municipales, en la Tabla 1 se sintetizan las más relevantes.

Tabla 1. Marcos regulatorios vigentes.

Fecha	Municipio	Legislación	Detalle
1970	Luján de Cuyo <sup>1</sup>	Ordenanza 36	Código de edificación
1974	Maipú	Ordenanza 1.105	Código de edificación
1985, diciembre	Las Heras	Ordenanza 220	Código edificación
1994, abril	Guaymallén	Ordenanza 3.780	Código de Edificación y Ordenamiento Territorial

1. En adelante Luján.

Fecha	Municipio	Legislación	Detalle
2000 (2022, agosto: última actualización)	Ciudad de Mendoza <sup>2</sup>	Ordenanza 0001	Código urbano y de edificación
2007 (2022, diciembre: última actualización)	Godoy Cruz	Ordenanza 5.519	Código urbano y de edificación
2011, febrero	Godoy Cruz	Ordenanza 5.924	Indicadores urbanos y microzonificación residencial
2011, marzo	Maipú	Ordenanza 4.900	Desarrollo de conjuntos edilicios
2013, julio	Maipú	Ordenanza 5.388	Modificación zonificación y Pautas Generales
2018, diciembre	Godoy Cruz	Ordenanza 6.876	Plan municipal de ordenamiento territorial (PMOT)
2019, agosto	Luján	Ordenanza 13.495	PMOT
2019, septiembre	Ciudad	Ordenanza 3.975	PMOT
2019, noviembre	Luján	Ordenanza 13.613	Código de ocupación del suelo
2019, diciembre	Ciudad	Ordenanza 3.978	Modificación del capítulo E. II. del código urbano y de edificación
2020, noviembre	Ciudad	Ordenanza 4.023	Asigna los usos del suelo a nuevas zonas
2020, diciembre	Las Heras	Ordenanza 56	PMOT
2020, diciembre	Ciudad	Ordenanza 4.039	Incorpora el capítulo E.VII. "construcciones sustentables y recurso de contribución compensatoria"
2020, diciembre	Luján	Ordenanza 13.883	Mayor aprovechamiento del suelo
2021, enero	Luján	Ordenanza 13.893	Código Urbanístico y Ambiental del Piedemonte
2021, febrero	Guaymallén	Ordenanza 9.169	PMOT
2021, junio	Maipú	Ordenanza 6.886	PMOT
2021, diciembre	Guaymallén	Ordenanza 9.349	Modifica planilla de usos del suelo del PMOT
2022, julio	Las Heras	Ordenanza 0011	Código urbano

Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal.

Asimismo se realizaron entrevistas no estructuradas con actores de la gestión urbana de los seis municipios para completar información; en consecuencia, se generó cartografía en formato GIS y una base de datos unificada para el AMM<sup>3</sup>. Con la cartografía se procedió a definir el área de estudio según el criterio expuesto anteriormente. La base de datos unificada contiene información de los indicadores del área de estudio, donde se identificó:

**Zona:** Superficie territorial delimitada (ha), regula y controla el uso del suelo.

**Parcela:** Porción indivisa de terreno, se regula superficie mínima (m<sup>2</sup>) y lado mínimo (m).

**Rango Parcelario:** Agrupación de superficies parcelarias para determinar indicadores.

**Factor de Ocupación del Suelo (FOS):** Porcentaje máximo (FOS máx) y mínimo (FOS mín) de ocupación de superficie parcelaria en planta baja respecto de la superficie cubierta.

2. En adelante Ciudad.

3. Estos bienes intensivos de conocimiento han sido elaborados en el marco de la Tesis Doctoral PUE de la primera autora, de manera individual y serían de aplicación para áreas gubernamentales de planificación territorial, como también para diversos actores públicos y privados interesados en la temática. Los archivos se encuentran alojados en INCIHUSA Digital el repositorio digital del INCIHUSA - CONICET y pueden consultarse en: <http://incihusa.mendoza-conicet.gob.ar/jspui/handle/9999/1098>.

*Factor de Ocupación Total (FOT)*: Porcentaje máximo (FOT máx) y mínimo (FOT mín) de ocupación de superficie cubierta total en relación con la superficie parcelaria.

*Factor de Infiltración del Suelo (FIS)*: Porcentaje de superficie parcelaria absorbente.

*Factor de Suelo Natural (FSN)*: Porcentaje mínimo de superficie parcelaria que conserva las características naturales autóctonas.

*Altura máxima de fachada<sup>4</sup> (h fachada)*: Medida vertical (m) en la línea municipal<sup>5</sup> desde nivel de vereda.

*Basamento*: Volumen edificado sin retiros hasta los límites parcelarios, se regula su condición (obligatorio, optativo, no permitido) y su altura (h basamento) medida (m) desde nivel de vereda hasta una altura prefijada.

*Retiros*: Recesos espaciales de la línea de edificación<sup>6</sup> (m) respecto a los límites parcelarios, o línea municipal en caso del Retiro Frontal. Los retiros son: Frontal (RF), Frontal Torre (RF Torre), Lateral (RL), Lateral Torre (RL Torre), Lateral Unificado Torre (RLU Torre), Posterior (RPo), Posterior Torre (RPo Torre), en Esquina (RE), en Esquina Torre (RE Torre), Perimetral (RPe). Además, se contemplaron aquí: Separación entre Torres y/o Bloques (distancia entre construcciones de una parcela) y Proporción Torre (profundidad y ancho de una torre).

*Altura máxima edificable (Hmáx)*: Verticalidad edilicia total (m) desde nivel de vereda.

Adicionalmente se registraron regulaciones especiales de conjuntos habitacionales (conjuntos edilicios, PH o condominio); beneficios económicos o en superficie cubierta por normativa paralela (construcciones sustentables o mediante contribución compensatoria<sup>7</sup>) e iniciativas conceptualmente sostenibles optativas u obligatorias (estándares mínimos de sustentabilidad, cargo por el equilibrio territorial, energías limpias, prácticas de desarrollo urbano de bajo impacto).

Seguidamente, se identificaron tres indicadores morfológicos comunes a los seis municipios, siendo: parcela, FOS máx y Hmáx. En cuanto al indicador parcela se estimó el rango parcelario; y en dos municipios, donde no es regulado, se consideró como tal al tamaño mínimo de parcela. Luego, se realizó un análisis estadístico donde se calcularon distintas medidas resúmenes y, posteriormente, por la cantidad y versatilidad de información, se profundizó dicho análisis mediante la técnica de árbol de decisión. Su estructura es un diagrama de flujo, inicia en un nodo raíz del cual salen ramas hacia los nodos de decisión, donde se realizan evaluaciones según el atributo del nodo (criterio) para continuar con el proceso, el cual culmina en los nodos terminales que constituyen los resultados (figura 3). Por su estructura es fácil de interpretar, además permite manejar varios tipos de datos (discretos o continuos), resultando una técnica sumamente propicia para el caso de estudio. En este sentido, se tomó como variable dependiente a los rangos parcelarios, ya que determinan el resto de los indicadores; por lo cual primero se segmentaron e identificaron grupos de rangos parcelarios, para luego analizar el resto de los indicadores y la relación entre ellos.

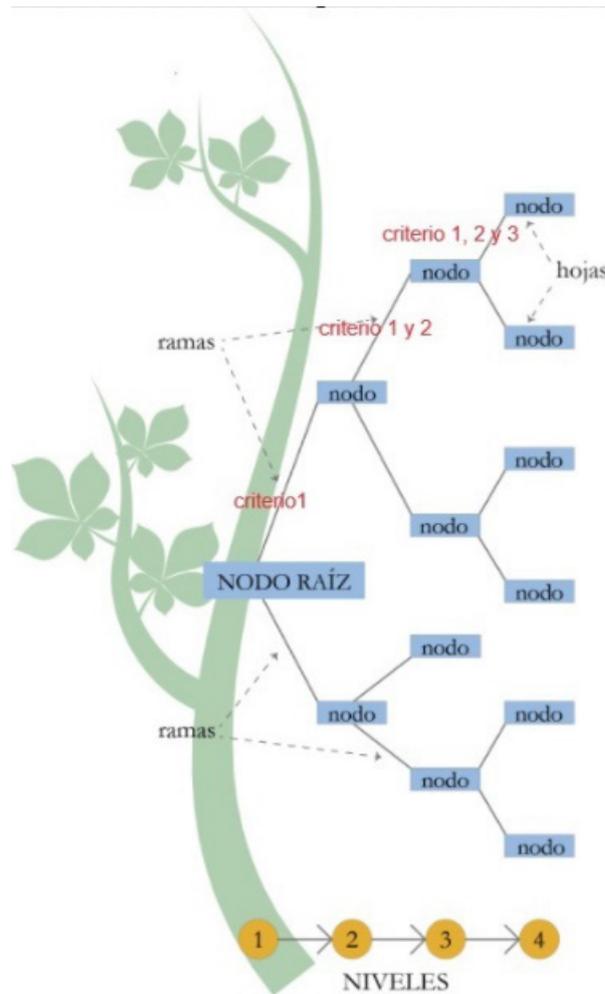
4. Frente de un edificio.

5. Límite entre el espacio público y el privado.

6. Límite hasta o desde el cual la municipalidad autoriza la construcción de un edificio en el frente de una parcela.

7. Instrumento por el cual los propietarios o inversores inmobiliarios acceden a un mayor aprovechamiento del suelo respecto de la regulación normativa de la zona mediante un tributo (económico o materialización de una obra).

Figura 3. Esquema de árbol de decisión.



Este esquema, que se lee de izquierda a derecha, corresponde a una representación gráfica de un árbol de cuatro niveles de nodos. El primer nivel, con un único nodo llamado raíz, contiene a la muestra completa. Según el criterio 1, que es el que más diferencia a los individuos de ese grupo, la muestra se subdivide en dos nodos en el siguiente nivel: los que verifican el criterio (en la rama ascendente) y los que no lo hacen (en la rama descendente). Los criterios se calculan mediante métodos como la ganancia de información, la impureza de Gini, o la reducción de varianza, dependiendo del tipo de variable predictora y el objetivo del modelo. Esto da como resultando reglas que permiten dividir el conjunto de datos de forma clara en dos grupos más homogéneos. Un nodo sin hijos se denomina nodo terminal u hoja.

Fuente: Elaboración propia, colaboración gráfica de M.C. Caminos-Diez.

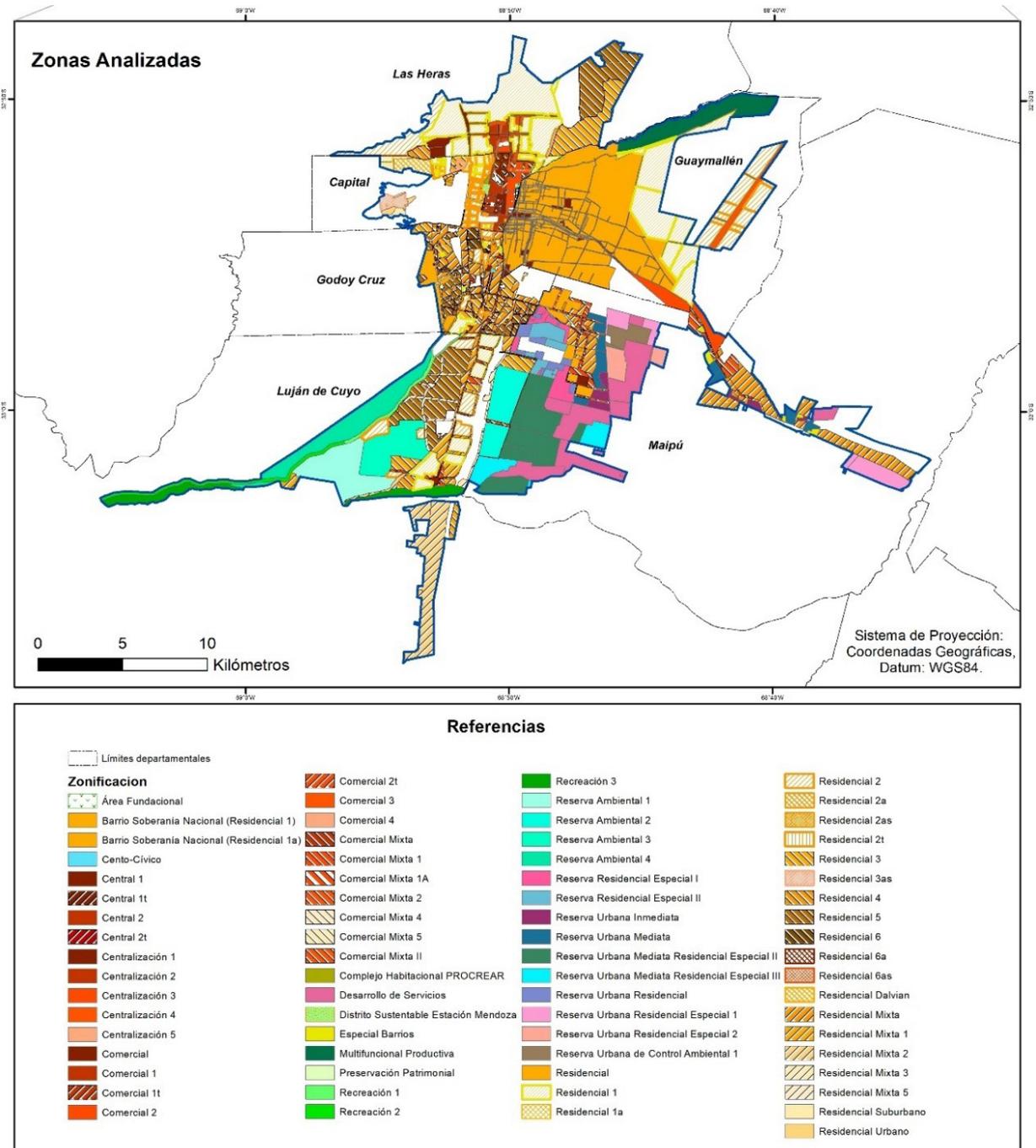
Finalmente se desarrollaron, a modo de conclusiones, las interpretaciones de su influencia en la morfología urbano-edilicia del AMM desde la perspectiva energética; para dar paso a las discusiones que serán materia de desarrollo en futuras publicaciones.

### 3. Resultados

La presentación de resultados comienza con el análisis de la zonificación en los seis municipios del AMM, mostrando cartografiadas las 133 áreas de estudio y una síntesis cartográfica. A continuación, se presentan los indicadores urbano-edilicios de cada municipio, simplificados en una base de datos. Posteriormente se analizan los rangos parcelarios y los indicadores FOS máx y Hmáx por rango parcelario. Por último, se exponen los resultados del estudio estadístico de clasificación de rangos parcelarios según el FOS máx y Hmáx, así como una clasificación conjunta de los rangos parcelarios considerando ambos indicadores.

Los resultados del relevamiento de la zonificación municipal se presentan en la Figura 4, con el recorte del área de estudio, compuesta de 133 zonas: 30 de Ciudad, 13 de Godoy Cruz, 24 de Guaymallén, 10 de Las Heras, 21 de Luján y 35 de Maipú.

Figura 4. Zonificación municipal analizada.

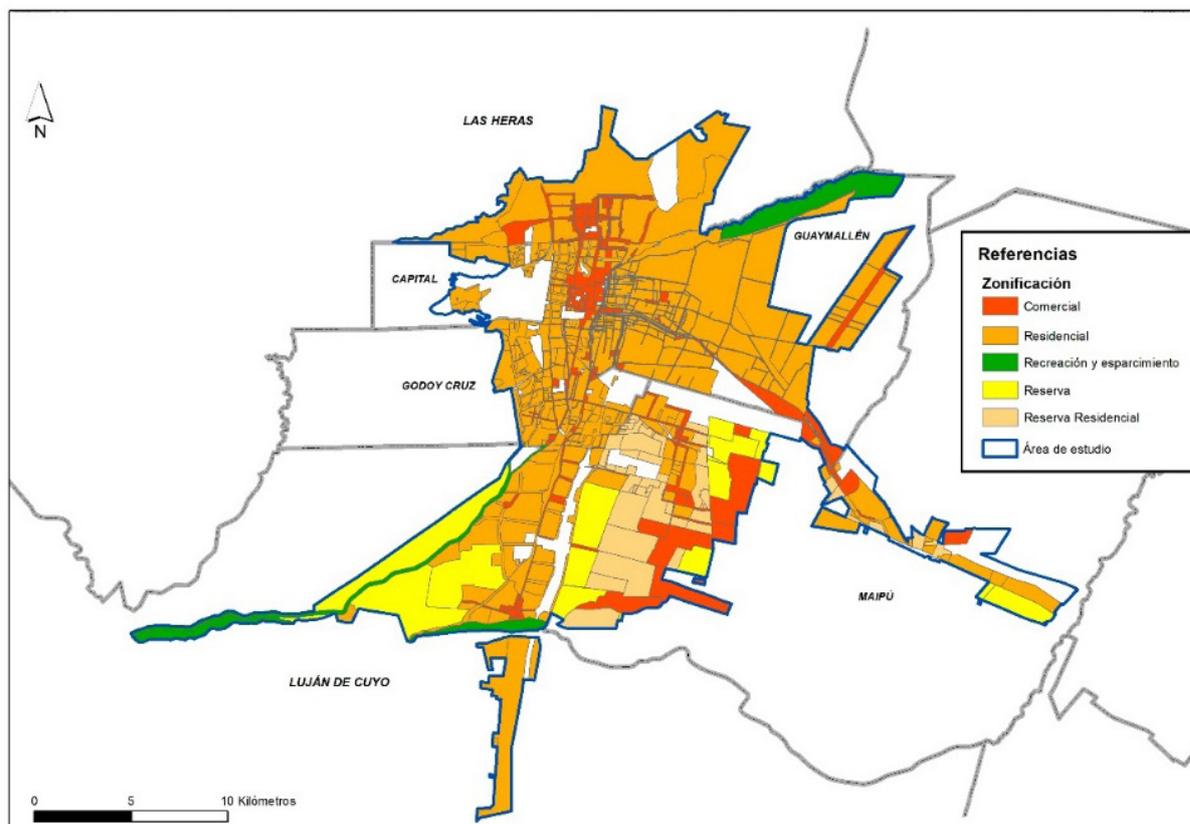


Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal, colaboración cartográfica R. Cohn.

El total de superficie de análisis comprende 39697,21 ha, dividiéndose por municipio de la siguiente manera: 4,90% pertenecen a Ciudad (1944,01 ha), 7,80% a Godoy Cruz (3096,26 ha), 25,68% a Guaymallén (10194,85 ha), 13,15% a Las Heras (5218,21 ha), 24,59% a Luján (9762,06 ha) y 23,89% a Maipú (9481,82 ha). Las zonas analizadas presentan una superficie media de 298,92 ha; una mediana de 139,51 ha; un valor mínimo de 1,07 ha y un máximo de 2529,24 ha.

Una vez identificadas las zonas municipales a analizar se las agrupó según su uso del suelo primario, denominándolas “macrozonas analizadas”, para una mejor visualización cartográfica (figura 5).

Figura 5. Macrozonas analizadas.



Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal, colaboración cartográfica R. Cohn.

Las regulaciones urbano-edilicias no rigen en los seis municipios por igual; existen coincidencias y discrepancias entre las que se regulan en más de un municipio; por lo tanto, se ha elaborado una base de datos estandarizada. La información relevada de indicadores por zona municipal (contemplada dentro del análisis), se sintetiza en la Tabla 2.

En cuanto a parcelas, las dimensiones mínimas en Ciudad y Godoy Cruz se basan en lo regulado por la Ley Provincial de Loteos (4341/1979); lo mismo sucede en algunas zonas de Maipú. En Luján y Maipú, al no regular rangos parcelarios por zona, se tomó como tal a la superficie mínima de parcela; en las zonas analizadas de Maipú donde están permitidos los Agrupamientos de Vivienda, se respetó el rango parcelario propuesto por la Ordenanza respectiva. Es importante mencionar que Agrupamiento de Viviendas es una tipología de vivienda colectiva, como también Edificios en Altura, ambas reguladas por la Ordenanza 4900/2011 de Conjuntos Edilicios y consiste en una regulación paralela a la vigente en la zona por su naturaleza optativa.

Tabla 2. Resumen conceptual de la base unificada para el AMM.

Municipio		CdM	GC	Guay	LH	LdC	Mai
Zonificación							
Densidad poblacional							
Parcela	Superficie mínima (m <sup>2</sup> )						
	lado mínimo (m)						
	Rango (m <sup>2</sup> )						
FOS	mínimo						
	máximo						
	en esquina						
FIS							
FSN							
Retiros	RF (m)						
	RF Torre (m)						
	RL (m)						
	RL Torre (m)						
	RLU Torre (m)						
	RPo (m)						
	RPo Torre (m)						
	RE						
	RE Torre						
	Proporción Torre						
Separación Torre							
Basamento: condición							
FOT	mínimo						
	máximo						
Alturas	fachada						
	basamento						
	máxima (m)						
Conjuntos Edilicios y PH o Condominio							
Contribución Compensatoria	Reducción superficie mínima parcela (m <sup>2</sup> )						
	Reducción lado mínimo parcela (m)						
	Incremento FOS máximo						
	FIS						
	Incremento FOT máximo						
	Reducción RF (m)						
	Reducción RL (m)						
	Reducción RPo (m)						
Incremento Hmáx (m)							
Construcciones Sustentables							
Estándares Mínimos de Sustentabilidad							
Cargo para el Equilibrio Territorial							
Energías Limpias							
Desarrollo Urbano de Bajo Impacto							

Referencias de cobertura por zona:

Prácticamente todas  La mayoría  Algunas  Pocas  Prácticamente ninguna 

Leyenda: Ciudad (CdM), Godoy Cruz (GC), Guaymallén (Guay), Las Heras (LH), Luján (LdC) y Maipú (Mai).

Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal.

Respecto al FOS, no presentan valor en tipología edilicia Perímetro Libre de las zonas analizadas de Las Heras. En las zonas analizadas de Maipú que permiten Agrupamientos de Vivienda, el FOS máx corresponde a lo exigido según la fórmula:  $[1 - (\text{superficie libre} \times \text{unidad habitacional}) / \text{superficie parcela}]$ , al no ser un valor numérico no pudo incluirse en el análisis estadístico. El FIS en Godoy Cruz equivale al Corazón de Manzana. En Maipú en las zonas analizadas que permiten Agrupamientos de Vivienda, el FIS recae a la exigencia: patio que permita circunferencia mínima 3 m de diámetro con el 70% del suelo permeable; además, el FOT mínimo en Maipú concuerda con el valor del Factor de Construcción.

En cuanto al basamento, la condición se refiere a si es obligatorio, optativo o no permitido. Respecto a los retiros se realizó una distinción entre aquellos correspondientes a torres y los que no. En Godoy Cruz, particularmente, los 4 m de retiro posterior exigidos por el corazón de manzana constituyen un RPo. El FSN en Luján corresponde a la Naturalidad Mínima exigida en las zonas del piedemonte.

Las alternativas de Contribución Compensatoria en Luján pueden aplicarse simultáneamente afrontando el costo de cada una. En Ciudad pueden implementarse en simultáneo con las iniciativas de Construcciones Sustentables sin superar el 30%. En Guaymallén las iniciativas de Contribución Compensatoria y Construcciones Sustentables son excluyentes. Finalmente, respecto a otras regulaciones, al carecer de valores numéricos simplificados, sólo se registraron algunas especificaciones (Otero & Arboit, 2021).

Los indicadores enunciados en la metodología no se encuentran presentes en todos los municipios, tampoco rigen para todas las zonas, aún menos en las regulaciones especiales; por ello, se tuvieron en cuenta aquellos comunes en los seis municipios. Debido a la información disponible para los seis municipios, los indicadores comunes contemplados en los marcos regulatorios urbano-edilicios, son: parcela, factor de ocupación del suelo máximo y altura máxima (tabla 2). El rango parcelario condiciona el valor cuantitativo de los indicadores. Así pues, el análisis estadístico de los indicadores urbano-edilicios, vigentes en los marcos regulatorios de los seis municipios del AMM, tomó como base los distintos rangos parcelarios dentro del área de estudio; para luego clasificar grupos en función de estos indicadores claves.

Cada municipio dentro de su zonificación define los indicadores urbano-edilicios en función del uso del suelo y del rango parcelario. Así, una zona puede presentar hasta cuatro opciones de indicadores diferentes dependiendo del tamaño de parcela. Por tanto, la zonificación del área de estudio se subdivide al considerar los rangos parcelarios, resultando en 382 casos después de la subdivisión. Estos casos se distribuyen por municipio de la siguiente manera: Ciudad 79, Godoy Cruz 51, Guaymallén 73, Las Heras 20, Luján 31 y Maipú 128 (tabla 3). Al analizar estadísticamente los rangos parcelarios dentro del área de estudio, en la Tabla 3, se aprecia su regulación individual por parte de cada municipio, evidenciando la falta de consenso al respecto. En la búsqueda de concurrencias se calcularon distintas medidas resúmenes, dentro de los rangos parcelarios se observa que la moda corresponde a las parcelas con superficies mayores a 1000 m<sup>2</sup>, seguidamente de aquellas mayores a 300 m<sup>2</sup>; siendo coincidentes con las modas de cuatro de los seis municipios.

Tabla 3. Rangos de parcelas por municipio.

Rango Parcelario	CdM	GC	Guay	LH	LdC	Mai	Total	%
(750, 1000)	0	0	0	0	1	0	1	0,26
(200, 300)	0	0	0	0	0	31	31	8,12
(300, 500)	0	0	0	0	1	0	1	0,26
(300, 600)	0	0	4	0	0	0	4	1,05
(400, 1000)	11	0	11	0	0	0	22	5,76
(500, 1250)	10	0	0	0	0	0	10	2,62
(500, 650)	0	0	0	0	1	0	1	0,26

Rango Parcelario	CdM	GC	Guay	LH	LdC	Mai	Total	%
(500, 1000)	0	17	6	0	0	0	23	6,02
(600, 1000)	4	0	4	0	0	0	8	2,09
(650, 750)	0	0	0	0	1	0	1	0,26
<2000	0	0	0	0	1	0	1	0,26
<350	1	0	0	1	0	0	2	0,52
<900	1	0	0	1	0	0	2	0,52
≤400	11	0	11	0	0	0	22	5,76
≤5000	0	0	0	4	0	0	4	1,05
≤200	0	0	0	0	0	31	31	8,12
≤2000	0	0	0	4	0	0	4	1,05
≤300	0	0	4	0	1	0	5	1,31
≤500	10	17	6	0	0	0	33	8,64
≤600	4	0	0	0	0	0	4	1,05
≤750	0	0	0	0	1	0	1	0,26
≤1000	0	0	3	0	0	0	3	0,79
>1000	15	17	24	0	2	0	58	15,18
>1250	10	0	0	0	0	0	10	2,62
>2000	0	0	0	4	0	0	4	1,05
>250	0	0	0	0	0	3	3	0,79
>300	0	0	0	0	5	41	46	12,04
>500	1	0	0	0	7	4	12	3,14
>5000	0	0	0	5	0	0	5	1,31
>750	0	0	0	0	2	1	3	0,79
≥100	0	0	0	0	0	8	8	2,09
≥2000	0	0	0	0	4	0	4	1,05
≥900	1	0	0	1	0	0	2	0,52
>200	0	0	0	0	4	9	13	3,4
							382	

Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal.

En la Tabla 4, a continuación, se visualizan los valores obtenidos del análisis comparativo de los indicadores comunes a los seis municipios (FOS máx y Hmáx) por rango parcelario, en las 133 zonas contempladas dentro del área de estudio.

Tabla 4. Indicadores FOS máx y Hmáx por rango parcelario.

Rango Parcelario	FOS máx					Hmáx				
	n	Media	Mín	Máx	Mediana	n	Media	Mín	Máx	Mediana
(750, 1000)	1	0,35	0,35	0,35	0,35	1	8	8	8	8
(200, 300)						31	9	9	9	9
(300, 500)	1	0,6	0,6	0,6	0,6	1	8	8	8	8
(300, 600)	4	0,68	0,6	0,75	0,68	4	9	9	9	9

(400, 1000)	22	0,64	0,5	0,75	0,63	20	19,9	9	30	25
(500, 1250)	10	0,7	0,45	0,8	0,7	10	40,6	33	48	41
(500, 650)	1	0,45	0,45	0,45	0,45	1	8	8	8	8
(500, 1000)	23	0,68	0,5	0,75	0,7	17	19,76	6	45	18
(600, 1000)	8	0,55	0,5	0,7	0,5	8	17,5	9	26	17,5
(650, 750)	1	0,45	0,45	0,45	0,45	1	8	8	8	8
<2000	1	0,45	0,45	0,45	0,45	1	8	8	8	8
<350	2	0,55	0,5	0,6	0,55	2	8,25	8	8,5	8,25
<900	2	0,55	0,5	0,6	0,55	2	8,25	8	8,5	8,25
≤400	22	0,7	0,6	0,8	0,7	20	19	9	30	21,5
≤5000	4	0,49	0,35	0,6	0,5	4	8	8	8	8
≤200						31	9	9	9	9
≤2000	4	0,6	0,6	0,6	0,6	4	12	9	15	12
≤300	5	0,69	0,6	0,75	0,75	5	8,8	8	9	9
≤500	33	0,73	0,5	0,85	0,75	27	22,41	6	45	25
≤600	4	0,6	0,6	0,6	0,6	4	21	21	21	21
≤750	1	0,45	0,45	0,45	0,45	1	8	8	8	8
≤1000	3	0,4	0,4	0,4	0,4	3	10	6	18	6
>1000	58	0,59	0,35	0,8	0,6	50	19,7	6	45	18
>1250	10	0,6	0,4	0,7	0,6	10	62,3	48	71	59
>2000						4	36	36	36	36
>250	3	0,38	0,38	0,38	0,38	3	8	8	8	8
>300	15	0,67	0,5	0,9	0,6	46	9,46	8	21	9
>500	12	0,52	0,35	0,8	0,48	12	9,88	8	21	8
>5000						5	36	36	36	36
>750	3	0,37	0,35	0,4	0,35	3	9	8	11	8
≥100	7	0,81	0,8	0,9	0,8	8	11	11	11	11
≥2000	4	0,36	0,3	0,45	0,35	4	11,25	8	15	11
≥900	2	0,55	0,5	0,6	0,55	2	8,25	8	8,5	8,25
>200	13	0,73	0,5	0,9	0,8	13	13,62	8	21	11
	279					358				

Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal.

Se aprecian rangos parcelarios dentro de la zonificación municipal sin valores para FOS máx, aun tomando aquellos comunes en los seis municipios. En general, se advierten valores promedio similares a las medianas para ambos indicadores. Usualmente, dentro de la regulación, el valor de FOS máx más alto se regula para parcelas de menor superficie, sucediendo lo contrario para superficies parcelarias mayores; como por ejemplo en la zona Centralización 1 de Ciudad para parcelas  $\leq 500 \text{ m}^2$  corresponde un FOS máx de 0,85 mientras que para parcelas  $\geq 1251 \text{ m}^2$  es de 0,70. Al calcular la correlación entre FOS máx y Hmáx, los valores de FOS máx  $\geq 0,60$  no resultan ser significativo con Hmáx ( $r^8 = -0,01$ ); lo mismo sucede con los valores de FOS máx  $\geq 0,65$  ( $r = -0,16$ ),  $\geq 0,70$  ( $r = -0,17$ ) y  $\geq 0,75$  ( $r = -0,08$ ).

8. Coeficiente de relación "r". Determina la correlación entre dos variables, es un valor sin unidades entre 1 y -1, cuanto más se aproxima a 1 más fuerte es la relación lineal, cuando es 0 no hay relación. El 1 indica relación directa (positiva), el -1 relación inversa (cuando una variable crece la otra decrece).

En continuidad con el objetivo propuesto se emplearon árboles de decisión para clasificar el rango de parcela en función de los valores FOS máx y Hmáx.

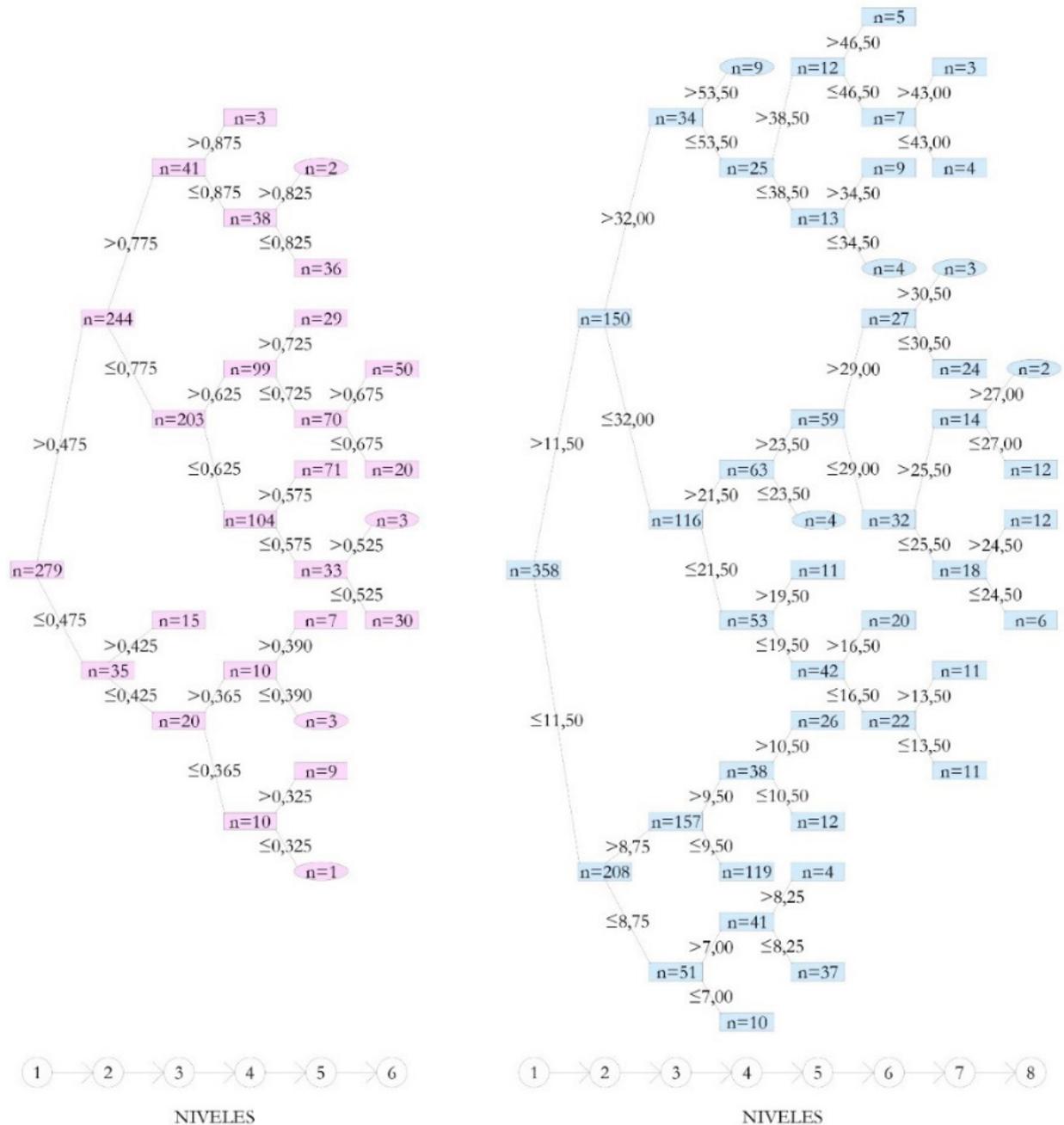
*Clasificación de rangos parcelarios en función de FOS máx.* La Figura 6 (izquierda) presenta un nodo raíz con ramificaciones. El número total de elementos de la muestra contenido en el nodo raíz se divide en subconjuntos o grupos (n representa la cantidad de regulaciones de cada muestra/grupo). La raíz principal del árbol FOS máx, compuesta por 279 elementos, está particionada<sup>9</sup> en dos nodos en el siguiente nivel<sup>10</sup> llamados nodos hijos: abajo ( $\leq 0,475$ ) y arriba ( $> 0,475$ ), con 35 elementos hacia abajo y 244 hacia arriba, un 12,5% de normativa contempla un FOS máx  $\leq 0,475$  y un 87,5% regula FOS máx  $> 0,475$ . Cada uno de los nodos hijos se divide nuevamente en dos nodos en el siguiente nivel y así sucesivamente. En el cuarto nivel se pueden observar los extremos hacia arriba y abajo del árbol  $> 0,875$  ( $n = 3$ , correspondiente al área comercial en Maipú y Luján) y  $\leq 0,365$  ( $n = 10$ , corresponden a regulaciones de áreas: residencial, recreación y reserva; mayoritariamente de Luján y también de Las Heras y Ciudad). En el quinto nivel de nodos el mayor número de datos ( $n = 71$ , pertenecientes a todos los municipios) se observa en FOS máx  $> 0,575$  (entre valores de 0,575 y 0,625) regulando entre 38% y 42% libre de edificación del terreno. El árbol tiene 6 niveles de nodos. La finalidad del particionamiento es la obtención de la mayor homogeneidad en los nodos terminales y una medida cuantitativa de la homogeneidad es la noción de impureza del nodo dada por el número de sujetos que cumplen la característica en el nodo/el número total de sujetos en el nodo. En este último nivel de nodos existen 4 nodos terminales de los cuales, el de mayor representatividad es  $> 0,675$  ( $n = 50$ , entre valores de 0,675 y 0,725) representando entre 33% y 28% del terreno libre de edificación.

*Clasificación de los rangos parcelarios en función de Hmáx.* Los resultados estadísticos para el AMM muestran que los valores de Hmáx normados por los seis municipios se ramifican hacia dos nodos (figura 6 derecha):  $\leq 11,50$  ( $n = 208$ ) y  $> 11,50$  ( $n = 150$ ); los 11,50 m equivalen aproximadamente a 4 niveles de edificación. El 58,1% de la normativa se orienta a edificaciones  $\leq 11,50$  m, lo que equivale a baja altura edilicia. Este árbol presenta ocho niveles. En el tercer nivel el nodo con mayor representatividad ( $n = 157$ ) regula alturas edilicias entre 8,75 y 11,50 m (3 y 4 niveles) correspondiendo al 44% de la regulación. A partir del cuarto nivel del árbol se pueden observar dos nodos terminales ubicados en los extremos, abajo ( $\leq 7$ , Guaymallén) y arriba ( $> 53,50$ , de Ciudad), este último corresponde al valor máximo y, además, constituye un nodo puro, entendiéndose como aquel donde todas las normativas caen en una misma categoría de rango parcelario, en este caso particular en parcelas mayores a 1250 m<sup>2</sup>. En el último nivel, existen 4 nodos terminales de los cuales los de mayor representatividad tienen 12 elementos cada uno, siendo Hmáx  $> 24,50$  m y  $\leq 27$  m; regulando entre 8 y 9 niveles edilicios.

9. Criterio calculado mediante la impureza Gini para generar el árbol de clasificación.

10. Se entiende por nivel o niveles a la cantidad máxima de decisiones (desde el nodo raíz a uno terminal) + 1.

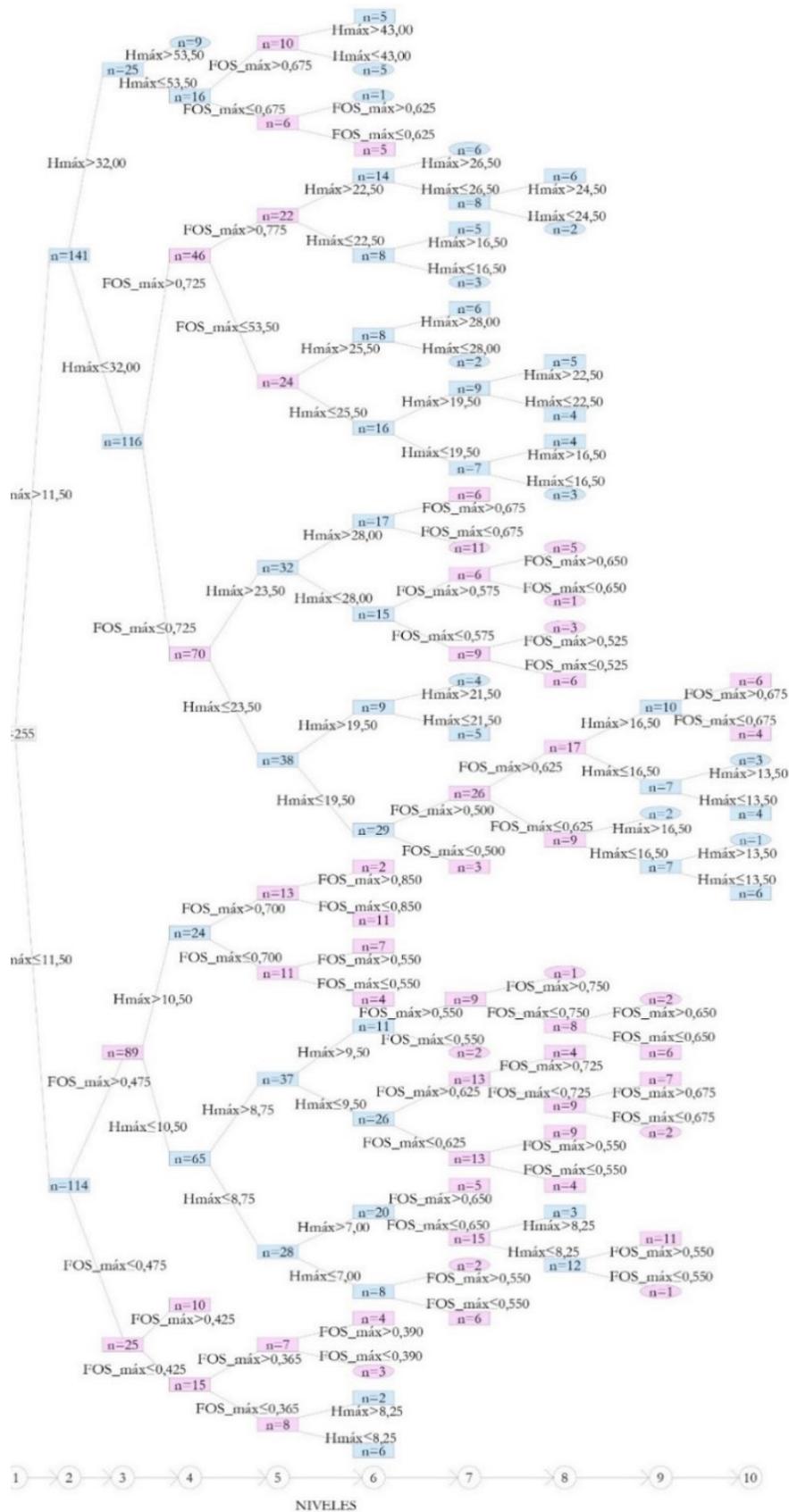
Figura 6. Árboles de decisión para FOS máx (izquierda) y Hmáx (derecha).



Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal.

En la Figura 7 se muestra el árbol que clasifica a los rangos parcelarios según las dos variables independientes de manera conjunta.

Figura 7. Árbol de decisión conjunto.



Fuente: Elaboración propia, en base a normativa municipal. Nota: Decisión de FOS máx en color celeste y de Hmáx en color lila.

*Clasificación de los rangos parcelarios en función de FOS máx y Hmáx.* En la Figura 7 el árbol presenta una raíz con 255 elementos distribuidos en diez niveles de nodos. La primera subdivisión del conjunto, con 55,29% de leve inclinación hacia arriba, propone al indicador Hmáx como nodo decisión con alturas menores o iguales (abajo) y mayores (arriba) a 11,50 m. En la decisión del nodo dos aparece el indicador FOS máx, en la ramificación inferior, y nuevamente Hmáx, en la superior. Los primeros nodos terminales se muestran en el cuarto nivel, el del extremo arriba (Hmáx > 53,50 m) constituye un terminal puro para un rango parcelario mayor a 1250 m<sup>2</sup>. El nivel con mayor cantidad de nodos terminales es el octavo (15), mientras el séptimo presenta el mayor número de casos de nodos puros (7). Este árbol presenta una gran cantidad de nodos puros (23) para distintos rangos parcelarios, cuya ramificación con más casos es la de arriba (16). La correlación entre FOS máx y Hmáx resulta ser una correlación muy baja  $r = 0,170$ . Es importante mencionar que la probabilidad más alta se encuentra en línea con los análisis individuales de los indicadores y recae en parcelas mayores a 1000 m<sup>2</sup> en este caso con un valor del 20%; siendo coincidente con la moda en la Tabla 3.

#### 4. Discusión

La planificación territorial, es una disciplina fundamental de la geografía que busca ordenar y gestionar el espacio con desafíos urbanos asociados a la expansión y a los consumos energéticos. Los sectores científicos y los liderazgos de las sociedades más avanzadas han llegado a un consenso global acerca de la necesidad de alcanzar la sostenibilidad en mediano plazo. El uso de la energía en el ambiente construido es, sin lugar a dudas, uno de los aspectos esenciales que deben abordar planificadores y diseñadores en el camino hacia ese objetivo ambicioso y elusivo. Por ello, el estudio de normativas urbano-edilicias es fundamental para encauzar el desarrollo de ciudades sostenibles. Mucho se ha discutido acerca de la interrelación entre consumo de energía y morfología urbana. El consumo de la energía en ciudades puede dividirse en dos sectores principales: transporte y edificación. El primero refleja la influencia de la forma urbana en la escala “macro”, sus funciones internas y las conexiones regionales; el segundo depende principalmente de las condiciones de la escala “micro”, como la configuración de vecindarios, espacios urbanos, morfología y tecnología de los edificios. Mientras que los avances en tecnologías edilicias energéticamente eficientes ofrecen una contribución significativa y bien conocida en este sentido, la morfología urbana presenta una más limitante y compleja problemática, donde las mejores alternativas, física y legalmente viables deben ser claramente definidas (Arboit, Mesa, & de Rosa, 2005).

Dentro del paradigma de sostenibilidad urbana, la ciudad compacta está ampliamente respaldada (Urios, Colomer & Portalés, 2020), aunque se pueden mencionar resultados divergentes desde diversas teorías y modelos confrontados (Bibri, 2021; Rueda, 2019). Los resultados obtenidos mediante el análisis de normativas respecto a la congruencia de los indicadores con los objetivos PPOT posibilitan un análisis en estas dos escalas, macro y micro, para que sean acordes con el objetivo de una ciudad compacta y sostenible.

En la macro escala, la forma y expansión urbana influenciadas por los usos del suelo permitidos, repercute en los consumos relacionados al transporte y la edificación. Así pues, en la cartografía se observa que el 9,96% de la superficie metropolitana corresponden a zonas industriales, educativa, espacios verdes, otras (figura 2); el 51,75% de la superficie es residencial y el restante 38,29% corresponden a otros usos (centrales y comerciales, reserva residencial, reservas, otras) pero que

permiten usos residenciales, alcanzando al 90,04% del AMM. Esto propicia la expansión urbana con nuevas construcciones residenciales en la periferia. La base de datos cartográfica actualizada y unificada, permite integrar la información disponible sobre usos de suelo (considerando aquellos relevantes para la movilidad: educacionales, comercios, administrativos, otros), que constituyen los principales núcleos atractores y explican la “generación y atracción de viajes” (importante para describir la movilidad). En este contexto, se aborda el concepto de ciudad compacta (relacionada a un transporte público eficiente y modos activos) como una posible solución para mitigar la expansión urbana (asociada al automóvil) y promover la sostenibilidad.

En la microescala los resultados de los indicadores comunes FOS máx y Hmáx en los 6 municipios muestran que la normativa es predominantemente de baja ocupación del suelo (73% de la normativa regula entre el 52,5% y 22,5% de la parcela libre de construcción) y baja altura edilicia (58,1% de la normativa regula edificaciones  $\leq 11,50$  m); lo que se asocia a un modelo de ciudad difusa. Trabajos previos, en el AMM (Mutani, Fontanive & Arboit, 2018), sobre consumo energético de gas (kWh/m<sup>2</sup>) permitieron determinar un menor consumo para la zona central de la ciudad (entornos de mayor compacidad) y un aumento hacia zonas periféricas (entornos dispersos -baja ocupación del suelo y baja altura edilicia-). Por lo tanto, puede afirmarse que los entornos residenciales de alta densidad edilicia son más eficientes energéticamente que aquellos con viviendas unifamiliares independientes (Arboit, Maglione & Otero, 2022).

Estos resultados son consistentes con la discusión sobre la importancia de alinear los marcos regulatorios con los objetivos de planificación sostenible. La identificación de discrepancias con los objetivos del PPOT destaca la necesidad de revisar y ajustar las normativas urbano-edilicias de los municipios.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de la normativa utilizando árboles de decisión demuestran la efectividad de los métodos estadísticos en las problemáticas urbanas complejas. La aplicación de árboles de decisión ha permitido clasificar indicadores relevantes para la planificación urbana sostenible.

Establecer una relación clara entre los marcos regulatorios y la eficiencia energética, resulta relevante para el diseño e implementación de regulaciones con desafíos energéticos. La metodología de análisis de los marcos regulatorios urbano-edilicios aquí desarrollada se puede extrapolar a otras áreas metropolitanas de América Latina, ya que se comparten los mismos desafíos en cuanto a la gestión metropolitana y la planificación urbana debido a nuestros orígenes, desarrollo y realidades compartidas (Silva, 2022; Ortiz-Sánchez, Fernández-Salas & Devoto-Ykeho, 2020). Además, los resultados y las recomendaciones derivadas de este estudio podrían generar interés en investigadores, profesionales del sector y responsables de la toma de decisiones en otros lugares, fomentando así la posibilidad de replicar y adaptar este enfoque metodológico en diferentes contextos urbanos y edilicios.

A continuación, se enuncian puntos en común (fragmentación administrativa, desarticulación normativa y falta de acceso a la información) con otras áreas metropolitanas, como es el caso del estudio sobre derecho y planificación urbana (Ortiz-Sánchez, Fernández-Salas & Devoto-Ykeho, 2020). Estas coincidencias, se han identificado en las normativas relacionadas a zonificación de usos del suelo e indicadores urbano-edilicios dentro del diagnóstico de los marcos regulatorios del AMM:

*Fragmentación administrativa.* Si bien, desde la aprobación de los PMOTs, las normativas reflejan algunos aspectos comunes en cuanto a la clasificación territorial, la ocupación del suelo y la zonificación; cada municipio es autónomo y gestiona su territorio individualmente. Así se evidencian, primero, distintos criterios en las normativas edilicias y urbanas y, segundo, diversos ritmos y volúmenes de actualizaciones de estas. El AMM es una unidad territorial que debe funcionar como tal, debiendo reflejarse esa lectura en las normativas al considerar aspectos morfológicos comunes a todos los municipios dentro de sus indicadores, esto no significa regular sus territorios de forma equitativa, con similares valores de indicadores, sino estimarlos respetando sus particularidades.

*Desarticulación normativa.* Son notables las actualizaciones en los marcos regulatorios, no obstante, existen municipios funcionando con normas desactualizadas, sin integración y con dificultad para su acceso, como es el caso de Maipú. Es importante reforzar la lectura de unidad territorial desde los marcos regulatorios urbano-edilicios, donde las actualizaciones, modificaciones y derogaciones parciales de normativas no desvirtúen tal lectura. Para ello, es necesaria la sistematización de las regulaciones en un documento único. Y a pesar de funcionar así en algunos municipios, las estructuras entre ellos son distintas. A partir de este trabajo se propone establecer una estructura base para los seis municipios accesible mediante plataformas digitales. La sistematización no solo beneficiará a los ciudadanos, técnicos y profesionales, sino también a los funcionarios de planificación. Procesos como la aprobación de permisos de construcción o cambios de zonificación se verán favorecidos al contar con normativas sistematizadas para diversos profesionales. Lo mismo ocurrirá con las actualizaciones del PPOT y PMOTs en el futuro.

*Acceso a la información.* Durante las etapas más rígidas de la pandemia se crearon y/o actualizaron los digestos municipales digitales, también se crearon mapas digitales (observatorios territoriales); constituyendo un avance incipiente a la accesibilidad de datos quedando un gran camino por recorrer. Cabe mencionar que las normativas regulatorias claras y ejecutables, sin complicaciones de accesibilidad y gestión, garantizan la aplicabilidad, es decir se tornan efectivas evitando así nuevas edificaciones o refuncionalizaciones realizadas sin permiso de construcción (Cristino et al., 2021).

## 5. Conclusiones

Este trabajo realizó un relevamiento y análisis de los marcos regulatorios municipales vigentes del AMM, con el cual logró compilar en una base de datos unificada la reglamentación urbano-edilicia, elaborar cartografía ajustada y unificada, presentar la situación actual de los marcos regulatorios urbano-edilicios e identificar la congruencia de los indicadores con el objetivo de una ciudad compacta y sostenible planteado por el PPOT.

La zonificación municipal delimita sectores territoriales prohibiendo, restringiendo o permitiendo usos del suelo, y en función de estas actividades define indicadores urbano-edilicios. La zonificación de usos del suelo del AMM (figuras 2, 4 y 5) muestra amplia diversidad y expansión de zonas residenciales, intra e intermunicipales, seguidas de las comerciales. La visualización de usos predominantes del suelo resulta útil para proyectar infraestructura, servicios y equipamientos, como para controlar la expansión urbana desestimando la conversión del suelo del piedemonte y agrícola para usos residenciales. Cada municipio participa de manera diferente dentro del AMM, el que mayor superficie territorial aporta es Guaymallén, seguido de Luján y Maipú, no obstante, Ciudad es el que menos superficie presenta es uno de los que mayor cantidad de zonas regula; por

tanto, es necesario un trabajo municipal conjunto para proyectar la zonificación de usos del suelo en la unidad territorial (AMM).

En los resultados se evidencia la carencia de consenso en la regulación de los rangos parcelarios en el AMM; donde Ciudad, Godoy Cruz y Guaymallén establecen un rango parcelario y el resto trabaja con las dimensiones mínimas de parcelas (único rango parcelario). Es importante mencionar que los indicadores urbano-edilicios se determinan en función al tamaño de parcela. Siguiendo la idea del AMM como unidad territorial, sería importante definir un criterio acordado intermunicipal respecto a las dimensiones mínimas de parcelas y rangos parcelarios, donde luego cada municipio opte por el rango y sus correspondientes indicadores más acordes a su realidad territorial.

En cuanto a los indicadores analizados en Ciudad, Godoy Cruz, Las Heras y Luján se subordinan a la zonificación municipal y, como ya se enunció, a los rangos parcelarios en aquellos municipios donde se encuentran regulados. En Guaymallén están sujetos a una escala de edificabilidad, lo que permite encontrar indicadores distintos en una misma zona; en este sentido, la zonificación regula los usos permitidos del suelo y la intensidad de ese uso la escala de edificabilidad. En Maipú también se presentan indicadores distintos para una misma zona, donde en ocasiones son sectores pertenecientes a diferentes distritos, pero en otras no; además, se observan valores de indicadores similares en zonas urbanas, de interfaz y algunas rurales, estimulando el consumo de suelo para uso urbano en sectores agrícolas. Existen indicadores con mayor relevancia en unos municipios respecto de otros, siendo un reflejo de sus diversas realidades como de su autonomía; este es el caso de dimensiones mínimas de parcelas o de los indicadores referidos a la tipología edilicia torre. Los indicadores FOS y FOT, como patrón general en todos los municipios, favorecen la densificación de zonas comerciales.

Los indicadores relevados no rigen en todas las zonas o municipios. El análisis comparativo se realizó a los indicadores comunes en los seis municipios, FOS máx y Hmáx, cuya base resultó ser el rango parcelario por condicionar el valor cuantitativo de estos. Respecto del FOS máx, en los resultados se advierte una mayor intensidad de uso del suelo en parcelas más pequeñas respecto a aquellas con superficies mayores. Esta situación plantea una heterogeneidad edilicia por zona en municipios que regulan sus indicadores según un rango parcelario y una homogeneidad edilicia en aquellos cuyo rango parcelario único corresponde a las dimensiones mínimas de parcelas (Las Heras<sup>11</sup>, Luján y Maipú). En cuanto a la Hmáx en ciertas parcelas con mayores superficies corresponden alturas mayores. Esta condición sumada a la anterior puede interpretarse como una intencionalidad edilicia aislada en parcelas de mayor superficie y una compacta en parcelas menores. Reafirmandose la heterogeneidad edilicia por zona.

En el análisis de árboles de decisión se visualiza un 73% de la normativa regulando ocupaciones del suelo con un FOS máx entre 0,475 y 0,775, lo que equivale a 52,5% y 22,5% de la parcela libre de construcción respectivamente; y alturas edilicias medias y bajas, con un gran desarrollo hacia la última; por tanto, se puede afirmar que los marcos regulatorios del AMM norman mayoritariamente uso del suelo extensivo con baja altura edilicia. No obstante, es posible incrementar la superficie cubierta a cambio de una contribución económica destinada a obras públicas en cuatro municipios: Ciudad, Godoy Cruz, Guaymallén y Luján. Cada municipio según diversos criterios ha establecido la posibilidad de modificar uno o varios indicadores, en qué porcentajes se pueden

11. Si bien, Las Heras presenta rangos parcelarios, estos manejan grandes superficies (Centralización  $\geq 2001 \text{ m}^2$  y Residencial  $\geq 5001 \text{ m}^2$ ) entendiéndose la intencionalidad de homogeneidad edilicia.

modificar, en qué zonas o sectores del municipio aplica, a qué obras le destinará los fondos, etc. En este sentido, algunos municipios se muestran más rigurosos en cuanto a la aplicación de la reglamentación, permitiéndola en acotados sectores y limitando las posibilidades de modificación de indicadores (Ejemplo: Godoy Cruz permite Mayor Aprovechamiento del Suelo en dos sectores, Guaymallén permite Incremento Potencial Edificable solo en el área urbana y no permite en construcciones sustentables); otros municipios resultan más flexibles, en cuanto a la cantidad de opciones para modificar indicadores y su disponibilidad de aplicación en distintas zonas (Ejemplo: en Ciudad rige Recurso de Contribución Compensatoria para todo el municipio, en Luján rige Mayor Aprovechamiento del Suelo para varias zonas y diversas opciones de modificación de indicadores). Adicionalmente, en Ciudad, el incremento de superficie se propone como incentivo para construcciones sustentables a gran escala. Es imprescindible que el beneficio obtenido por ambos intervinientes (municipio y propietario), al modificar los indicadores, no restrinja posibilidades energéticas pasivas a su entorno cercano, ni altere considerablemente la fisonomía urbana modificando las características particulares de cada zona (Otero & Arboit, 2021; Arboit, Maglione & Otero, 2022).

En la actualidad, existe una variedad de medidas, estrategias o indicadores vinculados a la sostenibilidad urbana dentro de los marcos regulatorios vigentes, destacándose Ciudad como el único municipio con requerimientos mínimos de manera obligatoria (tabla 2). La mayoría de las medidas mencionadas son aplicables a desarrollos habitacionales nuevos, restando estrategias dirigidas a renovación edilicia de la trama consolidada. Muchas estrategias se aplican a sectores reducidos cuando se observa la posibilidad de aplicación en todo el municipio con sus correspondientes ajustes, como: las pautas de diseño urbano de bajo impacto que sólo rigen para el piedemonte de Luján o el incentivo para edificaciones sustentables el cual sólo rige para el área urbana de Guaymallén.

Este trabajo resalta la necesidad del seguimiento periódico de indicadores y estrategias implementadas en los marcos regulatorios municipales para ajustar, crear o desestimar instrumentos legales y económicos según los objetivos sostenibles planteados; siendo de gran utilidad todas las herramientas que agilicen la gestión municipal. Los árboles de decisión podrían identificar los nodos presentes en todos los municipios para definir criterios comunes aplicables promoviendo la coherencia y alineación normativa. Es importante analizar las normas que se aplican a los nodos finales, como a los cortes anteriores, para impulsar la unificación de criterios. Como continuación de este trabajo se espera, a futuro, profundizar con el análisis de algunos indicadores específicos en el caso de estudio e indagar sobre las correlaciones entre dichos indicadores de la morfología urbano-edilicia y los consumos energéticos. A fin de determinar estrategias de intervención hacia la consecución del objetivo del PPOT de configurar una ciudad compacta y sostenible.

A modo de resumen, en la macro escala, la distribución del uso del suelo refleja una estructura urbana que permite una expansión residencial, lo cual no es congruente con el objetivo de una ciudad compacta y se asocia a mayores consumos energéticos relacionados al transporte. A microescala, las normativas relacionadas con los indicadores comunes FOS máx y Hmáx en los 6 municipios favorecen un modelo de ciudad difusa, lo que resulta en mayores consumos energéticos relacionados con la edificación. En relación con los rangos parcelarios, la heterogeneidad de criterios comunes es el principal desafío a resolver a futuro, mientras que la aplicación de árboles de decisión ha permitido clasificar indicadores comunes en el AMM para una planificación urbana sostenible. Finalmente, se subraya la necesidad de revisar y ajustar las normativas urbano-

edilicias para alinearlas mejor con los objetivos del PPOT e implementar un sistema normativo integrado para los municipios que facilite la planificación coordinada y sostenible.

## Bibliografía

- Arboit, M., Maglione, D. & Otero, D. (2022). Determinación de variables edilicias presentes en morfologías del Área Metropolitana de Mendoza para la eficiencia energética. *Revista de Urbanismo*, (47), 136-160. doi: 10.5354/0717-5051.2022.65608
- Arboit, M., Mesa, N. & de Rosa, C. (2005). Potencial energético de la ganancia solar directa en medios urbanos consolidados de zonas áridas andinas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (9), 73-78. Recuperado de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/82338>
- Asarpota, K. & Nadin, V. (2020). Energy Strategies, the Urban Dimension, and Spatial Planning. *Energies*, 13 (14), 3642. doi: 10.3390/en13143642
- Basso, M., Arboit, M., Mesa, A. & de Rosa, C. (2013). Desarrollo e implementación de indicadores morfológicos para ser incorporados al código urbano y de edificación del municipio de Godoy Cruz, en el área metropolitana de Mendoza. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 31, 59-66. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/8789>
- Berlanga-Silvente, V., Rubio-Hurtado, M. J. & Vilà-Baños, R. (2013). Cómo aplicar árboles de decisión en SPSS. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 6 (1), 65-79. doi: 10.1344/reire2013.6.1615
- Bernasconi, G. (2021). *Cambios de la normativa urbanística en C.A.B.A.: Impacto en el producto arquitectónico residencial* (Tesis de Maestría). Universidad de Belgrano: Buenos Aires. Recuperado de <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/9296>
- Bibri, S. (2021). Data-driven smart sustainable cities of the future: new conceptions of and approaches to the spatial scaling of urban form. *Future Cities and Environment*, 7 (1):4, 1-15. doi: 10.5334/fce.120
- Colsaet, A., Laurans, Y. & Levrel, H. (2018). What drives land take and urban land expansion? A systematic review. *Land Use Policy*, 79, 339-349. doi: 10.1016/j.landusepol.2018.08.017
- Cristino, T., Faria-Neto, A., Wurtz, F. & Delinchant, B. (2021). Barriers to the adoption of energy-efficient technologies in the building sector: A survey of Brazil. *Energy and Buildings*, 252. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111452
- Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas. (2021). *Municipios en Números*. Recuperado de <https://deie.mendoza.gov.ar/#/>
- Dirección General de Catastro (s.f.). Recuperado de <https://www.atm.mendoza.gov.ar/portalatm/zoneTop/catastro/catastro.jsp>
- Fernández, M., Gentili, J. & Campo, A. (2022). Solar access: Review of the effective legal framework for an average argentine city. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156. doi: 10.1016/j.rser.2021.112008
- Fernández-Casal, R., Costa-Bouzas, J. & Oviedo-de la Fuente, M. (2021). *Aprendizaje Estadístico*. Recuperado de [https://rubencasal.github.io/aprendizaje\\_estadistico](https://rubencasal.github.io/aprendizaje_estadistico)
- Gómez-Piovano, J. & Mesa, A. (2013). Estudio de las implicancias de aplicación de valores de referencia para indicadores urbanos desarrollados en Europa en ciudades de América Latina, y elaboración de una metodología de cálculo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 17. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/142423>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Censo nacional de población, hogares y viviendas 2022: resultados provisionales*. Recuperado de [https://www.censo.gob.ar/index.php/datos\\_provisionales/](https://www.censo.gob.ar/index.php/datos_provisionales/)
- Koumetio-Tekouabou, S., Diop, E., Azmi, R., Jaligot, R. & Chenal, J. (2022). Reviewing the application of machine learning methods to model urban form indicators in planning decision support systems: Potential, issues and challenges. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34, 5943-5967. doi: 10.1016/j.jksuci.2021.08.007
- Legislatura Mendoza (s.f.). Recuperado de <https://www.legislaturamendoza.gov.ar/>
- Molina, G., Arboit, M., Maglione, D., Sedevich, A. & Mutani, G. (2020). Estudio de expansión urbana, crecimiento poblacional, consumos energéticos e índices de vegetación en el Área Metropolitana de Mendoza. *AREA, Agenda de Reflexión en Arquitectura, Diseño y Urbanismo*, 26 (1), 18. Recuperado de [https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2601/2601\\_molina\\_et-al.pdf](https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2601/2601_molina_et-al.pdf)

- Mutani, G., Fontanive, M. & Arboit, M. (2018). Energyuse modelling for residential buildings in the metropolitan area of Gran Mendoza (AR). *Italian Journal of Engineering Science: Tecnica Italiana*, 61 (2), 74-82. Recuperado de [http://iieta.org/sites/default/files/Journals/TI-IJES/61+1.02\\_04.pdf](http://iieta.org/sites/default/files/Journals/TI-IJES/61+1.02_04.pdf)
- Nosratabadi, S., Mosavi, A., Keivani, R., Ardabili, S. & Aram, F. (2020). State of the Art Survey of Deep Learning and Machine Learning Models for Smart Cities and Urban Sustainability. doi: 10.31219/osf.io/gmuzk.
- Novan, K., Smith, A. & Zhou, T. (2020). Residential Building Codes Do Save Energy: Evidence from Hourly Smart-Meter Data. *The Review of Economics and Statistics* 2022, 104 (3), 483-500. doi: 10.1162/rest\_a\_00967
- Organización de las Naciones Unidas (s.f.). Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático. En *Acción por el clima*. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=Las%20ciudades%20son%20uno%20de,la%20superficie%20de%20la%20Tierra>.
- Ortiz-Sánchez, I., Fernández-Salas, J. & Devoto-Ykeho, A. (2020). Derecho y Planificación Urbana. Problemas actuales de la planificación de Lima Metropolitana. *IUS ET VERITAS*, (61), 246-262. doi: 10.18800/iusetveritas.202002.015
- Otero, D. & Arboit, M. (2019). Análisis de las normativas vigentes urbano-edilicias para la incorporación de estrategias de eficiencia energética en el código de edificación y ordenamiento territorial del municipio de Guaymallén, Mendoza, Argentina. *Revista TECYT*, (5), 27-34. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/tecyt/article/view/25403/28483>
- Otero, D., Cohn, R. & Arboit, M. (2019). *Estudio de normativas urbano-edilicias para la eficiencia energética. Godoy Cruz, Mendoza, Argentina* (105-116). Actas del Congreso. III ISUF-H Congreso Internacional. Ciudad Compacta versus Ciudad Difusa. Guadalajara. México. doi: 10.4995/ISUFh2019.2019.9958
- Otero, D., Arboit, M. & Cohn, R. (2020). Indagación sobre código de edificación y ordenanzas urbano-edilicias en áreas urbanas y urbano-rurales, Maipú, Mendoza. *Revista Cardinalis*, 8 (15), 403-440. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/cardi/article/view/31777>
- Otero, D. & Arboit, M. (2021). Usos del suelo y variables edilicias en los marcos regulatorios vigentes de Luján de Cuyo. *Revista Andinas*, 10 (11). ISSN 2469-1623. Recuperado de <https://faud.unsj.edu.ar/usuarios-del-suelo-y-variables-edilicias-en-los-marcos-regulatorios-vigentes-de-lujan-de-cuyo-dana-cecilia-otero-y-m/>
- Peresini, N. (2021). La consolidación de la gobernanza empresarialista en la gestión urbana local. Un recorrido a través de las adaptaciones normativas e institucionales en la ciudad de Córdoba, Argentina. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13. doi: 10.1590/2175-3369.013.e20200116
- Rueda, S. (2019). *Superblocks for the Design of New Cities and Renovation of Existing Ones: Barcelona's Case*. En M. Nieuwenhuijsen, & H. Khreis (Eds.), *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning*, 135-153. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-74983-9\_8
- Silva, G. (2022). Notas sobre los retos de la gobernanza metropolitana en América Latina. En CEPAL y Rede IPEA, *Gobernanza Metropolitana en América Latina: un panorama de las experiencias contemporáneas desde una perspectiva comparada* (301-311). Brasilia: CEPAL; IPEA. LC/BRS/TS.2021/4. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11362/47789>
- Urios, D., Colomer, J. & Portalés, A. (2020). ISUF-h 2019-Ciudad compacta versus ciudad difusa. Editorial Universitat Politècnica de València. España. Recuperado de <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ISUFh/ISUFh2019/paper/viewFile/11782/5267>
- Wang, M., Yu, H., Yang, Y., Jing, R., Tang, Y. & Li, C. (2022). Assessing the impacts of urban morphology factors on the energy performance for building stocks based on a novel automatic generation framework. *Sustainable Cities and Society*, 87. doi: 10.1016/j.scs.2022.104267
- Zambon, I., Benedetti, A., Ferrara, C. & Salvati, L. (2018). Soil Matters? A Multivariate Analysis of Socioeconomic Constraints to Urban Expansion in Mediterranean Europe. *Ecological Economics*, 146, 173-183. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.10.015.

## Agradecimientos

Se agradece el trabajo y elaboración cartográfica de Ricardo Cohn (CPA INCIHUSA-CONICET) y la colaboración gráfica de María Cecilia Caminos-Diez (CPA INCIHUSA-CONICET).

## Contribución de autorías

Las autoras de este trabajo declaran haber contribuido en la conceptualización, el análisis formal, la investigación, la discusión de los resultados, la revisión y la aprobación de la versión final.

## Financiación

Esta investigación se enmarca en los proyectos: 1. “Patrimonio cultural de Mendoza. Registro, análisis y prospectiva de bienes cultural-ambientales como recurso de desarrollo local e innovación sociocultural” 2017- 2022 PUE CO-NICET 22920170100036 y 2. “Nuevos espacios verdes en la Ciudad de Mendoza: articulación entre urbanización y recuperación de biodiversidad nativa” SIIP TIPO 4, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.

## Conflicto de intereses

Las autoras de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Brisas marinas en Mallorca: ensayo metodológico para su identificación a partir de datos REDMAR, REDEXT y SIMAR

Sea-Breezes in Mallorca: A methodological essay for their identification using REDMAR, REDEXT, and SIMAR datasets

MAGDALENA ALOY-ESTELRICH<sup>1</sup>

GABRIEL ALOMAR-GARAU<sup>1</sup>  0000-0003-0101-5944

<sup>1</sup>Universitat de Barcelona

## Resumen

En el presente trabajo se ensaya un método de identificación de brisas marinas en la isla de Mallorca, basado en el análisis de los datos de viento provenientes de estaciones situadas en un ámbito terrestre y marino, correspondientes a dos unidades regionales: la bahía meridional de Palma y la bahía septentrional de Alcúdia. La fuente de datos principal han sido los mareógrafos terrestres de la red REDMAR (Puertos del Estado), los resultados de cuyo análisis han servido para compararlos con datos de la boya de Dragonera, de la red REDEXT, situada fuera de la zona de influencia de las brisas marinas, así como con datos de la serie temporal de puntos SIMAR, localizados sobre la superficie del mar. Estas tres fuentes se han demostrado útiles para examinar y caracterizar sumariamente el campo de viento de las brisas marinas, un fenómeno atmosférico con una muy alta recurrencia en la isla.

Palabras clave: brisas marinas; Mallorca; REDMAR; REDEXT; SIMAR

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.10.15

Aceptado: 2024.09.02

Publicado: 2024.10.24

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Magdalena Aloy-Estelrich  
maidala@gmail.com

## Abstract

In this study, we tested a method for identifying sea breezes on the island of Mallorca. Our approach is based on the analysis of wind data collected from stations located in both terrestrial and marine environments, which correspond to two regional units: the southern bay of Palma and the northern bay of Alcudia. Our primary source of data was the terrestrial tide gauges from the REDMAR network (managed by Puertos del Estado). We compared the results of our analysis with data from the Dragonera buoy of the REDEXT network, situated outside the influence of sea breezes. Additionally, we used data from the time series of SIMAR points, located on the sea surface. These three data sources were valuable in examining and providing a summary of the wind patterns associated with sea breezes, which are a highly recurrent atmospheric phenomenon on the island.

---

Keywords: sea-breezes; Mallorca; REDMAR; REDEXT; SIMAR

---

## 1. Introducción

Las brisas marinas son un típico fenómeno atmosférico de las zonas costeras de latitudes medias y bajas. Su estudio es de gran importancia para la comprensión de los regímenes eólicos locales, de ahí que disponer de una mejor comprensión de las características y los mecanismos de este fenómeno en las regiones costeras en las que se presenta, permite desarrollar modelos más precisos de predicción local del tiempo atmosférico. También permite disponer de información valiosa para la planificación y gestión de actividades relacionadas con el turismo costero (Martínez-Ibarra *et al.*, 2019), así como para la eventual localización de parques eólicos para la generación de electricidad (Mazon *et al.*, 2015). En relación con estas instalaciones, el Gobierno de las Islas Baleares tiene publicado en abierto un mapa de zonas de aptitud para ubicar parques de energía eólica terrestre *-onshore-* para generar electricidad. En Mallorca no hay parques eólicos de este tipo, aunque subsisten los formados por antiguos molinos de viento para la extracción de agua del subsuelo, ubicados, casi sin excepción, en las tres cuencas subsidentes orientadas al mar –Palma, Sa Pobla-Muro y Campos-Ses Salines–.

En el archipiélago balear, el único parque eólico existente hasta la fecha para la producción de electricidad, conocido como Milà, se inauguró en 2004 en la localidad menorquina de Maó, con cuatro aerogeneradores. Su vida útil ha finalizado en 2024, aunque está prevista su repotenciación sobre la base de unos nuevos cálculos de la velocidad media del viento y unos aerogeneradores de mayor altura (> 50 m). En esta isla es bien conocido su régimen de vientos dominado por la *tramuntana* (Jansà, 1933), el viento del norte canalizado por el valle del Ródano. También ha sido descrito un régimen menorquín de brisas marinas estivales (Cladera, 2019), aunque de mucha menor magnitud que las de Mallorca. En términos de velocidad y frecuencia del viento, la aptitud de Menorca para la instalación de parques eólicos ha sido corroborada por distintos estudios técnicos, entre ellos el del frustrado proyecto para el equipamiento de ocho aerogeneradores en Son Angladó, en el noroeste de la isla, con una torre de medición de viento instalada en 1999, cuyos datos reflejaban velocidades medias anuales superiores a 7 m/s a 40 m de altura, con lo que quedaba garantizado el éxito de la explotación. También el Plan de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) de la demarcación marina levantino-balear, aprobado en España por el Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero, identifica en el noreste y el este de la isla de Menorca dos respectivas zonas de alto potencial para la energía eólica marina *-offshore-*, considerando como requisitos previos una profundidad máxima de 1000 m y una velocidad del viento media anual superior a

7,5 m/s a una altura de 100 m sobre la superficie del mar. Estos requisitos son favorables para el caso de los aerogeneradores marinos sobre plataforma flotante, pues frente a los aerogeneradores con cimentación fija, aprovechan mejor el potencial energético de la energía eólica y minimizan el eventual impacto visual, al situarse en zonas más alejadas de la costa.

Los estudios técnicos que se requieren para instalaciones eólicas de este tipo cuentan con redes de medida de la entidad Puertos del Estado, entre las que se encuentra el conjunto de datos de la red SIMAR, formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. El uso combinado de estos datos, junto con los de las boyas de la red REDEXT, fondeadas en aguas abiertas y profundas, puede proporcionar una imagen más clara de la dinámica atmosférica y mareal de las zonas marinas más alejadas de la costa. Para el caso de los dominios marinos más cercanos a ella, en los que operan las brisas marinas, la calidad y gran resolución temporal de los datos de la red SIMAR los hacen potencialmente útiles para el análisis del comportamiento espacial de las brisas que operan sobre el mar.

Desde un punto de vista físico, las brisas de mar son vientos que se forman a causa de la diferencia de temperatura entre un medio marino y otro terrestre (Miller *et al.*, 2003). Durante el día, el sol calienta rápidamente la superficie terrestre, lo que a su vez calienta el aire en contacto con ella. A medida que el aire se calienta, se vuelve menos denso y asciende, creando un área de baja presión sobre tierra. En contraste, la superficie marina mantiene una temperatura más fresca y constante debido a su mayor inercia térmica. Como resultado, el aire situado sobre el mar es más frío y denso. La diferencia de densidad entre el aire sobre tierra y el aire sobre el mar crea un gradiente de presión que induce al aire a moverse desde el mar hacia tierra, generando típicos episodios de brisas marinas. A su vez, el aire cálido sobre tierra gana altitud y se desplaza en altura mar adentro, donde tiene lugar una subsidencia que cierra la circulación térmica. Durante la noche el proceso se invierte, pues la tierra se enfría más rápidamente que el mar, y el aire más frío y denso sobre tierra se desplaza hacia el mar, generando brisas terrestres o ‘terrales’.

Orlanski (1975) sitúa las brisas de mar-tierra dentro del grupo de fenómenos meteorológicos de mesoescala- $\beta$ , lo que representa una dimensión horizontal de unos 30 km y un ciclo de vida de unas 10 horas. Estas circulaciones cuentan con un amplio espectro de trabajos científicos y enfoques, unos de carácter teórico (Neumann y Mahrer, 1971) y otros de carácter descriptivo, tanto en lo que se refiere al análisis de los datos de campo como a las simulaciones numéricas de las brisas de distintas regiones costeras del mundo (Mahrer y Pielke, 1977; Klara, 1998; Liu *et al.*, 2001, entre otros). En numerosas localidades costeras de la región mediterránea, las brisas constituyen un frecuente tipo de circulación del viento a niveles bajos. Esto hace que desempeñen un papel clave en un gran número de aspectos meteorológicos, climáticos, atmosféricos, territoriales y aún culturales, tales como, respectivamente, las precipitaciones de escala micro-continental (Baker *et al.*, 2001; Olcina-Cantos y Azorin-Molina, 2004), la variación del régimen anual de vientos de una región (Physick y Byron-Scott, 1977), la calidad del aire (Grossi *et al.*, 2000), la localización y emplazamiento de infraestructuras agrarias y de servicios (Alomar-Garau y Grimalt-Gelabert, 2021), o la huella toponímica del viento –es decir, su huella cultural. En el caso de la isla de Mallorca, las determinaciones ambientales, territoriales y humanas de las brisas son de tal magnitud que el fenómeno se ha hecho patente en la lengua a través de la fijación popular de un nombre propio que lo describe: la palabra *embat*, un caso ejemplar de eolonimia.

Por su configuración geográfica y su localización latitudinal, Mallorca constituye un espacio idóneo para el establecimiento de un régimen de brisas típico bajo condiciones de bajo o nulo

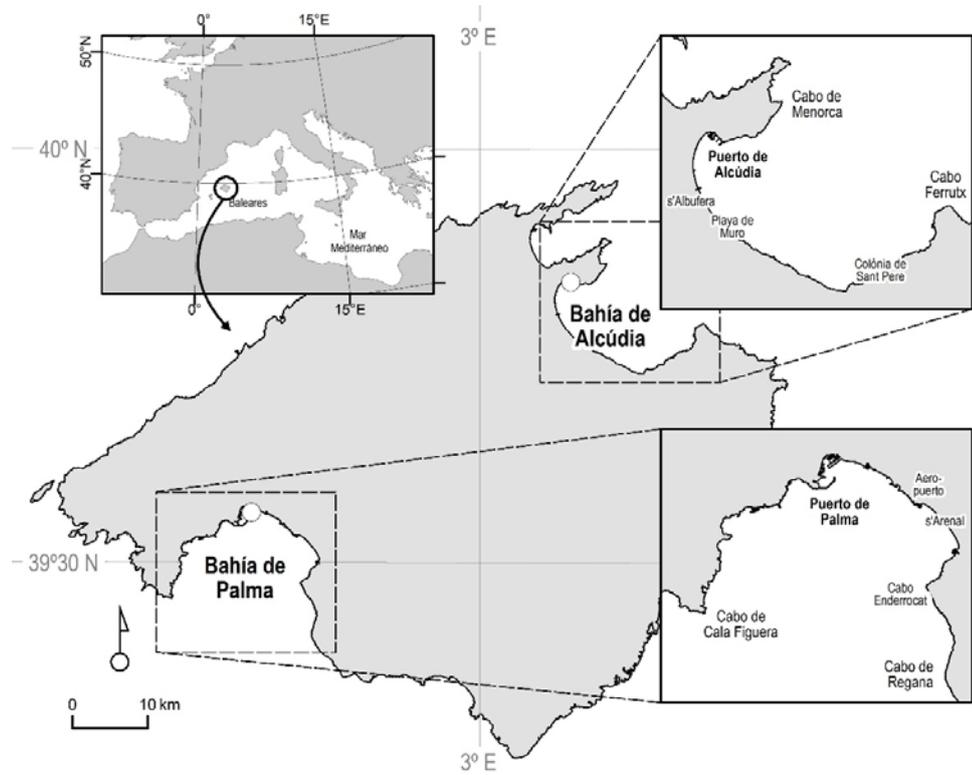
gradiente de presión atmosférica en la escala sinóptica. Estas condiciones aparecen fundamentalmente en situaciones anticiclónicas como las que se presentan en el Mediterráneo Occidental durante el verano, bajo la influencia del anticiclón de las Azores, que en esta época se desplaza hasta ocupar parte de las latitudes medias (Jansà, 1980; Katsoulis et al., 1998; Martin-Vide y Olcina-Cantos, 2001). A lo largo de un recorrido diario que en Mallorca llega a decenas de kilómetros tierra adentro, las brisas van eliminando vientos de ladera y formando chimeneas convectivas, que son el detonante de chubascos estivales (Guijarro y Heredia, 2004; Azorin-Molina et al., 2009). De hecho, el fenómeno ha sido descrito por sus significativos impactos en las condiciones atmosféricas de la isla y los patrones de circulación local, de ahí que haya sido objeto de atención preferente de no pocos investigadores, desde el estudio pionero de Jansà y Jaume (1946) hasta los estudios relativamente recientes de Ponce de León y Orfila (2013), Grau et al. (2021) o Alomar-Garau y Grimalt-Gelabert (2022).

El presente trabajo tiene como principal objetivo ensayar el uso de datos de mareógrafos de la red REDMAR, boyas de la red REDEXT y puntos de datos SIMAR, ofrecidos por la entidad española Puertos del Estado, con vistas a la identificación y caracterización sucinta de las brisas marinas tal como se presentan en dos ámbitos geográficos diferenciados de Mallorca: la bahía de Palma al sur de la isla y la bahía de Alcúdia al norte. Se trata de dos ámbitos en los que la frecuencia y efectividad del fenómeno se constata empíricamente, lo que facilita la subsiguiente verificación científica. El trabajo incorpora, igualmente a modo de ensayo, un método inédito de validación del fenómeno tal como se presenta en la bahía de Palma, consistente en la comparación de los registros de dirección y velocidad del viento dentro del campo de acción marina de las brisas, y fuera de él.

## 2. Área de estudio

La isla de Mallorca está situada en un área céntrica del Mediterráneo Occidental (39° de latitud Norte y 2° de longitud Este), y es la mayor del archipiélago de las Baleares (Figura 1). Con una extensión de 3.620 km<sup>2</sup> y un perímetro litoral de 676 km, presenta dos alineaciones montañosas que corren paralelas a los lados noroccidental y suroriental de la isla, separados por dos cuencas subsidentes que constituyen las bahías de Palma y de Alcúdia. Esta configuración topográfica general determina las principales características de la brisa marina, de tal manera que en la zona de la bahía de Palma la brisa sopla hipotéticamente del S-SO, mientras que en la de Alcúdia sopla del NE. Ambas bahías están unidas por una extensa depresión central, conformada por valles abiertos y relieves pequeños y suaves.

Figura 1. La isla de Mallorca y sus dos principales bahías, en el marco geográfico del archipiélago balear, del Mediterráneo y de Europa.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.1. La bahía de Palma

En la parte meridional de Mallorca y orientada al suroeste, la herradura de la bahía de Palma tiene una distancia de unos 19 km entre un extremo y otro de su entrada –entre el cabo de Cala Figuera y el cabo de Regana–, y de unos 14 km entre el centro de la cuerda que une estos dos puntos y el fondo de la bahía. Ésta cubre una superficie de 214 km<sup>2</sup>. Desde un punto de vista geomorfológico, en el lado occidental se combinan la costa baja rocosa y los acantilados, y aparecen algunas pequeñas playas como la de Cala Major o Illetes, o más exiguos arenales como los de Son Maties o Magalluf. En el lado este, la costa es igualmente baja y en general rocosa entre la ciudad de Palma y Can Pastilla, emplazamiento a partir del cual se abre una extensa playa –s'Arenal–. La costa de esta bahía, que en su parte central es prácticamente rectilínea, está alineada en el sentido noroeste-sureste, de forma que la teórica perpendicularidad de las brisas marinas a la línea litoral se traduce en una típica componente del SO.

### 2.2. La bahía de Alcúdia

La bahía de Alcúdia se sitúa en la parte septentrional de la isla, y desde un punto de vista morfoestructural se trata de la apertura hacia el mar de la depresión central de Mallorca, por su lado nororiental. Al este está limitada por el promontorio avanzado del cabo Ferrutx, y al oeste por el cabo de Menorca. La anchura de la boca tiene unos 15 km entre ambos cabos, y la distancia entre el centro de la cuerda que une estos puntos y el fondo de la bahía es de unos 11 km. En conjunto, totaliza 166 km<sup>2</sup> de superficie. Tierra adentro se abre una extensa llanura –modificada en parte por elevaciones comparativamente poco significativas y más o menos dispersas–, que se inclina

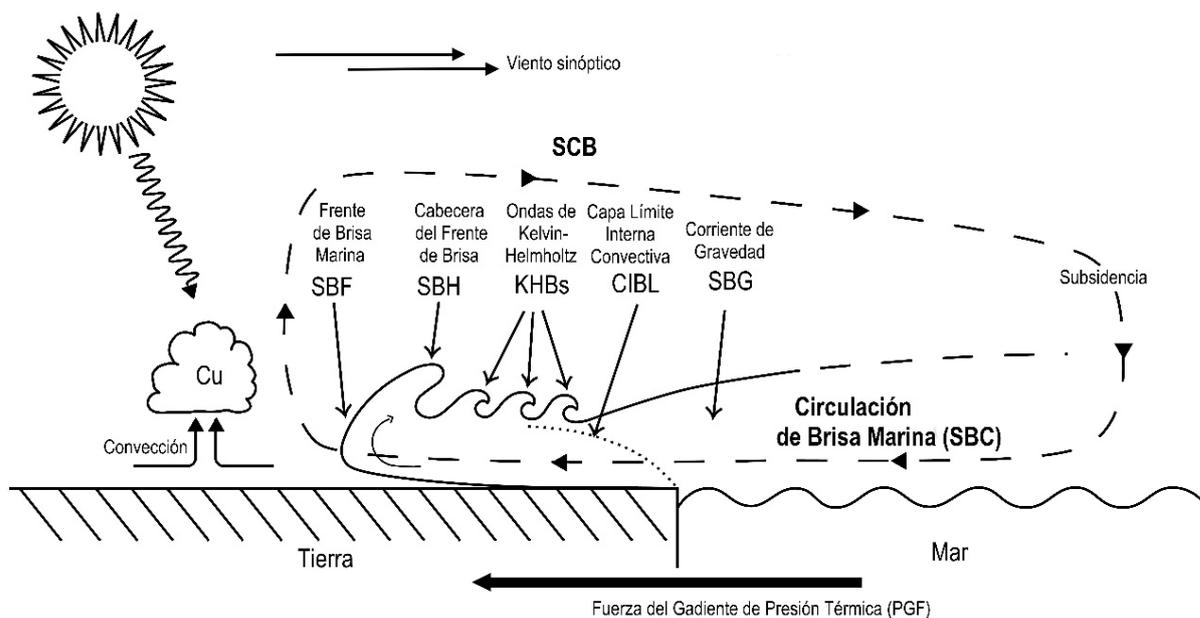
suavemente hacia el mar. También hay una albufera –s'Albufera– con un perímetro de unos 32 km, separada del mar por un cordón arenoso o restinga de 8 km de largo y una anchura de entre 250 y 500 m. En cuanto a la morfología costera, la bahía se presenta en forma de una extensa y cóncava costa baja y arenosa, sin importantes indentaciones, más algunos sectores de costa baja rocosa en la parte sur. A partir de la Colònia de Sant Pere, la costa se hace bastante más alta, con acantilados.

### 3. Las brisas diurnas de Mallorca. Esquema general

Un sistema de brisa marina se compone típicamente de las siguientes partes (Miller et al., 2003) (Figura 2): la circulación de brisa marina (*sea breeze circulation*, SBC); la corriente de gravedad de brisa marina (*sea breeze gravity current*, SBG); el frente de brisa marina (*sea breeze front*, SBF); la cabecera del frente de brisa (*sea breeze head*, SBH); la capa límite interna convectiva (*convective internal boundary layer*, CIBL) y las ondas de Kelvin-Helmholtz (*Kelvin-Helmholtz billows*, KHB).

La circulación de la brisa marina se activa cuando el contraste entre la temperatura del mar y de la tierra crea, a escala local, una fuerza de gradiente de presión (*pressure gradient force*, PGF) que se dirige del mar hacia tierra, desplazando sobre ella una capa de aire marino poco profunda.

Figura 2. Esquema de la estructura de circulación de la brisa marina (fase diurna).



Fuente: Reelaboración propia, adaptada de Miller et al. (2003).

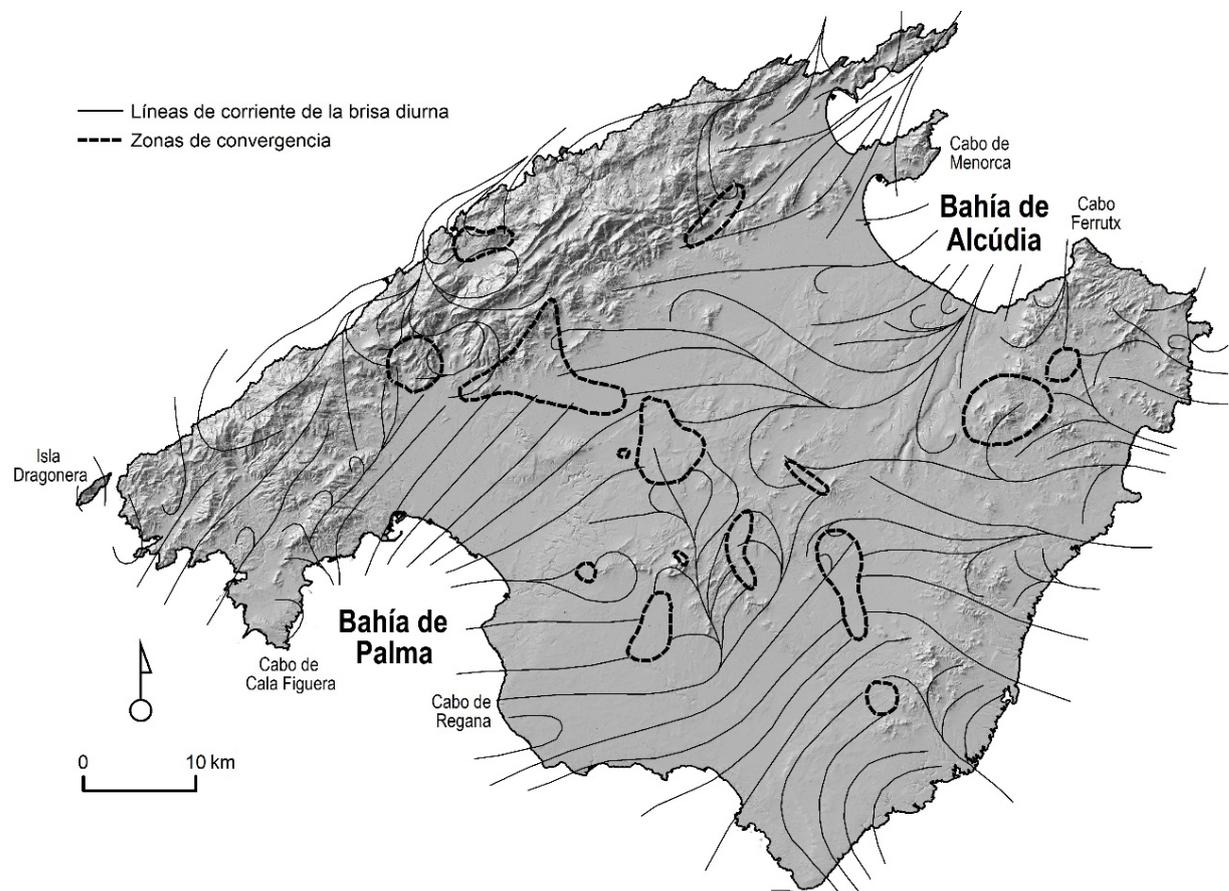
Por partes, la SBC es una célula de mesoescala que rota verticalmente, con un flujo hacia la costa cerca de la superficie terrestre, corrientes de aire ascendentes tierra adentro, corrientes difusas de hundimiento o subsidencia varios kilómetros mar adentro, y, normalmente, un flujo de retorno hacia el mar cerca de los 900 hPa. La SBG es el flujo hacia tierra del aire marino frío y húmedo en el brazo horizontal inferior de la SBC. Esta corriente se forma cuando un fluido denso atraviesa un entorno menos denso, y en la atmósfera se presentan en forma de salidas de tormentas o de brisas marinas (Simpson, 1994). El SBF es el borde de ataque de la SBG y la SBC, a menudo asociado con cambios repentinos de temperatura, humedad y viento. Su aproximación puede estar

marcada por el desarrollo de cúmulos de buen tiempo (*Cu*). La SBH es la cabecera de la parte frontal de la corriente de gravedad, que se eleva por encima e inmediatamente detrás del SBF a causa de las corrientes ascendentes en la zona de convergencia, siendo aproximadamente el doble de alta que el flujo posterior, aunque el viento sinóptico puede aplanarla. La CIBL es una región inestable dentro de la masa de aire marino, que aparece en la costa y aumenta en profundidad con la distancia hacia el interior. Las KHB son ondas que eventualmente pueden desarrollarse a lo largo del límite superior del SBG durante los periodos de baja estabilidad estática (mediodía).

Es importante tener en cuenta que la brisa marina genera un mar de viento de periodo corto y poca energía, y un *fetch* –la distancia sobre la que sopla el viento– relativamente corto, típicamente entre 5 y 15 km. A medida que avanza el día y aumenta la fuerza de la brisa, el *fetch* se extiende cada vez más mar adentro, hasta alcanzar un máximo. Esto significa que más allá de este máximo no hay viento, o sus características son distintas de las que se establecen para la brisa costera.

Como consecuencia de su insularidad, las brisas de Mallorca, durante el ciclo diurno, operan de manera opuesta y simultánea desde las diferentes costas y penetran hacia áreas del interior en las que convergen típicamente. Este esquema teórico fue empíricamente demostrado por vez primera por Jansà y Jaume (1946), en un estudio precursor que aparece resumido en el libro de referencia de Simpson (1994), *Sea Breeze and Local Winds*. En ese estudio, el sistema de brisas viene representado por un repertorio de mapas, de tipo cualitativo, entre los cuales destaca el de las líneas de corriente de la brisa operando sobre el conjunto del espacio insular (Figura 3).

Figura 3. Líneas de corriente de la brisa marina en la isla de Mallorca y zonas típicas de convergencia.



Fuente: Reelaboración propia a partir de la Carta I. Líneas de corriente (Jansà y Jaume, 1946).

A falta de una red de estaciones anemométricas, este mapa se confeccionó a partir de la información oral proporcionada por campesinos y pescadores de la isla, que respondieron una encuesta específicamente diseñada con preguntas relativas a la hora a la que se presentaba la brisa, su dirección más frecuente y su duración (Miró-Granada, 1998). El mapa muestra una circulación horizontal del aire marítimo soplando de mar hacia tierra, siguiendo el esquema teórico de la perpendicularidad a las costas. La corriente inferior de la brisa se arrastra completamente acoplada al suelo, y está sometida a la servidumbre del relieve incluso por debajo de los 50 metros. Los vientos rodean radialmente la isla, siguiendo la dirección de las agujas del reloj: NE en las bahías de Pollença y de Alcúdia, SE en la costa de Levante, y S y SO entre el cabo de Ses Salines y la isla de Dragonera. En el lado occidental de la isla, la cadena montañosa de la sierra de Tramuntana hace de pantalla orográfica que impide cualquier desarrollo eficaz de la brisa. Este modelo general ha sido validado por simulaciones numéricas como las ensayadas por Ramis et al. (1990) o Ramis y Romero (1995).

La organización espacial de los episodios de brisa hace que la isla quede separada a lo largo del día por al menos dos regímenes principales de brisas: el régimen septentrional de las bahías de Alcúdia y Pollença, y el meridional de la bahía de Palma y las costas del sur. Ambos regímenes colisionan en los alrededores de la zona central de la isla, formando áreas de convergencia, detectables a simple vista por la presencia de líneas de nubes cumuliformes (*Cu*, *Cb*).

## 4. Método y datos

### 4.1. Método de identificación de días con brisa marina

Los trabajos de caracterización de las brisas describen necesariamente los criterios a partir de los cuales quedan identificados los días con brisas para descartarlos de los días en los que el viento reinante no se corresponde genuinamente con el fenómeno. Sin renunciar a la aplicación combinada de filtros de validación alternativos (nubosidad, horas de insolación, aumento de la humedad relativa, duración del flujo marino), la mayoría de autores destaca como criterio selectivo fundamental el cambio rápido en la dirección y la velocidad del viento en superficie, relacionado con el inicio de la brisa marina (Banfield, 1991; Furberg et al., 2002; Azorin-Molina y Chen, 2009, entre otros). Este cambio se produce en algún momento de la mañana, cuando la diferencia entre la temperatura de la tierra y la del mar ( $\Delta T$ ) es positiva.

Además, hay un requisito atmosférico primordial para que se active un sistema de brisas: las condiciones regionales sinópticas deben ser estables, por lo que debe haber un gradiente de presión débil a nivel de superficie (Steyn y Faulkner, 1986; Gustavsson et al., 1995; Borne et al., 1998). En cualquier caso, la identificación de los días de brisa es enormemente dependiente de las diferencias en los criterios de selección que se aplican, pero también de los objetivos del estudio acometido, de la estructura de los datos disponibles, de la definición que el investigador hace de tales episodios, y de las características topográficas de cada localización estudiada.

En el caso del presente trabajo se ha adoptado un método simple de filtrado condicional (Borne et al., 1998; Azorin-Molina et al., 2011; Furberg et al., 2002; Steele et al., 2015), que reduce a dos los filtros de validación: 1) un cambio o reversión diurna y nocturna de la dirección del viento en superficie, acompañado de un período de viento de dirección predominante en cada zona examinada; y 2) un cambio en la velocidad del viento en superficie entre los ciclos diurno y nocturno,

acompañado del establecimiento de un umbral de velocidad por debajo o por encima del cual operan las brisas de mar y las de tierra. Los métodos de filtrado como este tienen la ventaja de identificar con poca ambigüedad los días de brisa marina, aunque puedan producir climatologías que subestimen su frecuencia (Steele *et al.*, 2015).

En la elección de los dos criterios expuestos se ha tenido en cuenta que éstos se encuentran determinados por la disponibilidad de datos meteorológicos con registros horarios de dirección y velocidad del viento. En nuestro caso, estos datos provienen del conjunto de datos REDMAR, procedentes de la Red de Mareógrafos portuarios de la entidad española Puertos del Estado (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Gobierno de España) (Figura 4). Para la identificación estadística de las brisas de la bahía de Palma se han utilizado datos meteorológicos registrados cada hora en el mareógrafo instalado en el puerto comercial de Palma, en el interior de la bahía homónima (Mareógrafo de Palma de Mallorca, 3851, 39.56° Lat. N y 2.64 Long. E). Para el caso de la bahía de Alcúdia se han utilizado los datos del mareógrafo instalado en el muelle de carga del puerto homónimo (Mareógrafo de Alcúdia, 3853, 39.83° Lat. N y 3.14 Long. E).

Figura 4. Distribución espacial en Mallorca de los dos mareógrafos terrestres de Palma y Alcúdia (red REDMAR), la boya de aguas profundas de Dragonera (red REDEXT) y los puntos de datos simulados de la red SIMAR.



Fuente: <https://www.puertos.es>

La identificación de los días con brisa se ha realizado manualmente a partir de la revisión visual de los registros horarios de dirección y velocidad del viento, partiendo de la experiencia y el conocimiento empírico de las características del fenómeno en cada una de las bahías. Esta revisión

ha permitido disponer de una base de datos de los días con brisa entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de diciembre de 2022, es decir un periodo de análisis de 7 años.

Las tablas de datos han sido debidamente depuradas para eliminar los registros con lagunas de diferente tipo. Para el caso de la bahía de Palma, de los 2.557 días de que consta el periodo completo analizado, han sido computados 2.493 (el 97,5%). Se han desechado, por tanto, 64 días, en 41 de los cuales falta la totalidad de datos horarios, y en 23 faltan los datos de dirección o intensidad del viento a las 13 UTC. Esta es la hora utilizada como referencia principal para identificar episodios de brisas marinas durante el ciclo diurno, pues coincide con el momento en el que, según Azorin-Molina *et al.* (2007) o Alomar-Garau y Grimalt-Gelabert (2022), las brisas marinas de ambas bahías aparecen mejor desarrolladas. Para el caso de Alcúdia han sido computados 2.522 días (el 98,6%) de los 2.557 de que consta el periodo de análisis. No han sido computados, por tanto, 35 días, unas veces (23 días) porque falta el registro horario de los datos de velocidad e intensidad del viento, y otras veces (12 días) porque faltan estos datos a las 13 UTC.

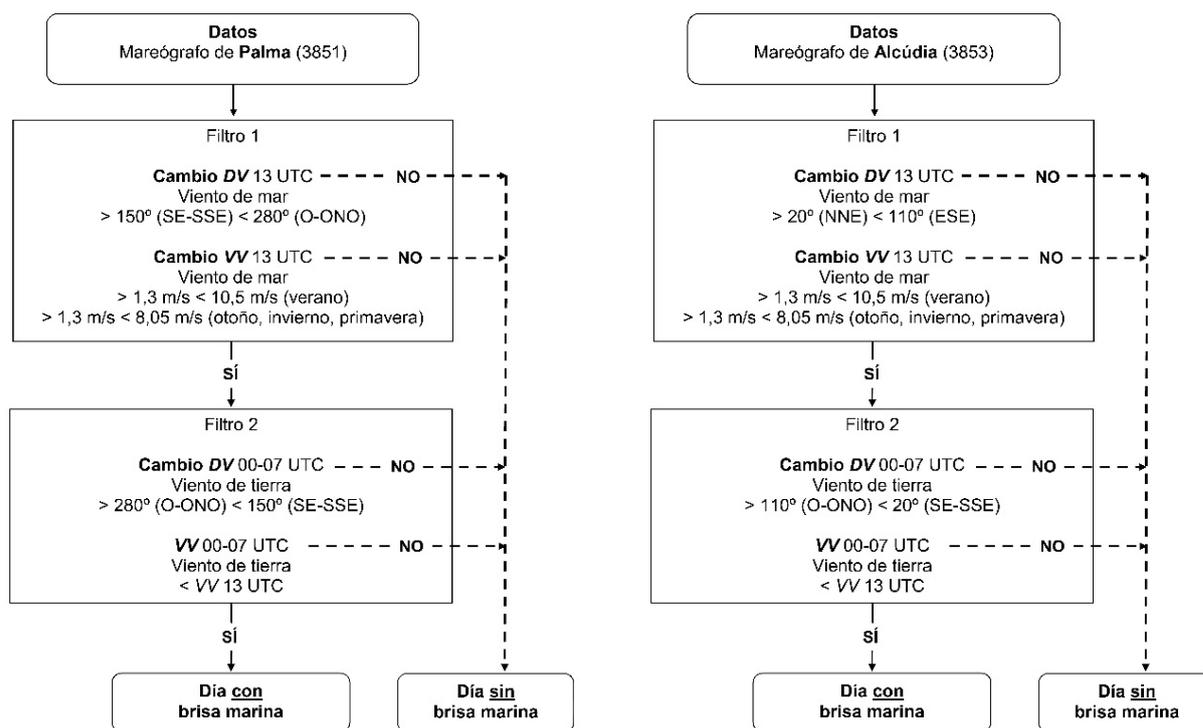
El análisis de los registros horarios de dirección y velocidad del viento parte de la presunción según la cual el inicio de la brisa de mar se detecta y se caracteriza esencialmente por un relativamente rápido cambio en los valores de estas dos variables, pasando de una situación de calma o débil flujo de tierra, a otra de flujo moderado de mar. Este enfoque es parecido al utilizado por Borne *et al.* (1998) para seleccionar los días en los que es posible asegurar el establecimiento de una típica circulación de brisas marinas. También hay que considerar que la orientación de la línea de costa define los ejes centrales de las brisas marinas y terrestres (Gustavsson *et al.* 1995; Furberg *et al.* 2002). De esta manera, en Mallorca, las brisas de mar deberían soplar del NE en la bahía de Alcúdia, guardando la perpendicularidad a su costa central, mientras que las de la bahía de Palma deberían soplar del SO. Esta regla general puede quedar parcialmente alterada por los accidentes topográficos locales y por la misma línea litoral (Miao *et al.*, 2003).

La Figura 5 muestra dos diagramas de flujo de los filtros aplicados para identificar días de brisa marina en las bahías de Palma y Alcúdia, a partir de la revisión manual de los datos de viento de los respectivos mareógrafos portuarios. Para el caso de Palma, si no hay viento en calma, su dirección durante la noche y a primera hora de la mañana (entre las 00 y 07 UTC) debe situarse fuera del rango de direcciones entre los 150° (SE-SSE) y 280° (O-ONO), es decir que debe ser viento terral. La velocidad debe ser inferior al máximo de velocidad registrado durante el ciclo diurno. A partir de las 07 UTC y a lo largo de la mañana, debe producirse una reversión de la dirección del viento, hasta situarse, a las 13 UTC, entre los 150° y los 280°, es decir el rango de direcciones que en esta bahía se corresponde con brisas perpendiculares a la costa. La velocidad debe haberse incrementado hasta situarse, también a las 13 UTC, entre 1,3 y 10,5 m/s en verano, y entre 1,3 y 8,05 m/s el resto del año (otoño, invierno y primavera). A lo largo de la tarde, la velocidad debe ir disminuyendo, y en algún momento de la noche se produce una nueva reversión de la dirección del viento, que vuelve a ser terral durante el periodo nocturno, efecto que pronostica un nuevo episodio de brisas de mar al día siguiente.

Para la bahía de Alcudia, entre las 00 y 07 UTC el viento debe estar en calma o ser débil, y su dirección debe estar fuera del rango entre los 20° (NNE) y los 110° (ESE), es decir viento terral en esta bahía. Su velocidad debe ser inferior al máximo de velocidad registrado durante el ciclo diurno precedente. A partir de las 07 UTC y a lo largo de la mañana, debe producirse una reversión de la dirección del viento, hasta situarse, a las 13 UTC, entre los 20° y 110°. Este rango direccional, siendo en parte de componente NE y por tanto perpendicular a la costa, se ha estirado

hasta los 110° debido a la localización del mareógrafo de Alcúdia en un extremo occidental de la bahía, donde las brisas del NE rolan hasta soplar del ESE, que es perpendicular a la costa en este emplazamiento. La velocidad del viento debe haberse incrementado hasta situarse, a las 13 UTC, entre 1,3 y 10,5 m/s en verano, y entre 1,3 y 8,05 m/s en otoño, invierno y primavera. A lo largo de la tarde, este rango de velocidades debe ir disminuyendo, y en algún momento de la noche debe producirse una nueva reversión de la dirección del viento, que pasa a ser terral durante el periodo nocturno.

Figura 5. Diagramas de flujo de los filtros aplicados a la identificación de días de brisa en las bahías de Palma y Alcúdia. DV indica "Dirección del viento", y VV indica "Velocidad del viento".



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2. Validación adicional de las brisas diurnas de la bahía de Palma

Al ya descrito criterio combinado del cambio diurno de la dirección del viento y el incremento de su velocidad, se ha sumado la comparación entre estas dos variables tal como se presentan dentro del campo de acción de las brisas en el interior de la bahía de Palma, y fuera de ella, es decir en mar abierto. Allí, el viento está hipotéticamente en calma, o bien adopta unos valores de dirección y velocidad que pertenecen a la escala sinóptica y no a la local. Este análisis comparativo es útil para confirmar la hipótesis de que el *fetch* de la brisa de mar –o la célula de circulación de la brisa cuando se expande horizontalmente no sólo hacia el interior terrestre sino también mar adentro– se limita a un área más o menos definida.

El límite del alcance de la brisa mar adentro puede identificarse mediante un cambio de parámetros meteorológicos tales como la dirección y la velocidad del viento (Finkele et al., 1995). Para el caso del presente trabajo, el campo marítimo de acción de la brisa marina en el interior de la bahía de Palma y del viento sinóptico fuera de ella, ha sido comparado, respectivamente, a partir

de los datos de viento de los sensores meteorológicos del mareógrafo de Palma de Mallorca –bahía de Palma– y de los sensores de la boya de Dragonera. Esta boya (39.56° Lat. N, 2.10° Long. E) forma parte de la Red de Boyas de Aguas Profundas (Red Exterior o REDEXT, fondeadas lejos de la costa, de manera que los datos de viento de la boya reproducen las condiciones atmosféricas no perturbadas por efectos locales tales como los de las brisas. Dicho de otra manera, mientras que los parámetros de dirección y velocidad del viento de la boya de Dragonera reproducen la situación imperante a escala sinóptica, estos mismos parámetros, recogidos por el mareógrafo portuario situado en el fondo de la bahía de Palma, reproducen la acción de la brisa marina operando localmente en su interior.

Para validar los episodios de brisa marina formados en esta bahía se parte de la presunción según la cual la brisa sopla sobre un área marina adyacente a la costa y en dirección a ella. Esta área es más o menos extensa y constituye el área de la corriente gravitatoria de brisa marina (SBG), es decir el flujo hacia tierra de aire marino frío y húmedo en el brazo horizontal inferior de la circulación de la brisa (SBC). Fuera del campo marítimo de esa corriente, el viento puede soplar en cualquier dirección o estar en calma. De esta manera, si la dirección del viento en la boya de Dragonera es diferente de la dirección de las brisas que soplan en la bahía de Palma, puede confirmarse la autonomía de éstas respecto de las condiciones de viento reinantes a escala sinóptica, lo que se traduce en un carácter efectivo y genuino de las brisas. Al mismo tiempo, si fuera del campo de acción marítima de las brisas el viento sopla en su misma dirección, su velocidad debe ser inferior a la de la brisa marina soplando en el interior de la bahía, ya que a medida que esta corriente se acerca a la costa, aumenta su velocidad. Igualmente, si la dirección del viento coincide en ambos escenarios, pero la velocidad es mayor en la boya de Dragonera, se deduce que el viento en la bahía es de tipo sinóptico. En conjunto, durante la mañana la brisa avanza progresivamente desde la costa hacia el interior, y a lo largo de la tarde va cesando primero en el interior y luego en la costa.

#### 4.3. *Campo de viento de la brisa marina a partir de datos modelizados de la serie SIMAR*

El conjunto de datos SIMAR, suministrado por Puertos del Estado, está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico, es decir inferidos a partir de modelos numéricos de oleaje, viento y nivel del mar. Son, por tanto, datos simulados que no proceden de medidas directas de tales parámetros. Los datos se generan mediante un proceso de *hindcast*, o técnica que permite simular condiciones meteorológicas para reconstruir datos de viento y oleaje en momentos específicos del pasado. En los alrededores de Mallorca, un conjunto formado por más de 50 nodos SIMAR (Figura 4) permite representar el campo de viento marítimo de la isla. Esta representación puede servir como método visual para comprobar la extensión espacial de las brisas marinas sobre la superficie del mar, y al mismo tiempo examinar la efectividad del fenómeno dentro del campo de acción de las bahías de Palma y Alcúdia.

Esto se ha ensayado para los casos de la bahía de Palma y la de Alcúdia, y para episodios de brisa representativos correspondientes al 15 y el 31 de agosto de 2022 (Palma), y al 6 de junio y 10 de julio de 2022 (Alcúdia). Los datos de dirección y velocidad del viento de los puntos SIMAR han sido interpolados manualmente para hallar otros puntos de datos, con los cuales se han creado sendas imágenes del campo de viento dentro y fuera de las bahías.

## 5. Resultados y discusión

La identificación estadística de las brisas marinas de Mallorca cuenta con trabajos en los que el análisis se ha realizado a partir de datos meteorológicos procedentes de estaciones automáticas terrestres pertenecientes a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) o a la red del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR) (Grau *et al.*, 2021; Alomar-Garau y Grimalt-Gelabert, 2022, entre otros). En el presente trabajo se han utilizado dos diferentes fuentes de datos de Puertos del Estado –REDMAR y REDEXT– para identificar y validar días con brisas marinas operando en las dos principales bahías de la isla, Palma y Alcúdia. Tres estaciones meteorológicas instaladas respectivamente en dos mareógrafos y en una boya han sido seleccionadas por su ubicación estratégica y por su capacidad para proporcionar datos fiables y precisos de dirección e intensidad del viento. Estos dos parámetros han servido para crear manualmente un algoritmo de identificación de días de brisa marina a partir de un método de filtrado condicional, para el periodo 2016-2022. Ya que esta identificación depende de las características de cada área de estudio (fundamentalmente, la orientación de la línea de costa), así como de la estructura de los datos, el método propuesto de la revisión manual de los registros de dirección y velocidad del viento se ha considerado el más apropiado, en tanto que permite crear un algoritmo de identificación de días de brisa adaptado a la experiencia y el conocimiento empírico de las características distintivas de la brisa marina en cada una de las bahías.

Por lo que se refiere a la identificación de días con brisas marinas a partir de los datos de viento de los mareógrafos de la red REDMAR, el método aplicado arroja los siguientes resultados (Tabla 1). En Palma, el 53,2 % de los días analizados son días con brisas (1.327 días de un total de 2.493). En verano (junio, julio y agosto), este porcentaje se eleva sustancialmente hasta el 76,4 % del total estival. En otoño, invierno y primavera los días con brisa se reducen hasta el 41,7 %, cifra que, aunque es la menor estacionalmente, demuestra que no se trata de un fenómeno exclusivo de la estación estival. En la bahía del Alcúdia, los días con episodios de brisa suponen el 39,4 % del total analizado (994 días de un total de 2.522). En verano, la cifra se eleva hasta 55,3 %, mientras que en otoño, invierno y primavera es del 31,4 %.

Tabla 1. Resumen estadístico de los días con y sin brisas en las bahías de Palma y Alcúdia para el periodo de análisis 2016-2022.

		Días del periodo 2016-2022	Días examinados	Días con brisa marina (filtrado condicional)	Días con brisa marina (filtrado condicional) (%)
Bahía de Palma	Otoño, Invierno, Primavera	1.703	1.667	696	41,7
	Verano	854	826	631	76,4
	Total	2.557	2.493	1.327	
Bahía de Alcúdia	Otoño, Invierno, Primavera	1.703	1.674	525	31,4
	Verano	854	848	469	55,3
	Total	2.557	2.522	994	

Fuente: Datos de la red de mareógrafos REDMAR (Puertos del Estado).

El hecho de que en Palma la frecuencia de días con brisa sea más alta que en Alcúdia, puede estar relacionado con la amplitud del rango de direcciones posibles de las brisas que se ha establecido para ambas bahías. En la de Palma el rango es de 130° (280° - 150°), mientras en la de Alcúdia es de 90° (110° - 20°), de manera que la probabilidad de episodios de brisa aumenta a medida que

se amplía el rango de direcciones posibles desde las cuales operan las brisas de cada bahía. En cualquier caso, el hecho de que más de la mitad de los días con viento en Palma, y más de un tercio en Alcúdia, se atribuyan a la formación de brisas, demuestra hasta qué punto este fenómeno caracteriza el régimen aéreo de la isla a lo largo de año, y hasta qué punto condiciona su régimen climático de vientos.

Por lo que se refiere a la validación adicional de los episodios de brisas mediante la comparación de su comportamiento espacial dentro y fuera de las bahías, esta validación se ha ensayado para el caso de la bahía de Palma, ya que para hacerlo se cuenta con datos de dirección y velocidad del viento procedentes de una boya de la Red de Boyas Exteriores REDEXT, situada en las inmediaciones de la isla Dragonera. La de Dragonera forma parte de la red de boyas oceanográficas fondeadas a profundidades entre 200 y 1.000 m en aguas abiertas en todo el litoral español, y que proporcionan datos horarios de oleaje, viento, corrientes, temperatura del agua y del aire, presión atmosférica y salinidad. Los datos de esta boya reproducen el viento imperante a escala sinóptica, de manera que el viento que opere en el interior de la bahía, si es de componente SO, corresponde a un episodio genuino de brisas diurnas sólo si fuera de esta bahía, mar adentro, la dirección e intensidad del viento son diferentes de las que se consignan en el interior de aquella.

El análisis arroja unos resultados positivos (Tabla 2), según los cuales, en verano, el 93,9 % de los episodios de brisa identificados en la bahía de Palma mediante el método del filtrado condicional (583 episodios de un total de 621), operan de manera autónoma e independiente de las condiciones del viento imperantes mar adentro, es decir fuera del campo de acción de la brisa. En las estaciones de otoño, invierno y primavera, un 83,3 % de los episodios de brisa consignados (580 episodios de un total de 696) son brisas genuinas. Estas cifras muestran, por una parte, la capacidad de la circulación de brisas para formarse y organizarse como un sistema local y autónomo dentro de la situación sinóptica en condiciones de estabilidad atmosférica; por otra parte, avalan la fiabilidad del filtrado condicional utilizado, basado en dos únicas pero decisivas variables: dirección y velocidad del viento.

Tabla 2. Resumen estadístico de los días con brisa diurna en la bahía de Palma identificados mediante el método de filtrado condicional, validados mediante el método de comparación con los datos de dirección y velocidad del viento en la boya de Dragonera (2016-2022).

	Días con brisa marina. Filtrado condicional. Datos del mareógrafo de Palma (REDMAR)	Días con brisa marina (%). Filtrado condicional. Datos del mareógrafo de Palma (REDMAR)	Días con brisa marina genuina. Validación con datos de viento de la boya de Dragonera (REDEXT)	Días con brisa marina genuina (%). Validación con datos de viento de la boya de Dragonera (REDEXT)
Otoño, Invierno, Primavera	696	41,7	580	83,3
Verano	621	76,4	583	93,9
Total	1.327			

Fuente: Datos de la red de mareógrafos portuarios REDMAR y la red de boyas de aguas profundas REDEXT (Puertos del Estado).

El análisis manual de los datos para detectar el consabido cambio rápido y simultáneo en la dirección del viento (de un flujo de tierra a otro de mar) y su velocidad ( $> 1,3$  m/s, 4,7 kph), es prioritario y fundamental en el sentido de que este cambio atestigua, teóricamente, que las condiciones regionales sinópticas son estables y que la diferencia de temperatura tierra-mar es positiva. Esto no significa que un episodio de brisa pueda verse interferido por factores sinópticos o mesoescales, provocando un retraso en la hora de inicio, ligeras variaciones en la dirección del viento, el

refuerzo de su velocidad o un flujo sinóptico sobrevenido acoplado al mismo sector de dirección de la brisa marina (Azorin-Molina y Martin-Vide, 2007). Sin embargo, el criterio principal es reconocer un episodio de brisa marina como la ocurrencia de una clara inversión de la dirección del viento en superficie y un incremento de su velocidad al inicio de la brisa, no atribuidos a una circulación de escala sinóptica.

En el caso del presente trabajo, el uso de un método manual como el descrito para identificar días de brisa marina no es nuevo en el ámbito español, ni aún en el del Mediterráneo. Entre muchos otros, ha sido ensayado por Redaño *et al.* (1991) para el litoral de la ciudad de Barcelona, por Furberg *et al.* (2002) para 12 estaciones costeras de la isla de Cerdeña, o por Azorin-Molina *et al.* (2011) para la bahía de Alicante. En este último estudio, sus autores recuerdan que los datos de velocidad y dirección del viento en superficie son las variables meteorológicas más importantes para distinguir episodios de brisa marina, y comprueban la importancia de privilegiar el condicionante del cambio en la dirección y la velocidad del viento –de vientos en calma o flujos débiles de tierra a vientos moderados de mar–. Los resultados obtenidos por Azorin-Molina *et al.* (2011) para la bahía de Alicante no pueden compararse con los del presente trabajo para las bahías de Palma y Alcúdia, pues los métodos de selección de días de brisa difieren tanto en el periodo analizado –6 años en el caso de Alicante y 7 en el de Mallorca– como en las fuentes de datos, así como en el número de filtros utilizados –2 para el caso de Mallorca, y entre 6 o 10 para Alicante, según se trata de un método manual o automatizado–.

En cualquier caso, los resultados obtenidos en el presente trabajo –el 53,2% y el 39,4% de los días analizados para un periodo de 7 años son, respectivamente, días con brisas marinas en Palma y Alcúdia–, son coherentes con los resultados obtenidos por Bedoya-Valestt *et al.* (2023) en un estudio que cuantifica los días potenciales de brisa marina en 16 localidades del Este de España, durante el periodo 1961-2019 (58 años): a nivel de la región entera, un 43,4% de los días del periodo son días de brisa; a nivel costero, en la región de las Baleares (aeropuertos de Palma, Menorca e Ibiza, y puerto de Palma) los días de brisa suponen el 39,2% del periodo, mientras que a nivel de estación meteorológica, en la del puerto de Palma suponen el 33,7% del periodo. Resultados como estos ponen de manifiesto que las circulaciones de brisas dominan la circulación local de las regiones costeras mediterráneas y juegan un papel importante en el clima local.

Como ejemplo de comparación entre el campo de viento en el interior de la bahía de Palma y fuera de ella, mar adentro, la Tabla 3 muestra, respectivamente, la dirección y velocidad del viento a las 13 UTC en el mareógrafo de Palma de Mallorca (REDMAR) y en la boya de Dragonera (RE-DEXT), para los días 15 y 31 de agosto de 2022. En ambas fechas se confirman sendos episodios de brisa marina en la bahía, pues a las 13 UTC la dirección del viento es del SO, perpendicular a la costa, y su velocidad se ha incrementado sustancialmente en relación con la de la noche anterior (00 UTC) y el comienzo del día (07 UTC). La reversión diurna del viento a las 13 UTC respecto de la dirección de la noche anterior (terral), revela la formación de una circulación de brisa marina (SBC) en respuesta a la fuerza del gradiente de presión (PFG) causada por el contraste de temperatura entre el mar y tierra a mediodía. Los datos de la boya de Dragonera muestran un campo de viento que en mar abierto difiere del mismo campo en el interior de bahía. En el momento de máximo desarrollo de la brisa marina –13 UTC–, ésta se individualiza en la bahía de Palma respecto del viento sinóptico de superficie en los alrededores de la isla de Dragonera.

Tabla 3. Aplicación del filtrado condicional de selección de días de brisa marina en la bahía de Palma (mareógrafo de Palma de Mallorca), y comparación con los parámetros de dirección (°) y velocidad (m/s) del viento en la boya de Dragonera, para los días 15 y 31 de agosto de 2022.

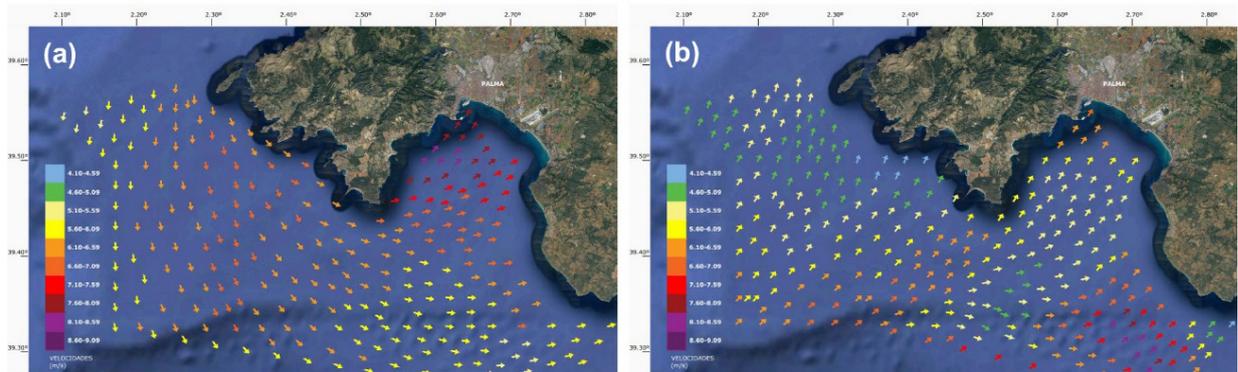
	Fecha	Dir. 00 UTC	Vel. 00 UTC	Dir. 07 UTC	Vel. 07 UTC	Dir. 13 UTC	Vel. 13 UTC	Dir. 18 UTC	Vel. 18 UTC	Brisa Marina
Mareógrafo de Palma (REDMAR)	15/08/2022	353 (N)	1,80	125 (ESE)	3,80	225 (SO)	6,10	75 (ENE)	5,00	✓
	31/08/2022	104 (ESE)	2,60	234 (SO)	3,50	218 (SO)	7,10	220 (SO)	2,50	✓
Boya de Dragonera (REDEXT)	15/08/2022	165 (SSE)	3,04	75 (ENE)	2,57	2 (N)	4,45	47 (NE)	3,98	
	31/08/2022	81 (E)	3,51	255 (OSO)	7,26	188 (S)	5,15	157 (SSE)	3,98	

Las diferencias de los campos de viento en el interior de la bahía de Palma y fuera de ella, así como el alcance de la brisa mar adentro, pueden representarse cartográficamente a partir de datos modelizados de la serie de puntos SIMAR. En trabajos como los de Ramos *et al.* (2021) o Rodríguez-Santalla *et al.* (2021), este tipo de datos ha servido para caracterizar regímenes de viento de puntos específicos del territorio –los propios nodos SIMAR– a partir de rosas de viento, y en general para el estudio del clima marítimo y la dinámica litoral.

Para el presente trabajo se ha tomado un conjunto de nodos SIMAR localizados en el interior y el exterior de las bahías de Palma y de Alcúdia, interpolándolos para examinar visualmente los campos de viento de ambas regiones a mediodía –13 UTC–. La imagen de la Figura 6a corresponde al campo de viento del 15 de agosto de 2022 en la bahía de Palma y alrededores, con un típico flujo del SO en el interior de la bahía, y velocidades que alcanzan 6 m/s o más (fuerza 4 en la escala Beaufort). Fuera de ella, el flujo es del N en la isla de Dragonera y del E en el cabo de Regana, con menores velocidades. Esto descubre la autonomía de la circulación de brisas marinas respecto del viento reinante en mar abierto. El campo de acción de la brisa tiene su comienzo en la boca de la bahía y alcanza el fondo de la misma. Es relevante que en la bahía de Palma, como también en la de Alcúdia, la línea exterior entre las puntas actúa como si fuese la línea de costa del fondo de la bahía, de manera que la bahía entera se comporta como si fuese tierra (Jansà y Ramis, 1990).

La imagen de la Figura 6b corresponde al campo de viento del 31 de agosto de 2022 en la bahía de Palma y alrededores, a las 13 UTC. Los datos de viento en superficie de los nodos SIMAR dibujan una circulación de brisas marinas formada en la misma bahía. En este caso, la típica dirección del SO se repite en mar abierto. La velocidad del viento es menor en la entrada de la bahía que en su fondo, pero se refuerza ligeramente a medida que se acerca a la costa. Mar adentro, hay zonas donde la velocidad es superior a la de la brisa que opera en el interior de la bahía. El conjunto apoya la idea de una circulación de brisas acoplada al viento imperante en la escala sinóptica, en que el flujo sinóptico soplando en la misma dirección que la de la brisa acrecienta la penetración del frente de brisa tierra adentro, según se desprende de estudios como los de Azorin-Molina y Chen (2009) o Gahmberg *et al.* (2010).

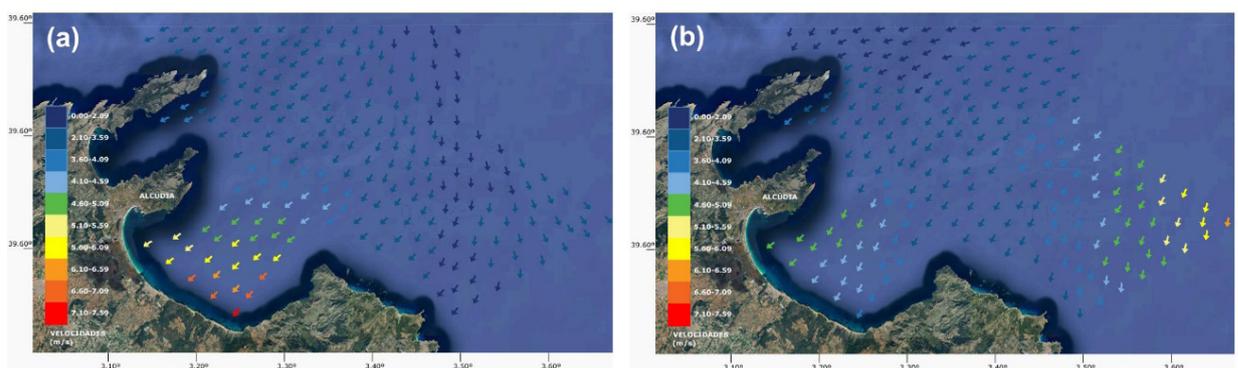
Figura 6. Puntos SIMAR representando el campo de viento (dirección y velocidad) a las 13 UTC del 15 de agosto (a) y del 31 de agosto (b) de 2022, entre la isla Dragonera y la bahía de Palma.



Fuente: Elaboración manual a partir de datos de puntos SIMAR (Puertos del Estado)

En el caso de Alcúdia, los datos de viento de los nodos SIMAR correspondientes a las 13 UTC de los días 6 de junio y 10 de julio de 2022, se han utilizado para representar cartográficamente los respectivos campos de viento en el interior de la bahía y fuera de ella. El escenario del día 6 de junio (Figura 7a) atestigua la atracción que ejerce esta bahía, capturando hacia su interior el flujo de aire marítimo y encauzando su desplazamiento para moverlo tierra adentro, empujado por el efecto de succión que provocan las bajas presiones térmicas formadas en el interior de la isla. En la misma bahía el viento se acelera a medida que se acerca a la costa, y se acaba independizando del flujo que concurre en el corredor marino situado entre las islas de Mallorca y Menorca. En el caso del día 10 de julio de 2022 (Figura 7b) se observa un incremento similar de la velocidad del viento cuando deja el dominio del canal de Menorca y entra en el de la bahía de Alcúdia. La dirección del viento –nornordeste– es prácticamente coincidente en ambos dominios, pero la forma y orientación de la bahía refuerzan esta misma dirección y la consolidan como brisa.

Figura 7. Puntos SIMAR representando el campo de viento (dirección y velocidad) a las 13 UTC del 6 de junio (a) y del 10 de julio (b) de 2022, en la bahía de Alcúdia y exteriores.



Fuente: Elaboración manual a partir de datos de puntos SIMAR (Puertos del Estado).

## 6. Conclusiones

En el presente trabajo se han realizado diferentes ensayos conducentes a la identificación estadística y representación cartográfica de episodios de brisa marina característicos de dos grandes ba-

hías de la isla de Mallorca (Palma y Alcúdia), para un periodo de estudio de 7 años (2016-2022). La novedad de los ensayos se encuentra en que se han acometido a partir de valores de dirección y velocidad del viento obtenidos de tres fuentes de datos, todavía poco exploradas para caracterizar los vientos locales que operan en la región costera española, especialmente las brisas marinas: los mareógrafos portuarios de la red REDMAR, las boyas de aguas profundas de la red REDEXT y los datos de la serie temporal de puntos SIMAR localizados sobre la superficie del mar. El uso combinado de estas fuentes permite trabajar simultáneamente con datos de estaciones meteorológicas terrestres y marinas, así como con una cuadrícula de puntos de datos de viento y oleaje. La alta resolución espacial de esta cuadrícula permite dibujar campos de viento y examinar el comportamiento espacial de este importante parámetro meteorológico y climático en una determinada región de mar.

Los datos de viento de los mareógrafos portuarios de la red REDMAR, situados en puntos estratégicos del frente costero español, suministran una información horaria e histórica con la bondad suficiente para identificar episodios de brisas marinas y caracterizar su régimen. En el caso de Mallorca, las brisas de la bahía meridional de Palma resultan ser estadísticamente más frecuentes (53,2 % del total de los días examinados) que las de la bahía septentrional de Alcúdia (39,4 %), aunque el filtro de selección utilizado para esta última región, con un rango de direcciones del viento más limitado que el utilizado para Palma, seguramente ha subestimado los días de brisa que concurren en Alcúdia. Los resultados también confirman la extraordinaria aptitud de la estación estival para que se formen brisas marinas, pues en Palma suponen el 76,4 % del total de días de verano, y en Alcúdia el 55,3 %.

El análisis combinado de datos de viento procedentes de boyas de la red REDEXT y de los puntos SIMAR también ofrece un buen método de trabajo para representar gráficamente la acción del viento sobre la superficie del mar, y comparar su desigual comportamiento en mar abierto y en el interior de las bahías. En la de Palma, la brisa marina presenta una marcada orientación perpendicular a la línea de costa del fondo de la bahía, y su velocidad es mayor que la del viento sinóptico que impera en mar abierto. Esto ratifica la autonomía del sistema de brisas respecto de la situación sinóptica en condiciones de estabilidad atmosférica, aunque las brisas diurnas también pueden presentarse acopladas a la dirección del viento en la escala sinóptica, reforzándose en el fondo de la bahía.

Lo que en este trabajo se ha presentado como un ensayo metodológico, abre líneas de investigación futuras sobre los regímenes de viento de regiones litorales españolas, en las que se hace necesario contar con datos que permitan identificar episodios de brisas marinas y estudiarlos. Por su riqueza informativa, los datos modelizados de la serie SIMAR, junto con los de la red REDEXT, pueden utilizarse para crear representaciones sistematizadas de la dirección e intensidad del viento en áreas cercanas y alejadas de la costa, mientras que los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas de los mareógrafos portuarios de la red REDMAR ayudan a ampliar los obtenidos por estaciones terrestres de organismos oficiales como la Agencia Española de Meteorología (AEMET), y analizarlos con vistas al estudio sistemático de las circulaciones de brisa marina. Estas circulaciones son de gran interés científico no solo porque afectan a aspectos esenciales como son las lluvias, la agricultura, el confort térmico humano o la calidad del aire, sino también por su interés añadido en el emergente campo de la implantación territorial de parques eólicos terrestres y marinos.

## Bibliografía

- Alomar-Garau, G., & Grimalt-Gelabert, M. (2021). Air Photo Interpretation for Spatial Analysis of Heritage Agrarian Structures in Mediterranean Settings as Sea-Breezes Proxy-Data. Application to the Island of Mallorca. *Remote Sensing*, 13 (22), 4652. doi: 10.3390/rs13224652
- Alomar-Garau, G., & Grimalt-Gelabert, M. (2022). Impacts of Coastal Breezes on the Environment and Human Life: The Case of Mallorca (Western Mediterranean). *Coasts*, 2, 17-35. doi: 10.3390/coasts2010002
- Arritt R.W. (1993). Effects of the large-scale flow on characteristics features of the sea breeze. *J. Appl. Meteor.* 32, 116-125. doi: 10.1175/1520-0450(1993)032<0116:EOTLSF>2.0.CO;2
- Azorin-Molina, C., Guijarro, J.A., Baena-Calatrava, R., & Jansà, A. (2007). "Sea breeze convergence and convective cloud frequencies from AVHRR data over the isle of Mallorca". En *7th EMS Annual Meeting/8th European Conference on Applications of Meteorology*. San Lorenzo del Escorial, 1-5 de octubre de 2007. Recuperado de <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/11889>
- Azorin-Molina, C., & Martin-Vide, J. (2007). Methodological approach to the study of the daily persistence of the sea breeze in Alicante (Spain). *Atmósfera*, 20(1), 57-81.
- Azorin-Molina, C., & Chen, D. (2009). A climatological study of the influence of synoptic-scale flows on sea breeze evolution in the Bay of Alicante (Spain). *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 249-260. doi: 10.1007/s00704-008-0028-2
- Azorin-Molina, C., Connell, B.H., & Baena-Calatrava, R. (2009). Sea-Breeze Convergence Zones from AVHRR over the Iberian Mediterranean Area and the Isle of Mallorca, Spain. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 48, 2069-2085. doi: 10.1175/2009JAMC2141.1
- Azorin-Molina, C., Chen, D., Tijm, S., & Baldi, M. (2011). A multi-year study of sea breezes in a Mediterranean coastal site: Alicante (Spain). *Int. J. Climatol.*, 31, 468-486. doi: 10.1002/joc.2064
- Baker, R.D., Lynn, B.H., Boone, A., Tao, W.K., & Simpson, J. (2001). The influence of soil moisture, coastline curvature, and land-breeze circulations on sea-breeze-initiated precipitation. *J. Hydrometeorol.*, 2, 193-209. doi: 10.1175/1525-7541(2001)002<0193:TIOSMC>2.0.CO;2
- Banfield, C.E. (1991). The frequency and surface characteristics of sea breezes at St. Johns. Newfoundland. *Climatol. Bull.*, 25, 3-20.
- Bedoya-Valestt, S., Azorin-Molina, C., Gimeno, L. et al. (2023). Opposite trends of sea-breeze speeds and gusts in Eastern Spain, 1961–2019. *Clim. Dyn.*, 60, 2847-2869. doi: 10.1007/s00382-022-06473-0
- Borne, K., Chen, D., & Núñez, M. (1998). A method for finding sea breeze days under stable synoptic conditions and its application to the Swedish west coast. *Int. J. Climatol.*, 18, 901-914. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8<901::AID-JOC295>3.0.CO;2-F
- Cladera, P. (2019). Convergència dels vents en superfície. El règim de brises a Menorca. *Revista de Menorca*, 98, 219-231.
- Estoque, M.A. (1962). The sea breeze as function of the prevailing synoptic situation. *J. Atmos. Sci.*, 19, 244-250. doi: 10.1175/1520-0469(1962)019<0244:TSBAAF>2.0.CO;2
- Finkle, K., Hacker, J.M., Kraus, H., & Byron-Scott, R.A.D. (1995). A complete sea-breeze circulation cell derived from aircraft observations. *Boundary-Layer Meteorol.*, 73, 299-317. doi: 10.1007/BF00711261
- Furberg, M., Steyn, D.G., & Baldi, M. (2002). The climatology of sea breezes on Sardinia. *Int J. Climatol.*, 22, 917-932. doi: 10.1002/joc.780
- Gahmberg, M., & Savijärvi, H., & Leskinen, M. (2010). The influence of synoptic scale flow on sea breeze induced surface winds and calm zones. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 62 (2), 209-217. doi: 10.1111/j.1600-0870.2009.00423.x
- Grau, A., Jiménez, M.A., & Cuxart, J. (2021). Statistical characterization of the sea-breeze physical mechanisms through in-situ and satellite observations. *Int. J. Climatol.*, 41, 17-30. doi: 10.1002/joc.6606
- Grossi, P., Thunis, P., Martilli, A., & Clappier, A. (2000). Effect of sea breeze on air pollution in the greater Athens area. Part II: Analysis of different emission scenarios. *J. Appl. Meteorol.*, 39, 563-575. doi: 10.1175/1520-0450(2000)039<0563:EOSBOA>2.0.CO;2
- Guijarro, J.A., & Heredia, M.A. (2004). Climatología de descargas eléctricas nube-tierra en las Islas Baleares. *Rev. Climatol.*, 4, 9-19.
- Gustavsson, T., Lindqvist, S., Borne, K., & Bogren, J. (1995). A study of sea and land breezes in an archipelago on the west coast of Sweden. *Int. J. Climatol.*, 15, 785-800. doi: 10.1002/joc.3370150706

- Jansà, J.M. (1933). *Contribución al estudio de la Tramontana en Menorca*. Serie A, 3. Servicio Meteorológico Español, Madrid.
- Jansà, A. (1980). El clima de las Baleares. Mediterraneidad e insularidad. *Treballs de Geografia*, 39, 39-43.
- Jansà, J.M., & Jaume, E. (1946). El régimen de brisas en la isla de Mallorca. *Revista de Geofísica*, IV, 19, 304-328.
- Jansà, A., & Ramis, C. (1990). "Simulación numérica de la brisa en Mallorca". En *II Simposio Nacional de Predicción del INM* (pp. 229-242). Madrid, Instituto Nacional de Meteorología.
- Katsoulis, B.D., Makrogiannis, T.J., & Goutsidou, Y.A. (1998). Monthly Anticyclonicity in Southern Europe and the Mediterranean Region. *Theor. Appl. Climatol.*, 59, 51-59. doi: 10.1007/s007040050012
- Klara, F. (1998). Inland and offshore propagation speeds of sea breeze from simulations and measurements. *Boundary Layer Meteorol.*, 87, 307-329. doi: 10.1023/A:1001083913327
- Liu, H., Chan, J.C.L., & Cheng, A.Y.S. (2001). Internal boundary layer structure under sea-breeze conditions in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 35 (4), 683-692. doi: 10.1016/S1352-2310(00)00335-6
- Mahrer, Y., & Pielke, R.A. (1977). The Effects of Topography on Sea and Land Breezes in a Two-Dimensional Numerical Model. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1151-1162. doi: 10.1175/1520-0493(1977)105<1151:TEOTOS>2.0.CO;2
- Martín-Vide, J.; Olcina-Cantos, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Martínez-Ibarra, E., Gómez-Martín, M.B., Armesto-López, X.A., & Pardo-Martínez, R. (2019). Climate Preferences for Tourism: Perceptions Regarding Ideal and Unfavourable Conditions for Hiking in Spain. *Atmosphere*, 10 (11), 646. doi: 10.3390/atmos10110646
- Mazon, J., Rojas, J.L., Jou, J., Valle, A., Olmeda, D., & Sanchez, C. (2015). An assessment of the sea breeze energy potential using small wind turbines in peri-urban coastal areas. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 139, 1-7. doi: 10.1016/j.jweia.2015.01.002
- Miao, J-F, Kroon, L.J.M., Vilà-Guerau, J., & Holtslag, A.A.M. (2003). Impacts of topography and land degradation on the sea breeze over eastern Spain. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 84, 157-170. doi: 10.1007/s00703-002-0579-1
- Miller, S., Keim, B.D., Talbot, R.W., & Mao, H. (2003). Sea breeze: Structure, forecasting, and impacts. *Rev. Geophys.*, 41, 1011. doi: 10.1029/2003RG000124
- Miró-Granada, J. (1998). Josep, M. Jansà Guardiola. Notas biográficas. *Territoris*, 1, 17-45.
- Neumann, J., & Mahrer, Y. (1971). A Theoretical Study of the Land and Sea Breeze Circulation. *J. Atmos. Sci.*, 28, 532-542. doi: 10.1175/1520-0469(1971)028<0532:ATSOTL>2.0.CO;2
- Olcina Cantos, J., & Azorín Molina, C. (2004). Frentes de brisa en el Levante español. *Estudios Geográficos*, 65 (254), 61-100. doi: 10.3989/egeogr.2004.i254.192
- Orlandi, I. (1975). A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 56(5), 527-530.
- Physick, W.L., & Byron-Scott, R.A. (1977). Observations of the sea breeze in the vicinity of a gulf. *Weather*, 32, 373-381. doi: 10.1002/j.1477-8696.1977.tb04481.x
- Ponce de León, S., & Orfila, A. (2013). Numerical study of the marine breeze around Mallorca Island. *Appl. Ocean Res.*, 40, 26-34. doi: 10.1016/j.apor.2012.12.003
- Ramis, C., Jansà, A., & Alonso, S. (1990). Sea breeze in Mallorca: A numerical study. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 42, 249-258. doi: 10.1007/BF01314828
- Ramis, C., & Romero, R. (1995). A first numerical simulation of the development and structure of the sea breeze on the island of Mallorca. *Ann. Geophys.*, 13, 981-994. doi: 10.1007/s00585-995-0981-3
- Ramos, J., Gomiz-Pascual, J.J., & Bruno, M. (2021). Analysis of wave and wind energy in the Cádiz gulf coast. *Proceedings of the 14th European Wave and Tidal Energy Conference 5-9th Sept 2021*, Plymouth, UK, pp. 2189-1-2189-10.
- Rodríguez-Santalla, I., Gomez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Sánchez-García, M.J., Montoya-Montes, I., Martín-Velázquez, S., Barrio, F., Serra, J., Ramírez-Cuesta, J.M., & Gracia, F.J. (2021). Study and Evolution of the Dune Field of La Banya Spit in Ebro Delta (Spain) Using LiDAR Data and GPR. *Remote Sens.*, 13, 802. doi: 10.3390/rs13040802
- Simpson, J.E. (1994). *Sea Breeze and Local Wind*. New York, USA: Cambridge University Press.
- Steele, C. J., Dorling, S.R., von Glasow, R., & Bacon, J. (2015). Modelling sea-breeze climatologies and interactions on coasts in the southern North Sea: Implications for offshore wind energy, Q.J. *Roy. Meteor. Soc.*, 141, 1821-1835. doi: 10.1002/qj.2484

- Steyn, D.G., & Faulkner, D.A. (1986). The climatology of sea breezes in the lower Fraser Valley. *B. C. Climatol. Bull.*, 20, 21-39.

### **Agradecimientos**

Aquí se especificará, de manera breve, el tipo de aportaciones que ha realizado cada autor durante la investigación y elaboración del trabajo.

### **Contribución de autorías**

Aquí se especificará, de manera breve, el tipo de aportaciones que ha realizado cada autor durante la investigación y elaboración del trabajo.

### **Financiación**

Aquí se especificarán las ayudas y financiación recibidas para la investigación y publicación del trabajo.

### **Conflicto de intereses**

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Origen del género *Ailanthus* Desf. y distribución actual de la especie *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle: Análisis fitogeográfico y registros fósiles

Origin of the genus *Ailanthus* Desf. and actual distribution of the species *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle: Phytogeographical analysis and fossil records

MARIO CORRAL RIBERA<sup>1</sup>  0000-0001-9349-4051

<sup>1</sup> Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid

## Resumen

*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (ailanto) es una de las especies vegetales exóticas invasoras más extendidas a escala global. Aunque es originaria de Asia (China y Norte de Vietnam) encuentra en su alta plasticidad de adaptación, su carácter competitivo y su introducción antrópica, la posibilidad de invadir y colonizar espacios naturales o deteriorados a escala global. La presente investigación tiene como objetivo analizar el origen del género *Ailanthus* Desf. Para ello, se elaboran mapas que recogen, para cada periodo geológico, la localización de registros citados de sámaras fosilizadas del género. Una vez se ha estudiado la aproximación al origen del género, se contextualiza la aparición de la especie *A. altissima* y su posterior expansión a escala global derivada de actuaciones antrópicas a lo largo de los siglos XX y XXI. Los resultados obtenidos establecen, entre otros aspectos, el Cretácico como el periodo de aparición del género *Ailanthus* y la meseta central del Tíbet como su región de origen. Se identifica Asia suroriental como la zona natural de la especie *A. altissima*, desde donde se expande e invade, como consecuencia de la introducción por actividades antrópicas, gran parte de las latitudes templadas de sendos hemisferios.

Palabras clave: Invasión biológica; biogeografía; sámaras fosilizadas; *Ailanthus* Desf; fitogeografía

### Fechas • Dates

Recibido: 2024.03.01  
Aceptado: 2024.09.27  
Publicado: 2024.10.30

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Mario Corral Ribera  
[mario.corral@uam.es](mailto:mario.corral@uam.es)

## Abstract

*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (*ailanthus*) is one of the most widespread invasive alien plant species on a global scale. Although it is native to Asia (China and northern Vietnam), its high adaptive plasticity, competitive nature and anthropogenic introduction have enabled it to invade and colonise natural and deteriorated areas on a global scale. In this context, the present research aims to analyse the origin of the genus *Ailanthus* Desf. To this end, cartographic outputs are elaborated that show, for each geological period, the location of cited records of fossil fruits of the genus. Furthermore, once the approach to the origin of the genus has been studied, the appearance of the species *A. altissima* and its subsequent expansion on a global scale (derived from anthropic actions) throughout the 20th and 21st centuries is contextualised. The results obtained establish, among other aspects, the Cretaceous as the period of appearance of the genus *Ailanthus* and the central Tibetan plateau as its region of origin. Southeast Asia is identified as the natural range of the species *A. altissima*, from where it spread and invaded, as a consequence of introduction by anthropogenic activities, a large part of the temperate latitudes of both hemispheres.

Keywords: Biological invasion; biogeography; fossil fruits; *Ailanthus* Desf.; phytogeography.

## 1. Introducción

Filogenéticamente el género *Ailanthus* se encuentra en el clado basal de la familia *Simaroubaceae* y se considera un grupo monofilético que se diferencia en el Cretácico Tardío (Clayton *et al.*, 2009). Tras diversas divergencias evolutivas, las investigaciones más recientes establecen de entre 6 a 10 especies distintas dentro de este género, todas ellas distribuidas por las zonas templadas del planeta (Nooteboom, 1960; Kowarik y Säumel, 2007; Van Sam y Nooteboom, 2007; Su *et al.*, 2013; Song y Xu, 2014; Liu *et al.*, 2019).

*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (ailanto) es una especie significativamente nociva para los hábitats naturales de las zonas templadas del mundo. En el caso de Europa se incluye dentro de las 20 especies exóticas de prioridad a controlar y reducir, sobre todo en las regiones mediterráneas (Sheppard *et al.*, 2005; Kowarik y Säumel, 2007). En los últimos años, se ha incrementado el número de investigaciones que tienen como objetivo analizar la dinámica expansiva e invasiva de la especie, tanto en entornos naturales como antropizados (Corbett y Manchester, 2004; Kowarik y Säumel, 2007; Su *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2017; Corral, 2021; Corral, 2022). La mayor parte de estos estudios, tiene como punto de partida el año 2008, cuando el proyecto *Delivering Alien Invasive Species Inventories of Europe* (DAISIE), coordinado por *Natural Environment Research Council* y La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) analizan la preocupante pérdida de biodiversidad y el deterioro de hábitats y ecosistemas naturales por causa de las Especies Exóticas Invasoras, entre las que destaca *A. altissima*.

Los datos morfológicos, bioquímicos y de secuencia de ADN incluyen el género *Ailanthus* dentro de la familia *Simaroubaceae* (Simão *et al.*, 1991). Son árboles y arbustos cuyo rasgo más característico es la presencia de ailantona, (sustancia con cierto grado de toxicidad) en corteza, leño y/o semillas. Las hojas son alternas, generalmente pinnado-compuestas, más raramente simples. Flores pequeñas, regulares, unisexuales o hermafroditas y dispuestas en ramilletes con envuelta doble de 3-7 sépalos y 5 pétalos. Muestran diversidad en sus frutos, pudiendo ser secos (en cápsula o alados en sámaras) o carnosos. Las semillas presentan un embrión recto o curvo, que almacena sustancias oleaginosas (González, 2001).

Los registros de sámaras fosilizadas de diferentes especies del género *Ailanthus*, permiten determinar que este género se distribuía en la actual India cuando estaba en el antiguo continente de Gondwana. Posteriormente, es probable que el género migrara al sur y sudeste de Asia. Esta idea, permite explicar la hipótesis asociada con la disyunción intercontinental de la biodiversidad tropical, en especial, entre el resto de la India y el resto de Asia (Bossuyt y Milinkovitch, 2001; Koehler y Glaubrecht, 2007; Li *et al.*, 2013; Klaus *et al.*, 2016).

En este aspecto, la conformación de la meseta del Tíbet desempeña un papel esencial para poder entender las migraciones biológicas del género desde India al resto del continente asiático durante el Paleógeno (Liu *et al.*, 2019).

La abundancia y diversidad de registros de sámaras fosilizadas de diferentes especies del género *Ailanthus* distribuidas por ambos hemisferios, han supuesto un desafío explicativo acerca de su origen, diversificación y dispersión. Así, se han planteado dos hipótesis respecto al área de origen y posterior expansión del mismo. La primera hipótesis, recogida en la investigación de Corbett y Manchester (2004) y las posteriormente formuladas por Su *et al.*, (2013) y Song *et al.*, (2014) determinan que el género *Ailanthus* era originario del oeste de América del Norte o Asia oriental en la época Eocena (56 Ma.) y que, durante el Oligoceno, se extendió y diversificó en Europa y sur de Asia (Liu *et al.*, 2019). La segunda hipótesis fija el origen en el hemisferio sur y posteriormente *Ailanthus* amplía su rango de distribución en el hemisferio norte (Nooteboom, 1960; Corbett y Manchester, 2004; Clayton *et al.*, 2009; Molnar *et al.*, 2010; Ding *et al.*, 2014; Ding *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2019).

Del mismo modo, existe cierta controversia a la hora de explicar la aparición de la especie *A. altissima*, a saber: i) Las semejanzas morfológicas entre las sámaras fosilizadas del ya extinto *Ailanthus confucii* y el actual *A. altissima*. ii) Amplia distribución de *Ailanthus confucii*, durante el Eoceno inferior, en el hemisferio norte. iii) Distribución circumboreal de la especie extinta en periodos templados. iv) Localización en las actuales regiones consideradas como nativas (China y norte de Vietnam) de *A. altissima*. (Mai 1995; Corbett y Manchester 2004).

Así mismo, es interesante aludir a otras especies del género ya extintas, particularmente *Ailanthus confucii* que aparece muy extendido en el Eoceno medio por Kučlín (República Checa); en el Eoceno inferior en América del Norte (Fossil Butte, Wyoming). Además, es el más antiguo, en el Paleoceno, en Lunpola y Nima (Meseta central del Tíbet) (Corbett y Manchester, 2004; Liu *et al.*, 2019). Durante el Terciario la especie se extendió por toda Europa (Hably, 1985). En los periodos templados *Ailanthus confucii* presentaba una distribución circumboreal. Sin embargo, durante el enfriamiento del Pleistoceno, tiende a migrar hacia latitudes más bajas como China (Mai, 1995). Todos estos datos, hacen que el *Ailanthus confucii* pueda ser considerado como ancestro del actual *A. altissima*.

Con esta aproximación, la presente investigación tiene como objetivo reconstruir el posible origen del género *Ailanthus*, la posterior aparición de la especie *A. altissima* así como su actual dinámica invasiva. Para llegar al objetivo planteado, se han inventariado y geolocalizado registros fósiles del género *Ailanthus* recogidos en citas bibliográficas, así como actuales registros del ailanto. Específicamente, el propósito de este estudio es: i) analizar las hipótesis del origen del género *Ailanthus*, ii) representar cartográficamente la dispersión del género atendiendo a los registros fósiles citados en investigaciones previas, iii) analizar las hipótesis del origen de la especie *A. altissima* (Mill.) Swingle y en último lugar, iv) elaborar cartografía temática y dinámica que permite interpretar la actual expansión del ailanto desde los primeros registros.

## 2. Metodología

La presente investigación tiene como base metodológica la recopilación por periodos geológicos, posterior georreferenciación y elaboración cartográfica de los registros fósiles del género *Ailanthus* refundidos en estudios previos (Berger, 1955; Iljinskaya, 1957; Chaney y Axelrod, 1959; Szafer, 1961; Givulescu, 1962; Dorofeev, 1963; Tana y Suzuki, 1963; Zhilin, 1967; MacGinitie, 1969; Wolfe, 1972; Negru, 1972; Akhmetiev, 1978; WGCPC, 1978; Paicheler y Blanc, 1981; Grande, 1984; Hably, 1985; Collison, 1988; Zhilin, 1989; Manchester, 1990; Pierce y Rasmussen, 1992; Akhmetiev, 1993; Knobloch y Kvacek, 1993; Mai, 1995; Fields, 1996; Bůžek y Holý, 1996; He y Tao, 1997; Mayer y Manchester, 1997; Smith *et al.*, 1998; Wilf, 2000; Hably, 2001; Manchester, 2001; Liu *et al.*, 2019). Para la búsqueda se utilizaron bases de datos bibliográficas de artículos académicos revisados por pares entre las que se destaca *Sciencedirect* y *Scopus*. Las investigaciones fueron sometidas a diferentes filtros, utilizando para ello palabras clave y/o términos, destacando: “*Fossil samaras of Ailanthus*”, “*Phytogeography and fossil history*”, “*Fossil evidence of Ailanthus*”, “*Middle Eocene fruit and seed flora*”, “*Simaroubaceae of the Late Oligocene*”, “*the genus ailanthus from the tertiary*”.

Los resultados obtenidos se recogen en tres tablas (Europa, Asia y América del Norte) que identifican la especie del género *Ailanthus* a la que pertenece el registro fósil, el lugar de su localización, por último el periodo geológico. De esta forma, partiendo de las investigaciones previas, entre las que destacan Corbett y Manchester (2004) y Liu *et al.*, (2019), que emplean metodología similar, la presente investigación ilustra de manera temporal la distribución estratigráfica y biogeográfica del género en Europa, Asia y América del Norte.

Por su parte, para analizar y cartografiar la capacidad dispersiva e invasiva de la especie *A. altissima* se ha empleado como base de datos el *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) sobre la cual se ha realizado un filtro por aquellos registros que han sido científicamente contrastados y afirmados.

La base cartográfica empleada ha sido la *National Geographic World Map, Map Service: National Geographic, Esri, Garmin, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA, increment P Corp*: El mapa incluye una cobertura global hasta una escala de aproximadamente 1: 144k y una cobertura más detallada para América del Norte hasta una escala de aproximadamente 1: 9k.

## 3. Resultados

En primer lugar, se presentan los resultados referentes a los registros fósiles de especies del género *Ailanthus* inventariados en el análisis bibliográfico. Para una mejor interpretación de los resultados, se muestra la dinámica dispersiva del propio género empleando cartografía para diferentes periodos geológicos.

En segundo lugar, se ponen de manifiesto los resultados obtenidos del análisis bibliográfico acerca del origen y de la distribución más actual de la especie *A. altissima*. Del mismo modo, se acompaña de cartografía dinámica.

### 3.1. Registros fósiles del género *Ailanthus*

La abundancia y diversidad de registros de sámaras fosilizadas de diferentes especies del género *Ailanthus* distribuidas por ambos hemisferios (Tabla 1), han supuesto un desafío explicativo acerca de su origen, diversificación y posterior dispersión a escala global.

Tabla 1. Recopilación de los registros fósiles de *Ailanthus* atendiendo al periodo geológico en Europa, Asia y América del Norte

Especie	Lugar (Europa)	Periodo geológico	Referencia
<i>Ailanthus</i> spp.	Messel (Alemania)	Eoceno medio	Collison, 1988
<i>Ailanthus confucii</i>	Kučlín (República Checa)	Eoceno tardío	Mai, 1995
<i>Ailanthus confucii</i>	Socka (Croacia)	Oligoceno inferior	Mai, 1995
<i>Ailanthus foersteri</i>	Brunstatt (Francia)	Oligoceno inferior	Mai, 1995
<i>Ailanthus gigas</i>	Socka (Croacia)	Oligoceno inferior	Mai, 1995
<i>Ailanthus tardensis</i>	Óbuda-Békásmegyer (Hungría)	Oligoceno inferior	Hably, 2001
<i>Ailanthus oxicarpa</i>	Bois d'Asson (Francia)	Oligoceno medio	Mai, 1995
<i>Ailanthus confucii</i>	Rott (Alemania)	Oligoceno tardío	Mai, 1995
<i>Ailanthus recognita</i>	Aix (Francia)	Oligoceno	Mai, 1995
<i>Ailanthus prisca</i>	Gypses d'Aix (Francia)	Oligoceno	Mai, 1995
<i>Ailanthus microsperma</i>	Zug (Suiza)	Mioceno inferior	Mai, 1995
<i>Ailanthus confucii</i>	Randecker Maar (Alemania)	Mioceno inferior	Mai, 1995
<i>Ailanthus confucii</i>	Cheb Basin (República Checa)	Mioceno inferior	Bůžek y Holý, 1996
<i>Ailanthus confucii</i>	Radoboj (Croacia)	Mioceno medio	Mai, 1995
<i>Ailanthus confucii</i>	Tokaj, (Hungría)	Mioceno medio	Hably, 1985
<i>Ailanthus confucii</i>	Mydlovary (República Checa)	Mioceno medio	Knobloch y Kvacek, 1993
<i>Ailanthus altissima</i>	Stare Gliwice (Polonia)	Mioceno medio	Szafer, 1961
<i>Ailanthus confucii</i>	Magyaregregy (Hungría)	Mioceno medio	Hably, 2001
<i>Ailanthus confucii</i>	Moldavia y Rumanía	Mioceno tardío	Negru, 1972
<i>Ailanthus confucii</i>	Rostov (Rusia)	Mioceno tardío	Mai, 1995
<i>Ailanthus altissima</i>	Bes-Konak (Turquía)	Mioceno	Paicheler y Blanc, 1981
<i>Ailanthus confucii</i>	Brunn-Vosendorf (Austria)	Plioceno inferior	Berger, 1955
<i>Ailanthus</i> spp.	Valea Neagra (Rumanía)	Plioceno inferior	Givulescu, 1962

Especie	Lugar (Asia)	Periodo geológico	Referencia
<i>Ailanthus confucii</i>	Lunpola (Tíbet)	Paleoceno	Liu et al., 2019
<i>Ailanthus confucii</i>	Nima (Tíbet)	Paleoceno	Liu et al., 2019
<i>Ailanthus confucii</i>	Khavorovsaya (Rusia)	Eoceno	Akhmetiev, 1993

Especie	Lugar (Asia)	Periodo geológico	Referencia
<i>Ailanthus fushunensis</i>	Fushun (China)	Eoceno inferior	WGCP, 1978
<i>Ailanthus confucii</i>	Yilan (China)	Eoceno tardío	He y Tao, 1997
<i>Ailanthus confucii</i>	Turgay River Basin (Kazajistán)	Eoceno tardío	Zhilin, 1989
<i>Ailanthus confucii</i>	Ashutas (Kazajistán)	Oligoceno	Iljinskaya, 1957
<i>Ailanthus confucii</i>	Kin'yaku (Kazajistán)	Oligoceno tardío	Zhilin, 1967
<i>Ailanthus youngii</i>	Linqi (China)	Mioceno	WGCP, 1978
<i>Ailanthus tertiaria</i>	Oeste de Siberia	Mioceno	Dorofeev, 1963
<i>Ailanthus yezoense</i>	Hokkaido (Japón)	Mioceno medio	Tana y Suzuki, 1963
<i>Ailanthus yezoense</i>	Velikaja Kema (Japón)	Mioceno	Akhmetiev, 1978
<i>Ailanthus kyushinensis</i>	Hamgyong-do (Corea)	Mioceno medio	Tana y Suzuki, 1963
<i>Ailanthus youngii</i>	Shanwang (China)	Mioceno medio	Tana y Suzuki, 1963
<i>Ailanthus confucii</i>	Wenshan (China)	Mioceno tardío	Tana y Suzuki, 1963
<i>Ailanthus yezoense</i>	Hokkaido (Japón)	Mioceno tardío	Tana y Suzuki, 1963
<i>Ailanthus altissima</i>	Kyoto (Japón)	Pleistoceno	Tana y Suzuki, 1963
<i>Ailanthus altissima</i>	Honshu (Japón)	Pleistoceno	Tana y Suzuki, 1963

Especie	Lugar (América del Norte)	Periodo geológico	Referencia
<i>Ailanthus lesquereuxi</i>	Fossil Butte (Wyoming)	Eoceno inferior	Grande, 1984
<i>Ailanthus lesquereuxi</i>	Little Mountain (Wyoming)	Eoceno medio	Wilf, 2000
<i>Ailanthus lesquereuxi</i>	Bonanza (Utah)	Eoceno medio	Grande, 1984
<i>Ailanthus lesquereuxi</i>	Wardell Ranch (Colorado)	Eoceno medio	MacGinitie, 1969
<i>Ailanthus lesquereuxi</i>	Chalk Bluffs (California)	Eoceno medio	Fields, 1996
<i>Ailanthus</i> spp.	White Cliffs (Oregón)	Eoceno medio	Manchester, 1990
<i>Ailanthus</i> spp.	Red Gap (Oregón)	Eoceno medio	Manchester, 1990
<i>Ailanthus</i> spp.	West Branch Creek (Oregón)	Eoceno medio	Manchester, 1990
<i>Ailanthus</i> spp.	John Day Gulch (Oregón)	Eoceno tardío	Wolfe, 1972
<i>Ailanthus</i> spp.	Teater Road (Oregón)	Eoceno tardío	Manchester, 1990
<i>Ailanthus</i> spp.	Gray Butte (Oregón)	Eoceno tardío	Smith <i>et al.</i> , 1998
<i>Ailanthus</i> spp.	Sumner Spring (Oregón)	Eoceno tardío	Smith <i>et al.</i> , 1998
<i>Ailanthus americana</i>	Florissant (Oregón)	Eoceno tardío	Manchester, 2001
<i>Ailanthus americana</i>	Ruby (Montana)	Oligoceno tardío	Mayer y Manchester, 1997
<i>Ailanthus americana</i>	Ruby (Montana)	Oligoceno	Mayer y Manchester, 1997
<i>Ailanthus americana</i>	Beaverhead Basins (Montana U.S.A)	Oligoceno	Mayer y Manchester, 1997
<i>Ailanthus americana</i>	Beaver Creek (Montana U.S.A)	Oligoceno tardío	Pierce y Rasmussen, 1992

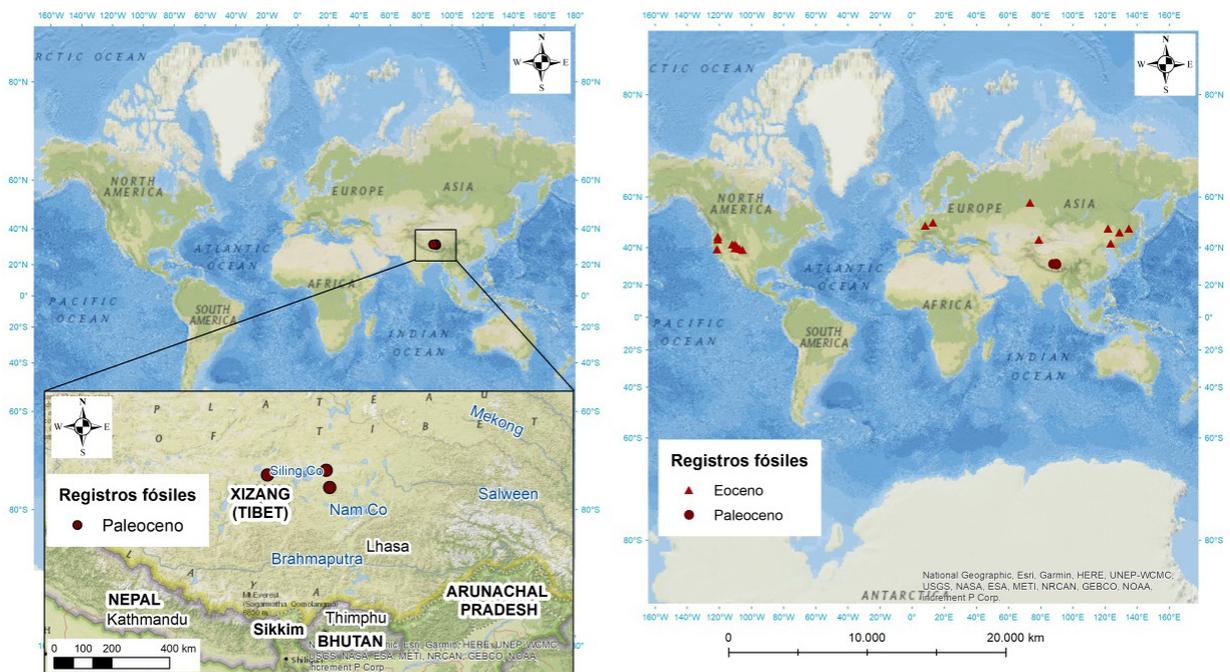
Especie	Lugar (América del Norte)	Periodo geológico	Referencia
<i>Ailanthus</i> spp.	Iron mountains (Oregón)	Mioceno inferior	Manchester, 2001
<i>Ailanthus americana</i>	Tipton (Oregón)	Mioceno	Chaney y Axelrod, 1959
<i>Ailanthus lesquereuxi</i>	Trout Creek (Oregón)	Mioceno	Fields, 1996
<i>Ailanthus indiana</i>	Stinking Water (Oregón)	Mioceno medio	Chane y Axelrod, 1959
<i>Ailanthus lesquereuxi</i>	Succor Creek (Idaho)	Mioceno medio	Fields, 1996

El color de las filas y columnas se refiere con el periodo geológico correspondiente, así se representa y recoge en la posterior cartografía.

Fuente: Elaboración propia a partir las diferentes fuentes bibliográficas consultadas.

A la vista de la tabla anterior cabe destacar que durante el Eoceno inferior la especie extinta *Ailanthus confucii* tenía una potente distribución circumboreal en periodos templados del hemisferio norte. Además, los primeros registros fósiles de la especie *A. altissima* no aparecen hasta el Pleistoceno en regiones de Asia, lo que pudiera considerarse como las actuales regiones nativas de la especie (Corbett y Manchester, 2004; Liu *et al.*, 2019).

Figura 1. Mapa de los registros fósiles de *Ailanthus* en el Paleoceno (izquierda) y entre el Paleoceno y Eoceno (derecha).



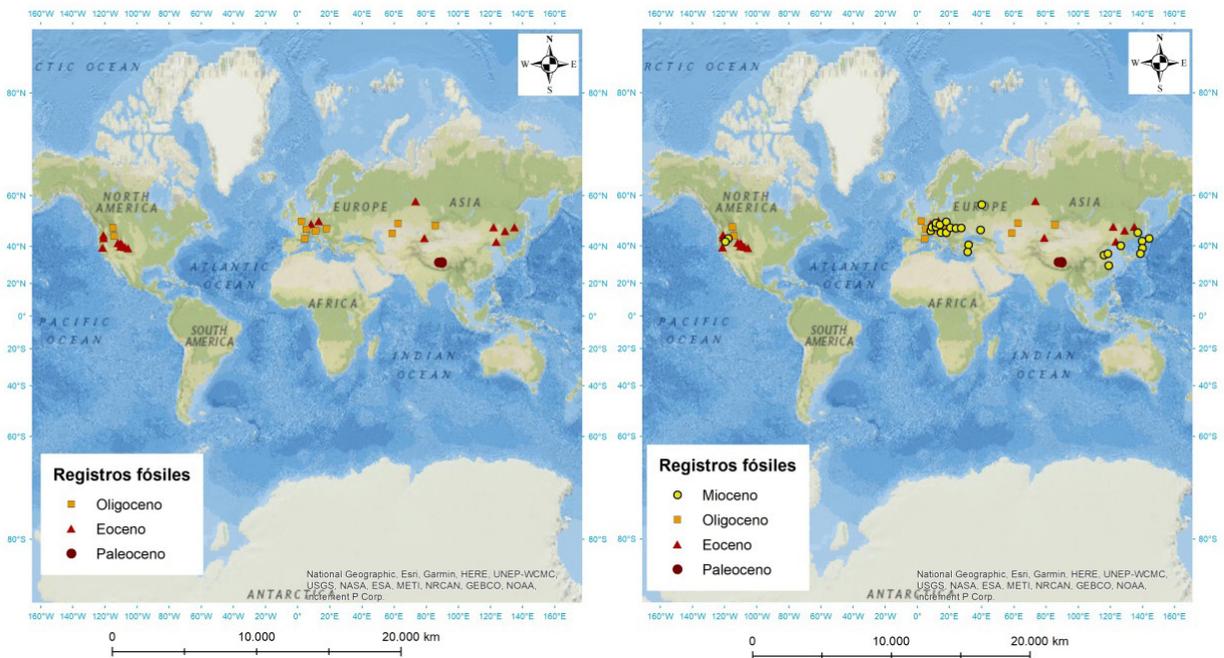
Elaboración propia a partir de los datos de registros fósiles de la Tabla . 1

Por su parte, es de interés mencionar a otras especies del género ya extintas, particularmente *Ailanthus confucii* que data del Paleoceno y es considerada la más antigua del género. Los primeros registros fósiles de la especie se localizan en la meseta central del Tíbet (regiones de Lunpola y Nima) como recogen las investigaciones de Corbett y Manchester (2004) y Liu *et al.*, (2019). Atendiendo a su distribución, *Ailanthus confucii* estaría muy extendido por el hemisferio norte a lo largo del Eoceno medio e inferior, encontrándose registros fósiles en Kučlín (República Checa) y Fossil Butte (Wyoming) (Corbett y Manchester, 2004; Liu *et al.*, 2019). Por último, durante el

Terciario, se extendería por toda Europa (Hably, 1985). Para mayor representatividad de la información recogida en la Tabla 1, a continuación se muestra una batería de mapas (figura 1, figura 2, figura 3 y figura 4) con los registros fósiles de las diferentes especies del género *Ailanthus* para los diferentes periodos geológicos analizados.

A la vista de los mapas anteriores, los primeros registros fósiles de sámaras fosilizadas datan del Paleoceno y se localizan en la meseta central del Tíbet (Liu *et al.*, 2019). A una escala más detallada, estos fósiles del periodo Paleoceno se encontraron en las proximidades del lago Siling Co, segundo lago salado de mayor extensión en el norte de la meseta tibetana en la región de Xizang. Progresivamente, entre el Paleoceno y el Eoceno las citas bibliográficas muestran un avance del género *Ailanthus* en el hemisferio norte, apareciendo registros en Europa, Asia y América del Norte (Corbett y Manchester, 2004). Si bien, la mayor expansión de *Ailanthus* por las zonas templadas del hemisferio norte datan entre los periodos Oligoceno y Mioceno (Figura 2).

Figura 2. Mapa de los registros fósiles de *Ailanthus* entre el Paleoceno al Oligoceno (izquierda) y entre el Paleoceno y Mioceno (derecha).

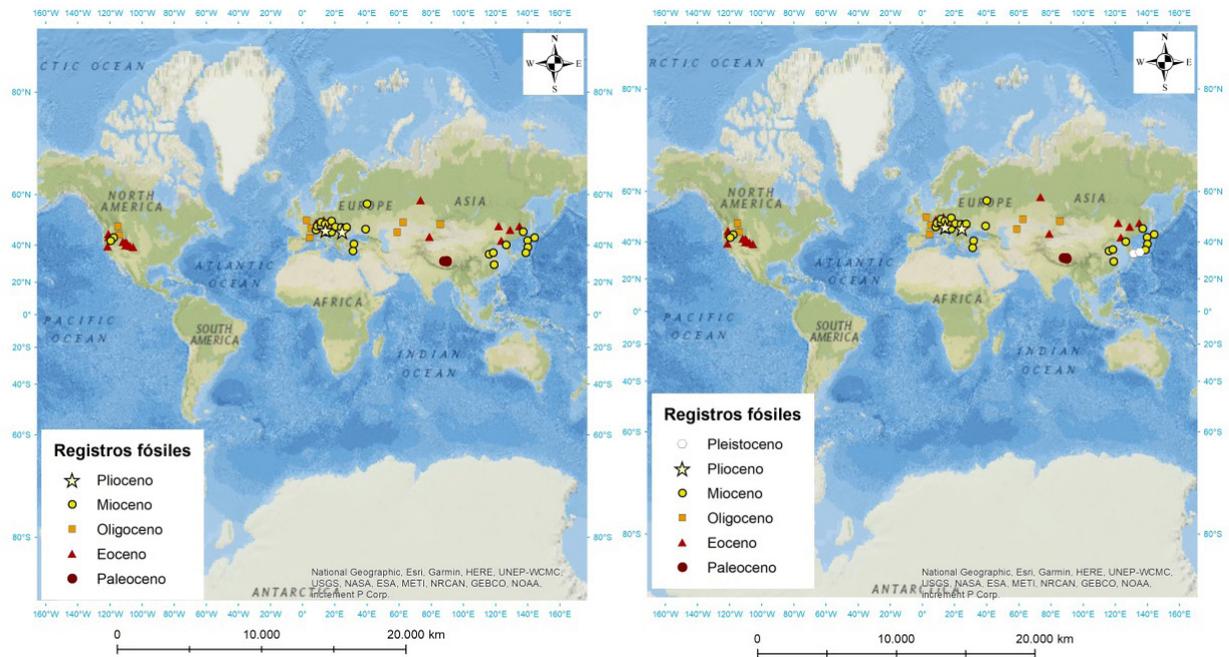


Elaboración propia a partir de los datos de registros fósiles de la Tabla.1

Para el periodo Oligoceno se identifican un total de 14 registros fósiles de *Ailanthus*, destacando Europa con 8 registros (ver tabla 1). Por su parte, a la vista de la figura 2 derecha, el Mioceno es el periodo de mayor expansión del género. Las citas bibliográficas estudiadas determinan un total de 24 registros fósiles para este periodo, de los cuales 11 se localizan en Europa, 8 en Asia y 5 en América del Norte.

Por último, entre el Plioceno y Pleistoceno, se han identificado un total de 4 registros, 2 para cada Periodo Geológico (ver figura 3 y tabla 1),

A la vista de los resultados obtenidos, las investigaciones de Liu *et al.*, 2019 establecen la meseta central del Tíbet como la región de origen del género *Ailanthus*. A partir de esta región, desde el Paleoceno, el género se ha ido extendiendo por las regiones templadas del Hemisferio Norte.

Figura 3. Mapa de los registros fósiles de *Ailanthus* entre el Paleoceno al Plioceno (izquierda) y entre el Paleoceno y Pleistoceno (derecha).

Elaboración propia a partir de los datos de registros fósiles de la Tabla .1

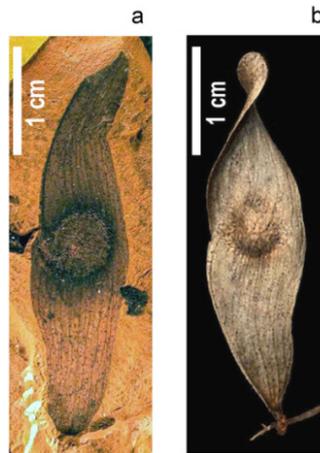
Destacar que en Asia, los registros fósiles del género *Ailanthus* se extienden desde el Eoceno hasta la actualidad (Corbett y Manchester, 2004). En el caso particular de China se han identificado sámaras fosilizadas en Fushun (provincia de Jilin, al noreste de China) pertenecientes al Eoceno inferior. También en Yilan (provincia de Heilongjiang) del Eoceno tardío (Corbett y Manchester, 2004). En cuanto a las especies, la investigación de Corbett y Manchester (2004), determinan que *A. confucii* se distribuyó (en Asia) ampliamente en el Oligoceno y el Mioceno.

Por su parte, el Mioceno se corresponde con el Periodo de máxima distribución, pues las diferentes investigaciones consultadas recopilan un total de 24 registros. Por último, los periodos de mínima expansión se asocian con Plioceno y Pleistoceno, pues solo se citan 4 registros fósiles en estos periodos.

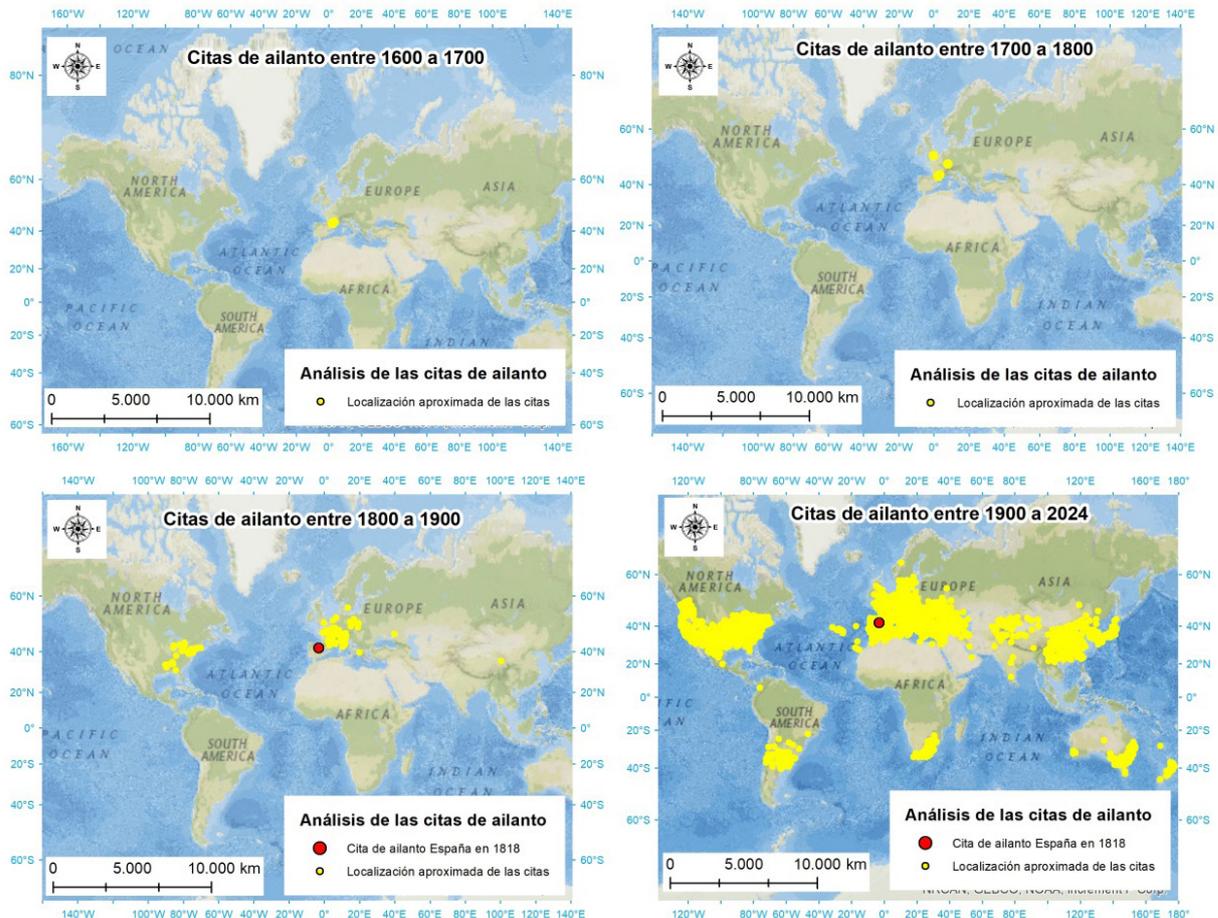
### 3.2. Origen y actual distribución de “*Ailanthus altissima*”

En relación con el análisis bibliográfico del origen de la especie *A. altissima*, los resultados obtenidos postulan que esta especie podría derivar del extinto *Ailanthus confucii*. Para fundamentar esta idea, las investigaciones analizadas tienen como matiz común las similitudes en tamaño y posición de la vena ventral del ala entre *A. altissima* y *A. confucii* (figura 4) (Mai, 1995; Corbett y Manchester, 2004).

Los primeros registros fósiles del *A. confucii* se localizan en Lunpola y Nima (meseta del Tibet) y datan del Paleoceno (Liu *et al.*, 2019). A lo largo del Eoceno inferior, Oligoceno y Mioceno esta especie se extendía por gran parte del hemisferio norte, así la bibliografía consultada censa un total de 18 registros fósiles para estos periodos (tabla 1 y figuras 1 y 2) (Iljinskaya, 1957; Zhilin, 1967; Negru, 1972; Hably, 1985; Knobloch y Kvacek, 1993; Akhmetiev, 1993; Mai, 1995; Buzek y Holý, 1996; Hably, 2001).

Figura 4. Semejanzas entre las sámaras de *Ailanthus confucii* y *A. altissima*a) Sámara fosilizada de *Ailanthus confucii* recogida en América del Norte. b) Sámara de *A. altissima*. Imagen adaptada de la investigación de Corbett y Manchester (2004).

Por su parte, los primeros hallazgos fósiles de *A. altissima* datan del Mioceno (ver tabla 1), y se localizan en Stare Gliwice (Polonia) (Szafer, 1961). En Asia, las sámaras fosilizadas de la especie fechan del Pleistoceno y se localizan en Kyoto y Honshu (Japón) (Tana y Suzuki 1963).

Figura 5. Dinámica invasiva de la especie *A. altissima* a partir de fuentes bibliográficas

Elaboración propia.

En relación con la distribución actual de *A. altissima* se consideran el Este de China y Norte de Vietnam como las regiones geográficas nativas de la especie, donde crece como componente principal de las formaciones forestales de árboles caducifolios. A partir de estos núcleos de origen, la especie ha ido colonizando progresivamente diversos espacios (naturales y antropizados) del resto de continentes (Kowarik y Säumel 2007). Así, desde su introducción y posterior expansión por el resto del mundo, la especie se distribuye entre los 35° y 60° de latitud en el Hemisferio Norte y entre los 30° a 60° de latitud en el Sur (ver figura 5) (Kowarik y Säumel, 2007; Gassó *et al.*, 2012, Corral, 2021). Los puntos amarillos representan las diferentes citas bibliográficas de *A. altissima* a escala global y el punto rojo la primera cita de la especie en España (datada de 1818).

A la vista de la figura anterior, en Europa se establece el siglo XVII como punto de partida de la reaparición de *Ailanthus altissima* (Kowarik y Säumel, 2007). Entre 1600 a 1800 el ailanto no se encuentra muy extendido a escala global, siendo a partir del siglo XIX cuando experimenta una expansión sin precedentes como especie exótica invasora (Corral, 2021). En este periodo, invade extensas regiones de latitudes medias del Hemisferio Norte y comienza a colonizar superficies de las zonas templadas de América del Sur, África y Oceanía.

## 4. Discusión

### 4.1. Origen del género *Ailanthus*

Atendiendo a los objetivos de esta investigación, en primer lugar, los trabajos previos analizados y la distribución por periodos geológicos de los registros fósiles del género *Ailanthus* permiten plantear dos hipótesis. Una primera, que sostiene que el género aparece en el hemisferio norte donde se generaliza progresivamente. Posteriormente, desde las regiones septentrionales migra al hemisferio sur. En contraposición, la segunda hipótesis defiende que el género pudo haberse originado en el hemisferio sur y tras la deriva continental amplió su rango de distribución en el hemisferio norte.

En relación con la primera hipótesis, el hecho de encontrar un elevado número de registros fósiles de *Ailanthus* datados del Eoceno medio bien distribuidos por América del Norte (Smith *et al.*, 1998; Wilf, 2000; Manchester, 2001), Europa (Berger, 1955; Collinson, 1988; Mai, 1995) y Asia (Tanai y Suzuki, 1963; Zhilin, 1967; He y Tao, 1997) sirve de base para considerar que este género pudo haber evolucionado en el hemisferio septentrional, generalizarse allí y, en épocas posteriores, migrar o expandirse por el sur (Corbett y Manchester, 2004). Para evidenciar más esta hipótesis, los registros fósiles más antiguos se encuentran en dicho hemisferio. El primero, en la Formación Green River (parte norte del estado de Utah, el oeste de Colorado y el suroeste de Wyoming) (Grande, 2013) y el segundo, en Fushun, noreste de China (WGCPC, 1978). Ambos datan del Eoceno inferior, y sirven para determinar que durante este periodo *Ailanthus* tenía un rango de distribución mucho más amplio que en la actualidad (Corbett y Manchester, 2004).

A raíz de esta primera hipótesis el género *Ailanthus* se dispersaría entre el oeste de América del Norte y el Este de Asia a través del estrecho de Bering. Por su parte, la propagación entre América del Norte y Europa sería a través del Atlántico Norte. Por último, la posible dispersión entre Asia y Europa a principios del Terciario, se vería impedido por el mar epicontinental de Turgai (Corbett y Manchester, 2004). No obstante, las similitudes en las sámaras de las especies *A. gigas*, *A. tardensis* y las actuales especies tropicales *A. integrifolia* y *A. triphysa* que se distribuyen en

Europa, Asia y Oceanía, establecen la existencia de un intercambio florístico entre los tres continentes durante el Terciario medio, por consiguiente, podría haber existido dispersión del género *Ailanthus* a principios del Terciario (Wang *et al.*, 2002). Si bien, con la posterior aparición del Himalaya es probable que este intercambio se limitara, afectando a la evolución de *Ailanthus* y la posterior divergencia del género en las actuales especies (Wang *et al.*, 2002).

Frente a esta primera hipótesis, los hallazgos en las formaciones ígneas o *Traps del Deccan* de la provincia del Deccan (Centro-Oeste de la India) de madera fosilizada con compuestos como el *Ailanthoxylon* (Wheeler *et al.*, 2017) así como los registros fósiles de sámaras de *A. confucii* en la meseta del Tíbet (Liu *et al.*, 2019) han permitido establecer que el género pudo haberse originado en el hemisferio sur y posteriormente amplió su rango de distribución en el hemisferio norte.

En la línea de esta segunda hipótesis, las muestras de madera fosilizada con *Ailanthoxylon* fueron recogidas en sedimentos del Cretácico más reciente y Paleoceno inferior, siendo así los registros fósiles más antiguos de la familia Simaroubaceae (Wheeler *et al.*, 2017). Ello concuerda con la relación filogenética revelada por el estudio molecular de Clayton *et al.*, (2009) que determina que el género *Ailanthus* es un grupo monofilético diferenciado durante el Cretácico Tardío. Además, con la presencia del compuesto *Ailanthoxylon* se establece que el género *Ailanthus* probablemente se originó en la India (Liu *et al.*, 2019).

Para la segunda hipótesis, los criterios de propagación establecen que tras la colisión de las placas tectónicas de la India y Eurasia (Paleoceno – Eoceno) el género *Ailanthus* se dispersó desde su región de origen (India) a la meseta central del Tíbet (Liu *et al.*, 2019). A pesar de la consolidación de las cadenas montañosas de Gangdese (que precedieron al Himalaya a lo largo del margen sur de lo que ahora es El Tíbet) la capacidad reproductiva de *Ailanthus* (hidrocoría, anemocoría y por rebrote de cepa o raíz) permitió su expansión por Eurasia (Nooteboom, 1960; Corbett y Manchester, 2004; Clayton *et al.*, 2009; Molnar *et al.*, 2010; Ding *et al.*, 2014; Ding *et al.*, 2017). Las condiciones ambientales del inicio del Eoceno (temperaturas elevadas y ausencia de capas de hielo en el hemisferio norte) permiten la conformación de un ecosistema tropical caracterizado por el dominio forestal (Zachos *et al.*, 2001; Greenwood *et al.*, 2010; Archibald *et al.*, 2014). En este periodo, *Ailanthus* se dispersa desde la meseta central tibetana hasta el noreste de Asia. Posteriormente, coloniza América del Norte a través del estrecho de Bering (Liu *et al.*, 2019). Al tiempo, e igual que sucede con otras especies vegetales (como el género extinto *Lagokarpos*) *Ailanthus* se dispersó durante el Eoceno medio por Kazajstán, Asia central y en último lugar por Europa (Liu *et al.*, 2019). Esta primera fase dispersiva (entre el Paleoceno al Eoceno) de *Ailanthus* se representa en la figura 1.

Además de la información mencionada anteriormente, la aparición de sámaras fosilizadas datadas del Oligoceno de *A. confucii* en Europa y *A. tardensis* en China, indican que el género una vez ha llegado de India desde Gondwana, entre el Cretácico superior al Paleoceno inferior, se dispersa ampliamente por el hemisferio norte en los periodos favorables del Oligoceno. Para este Periodo *A. confucii* compartía hábitat en el hemisferio norte con otras especies del mismo género, tal como demuestra la aparición en estratos de este periodo de sámaras fosilizadas de *A. tardensis* y *A. gigas* en Hungría y Croacia, respectivamente (Corbett y Manchester 2004). Además, la desecación del Estrecho de Turgai trae como consecuencia una afinidad florística entre Europa y Asia, territorios en donde las migraciones de especies fueron constantes, como en el caso de diferentes especies del género *Ailanthus*, que pudieron dispersarse del sur de Asia a Europa y viceversa (Song *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2019).

Posteriormente, las condiciones climáticas del Mioceno permitieron la expansión del género por la mayor parte del hemisferio norte. Así, aparece un elevado número de sámaras fosilizadas distribuidas por amplias zonas de este hemisferio (Corbett y Manchester, 2004; Su *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2019). Se puede considerar esta época geológica como la de mayor expansión de *Ailanthus*. Esta segunda fase dispersiva (entre el Paleoceno y Mioceno) de *Ailanthus* se representa en la figura 2.

Por último, el cambio climático de inicios del Plioceno y que concluye con el último periodo glacial, Würm, en el Pleistoceno, se tradujo en un retroceso sin precedentes en la expansión del género *Ailanthus* en el hemisferio norte (Zachos *et al.*, 2001; Mosbrugger *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2019) ya que tan solo se han encontrado registros fósiles en Brunn-Vosendorf (Austria) y Valea Neagra (Rumanía) (ver figura 3). Este hecho marca el retroceso del género en el continente europeo. En el Pleistoceno los registros fósiles son todavía menos significativos, tan solo aparecen en el sudeste asiático (Japón, China) pudiendo considerar esta región como zona refugio de *Ailanthus*. Este retroceso dio lugar a la casi total extinción del género en América del Norte y a una reducción muy significativa en Europa. De este modo, para el Plioceno y el Pleistoceno, se puede considerar el sudeste asiático (China y Japón) como región refugio donde quedaría acantonado el género *Ailanthus*.

Una vez se ha discutido el origen del género *Ailanthus* se presenta el análisis del origen de la especie *A. altissima*, su área de distribución natural y la posterior expansión como especie exótica invasora.

#### 4.2. Distribución actual de *A. altissima* y su expansión como especie exótica invasora

Actualmente *A. altissima* tiene su rango de distribución natural en las regiones geográficas del Este de China y Norte de Vietnam, donde la especie crece como componente principal de las formaciones forestales de árboles caducifolios (Kowarik y Säumel 2007). A partir de estos núcleos de origen, ha ido colonizando progresivamente diversos espacios (naturales y antropizados) del resto de continentes (Kowarik y Säumel 2007). No obstante, este núcleo principal del área de origen se asocia con las actividades humanas de cultivo de la especie (Hu, 1979), por lo que puede ser generada a partir de una expansión inducida por acciones antrópicas tal y como ha sucedido en el resto de áreas colonizadas.

En efecto, diferentes acciones antrópicas han marcado la expansión del ailanto como especie invasora a escala global, hasta el punto de postular que en las propias regiones de origen, la especie ha podido haber sido introducida. Así, volviendo a las investigaciones previas analizadas (ver tabla 1), cobra cada vez mayor peso, no exento de polémica, la hipótesis de que *A. altissima* provenga del ya extinto *Ailanthus confucii* (Liu *et al.*, 2019). De este modo, se puede considerar que el actual área nativa de *A. altissima* (China y norte de Vietnam) se correlaciona con el área de distribución de *Ailanthus confucii* (Liu *et al.*, 2019).

En este sentido, el clima templado del Eoceno favoreció que las formaciones vegetales termófilas dominasen en el hemisferio norte. Además, bajo estas condiciones climáticas, el *Ailanthus* pudo colonizar territorios y expandirse rápidamente (Wolfe, 1975; WGCPC, 1978; Su *et al.*, 2013). Durante el Mioceno medio, el área de distribución de *Ailanthus* quedaría restringida en ambientes subtropicales donde aparecería compartiendo territorio con otros géneros como *Acer*, *Alnus*, *Carpinus*, *Cornus*, *Fagus* y *Zelkova* (WGCPC, 1978; Mai, 1995; Denk *et al.*, 2011).

Por último, aunque desde el Eoceno hasta el Mioceno hay evidencias de la presencia de *A. confucii* en las actuales regiones naturales de *A. altissima*, destacando la región de Fushun, noreste de China, en la región de Yilan, noreste de China y por último en Shanwang, este de China (WGCPC, 1978; He y Tao, 1997; Sun *et al.*, 1999; Corbett y Manchester, 2004) son escasos los registros fósiles de *A. altissima* en dichas regiones en periodos posteriores al Mioceno (Su *et al.*, 2013). Así, solo se han identificado dos registros de la especie *A. altissima* en el Pleistoceno que se localizan en Kyoto y Honshu (Japón) (Tana y Suzuki 1963).

Con lo anterior, desde el Mioceno se establece Asia suroriental (China y norte de Vietnam particular) como el origen de la especie *A. altissima*. En este sentido, los postulados que tienen como base de su investigación que la llegada a Europa de *A. altissima* es por acción antrópica, no van desencaminados. Sin embargo, existen registros fósiles de *Ailanthus altissima* que datan del Mioceno; estos se localizan en Stare Gliwice (Polonia) y Bes-Konak (Turquía), por tanto, hay evidencia de una distribución natural de la especie en Europa para este periodo (Nooteboom, 1960; Corbett y Manchester, 2004; Clayton *et al.*, 2009; Song *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2019). Si bien, no hay registros fósiles de *A. altissima* en Europa en periodos posteriores, por consiguiente, la especie pudo desaparecer del continente Europeo a partir del Mioceno, quedando restringida su área de distribución en China y Norte de Vietnam, desde donde se extenderá por diferentes acciones antrópicas como especie exótica invasora.

Desde su introducción y posterior expansión por el resto del mundo, *Ailanthus altissima* se localiza entre los 35° y 60° de latitud en el Hemisferio Norte y entre los 30° a 60° de latitud en el Sur. Desde el punto de vista climático, la mayor parte de estas franjas latitudinales se caracterizan, por una estación cálida de larga duración (que coincide con el periodo de crecimiento de *Ailanthus altissima*), un periodo de heladas regulares en invierno y precipitación anual que supera los 500 mm (ver figura 5) (Kowarik y Säumel, 2007; Gassó *et al.*, 2012, Corral, 2021).

En Europa, se establece el siglo XVII como punto de partida de la aparición de *A. altissima*. En 1751 el botánico francés y misionario jesuita Pierre d'Incarville, con el fin de obtener fibras y resinas vegetales tradicionalmente empleadas como barniz en China, envió a la sociedad real británica de Londres semillas de un árbol (*A. altissima*), desconocido hasta entonces en el territorio londinense (Swingle, 1916). Otros postulados, (Hu, 1979 o Kowarik y Säumel, 2007) coinciden con Swingle (1916) en que el botánico Pierre d'Incarville fue el encargado de enviar las semillas, pero observaron que éstas habían llegado previamente a Francia en torno al 1740. Por último, existe otra teoría, según la cual, su introducción se produjo en 1775 en Europa y utilizó en 1786 en Francia, para formar líneas de árboles en las avenidas y sustituir los tilos de los parques urbanos (Müller, 2004).

Aludiendo a la figura 5 la máxima expansión de *A. altissima* se da partir del siglo XIX, coincidente con la globalización de los mercados e incremento del comercio internacional. Así, se puede establecer que desde 1800 hasta la actualidad, la alta plasticidad de adaptación le permite crecer tanto en lugares antropizados como naturales, y desde suelos pedregosos y estériles hasta fondos de valle (Kowarik y Säumel, 2007). No obstante, la mayoría de los espacios ocupados por su rango secundario, están sujetos a cierto grado de perturbación, antrópica o natural que conlleva la pérdida de cubierta arbórea (incendios, aclareos, enfermedades fitosanitarias, entre otras) (Kowarik y Säumel, 2007, Corral, 2021). En líneas generales, la mayor parte de estas franjas latitudinales se caracterizan, desde el punto de vista climático por una estación cálida de larga duración (que

coincide con el periodo de crecimiento de *A. altissima*), un periodo de heladas regulares en invierno y precipitación anual que supera los 500mm (Kowarik y Säumel, 2007).

Para el caso de España, la primera cita bibliográfica de *A. altissima* se recoge en el capítulo adicional al Tomo II de la obra de Gabriel Alonso de Herrera en 1818 (Enríquez, 2020; Corral, 2021). En este texto se define el rango de distribución de la especie en España como conaturalizada, tanto que parece ser nativa. Dicho lo cual, aunque la cita data de 1818, el ailanto se habría introducido e invadido gran superficie de territorios en España previamente. Así, la presente investigación postula que diferentes especies del género *Ailanthus*, entre las que se encuentra *A. altissima*, ya se habrían introducido en España antes del siglo XIX. No obstante, no se identifica la región inicial de invasión

## 5. Conclusiones

El análisis de fuentes documentales que identifican registros fósiles del género *Ailanthus* Desf. para diferentes periodos geológicos y en diversas localizaciones a escala global, ha permitido reconstruir su posible origen. En este sentido, en la presente investigación se han debatido las dos hipótesis de aparición y posterior dispersión de *Ailanthus*, así como la evolución de diferentes especies del género hasta la aparición de *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle y su actual distribución a escala global.

En relación con el origen del género *Ailanthus*, los resultados obtenidos de la recopilación bibliográfica determinan el Cretácico como el Período de aparición del género. Por su parte, los primeros registros de sámaras fosilizadas datan del Paleoceno y se localizan en la meseta central del Tíbet, pudiendo ser considerada la India como la región de origen de *Ailanthus*.

Una vez se ha identificado el origen, se estudia su dispersión. En este sentido, tras la colisión de las placas India - Euroasiática el género colonizó parte de Asia suroriental, China en particular, siendo ésta considerada como la primera región de colonización de *Ailanthus*. Desde China migraría a Europa y América del Norte a lo largo del Eoceno. La máxima expansión del género se corresponde con el Mioceno ya que para este Periodo las citas bibliográficas estudiadas identifican un total de 24 registros fósiles (11 en Europa, 8 en Asia y 5 en América del Norte). A partir del Mioceno, las investigaciones estudiadas recogen un menor número de registros fósiles, destacando el Plioceno y el Pleistoceno, periodos con 2 registros fósiles. Esta disminución de evidencias fósiles a partir del Mioceno se correlaciona con la tendencia hacia una situación climática fría, lo que implicaría la migración de *Ailanthus* hacia lugares más cálidos. A finales del Mioceno y durante el Pleistoceno, las diversas zonas refugio sirvieron tanto para la perdurabilidad del género como para la diversificación y aparición de las actuales especies que componen el género *Ailanthus*. Además, se puede destacar que la meseta tibetana jugó un papel importante para la dispersión de *Ailanthus* desde el subcontinente indio de Gondwana hasta el hemisferio norte.

Otro elemento sobresaliente de la investigación se basa en el análisis bibliográfico que permite determinar si el ya extinto *Ailanthus confucii* pudiera ser considerado como ancestro del actual *A. altissima*. A raíz de los resultados de las investigaciones previas en esta materia, se han identificado dos factores que permiten corroborar dicha evolución. Por un lado, las semejanzas morfológicas entre las sámaras fosilizadas del *A. confucii* y los frutos del *A. altissima* y, por otro lado la amplia distribución de *Ailanthus confucii*, durante el Eoceno inferior en regiones donde actualmente se encuentra el ailanto, destacando la distribución circumboreal de la especie extinta

en periodos templados. Añadido, durante el Pleistoceno, *A. confucii* migra hacia latitudes más bajas como China y Norte de Vietnam, casualmente las regiones consideradas actualmente como nativas de *A. altissima*. Teniendo en consideración estas semejanzas entre *Ailanthus confucii* y el actual *A. altissima* puede afirmarse la hipótesis propuesta. No obstante, sería interesante realizar estudios genéticos para determinar fidedignamente si *A. confucii* es un ancestro de *A. altissima*.

Además, en la presente investigación, se ha elaborado una cartografía dinámica que permite interpretar la actual expansión del ailanto desde los primeros registros. Así, se establece el siglo XVII como el periodo inicial de invasión de *A. altissima*, al menos en el continente Europeo. Si bien, no es a partir del 1800 cuando la especie comienza a invadir y expandir grandes superficies del hemisferio norte. Para el caso de España, se ha encontrado una fuente bibliográfica (datada de 1818) que especifica que la especie está significativamente naturalizada, por lo que se habría instalado previamente en el territorio nacional.

Por último, a raíz del mapa que refleja la dinámica invasiva de la especie *A. altissima* a partir de fuentes bibliográficas, señalar que aunque la introducción del ailanto por diferentes acciones antrópicas marca en muchos casos el inicio del proceso de invasión de la especie, hay que sumar su capacidad y plasticidad de aclimatación a otros ambientes así como su carácter invasivo. Estos aspectos han dado lugar a que *A. altissima* sea considerada como una de las especies exóticas invasoras más preocupantes del ámbito europeo, y especialmente de la región mediterránea desde el inicio del siglo XXI.

## Bibliografía

- Akhmetiev, M. A. (1993). Some stratigraphically important plants of the Miocene of the Far East. *Proc Acad Sci USSR Geol Ser Moscow*, 6, 67-72.
- Archibald, S. B., Morse, G. E., Greenwood, D. R., & Mathewes, R. W. (2014). Fossil palm beetles refine upland winter temperatures in the Early Eocene Climatic Optimum. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(22), 8095-8100. DOI: 10.1073/pnas.1323269111
- Berger, W. (1955). Nachtrag zur altpliozänen Flora der Congerienschichten von Brunn-Vösendorf bei Wien. *Palaeontographica Abteilung B*, 74-80.
- Bossuyt, F., & Milinkovitch, M. C. (2001). Amphibians as indicators of early tertiary "out-of-India" dispersal of vertebrates. *Science*, 292(5514), 93-95. doi: 10.1126/science.1058875.
- Bůžek, Č & Holý, F. (1996). Early Miocene flora of the Cypris Shale (western Bohemia). *Acta Musei nationalis Pragae*, Series B-historia naturalis, 52, 1-72.
- Chaney, R.W. & Axelrod, D.I. (1959). *Miocene floras of the Columbia Plateau*. Carnegie Inst Washington Publ 617, Washington, D.C. 237 pp
- Clayton, J. W., Soltis, P. S., & Soltis, D. E. (2009). Recent long-distance dispersal overshadows ancient biogeographical patterns in a pantropical angiosperm family (Simaroubaceae, Sapindales). *Systematic Biology*, 58(4), 395-410. doi.org/10.1093/sysbio/syp041.
- Collinson, M. E. (1988). The special significance of the Middle Eocene fruit and seed flora from Messel, West Germany. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 107, 187-197. doi: 10.3140/bull.geosci.1155.
- Corbett, S. L., & Manchester, S. R. (2004). Phytogeography and fossil history of *Ailanthus* (Simaroubaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 165(4), 671-690. doi: 10.1086/386378.
- Corral Ribera, M. (2021). "Especies Exóticas Invasoras. Caso de *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle en el Centro de la Península Ibérica". Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Corral Ribera, M. (2022). Factor bioconcentración en *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Análisis preliminar. *Cuadernos Geográficos*, 61(1), 189-205. doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i1.20952.
- De Herrera, G.A. (1818). Tomo II. *Agricultura general* (pp. 435). Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico. <https://bvpb.mcu.es/es/consulta/registro.cmd?id=448331>

- Denk, T., Grimsson, F., Zetter, R., & Simonarson, L. A. (2011). Late Cainozoic floras of Iceland: 15 million years of vegetation and climate history in the northern North Atlantic. *Springer, Dordrecht*, 35, 647-668. Doi: 10.1007/978-94-007-0372-8\_12.
- Ding, L., Spicer, R. A., Yang, J., Xu, Q., Cai, F., Li, S., ... & Shukla, A. (2017). Quantifying the rise of the Himalaya orogen and implications for the South Asian monsoon. *Geology*, 45(3), 215-218. doi.org/10.1130/G38583.1.
- Ding, L., Xu, Q., Yue, Y., Wang, H., Cai, F., & Li, S. (2014). The Andean-type Gangdese Mountains: Paleoelevation record from the Paleocene–Eocene Linzhou Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 392, 250-264. doi. 10.1016/j.epsl.2014.01.045.
- Dorofeev, P.I. (1963). The Tertiary floras of western Siberia. Komarov Botanical Institute, *Academy of Sciences of the USSR, Moscow*. 346 pp
- Enríquez, A. (2020). La expansión de *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle en la Comunidad de Madrid. *Flora Montiberica*, (76), 4-14.
- Fields, P. F. (1996). *The Succor Creek flora of the middle Miocene Sucker Creek Formation, southwestern Idaho and eastern Oregon: systematics and paleoecology*. Michigan State University.
- Gassó N., Thuiller W., Pino J. & Vilà M. (2012). Potential distribution range of invasive plant species in Spain. *Neobiota* 12. 25-40. DOI: 10.3897/neobiota.12.2341
- GBIF (2024). GBIF occurrence download. Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/>.
- Givulescu, R. (1962). Die fossile Flora von Valea Neagra. *Palaeontographica Abteilung*, 110:128–187.
- González, L. (2001). Árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares. Ediciones Mundi-Prensa.
- Grande, L. (1984). *Paleontology of the Green River Formation, with a review of the fish fauna*. Laramie, Wyoming: Geological Survey of Wyoming. (63), 1-333).
- Grande, L. (2013). *The lost world of fossil lake: snapshots from deep time*. University of Chicago Press.
- Greenwood, D. R., Basinger, J. F., & Smith, R. Y. (2010). How wet was the Arctic Eocene rain forest? Estimates of precipitation from Paleogene Arctic macrofloras. *Geology*, 38(1), 15-18. DOI: 10.1130/G30218.1
- Hably, (1985). atalogue of the Hungarian enozoic leaf-flora. *Studia Botanica Hungarica*, 18, 5-58.
- He, C., & Tao, J. (1997). A study on the Eocene flora in Yilan County, Heilongjiang. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 35(3), 249-256.
- Hu, Y., Wang, D., Wei, L. & Song, B. (2014). Heavy metal contamination of urban topsoils in a typical region of Loess Plateau, China. *Journal of soils and sediments*, 14(5), 928-935. doi: 10.1007/s11368-013-0820-1.
- Iljinskaja, IA. (1957). New data on the Oligocene flora of Ashutas Mountain in Kazakhstan. *Bot Zh*, 42:395–413.
- Klaus, S., Morley, R. J., Plath, M., Zhang, Y. P., & Li, J. T. (2016). Biotic interchange between the Indian subcontinent and mainland Asia through time. *Nature Communications*, 7, 12,132. DOI: 10.1038/ncomms12132.
- Knobloch, E & Kcacek, Z. (1993). Miozäne Floren der südböhmischen Becken. Sb. *Geological Ved. Rada.P.Paleontol.* 33, 39-77.
- Koehler, F., & Glaubrecht, M. (2007). Out of Asia and into India: on the molecular phylogeny and biogeography of the endemic freshwater gastropod *Paracrostoma* Cossmann, 1900 (Caenogastropoda: Pachychilidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 91(4), 627-651. doi:10.1111/j.1095-8312.2007.00866.x.
- Kowarik, I. & Säumel, I. (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspect. Plant Ecology Evolution System*. doi:10.1016/j.ppees.2007.03.002.
- Li, J. T., Li, Y., Klaus, S., Rao, D. Q., Hillis, D. M., & Zhang, Y. P. (2013). Diversification of rhacophorid frogs provides evidence for accelerated faunal exchange between India and Eurasia during the Oligocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(9), 3441-3446. doi: 10.1073/pnas.1300881110.
- Lin, L., Yan, J., Ma, K., Zhou, W., Chen, G., Tang, R. & Zhang, Y. (2017). Characterization of particulate matter deposited on urban tree foliage: A landscape analysis approach. *Atmospheric Environment*, 171, 59-69. 10.1016/j.atmosenv.2017.09.012.
- Liu, Jia; Su, Tao; Spicer, Robert; Tang, He; Deng, Wei-Yu-Dong; Wu, Fei-Xiang; Srivastava, Gaurav; Spicer, Teresa; Van Do, Truong; Deng, Tao and Zhou, Zhe-Kun (2019). Biotic interchange through lowlands of Tibetan Plateau suture zones during Paleogene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 524, 33–40. doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.02.022.
- MacGinitie, H. D. (1941). *A middle Eocene flora from the central Sierra Nevada*. Carnegie Inst Washington Publ 534.

- Mai, D. H. (1995). Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas: Gustav Fischer. *Jena, Stuttgart, New York*, 691. doi.org/10.1002/fedr.19951060333.
- Manchester, S.R. (1990). *Eocene to Oligocene floristic changes recorded in the Clarno and John Day Formations*, Oregon, USA. Pages 183–187 in E Knobloch, Z Kvacsek, eds. Symposium proceedings, paleofloristic and paleoclimatic changes in the Cretaceous and Tertiary. Geological Survey, Prague
- Manchester, S.R., (2001). Update on the megafossil flora of Florissant, Colorado, USA. In: Evanoff, E., Gregory-Wodzicki, K.M., Johnson, K.R. (Eds.), *Fossil Flora and Stratigraphy of the Florissant Formation, Colorado*. Proceedings: *Denver Museum of Nature & Science*. 4, (1), 137–161.
- Meyer, H.W. & Manchester, S.R. (1997). The Oligocene Bridge Creek flora of the John Day Formation, Oregon. *Univ Calif Publ Geol Sci* 141: 1–195
- Molnar, P., Boos, W. R., & Battisti, D. S. (2010). Orographic controls on climate and paleoclimate of Asia: thermal and mechanical roles for the Tibetan Plateau. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 38, 77-102. doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152456.
- Mosbrugger, V., Utescher, T., & Dilcher, D. L. (2005). Cenozoic continental climatic evolution of Central Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(42), 14,964-14,969. doi.org/10.1073/pnas.0505267102
- Müller, S. (2004). Plantes invasives en France: état des connaissances et propositions d'actions. *Collection patrimoines naturels*.
- National Geographic World Map, Map Service: National Geographic, Esri, Garmin, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA, increment P Corp (2024). <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=3d1a30626bbc46c582f148b9252676ce>.
- Negru, A.G. (1972) *The Early Sarmatian flora of the northeast of Moldavia*. Shiintsa, Kishinev. 169 pp.
- Nooteboom, H. P. (1960). *Simaroubaceae. Flora Malesiana-Series 1, Spermatophyta*, 6(1), 193-226.
- Paicheler, J. C., & Blanc, C. P. (1981). La flore du bassin lacustre miocène de Bés-Konak (Anatolie septentrionale, Turquie). *Géologie méditerranéenne*, 8(1), 19-60.
- Sheppard, A. W., Shaw, R. H. & Sforza, R. (2005). Top 20 environmental weeds for classical biological control in Europe: a review of opportunities, regulations and other barriers to adoption. *Weed research*, 46(2), 93-117. doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00497.x.
- Simão, S. M., Barreiros, E. L., Da Silva, M. F. D. G., & Gottlieb, O. R. (1991). Chemogeographical evolution of quassinoids in Simaroubaceae. *Phytochemistry*, 30(3), 853-865. dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2014.07.021.
- Smith, G. A., Manchester, S. R., Ashwill, M., McIntosh, W. C., & Conrey, R. M. (1998). Late Eocene–early Oligocene tectonism, volcanism, and floristic change near Gray Butte, central Oregon. *Geological Society of America Bulletin*, 110(6), 759-778. doi: 10.1130/0016-7606(1998)110<0759:LLEOTV>2.3.CO;2.
- Song, Z., & Xu, D. (2014). The identity of *Ailanthus guangxiensis* (Simaroubaceae) and lectotypification of *A. integrifolia* Lamarck. *Phytotaxa*, 173(2), 177-180. doi. 10.11646/phytotaxa.173.2.10.
- Su, T., Jacques, F. M., Ma, H. J., & Zhou, Z. K. (2013). Fossil fruits of *Ailanthus confucii* from the upper Miocene of Wenshan, Yunnan Province, southwestern China. *Palaeoworld*, 22(3-4), 153-158. doi.org/10.1016/j.palwor.2013.07.002.
- Swingle, W. T. (1916). The early European history and the botanical name of the tree of heaven, *Ailanthus altissima*. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 6(14), 490-498. <http://www.jstor.org/stable/42954660>
- Szafer, W. (1961). Miocene Flora of Stare Gliwice in upper Silesia. *Inst Geol Warszawa* 33:97–205.
- Tanai, T., & Suzuki, N. (1963). On the genus *Ailanthus* from the tertiary of Japan. In *Transactions and proceedings of the Paleontological Society of Japan*, 1963(52), 135-144.
- Van Sam, H., & Nooteboom, H. P. (2007). *Ailanthus vietnamensis* (Simaroubaceae): a new species from Vietnam. *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 52(3), 555-558. doi. 10.3767/000651907X608918.
- Wang, C., Li, X., Hu, X., & Jansa, L. F. (2002). Latest marine horizon north of Qomolangma (Mt Everest): Implications for closure of Tethys seaway and collision tectonics. *Terra Nova*, 14(2), 114-120. DOI: 10.1046/j.1365-3121.2002.00399.x
- WG CPC (Writing Group of Cenozoic Plants of China), 1978. *Cenozoic Plants from China, Fossil Plants of China*, vol. 3. Science Press, Beijing, 232 pp.
- Wheeler, E. A., Srivastava, R., Manchester, S. R., & Baas, P. (2017). Surprisingly modern latest Cretaceous–earliest Paleocene woods of India. *IAWA Journal*, 38(4), 456-542. 2. doi.org/10.1163/22941932-20170174.

- Wilf, P. (2000). Late Paleocene–early Eocene climate changes in southwestern Wyoming: Paleobotanical analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 112(2), 292-307. doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112<292:LPECCI>2.0.CO;2.
- Wolfe, J. A. (1972). Some aspects of plant geography of the Northern Hemisphere during the late Cretaceous and Tertiary. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 264-279. doi.org/10.2307/2395198
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., & Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292(5517), 686-693. DOI: 10.1126/science.1059412.
- Zhilin, S.G., (1967). Ulmaceae and Simaroubaceae of the Late Oligocene flora of Kinyak (Northwestern Karakalpak A.S.S.R.). *Botanicheskii Zhurnal* 52, 481–488.

### Conflicto de intereses

El autor de este trabajo declara que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# De ciudades núcleo a periféricas: Dinámicas de migración interna en las áreas metropolitanas de Colombia, 1993-2018

From core to peripheral cities: Dynamics of internal  
migration in Colombia's metropolitan areas, 1993-2018

JUAN JOSÉ LIZCANO PALACIO<sup>1</sup>  0009-0000-6153-774X

JORDI BAYONA-I-CARRASCO<sup>1,2</sup>  0000-0003-2819-9085

JENNIFFER THIERS QUINTANA<sup>1</sup>  0000-0001-9767-1000

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona

<sup>2</sup> Centre d'Estudis Demogràfics/CERCA

## Resumen

En la segunda mitad del siglo XX, Colombia experimentó un cambio migratorio interno significativo, con los municipios periféricos de las áreas metropolitanas emergiendo como nuevos centros de atracción en contraste con sus ciudades núcleo. Con la intención de validar la persistencia de esta tendencia y de conocer el estado reciente de los flujos migratorios internos, este estudio, basado en datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, realiza un análisis comparativo de la intensidad y los efectos de crecimiento y redistribución en las dinámicas migratorias internas en ocho áreas metropolitanas colombianas. Los resultados revelan una transformación clara: las ciudades periféricas han ganado prominencia como centros de atracción, mientras que las ciudades núcleo han experimentado una relativa disminución en su atractivo, situando a Colombia en una fase de relativa descentralización dentro de la etapa de suburbanización. Este fenómeno destaca la importancia de comprender los factores que impulsan esta reconfiguración espacial, destacando el papel central que juegan los flujos interurbanos y las áreas metropolitanas en la dinámica migratoria interna del país. Además, se resalta la relevancia de continuar investigando estos procesos para mejorar las políticas públicas y la planificación urbana en Colombia y territorios con características similares.

Palabras clave: Migración interna; áreas metropolitanas; descentralización; Colombia.

### Fechas • Dates

Recibido: 2024.01.29  
Aceptado: 2024.09.13  
Publicado: 2024.10.30

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Juan José Lizcano Palacio  
[jj.lizcanopalacio@ub.edu](mailto:jj.lizcanopalacio@ub.edu)

## Abstract

In the second half of the 20th century, Colombia underwent a significant shift in internal migration, with peripheral municipalities of metropolitan areas emerging as new centers of attraction in contrast to their core cities. Aiming to validate the persistence of this trend and assess the recent state of internal migration flows, this study, based on data from the 1993, 2005, and 2018 censuses, conducts a comparative analysis of the intensity, growth effects, and redistribution in internal migration dynamics across eight Colombian metropolitan areas. The results reveal a clear transformation: peripheral cities have gained prominence as centers of attraction, while core cities have experienced a relative decline in their appeal, positioning Colombia in a phase of relative decentralization within the suburbanization stage. This phenomenon underscores the importance of understanding the factors driving this spatial reconfiguration, highlighting the central role that interurban flows and metropolitan areas play in the country's internal migration dynamics. Additionally, the study emphasizes the need for continued research on these processes to improve public policies and urban planning in Colombia and similar territories.

---

Keywords: Internal Migration; Metropolitan Areas; suburbanization; Colombia.

---

## 1. Introducción

Durante las últimas décadas, las migraciones internas en Colombia se han visto favorecidas principalmente por tres motivos: el crecimiento de la población rural (Kalmanovitz, Salomón & López, 2006; Schultz, 1971), el auge industrial de las nuevas zonas urbanas (López & Cobos, 2008) y los conflictos estructurales de orden económico y político (Carrillo, 2009; Ruiz, 2008; Sánchez Steiner, 2008). En la mayor parte del siglo XX estos motivos han impulsado un flujo migratorio rural-urbano que ha ayudado a convertir a Colombia en un país mayoritariamente urbano. Un aspecto crucial en este proceso ha sido el fenómeno denominado como “desplazamiento forzado”<sup>1</sup>, producto del contexto de conflicto político y de las confrontaciones armadas (Camargo et al., 2020; Gómez, 2002; Ibáñez Londoño & Vélez, 2005; Morales, 2018; Prieto-Bustos et al., 2021), conflictos que siguen existiendo a pesar de la firma de los acuerdos de Paz en 2016.

A pesar del gran impacto que ha tenido el conflicto armado sobre el flujo rural-urbano en el país, estudios basados en los resultados del Censo de 2005 sugieren que la intensidad de este flujo ha venido disminuyendo, dando paso a un proceso de metropolización que refleja nuevos movimientos de tipo interurbano producidos mayoritariamente entre ciudades capitales e intermedias, e incluso casos incipientes de flujos urbano-rurales (Castellanos Caballero, 2016; Castro Escobar, 2016; Cuervo Ramírez et al., 2018; López & Cobos, 2008; Silva Arias & González Román, 2009; Villarraga Orjuela, 2015). Esta tendencia, evidenciada también en otras regiones de América Latina (Castro Escobar, 2016; Rodríguez Vignoli, 2017; Rodríguez Vignoli, 2004), obliga a quienes nos interesamos por comprender el fenómeno de la migración interna a enfocarnos fuera de la dicotomía rural-urbano y, por supuesto, a hacer un seguimiento de este cambio de tendencia que otorga un rol principal a las áreas metropolitanas (AM), donde se destacan los flujos desde la ciudad núcleo hacia sus ciudades periféricas.

Este artículo analiza los Censos colombianos más recientes de 1993, 2005 y 2018, poniendo especial énfasis en las dinámicas migratorias en ocho áreas metropolitanas del país: Barranquilla,

---

1. La existencia del Registro Único de Población Desplazada (RUPD) y la categoría estadística de “desplazado interno” han contribuido a visibilizar esta situación en Colombia (ver Soledad y Egea, 2011).

Bogotá-Cundinamarca, Bucaramanga, Cali, Centro Occidente, Cúcuta, Valle de Aburrá y Valledupar. Nuestro objetivo es evaluar cómo la migración interna ha impactado a las principales ciudades capitales y sus ciudades colindantes, destacando el rol creciente de las ciudades periféricas. Los resultados indican que estas ciudades han ganado prominencia como centros de atracción, mientras que las ciudades núcleo han disminuido su atractivo, situando a Colombia en una fase de descentralización durante la suburbanización.

El artículo está compuesto por seis secciones, incluida esta introducción. En la segunda sección, se presenta un marco teórico en el que se abordan las principales contribuciones y conocimientos sobre las migraciones internas en Colombia. La tercera sección describe la metodología utilizada en el artículo. En la cuarta y quinta se presentan y discuten los resultados, y finalmente, las conclusiones.

## 2. Marco teórico y estado de la cuestión

Entre la década de 1950 y 1970, Colombia poseía una red de más de 20 ciudades con 50.000 habitantes o más. Una cifra relativamente destacable respecto a los demás países de Latinoamérica, donde generalmente se observaba una gran ciudad dominante y pocas ciudades intermedias (Cardona & Simmons, 1978; Gouëset & Mesclier, 2007; Villarraga Orjuela, 2015). Aquella red urbana era constituida por centros regionales que brindaban un equilibrio a los movimientos migratorios internos que involucran a las ciudades grandes e intermedias, así como proporcionaba una base territorial más proclive al desarrollo regional (Davis & Henderson, 2003). Durante esta etapa se presentó el mayor período de crecimiento demográfico del país, producto de una transición demográfica que comportaba una alta tasa bruta de natalidad constante y una tasa de mortalidad decreciente (Banguero Lozano, 2005; Mármora, 1979).

Este crecimiento demográfico se mantuvo, evidenciando cada vez más la importancia de las ciudades en el país, que para 1993 acogían casi un 70 % de la población total. A comienzos del siglo XXI, las cifras de crecimiento poblacional urbanas comenzaron a mostrar un cambio de tendencia: la alta concentración de población en las grandes ciudades, así como una mayor influencia de ciudades pequeñas, dieron lugar a una jerarquización de ciudades más evidente dentro de la estructura urbana nacional (González & Rubiano, 2012; Villarraga Orjuela, 2015).

Aunque los flujos de migración de origen rural han sido protagonistas de este crecimiento urbano, han venido disminuyendo, siendo substituidos por una migración de menor distancia, especialmente en las ciudades intermedias concentradas sobre todo en la zona central del país (Castro Escobar, 2016). Es en esta zona, en la que se empieza a apreciar una cierta desconcentración demográfica de las grandes ciudades hacia los municipios aledaños, como producto del desarrollo de sus AM y su relación con los flujos migratorios internos (Castro Escobar, 2016).

Esta tendencia también se identificó en los demás países de Latinoamérica, donde para el año 2000 el crecimiento de nodos, representados por ciudades de tamaño medio y las pequeñas ciudades intermedias, se fue multiplicando rápidamente, confirmando la tendencia hacia un sistema urbano más complejo (Cunha & Rodríguez, 2009) en el que destaca la migración entre ciudades por encima del histórico flujo rural-urbano. Esta nueva etapa se evidencia sobre todo en los flujos que tienen como origen las grandes ciudades y como destino a sus suburbios o sus ciudades cercanas, y se destaca, por supuesto, el rol de las AM como principal lugar de encuentro de la población urbana (Castro Escobar, 2016).

Este proceso ya se había producido durante el periodo de posguerra en las regiones más urbanizadas del mundo, principalmente en el norte y oeste de Europa y Norteamérica. Tras una primera etapa de urbanización, la década de 1960 se identifica como el periodo del apogeo de la suburbanización en estas regiones (Champion, 2001), y de forma más tardía en países como España (Bayona-i-Carrasco & Pujadas-i-Rúbies, 2014). Un proceso en el que las ciudades comenzaron a perder población en detrimento de los centros poblados que les rodeaban, y a partir del cual se pueden identificar otras áreas aledañas a la ciudad central como son las áreas periurbanas y las post-suburbia (Hidalgo & Borsdorf, 2009).

El avance de estos procesos, junto con la denominada contraurbanización y reurbanización, han llevado a la germinación de modelos que buscan explicar el proceso de urbanización, entre los que se destaca el modelo de las etapas de desarrollo urbano, refinado en repetidas ocasiones y que incluye los elementos introducidos por Klaassen y Van den Berg en la década de los ochenta (Klaasen & Scimemi, 1981; Van den Berg *et al.*, 1982, 1987). Este modelo ilustra cuatro etapas basadas en la ganancia o pérdida de población de la ciudad núcleo y sus aledañas como un todo: urbanización, suburbanización, desurbanización y reurbanización, cada una de estas etapas cuenta con dos fases que describen que sucede de forma independiente con la ciudad núcleo y los centros poblados que le rodean, determinando si la centralización o descentralización es absoluta o relativa (Champion, 2001; Parr, 2012; Docampo, 2014).

Volviendo al caso colombiano, para el año 2005, las ciudades habían absorbido el 78,4 % del crecimiento total de la población del país desde 1950 (Villarraga, 2015). Esta situación en la que pareciera que las cabeceras municipales atraen la mayor cantidad de población respecto a las zonas rurales, se da de manera desigual en todo el territorio, y como mencionamos anteriormente, fueron las ciudades más grandes y sus AM los focos de atracción de la migración interna. Hasta la década de 1980 estas migraciones eran provenientes en su mayoría de las zonas rurales, y a partir de la década de los noventa, con datos del Censo de 1993, se aprecian migraciones más de tipo interurbano (González & Rubiano, 2012).

La mayoría de estudios coinciden en que las razones para que se produjera una rápida urbanización fueron básicamente la implementación y desarrollo de programas de educación y salud pública, así como también el inicio de políticas de modernización de la agricultura que llevó a cambios sobre la propiedad de la tierra, obligando a sus antiguos propietarios a emigrar a las ciudades, que no la industrialización, como sí ocurrió en el caso europeo (Balat & Casas-Lozano, 2018; Cardona & Simmons, 1978; Pérez Valbuena & Meisel Roca, 2013; Sánchez Steiner, 2008; Villarraga Orjuela, 2015). En esta medida, es importante aclarar que estas políticas de modernización en la agricultura no hicieron parte de un proceso de industrialización.

Es evidente la relevancia de las AM tanto en el proceso de urbanización, como en el de migración en Colombia, sin embargo, la literatura existente no es tan amplia como se esperaría. Se destacan, eso sí, aportes de gran valor como, por ejemplo, los ofrecidos por la tesis doctoral de Villarraga Orjuela (2015) en la que, a pesar, de las limitaciones de los microdatos y la desagregación de municipios de los Censos previos a 2005, ofrece una mirada general al fenómeno y abre la puerta a diversas preguntas relacionadas con los flujos internos dentro de las AM. Como respuesta a esas preguntas, aportes como el de Camargo (2023), Castro Escobar (2016) y Silva & González (2009), brindan mayor información acerca de los procesos de metropolización en Colombia (Castro Escobar, 2016) y una mirada espacial a los flujos migratorios y sus causas (Silva Arias & González

Román, 2009) e impactos, como el que tiene la migración interna en la movilidad residencial (Camargo, 2023).

Cuervo et al. (2018) también abordan el tema de la migración metropolitana con más profundidad, pero de nuevo, solo hasta el año 2005. En este caso, se destaca el uso de las provincias como entidad espacial, unidad que justamente es muy poco utilizada para Colombia y que les permitió superar algunas dificultades importantes como diferenciar puntos de atracción o expulsión dentro de los departamentos, y el número de habitantes, ya que en un análisis para municipios de pocos habitantes cualquier movimiento migratorio puede sobredimensionarse (Cuervo Ramírez et al., 2018).

Pese a estos aportes recientes y a la gran relevancia del fenómeno de migración interna dentro del proceso de urbanización poblacional, las investigaciones relacionadas siguen siendo insuficientes para comprender las dinámicas y patrones asociadas a la migración interna en Colombia. El Censo de 2018 abre las puertas para continuar contribuyendo al entendimiento de este fenómeno, razón por la cual su análisis es pieza fundamental de este artículo.

### 3. Metodología

El objeto clave de estudio en este artículo es la migración interna y para analizarla hemos aplicado métodos directos basados en la información recolectada por los recientes Censos, y en particular a los datos recogidos por las preguntas sobre dónde residía el individuo 5 años antes del momento de ser consultado en el Censo (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2008).

A partir de los resultados censales y gracias al apoyo de miembros del equipo técnico del DANE, y a través del sistema de consulta Redatam<sup>2</sup>, se obtuvieron las principales herramientas de análisis de este artículo: las matrices origen-destino de fecha fija para cada Censo. Cada matriz, recoge al número de individuos que 5 años antes residía en un municipio distinto al censado y dentro de los bordes geográficos y políticos de Colombia, lo que se corresponde con la definición de migrante interno que se ha aplicado en esta investigación (Rees et al., 2000; Rees & Lomax, 2019; Villa, 1991; White, 2016). Es importante mencionar que todas las medidas de migración en este estudio se refieren conceptualmente a transiciones y no a movimientos, puesto que no es posible identificar, a partir de la fuente de información el total de los flujos ocurridos durante el período que aborda la pregunta del Censo (CEPAL, 2023; Rees et al., 2000), lo que provoca necesariamente una subestimación de las tasas obtenidas.

Con la intención de identificar el estado y la tendencia migratoria interna en Colombia, se aplicaron los métodos e indicadores recomendados para analizar la intensidad, y los efectos demográficos de crecimiento y redistribución de los tres últimos Censos: Censos de 1993, 2005 y 2018. Dado que la unidad para la que se obtiene la información es el municipio, se han efectuado los cálculos a escala nacional y de AM, esta última escala solo disponible en su totalidad para los dos últimos Censos, debido a limitaciones de acceso a la información del Censo de 1993.

2. REDATAM es un sistema utilizado para procesar y analizar datos censales. Los censos de 2005 y 2018 en Colombia se pueden consultar en línea a través del DANE (<https://microdatos.dane.gov.co>). Los datos del censo de 1993 están disponibles únicamente en la Sala de Procesamiento Especializada del DANE y se accedió a ellos mediante un requerimiento.

Para calcular la intensidad se acostumbra a usar la Tasa global de migración interna (TGMI) (CEPAL, 2023), en inglés, *Crude Migration Intensity* (CMI). Cuando se captan el número de migraciones de un territorio, este indicador es igual al cociente de número de migraciones sobre la población media del periodo y suele denominarse CMR<sup>3</sup>. Sin embargo, cuando solo se conoce el número de migrantes (transiciones), como es nuestro caso y como suele ocurrir cuando la fuente de información es el Censo, el indicador es igual a dividir el número de migrantes durante el periodo entre la población en riesgo de migrar, y representa una probabilidad que debe expresarse sobre una base anualizada, y se denomina CMP<sup>4</sup>. (Bell et al., 2002; Bell & Muhidin, 2009; CEPAL, 2023). A partir de ahora, nos referiremos a este indicador, únicamente como CMI. La ecuación 1 ilustra el cálculo general tenido en cuenta en este artículo.

$$CMI_i = \left( \frac{M_i}{P_{i,t+n}} \right) * 1000/5 \quad (1)$$

El término hace referencia a los migrantes internos de  $i$ . El denominador hace referencia a la población en riesgo de emigrar, es decir, la población en el periodo inicial. Sin embargo, usar esta población no elimina el efecto de la posible llegada de migrantes extranjeros, ni de las personas que emigraron o murieron durante el periodo. Por esta razón se acostumbra a usar otro valor correspondiente a que representa la población que se encontraba en la población de origen  $i$  y que sobrevivió y participó del Censo. Phillip Rees et al. (2000), detallan los problemas y soluciones presentes en este indicador, incluyendo ejemplos aplicados para el caso de Australia y Reino Unido que han servido de apoyo a este artículo (Rees et al., 2000).

El efecto de crecimiento se examinó, por un lado, a través del cálculo de las tasas de emigración, inmigración y migración neta, y por otro, con el cálculo del Índice de Eficiencia Migratoria (IEM) de cada entidad geográfica definida (Bell & Muhidin, 2009; Hierro Franco, 2005; INEI & CEPAL, 2022). Las primeras hacen referencias a tasas anualizadas por cada 1000 habitantes, y el segundo, se define como el cociente entre la migración neta y la migración bruta (ecuación 2). Este indicador representa la fracción de los intercambios migratorios que tuvo un efecto sobre el crecimiento del lugar en cuestión, y la clasificación aplicada a los resultados de este índice se presentan en la tabla 1.

$$IEM = \left( \frac{\text{Migración neta}}{\text{Migración bruta}} \right) * 100 \quad (2)$$

Para analizar la IEM se ha utilizado como referencia la clasificación del IEM presentada por la CEPAL, elaborada a partir de Pinto de Oliveira & Ribeiro de Oliveira (2011). Entre más cerca estén los resultados del IEM a los valores de -100 y 100, más eficiente se consideran los flujos migratorios y, por consiguiente, mientras más cerca de 0 se encuentre el valor de IEM, más ineficiente es. Un valor de 0 considera una migración completamente ineficiente, pues no produce efecto de crecimiento alguno.

3. Siglas para *Crude Migration Rate*

4. Siglas para *Crude Migration Probability*.

Tabla 1. Clasificación de resultados del IEM

RANGO DE RESULTADOS	DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS
[-100, -51]	Área de evasión migratoria alta
(-51, -30]	Área de evasión migratoria media
(-30, -10]	Área de evasión migratoria baja
(-10, 10)	Área de rotatividad migratoria
[10, 30)	Área de absorción migratoria baja
[30, 51)	Área de absorción migratoria media
[51, 100]	Área de absorción migratoria alta

Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación presentada en CEPAL (2023)

Respecto al efecto de redistribución a nivel nacional y metropolitano, se utilizaron dos indicadores. En primer lugar, el Índice de Eficiencia Migratoria Global (IEMG), que no es otra cosa que el índice presentado anteriormente, pero a escala nacional y con valores absolutos para que estos no se anulen. Sin embargo, y dado que el IEMG solo contempla a los migrantes y no a toda la población, no puede considerarse un indicador del impacto redistributivo de la población, y por tanto se requirió un segundo indicador, la tasa agregada de migración neta (ANMR<sup>5</sup> por sus siglas en inglés), cuyo numerador es el mismo de la IEMG, pero el denominador es la población expuesta al riesgo (CEPAL, 2023). Para la ANMR (ver ecuación 3), cuanto más cerca esté de cero su valor, menor el impacto que la migración interna ha tenido sobre la redistribución de la población entre las divisiones político-administrativas que se tuvieron en cuenta. Un valor de 100, indica un caso extremo en el que toda la población habría emigrado desde las poblaciones habitadas hasta las deshabitadas.

$$ANMR = \left( \frac{\sum_i |I_i - E_i|}{\sum_i P_{i,t+n}} \right) * 100/2 \quad (3)$$

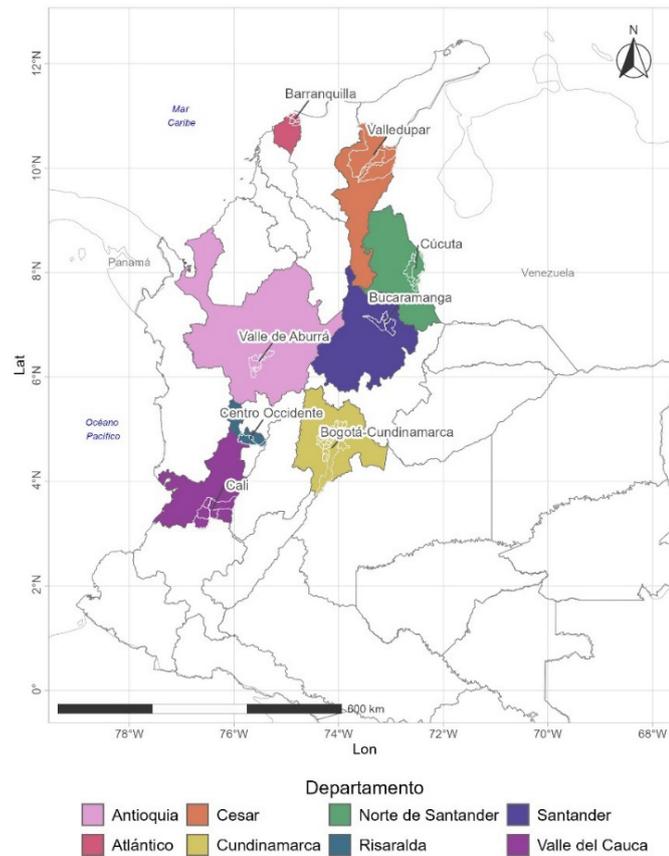
Adicionalmente, con la ayuda de diagramas de cuerdas para representar las conexiones entre las áreas metropolitanas, se revisaron los orígenes y destinos de los flujos intermetropolitanos. Cada AM o nodo se ilustra en una porción del diagrama circular. Los flujos indican la dirección de estos, y su tamaño o ancho es proporcional a la importancia del flujo.

En cuanto a la selección de las AM tenidas en cuentas para este estudio, se eligieron, en primer lugar, las que se encuentran legalmente constituidas: Valle de Aburrá, Barranquilla, Valledupar, Cúcuta, Centro Occidente y Bucaramanga. Y, en segundo lugar, las consideradas AM de Bogotá-Cundinamarca y Cali<sup>6</sup> que, a pesar de la importancia de sus ciudades núcleo, no están legalmente constituidas, pero se han definido por la literatura o se encuentran en proceso de constitución legal. Si bien, a escala nacional, se tuvieron en cuenta todos los municipios y departamentos de Colombia censados, el enfoque de este artículo son los 61 municipios que se relacionan con las 8 AM definidas e ilustradas en el mapa 1.

5. Siglas para *Aggregate net migration rate*.

6. Ambas áreas metropolitanas se encuentran en proceso de formalización. La selección de municipios obedece a la cercanía geográfica y las dinámicas comunes identificadas en la literatura y en los procesos políticos que se adelantan para el fin de constituir las áreas metropolitanas correspondientes.

Mapa 1. Departamentos, Áreas Metropolitanas y municipios analizados



Fuente: Elaboración propia

## 4. Resultados

A continuación, se exponen los resultados de medir la intensidad, y los efectos de crecimiento y redistribución demográfico a escala nacional y metropolitana según los tres Censos más recientes practicados en Colombia.

### 4.1. El aumento de la intensidad en la migración interna

Es importante iniciar aclarando que la intensidad de la migración interna se refiere por definición al intercambio migratorio que se da dentro de un territorio, y que ocurre entre subespacios del mismo territorio y, por tanto, no permite analizar crecimiento, como suele confundirse, ya que su efecto es nulo. Dicho esto, las tablas 2 y 3 presentan las intensidades internas de migración para cada año censal y a distintas escalas.

Tabla 2. Intensidad migratoria por Censo y escala

AÑO	ESCALA	SUB-DIVISIONES DE LA ESCALA	MIGRANTES	CMI
1993	Municipio	1055	4 212 777	30,11
	Área metropolitana <sup>1</sup>	9	2 046 669	14,63
	Departamento <sup>2</sup>	33	2 429 947	17,37
2005	Municipio	1114	2 668 667	14,73
	Área metropolitana	9	1 279 781	7,06
	Departamento	33	1 571 393	8,67
2018	Municipio	1122	3 118 609	15,84
	Área metropolitana	9	1 416 498	7,20
	Departamento	33	1 891 529	9,61

<sup>1</sup> Las 9 subdivisiones de AM hacen referencia a las ocho definidas y una agrupación del resto del país.

<sup>2</sup> Aunque Colombia tiene 32 departamentos, algunas investigaciones suelen presentar la información para 33 (incluyendo al Dane), tomando a Bogotá D.C por separado.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Censo suministrados por el Dane.

Tabla 3. Intensidad migratoria intrametropolitana según los Censos 2005 y 2018

ESCALA	SUB-DIVISIONES DE LA ESCALA	CMI 2005	CMI 2018
Barranquilla	5	4,18	4,27
Bogotá-Cundinamarca	23	3,77	7,34
Bucaramanga	4	10,5	10,1
Cali	5	2,03	3,68
Centro Occidente	3	6,41	6,23
Cúcuta	6	2,63	4,18
Valle de Aburrá	10	7,63	8,72
Valledupar	5	1,08	1,93

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Censo suministrados por el Dane.

Exceptuando las AM de Bucaramanga y Centro Occidente, todas las áreas han aumentado su intensidad migratoria interna, lo que representa un indicio del aumento de flujos migratorios dentro de las AM. En el caso de Bogotá-Cundinamarca, que ha tenido el mayor aumento en el índice, este puede deberse al aumento de flujos desde Bogotá como producto del alto costo de vida y los crecientes niveles de inseguridad. Sin embargo, los niveles obtenidos son en general bajos, y parece que existe una gran estabilidad de la población al interior de las áreas. Esto también se refleja a nivel nacional cuando se comparan los resultados con los obtenidos a escala departamental y municipal.

La disminución, en todo caso, casi inexistente, de la CMI de las AM a escala nacional, podría estar reflejando una consolidación de las AM como centros de retención, en el que sus habitantes parecen no tener muchos incentivos a migrar una vez están allí.

## 4.2. El efecto de crecimiento a partir de matrices de migración con fecha fija

### 4.2.1. La probabilidad de emigrar y la tasa de crecimiento poblacional

Partiendo desde una perspectiva nacional (departamentos y municipios) se pudo evidenciar la importancia de las áreas metropolitanas en el efecto de crecimiento de los flujos migratorios

internos. A escala departamental, se destaca la relevancia del departamento de Cundinamarca (en este caso, incluida Bogotá D.C) con un flujo bruto migratorio de 660 130 personas según el Censo de 2018. Si bien esto se debe en gran medida a la importancia de Bogotá como capital del país, las cifras del Censo señalan que Cundinamarca, excluyendo Bogotá, atrajo más migrantes que Bogotá D.C (368 065 y 309 700 respectivamente) entre 2013 y 2018. En todo caso, es necesario mencionar que el 71 % de los inmigrantes de Cundinamarca provenían de Bogotá, reflejando un proceso de suburbanización (Champion, 2001), influido, muy seguramente, por los factores urbanos y sociales mencionados anteriormente.

Se pudo observar que los 8 departamentos en los que se encuentran ubicadas las AM objeto de este estudio hacen parte de los 15 departamentos con mayor flujo bruto, destacándose los casos de Bogotá-Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca, Santander y Atlántico (Ver tabla 4). En el caso del flujo de inmigrantes municipales, 8 de los 10 municipios con más flujos de inmigrantes durante el periodo 2013-2018 pertenecen a una AM, y cinco de ellos son ciudades núcleo: Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga y Pereira. De manera similar, para el flujo de emigrantes, 7 de las 10 ciudades con más flujo de emigrantes durante el lustro de referencia del Censo de 2018, son ciudades que pertenecen a una AM. En este caso, las siete ciudades son también las ciudades núcleo de sus respectivas AM, exceptuando a Valledupar.

Tabla 4. Los 15 departamentos con mayor flujo bruto migratorio, Colombia. 2013-2018

DEPARTAMENTO	FLUJO BRUTO	FLUJO NETO	TASA DE MIGRACIÓN NETA
<i>Bogotá-Cundinamarca</i>	660 130	66 588	1,39
<i>Antioquia</i>	287 928	50 550	1,69
<i>Valle del Cauca</i>	223 530	23 662	1,16
<i>Santander</i>	159 011	-2329	-0,23
Tolima	140 257	-11 255	-1,77
Boyacá	125 955	-8933	-1,54
Meta	122 581	11 759	2,51
<i>Atlántico</i>	116 116	-7052	-0,60
Bolívar	114 315	-35 099	-3,63
Caldas	100 574	1994	0,42
<i>Cesar</i>	96 732	-484	-0,09
Córdoba	96 833	-21 201	-2,61
Huila	93 688	-2 536	-0,50
<i>Risaralda</i>	91 110	18 592	4,24
<i>Norte de Santander</i>	88 592	-27 284	-3,98

<sup>1</sup> Los departamentos con fondo gris se corresponden a las áreas metropolitanas objeto de este estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE Censo 2018.

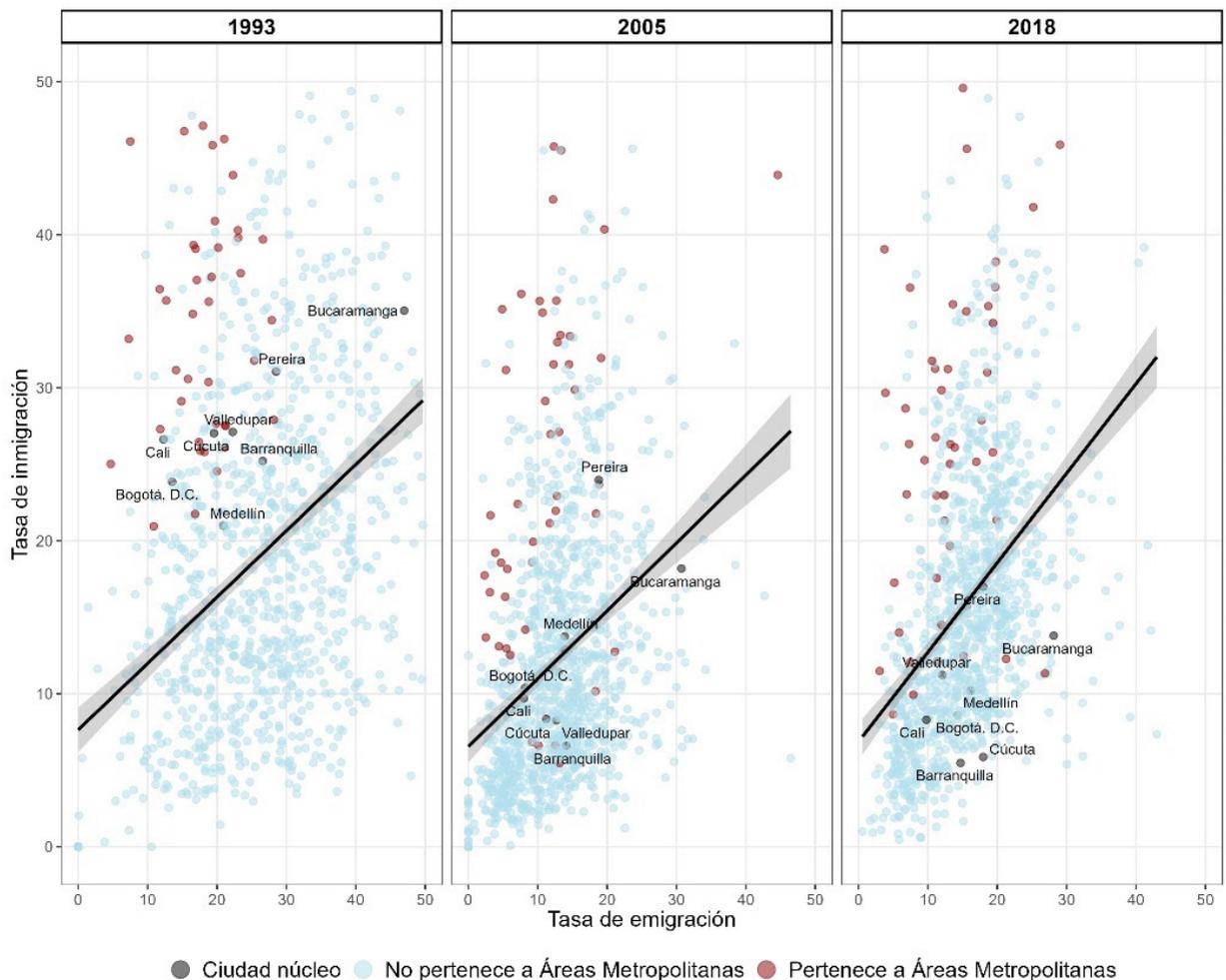
Analizando el total de municipios del país, el gran impacto de las AM en los flujos migratorios se hace más evidente, ya que sus ciudades concentran el flujo del 46,3 % del total de inmigrantes y el 43 % del total de emigrantes. Cifras considerables, teniendo en cuenta que representan el 5,4 % del total de los municipios del país, pero esperadas al concentrar el 45,59 % de la población. Por supuesto, no todos los municipios metropolitanos concentran la misma cantidad de flujos, y como hemos visto en las tablas anteriores, destacan las ciudades núcleo, y las AM de Bogotá-Cundinamarca y Valle de Aburrá. La primera, tiene como referente a la capital del país, Bogotá, que ofrece oportunidades laborales y educativas, y la segunda, a Medellín, que ha experimentado

notables transformaciones urbanas y la implementación de programas sociales y de inclusión que han mejorado la calidad de vida y su atractivo.

No obstante, al revisar las tasas de crecimiento de emigrantes e inmigrantes internos, se evidencia cómo las ciudades núcleo parecen disminuir su capacidad de atracción, al presentar una tasa de inmigración interna que viene disminuyendo durante los últimos tres Censos. En el gráfico 1 se ilustra cómo ha evolucionado la relación entre las tasas de emigración e inmigración teniendo en cuenta el tipo de municipio, es decir si pertenece o no a un AM, y en el caso de que pertenezca si es la ciudad núcleo de su área.

Si bien es cierto que el gráfico muestra cómo las ciudades núcleo han venido disminuyendo su tasa de inmigración desde el Censo de 1993 incluso por debajo de la línea de tendencia, su tasa de emigración no parece haber variado mucho, excepto para el caso de Bogotá. La mayoría de los municipios periféricos, que ya poseían tasas de inmigración altas en 1993, siguen manteniéndolas, sin embargo, algunos de ellos han seguido la tendencia de las ciudades núcleo y han disminuido sus cifras, al igual que presentan unas tasas de emigración con una reducida variación.

Gráfico 1. Evolución de la relación entre la tasa de emigración e inmigración por tipo de municipio según los Censos de 1993, 2005 y 2018, Colombia.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE

Al considerar los flujos netos, se identificó que los 10 más altos correspondían a ciudades de las áreas metropolitanas analizadas, y en ninguno de estos casos se trataba de una ciudad núcleo. En cambio, 6 de las ciudades núcleo consideradas, si hacen parte de las 10 ciudades con menor flujo neto durante el lustro 2013-2018. Esto es un primer indicio de la pérdida de población por razones de migración interna de las ciudades núcleo de las AM, y en sentido opuesto, un aumento de población por la misma razón de las ciudades periféricas metropolitanas.

Tras analizar los flujos de inmigrantes y emigrantes para las AM definidas, se identifica rápidamente que las AM de Bogotá-Cundinamarca y la del Valle de Aburrá (Medellín) son las que cuentan con un mayor flujo neto de migrantes (ver tabla 5). Por supuesto, esto es en gran medida por la relevancia de sus ciudades núcleo tanto a nivel de inmigración como de emigración. En el caso del AM de Bogotá-Cundinamarca, también destaca el municipio de Soacha, que fue el segundo municipio que más población migrante recibió (146.299 personas).

En cuanto a la capacidad de atracción de las AM, Centro Occidente y Valle de Aburrá resultan ser las AM que más han captado migrantes durante el periodo de referencia, con tasas de migración neta de 4,52 y 3,69 por mil respectivamente (ver tabla 5). En términos de flujo neto migratorio, cinco AM poseen flujos positivos a nivel nacional (Valle de Aburrá, Bogotá-Cundinamarca, Cali, Centro Occidente y Bucaramanga). Dentro de estas destacan de nuevo Valle de Aburrá y Bogotá-Cundinamarca con flujos netos de 67.307 y 43.187 personas, respectivamente (ver tabla 5). Las cifras de estas dos AM representan el 17,8 % del total de la inmigración nacional. A nivel de emigración, los habitantes “expulsados” por estas dos AM también son significativas y representan un 16,5 % de los flujos nacionales. Por otro lado, el AM de Cúcuta destaca por sus altas cifras negativas. Aunque no es el AM que más emigrantes tuvo, si es la que posee el flujo neto y la tasa de migración neta más baja de las ocho analizadas en este artículo, reduciendo su población en 28 513 habitantes. Esta situación está muy probablemente relacionada con las altas tasas de desempleo, e intensificada por la crisis venezolana y su proximidad con la frontera. También con flujos negativos se sitúan las AM de Barranquilla (-12 440) y Valledupar (-1 087).

Tabla 5. Flujos migratorios por Área Metropolitana, Colombia, 2013-2018

ÁREA METROPOLITANA	INMIGRANTES <sup>1</sup>	EMIGRANTES <sup>2</sup>	FLUJO NETO	TMN
Valle de Aburrá	183 011	115 704	67 307	3,69
Barranquilla	49 957	62 397	-12 440	-1,32
Valledupar	29 128	30 215	-1087	-0,39
Bogotá-Cundinamarca	373 288	330 101	43 187	0,99
Cúcuta	23 437	51 950	-28 513	-6,62
Centro Occidente	47 888	33 049	14 839	4,52
Bucaramanga	62 731	61 053	1678	0,30
Cali	101 009	82 135	18 874	1,43

<sup>1</sup> Número de personas que no vivían en ninguno de los municipios del AM en 2013.

<sup>2</sup> Número de personas que emigraron hacia afuera del AM.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE Censo 2018.

En cuanto a la tasa de migración neta se refiere, además de la cifra global para cada AM, se han obtenido dos cifras distintas para cada categoría de municipio perteneciente a un AM (núcleo y periféricos). En primer lugar, una tasa con respecto a los municipios de fuera de las AM, y en segundo, una tasa respecto a la categoría opuesta de municipio dentro de su misma AM. Excepcionalmente los casos de las TMN<sub>n,f</sub> de Cali, Centro Occidente y valle de Aburrá, las tasas de migración

netas de las ciudades núcleo han sido negativas. En el caso de los municipios periféricos ocurre todo lo contrario (ver tabla 6). Las tasas negativas para las ciudades núcleo a nivel nacional ( $TMN_{n,f}$ ) marcan una diferencia con los anteriores Censos en los que sólo Barranquilla (-3,16), Bucaramanga (-3,56), Cúcuta (-1,47) y Valledupar (-4,72) habían presentado cifras negativas en el Censo de 2005.

Los mapas 2 y 3 ilustran las tasas de migración neta intrametropolitana de las ocho AM durante los tres Censos. El mapa 2 presenta las cifras de Barranquilla, Bogotá-Cundinamarca, Bucaramanga y Cali (Grupo A), y el mapa 3, las áreas restantes (Grupo B). En ellos, se puede observar cómo las ciudades núcleo, son las ciudades que más habitantes están perdiendo en contraste con sus ciudades aledañas dentro de su misma AM.

Tabla 6. Tasas de migración neta según Área Metropolitana, Colombia, 2013-2018

ÁREA METROPOLITANA	$TMN_{n,f}^1$	$TMN_{n,p}^2$	$TMN_{p,f}^3$	$TMN_{p,n}^4$
Barranquilla	-5,05	-4,17	4,31	6,28
Bogotá-Cundinamarca	-0,38	-5,29	7,26	24,40
Bucaramanga	-7,62	-6,70	7,71	6,27
Cali	0,94	-2,42	2,94	7,53
Centro Occidente	1,46	-2,42	10,30	4,59
Cúcuta	-9,67	-2,43	2,57	7,34
Valle de Aburrá	0,36	-6,34	9,47	11,00
Valledupar	-0,58	-0,26	0,41	1,60

<sup>1</sup> Tasa de migración neta de la ciudad núcleo respecto a municipios fuera de su AM

<sup>2</sup> Tasa de migración neta de la ciudad núcleo intrametropolitana

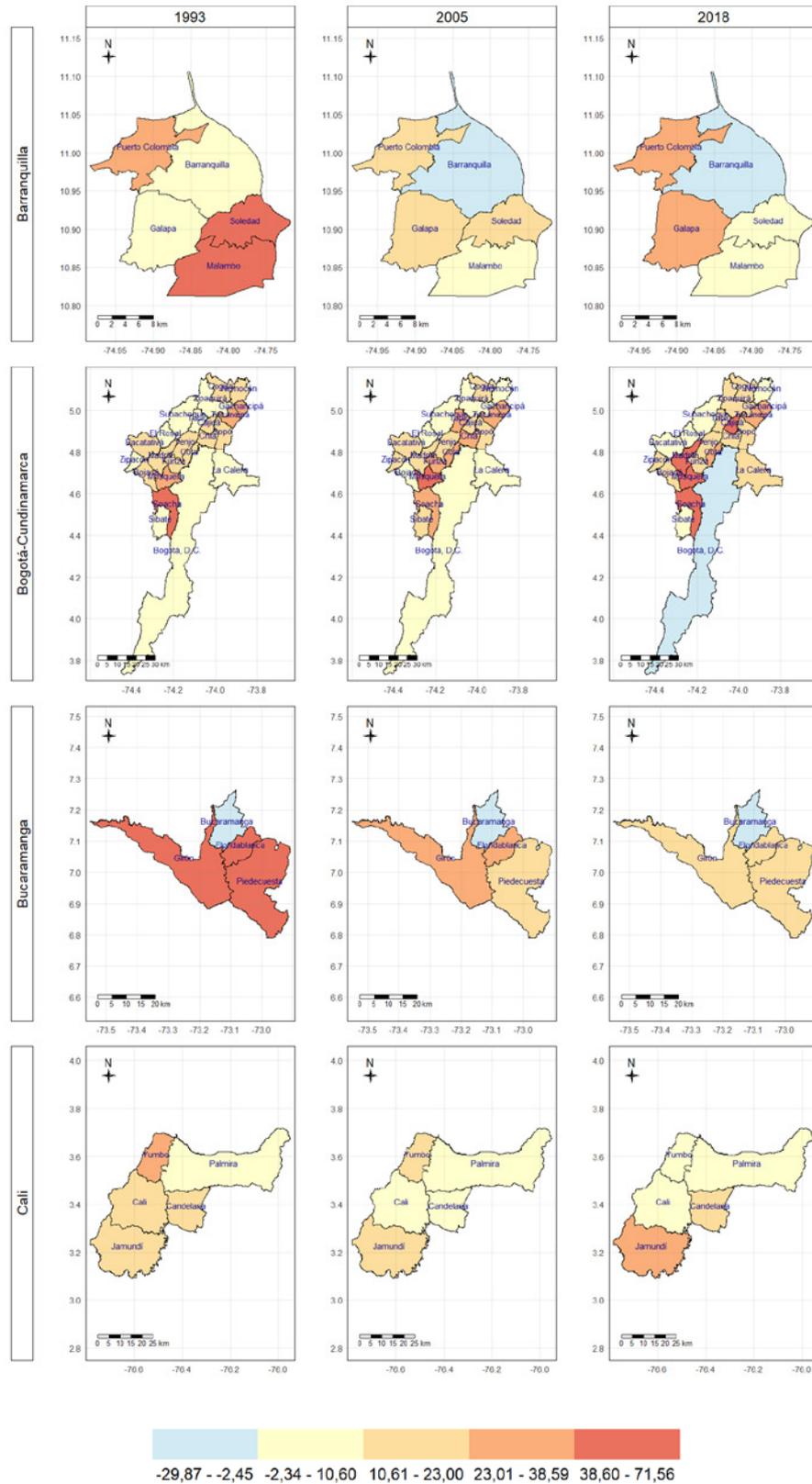
<sup>3</sup> Tasa de migración neta de las ciudades periféricas respecto a municipios fuera de su AM

<sup>4</sup> Tasa de migración neta de las ciudades periféricas respecto a la ciudad núcleo

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE Censo 2018.

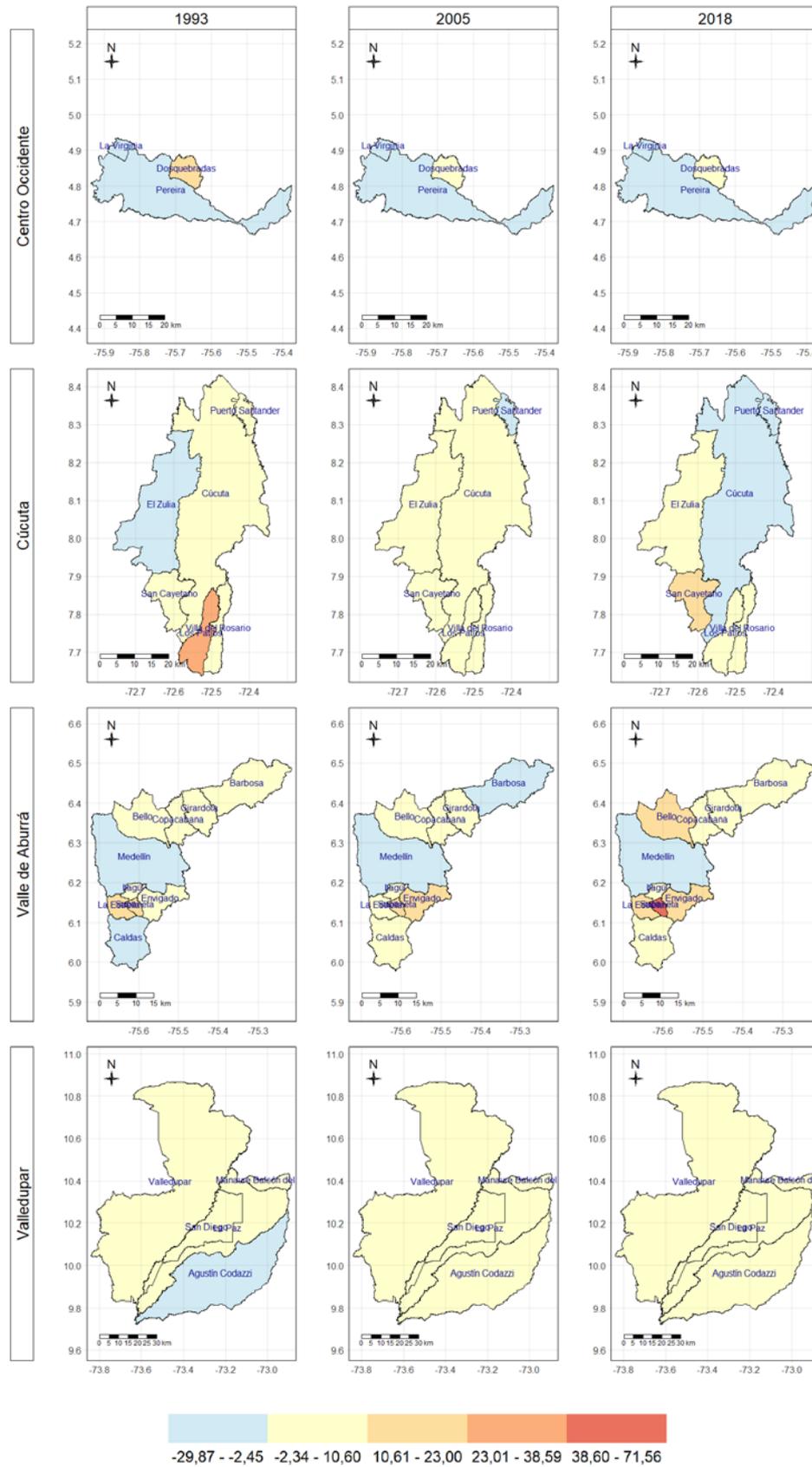
Una vez más, se destacan el caso de Bogotá y Medellín, cuyas tasas negativas contrastan con las positivas de casi todas las demás ciudades de su AM. Estas dinámicas pueden ser explicadas a partir de la evolución de los mercados económicos, especialmente el laboral e inmobiliario, por un lado, y por el otro, debido al impacto que aún sigue teniendo el conflicto armado. Una situación similar puede estar ocurriendo en las AM de Barranquilla y Bucaramanga. Por otra parte, en el caso de Cúcuta y Cali se evidencia de forma clara la transición que están viviendo estas ciudades, convirtiéndose para el Censo de 2018, en ciudades expulsoras, siguiendo la tendencia marcada por las demás ciudades núcleo. En estas áreas parece que la tendencia de las ciudades núcleo se traslada también a sus ciudades aledañas.

Mapa 2. Tasa de Migración Neta intrametropolitana según los Censos de 1993, 2005 y 2018, Colombia. Grupo A



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE

Mapa 3. Tasa de Migración Neta intrametropolitana según los Censos de 1993, 2005 y 2018, Colombia. Grupo B



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE

#### 4.2.2. La capacidad de atracción de un territorio

El índice de eficiencia migratoria (IEM) mide la capacidad de atracción, evasión o rotación migratoria de un espacio habitado al relacionar el saldo migratorio y la migración bruta. La ventaja de este indicador es que permite comparar entre espacios, nacionales o internacionales, sin importar el volumen de la inmigración y emigración (CEPAL, 2023).

Tabla 7. Índice de eficiencia migratoria a escala nacional según Área Metropolitana, Colombia. Censos de 1993, 2005 y 2018.

ÁREA METROPOLITANA	IEM 1993	IEM 2005	IEM 2018
Barranquilla	24,94	1,10	-11,07
Bogotá-Cundinamarca	38,61	32,66	6,14
Bucaramanga	30,56	20,30	1,36
Cali	40,59	22,02	10,31
Centro Occidente	28,45	34,48	18,33
Cúcuta	31,63	2,98	-37,82
Valle de Aburrá	23,83	34,46	22,53
Valledupar	2,26	-25,25	-1,83

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE.

En los resultados (tabla 7) llama la atención, particularmente, el área metropolitana de Cúcuta, que pasó de ser un área de media absorción migratoria en 1993 a una de media evasión migratoria en el 2018. Una situación similar a la ocurrida en Barranquilla, que pasó de baja absorción migratoria a una de baja evasión. Aunque en general, la tendencia ha sido la de una disminución de la IEM, todas las áreas, a excepción de las dos anteriormente mencionadas y Valledupar, tienen un indicador positivo. Bogotá-Cundinamarca y Bucaramanga, pasaron de ser áreas de absorción media a convertirse en áreas de rotatividad migratoria, es decir la migración es poco eficiente a la hora de generar crecimiento. Las áreas de Cali, Centro Occidente y Valle de Aburrá también han visto disminuido su índice, pero se mantienen como áreas de baja absorción migratoria.

#### 4.3. Los migrantes y su efecto de redistribución

El IEMG se calculó, primero como un agregado territorial a nivel nacional, y segundo, independiente para cada AM, identificándolas a cada una de ellas como un agregado territorial compuesto de una ciudad núcleo y ciudades periféricas.

Los resultados obtenidos no permiten evidenciar una tendencia clara en cuanto a eficiencia redistributiva de la migración se refiere (tablas 8 y 9), sin embargo, se pudo constatar con la información más reciente, que, a excepción del AM de Valledupar, la migración ha sido más eficiente como mecanismo de redistribución al interior de las áreas metropolitanas que en el total nacional. A destacar los valores de Barranquilla, Bogotá, Cali, Cúcuta y Valle de Aburrá.

Como se mencionó en la sección de metodología, el indicador anterior mide la relación entre el flujo neto y bruto de migrantes y, por tanto, solo contempla a los migrantes y no a toda la población, por lo que no permite analizar el impacto redistributivo de la población en el territorio de

estudio. Para este fin, se usó la tasa agregada de migración neta (ANMR) cuya fórmula se presenta en la ecuación 3.

Tabla 8. Índice de eficiencia migratoria global en Colombia. Censos de 1993, 2005 y 2018.

ESCALA	IEMG 1993	IEMG 2005	IEMG 2018
Nacional-Colombia	27,00	28,70	25,70

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE.

Tabla 9. Índice de eficiencia migratoria global intrametropolitana, Colombia. Censos de 1993, 2005 y 2018.

ESCALA	IEMG 1993	IEMG 2005	IEMG 2018
Barranquilla	66,60	74,20	69,60
Bogotá-Cundinamarca	39,00	53,50	68,50
Bucaramanga	60,61	47,20	38,40
Cali	15,50	50,40	62,40
Centro Occidente	55,20	52,10	39,90
Cúcuta	46,40	51,40	56,30
Valle de Aburrá	23,80	39,30	52,70
Valledupar	31,00	28,20	17,10

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE.

Según los valores obtenidos (tablas 10 y 11), el impacto de la migración interna en términos de redistribución de la población resulta ser muy bajo, tanto para los municipios a escala colombiana, como para las AM internamente. Esto resulta normal en la realidad de los países y no debería ser una mala señal. En todo caso, es importante destacar los resultados de las AM de Bogotá, Valle de Aburrá que superan el valor nacional. Bucaramanga también ha superado este valor, pero su ANMR ha disminuido de un Censo a otro.

Tabla 10. Tasa agregada de migración neta en Colombia. Censos de 1993, 2005 y 2018.

ESCALA	ANMR 1993	ANMR 2005	ANMR 2018
Nacional-Colombia	2,70	1,40	1,80

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE.

Cuando se evalúan el origen y destinos de los migrantes de las AM, se puede profundizar y detallar un poco más el impacto que estas tienen sobre los flujos migratorios a nivel nacional, como receptoras y expulsoras de población. Centrándonos en el Censo del 2018, el 63,8 % de los flujos internos del país tuvieron como origen o destino a un municipio perteneciente a una de las 8 AM analizadas. Como se ha mencionado anteriormente, las dos AM que destacan son las de Bogotá-Cundinamarca y la del Valle de Aburrá, seguramente, producto de la gran influencia que ejercen sus ciudades núcleo a nivel nacional.

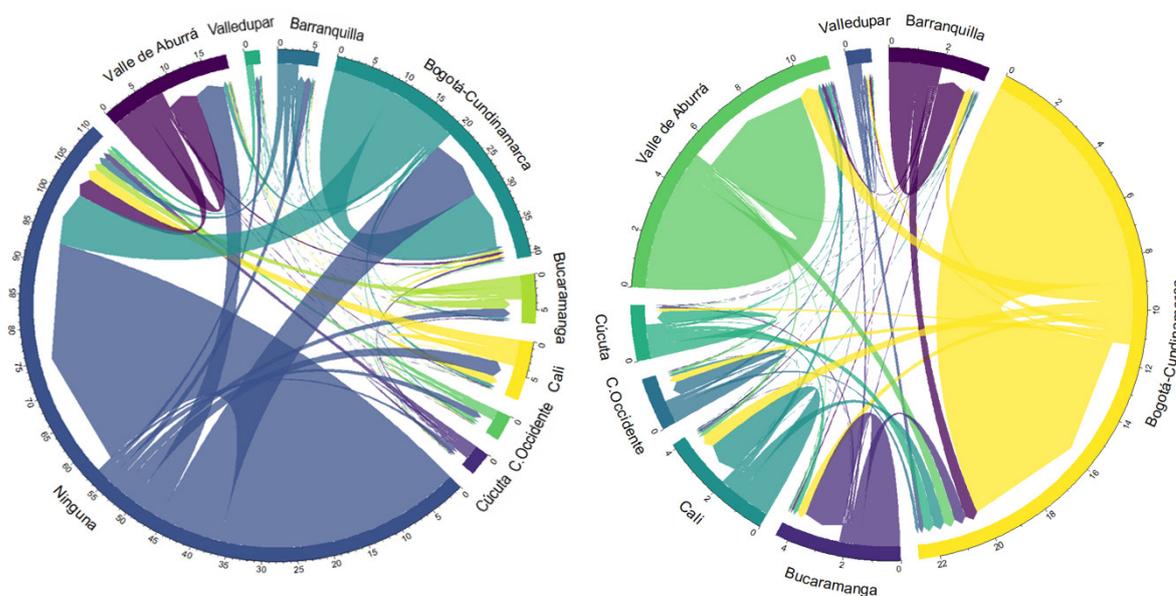
Tabla 11. Tasa agregada de migración neta intrametropolitana, Colombia. Censos de 1993, 2005 y 2018.

ESCALA	ANMR 2005	ANMR 2018
Barranquilla	1,55	1,49
Bogotá-Cundinamarca	1,01	2,51
Bucaramanga	2,49	1,94
Cali	0,51	1,15
Centro Occidente	1,67	1,24
Cúcuta	0,67	1,18
Valle de Aburrá	1,50	2,30
Valledupar	0,15	0,16

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Censos de 1993, 2005 y 2018, DANE.

Omitiendo del análisis los flujos que van o vienen de municipios que no pertenecen a ninguna de las AM, es posible identificar con más claridad las relaciones migratorias que existen entre las AM, identificadas también como nodos para este análisis (ver diagrama de la derecha del gráfico 2).

Gráfico 2. Origen y destino de los flujos a escala nacional y metropolitana, Colombia, 2013-2018



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE Censo 2018.

Con mayor grado de detalle, y teniendo en cuenta si el municipio es ciudad núcleo o periferia, se evidencia como para los municipios periféricos el mayor porcentaje de inmigrantes proviene de la ciudad núcleo. Es interesante ver que para las ciudades núcleo, una porción significativa de sus inmigrantes proviene de otras AM (ver Tabla 12)

Tabla 12. Distribución geográfica del origen de los flujos migratorios según núcleos y periferias de las áreas metropolitanas, Colombia, 2013-2018

ÁREA METROPOLITANA <sup>1</sup>		CIUDAD NÚCLEO	RESTO DEL ÁREA METROPOLITANA	OTRAS ÁREAS METROPOLITANAS	RESTO DEL DEPARTAMENTO	RESTO DEL PAÍS
Valle de Aburrá	N	0	12,82	20,91	34,04	32,23
	P	43,36	17,65	9,52	17,31	12,16
Barranquilla	N	0	11,48	31,92	6,00	50,60
	P	51,46	6,02	12,82	3,65	26,05
Valledupar	N	0	5,71	27,68	16,37	50,24
	P	24,44	11,20	14,33	15,83	34,20
Bogotá-Cundinamarca	N	0	7,91	20,97	9,00	62,11
	P	62,86	11,41	3,85	5,72	16,16
Cúcuta	N	0	13,67	29,92	29,16	27,25
	P	55,60	7,01	13,47	12,17	11,75
Centro Occidente	N	0	14,96	28,47	9,86	46,72
	P	38,37	1,27	18,68	8,13	33,56
Bucaramanga	N	0	21,79	27,47	23,98	26,76
	P	35,86	17,50	15,69	16,95	14,01
Cali	N	0	7,66	26,71	20,35	45,28
	P	53,64	3,39	10,31	11,56	21,11

<sup>1</sup>N: Núcleo y P: Ciudades periféricas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE Censo 2018.

Tabla 13. Distribución geográfica del destino de los flujos migratorios según núcleos y periferias de las áreas metropolitanas, 2013-2018

ÁREA METROPOLITANA <sup>1</sup>		CIUDAD NÚCLEO	RESTO DEL ÁREA METROPOLITANA	OTRAS ÁREAS METROPOLITANAS	RESTO DEL DEPARTAMENTO	RESTO DEL PAÍS
Valle de Aburrá	N	0	47,26	12,06	25,41	15,28
	P	22,33	53,15	4,53	14,70	5,29
Barranquilla	N	0	32,62	29,51	5,77	32,10
	P	27,43	24,44	14,76	13,40	19,97
Valledupar	N	0	7,45	36,55	16,53	39,47
	P	19,30	12,41	20,78	18,76	28,74
Bogotá-Cundinamarca	N	0	41,86	13,59	9,13	35,43
	P	25,82	41,15	3,80	13,45	15,78
Cúcuta	N	0	18,00	40,06	16,01	25,93
	P	31,66	16,08	19,84	16,14	16,28
Centro Occidente	N	0	27,64	24,57	9,71	38,08
	P	50,07	3,23	9,83	13,20	23,67
Bucaramanga	N	0	34,53	27,17	16,51	21,79
	P	24,78	39,06	10,06	16,83	9,27
Cali	N	0	31,28	21,76	14,94	32,02
	P	27,25	8,29	12,89	23,66	27,92

<sup>1</sup>N: Núcleo y P: Ciudades periféricas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE Censo 2018.

Analizando los destinos, se puede decir para las ciudades núcleo, que el principal destino de sus emigrantes son los municipios periféricos de sus áreas metropolitanas y otras AM. Se destacan

los casos de Bogotá y Medellín en el primer tipo de destino y de Cúcuta y Valledupar en el segundo (ver Tabla 13).

## 5. Discusión

Los resultados de esta investigación adquieren relevancia al emplear metodologías avanzadas para el análisis de migraciones internas, una práctica que ha sido rigurosamente desarrollada en las últimas décadas por destacados académicos como Martin Bell, Phillip Rees y Marcus Blake (Bell et al., 2002, 2015; Rees et al., 2000) y respaldada por instituciones como la CEPAL (CEPAL, 2023). La aplicación de estas metodologías al caso colombiano, con un enfoque particular en las áreas metropolitanas, constituye una innovación significativa en el campo.

La baja intensidad de migración intrametropolitana observada podría interpretarse como un indicador de estabilidad, posiblemente reflejando la consolidación de estas áreas como centros atractivos o, incluso, de retención poblacional. Sin embargo, este fenómeno adquiere una dimensión intrigante al considerar el aumento constante de la intensidad migratoria dentro de la mayoría de las áreas metropolitanas. Este fenómeno, inicialmente contradictorio, sugiere una transformación en los patrones de movilidad y revela un flujo creciente desde las ciudades núcleos hacia las periféricas, un hallazgo consistente con las tendencias identificadas por otros investigadores (Castellanos Caballero, 2016; Castro Escobar, 2016; Silva Arias & González Román, 2009).

El análisis de crecimiento confirma la relevancia de las áreas metropolitanas, respaldando hallazgos previos de estudios como los de Camargo (2023), Castro Escobar (2016) y Villarraga Orjuela (2015). Es significativo observar, a través de las tasas, que sobre todo las ciudades núcleo han experimentado una disminución de la tasa de inmigración desde el Censo de 1993. En términos generales, las tasas de emigración no han variado de forma notable ni en las ciudades núcleo ni en la agrupación de ciudades periféricas. El gráfico 1, fundamental en esta investigación, ilustra claramente cómo el grupo de las ciudades núcleo evoluciona de forma distinta a las periféricas, reflejando una pérdida en su capacidad de atracción, y por ende en su velocidad de crecimiento.

Esta nueva tendencia migratoria al interior de las áreas metropolitanas se reafirma al considerar las tasas de migración neta, especialmente al evaluar su evolución temporal durante los tres Censos, como se ilustra en las tasas intrametropolitanas de los mapas 2 y 3. Según el Censo de 2018, todos los grupos de ciudades periféricas de las áreas metropolitanas obtienen tasas de migración neta positivas, tanto en relación con la ciudad núcleo como con el resto de los municipios fuera de su área metropolitana. Destaca el hecho de que, para las ciudades núcleo, las tasas de migración neta en relación con las ciudades periféricas son consistentemente negativas en todas las áreas metropolitanas, reforzando la hipótesis de que las ciudades periféricas ganan población en detrimento de las ciudades núcleo (Ver tabla 6).

La influencia de las ciudades núcleo sobre las periféricas es evidente, principalmente en los casos de Bogotá-Cundinamarca y Valle de Aburrá. Sin embargo, es llamativo que para los casos las ciudades periféricas de Bucaramanga y Centro Occidente, las tasas de migración neta con respecto a municipios fuera de sus áreas son inferiores a la relacionadas con su ciudad núcleo. En el caso de Bucaramanga, esta situación parece estar vinculada a la relevancia de la ciudad núcleo como centro universitario, atrayendo estudiantes de todo el país (similar a Bogotá y Medellín). Para comprender el segundo caso, haría falta una revisión más profunda de las causas y motivaciones de la migración en esta área.

Aunque los análisis de IEMG y ANMR sugieren un impacto de la migración interna menor al esperado, pero en alineado con estudios para otros países (Bell et al., 1999; Bell & Muhidin, 2009; CEPAL, 2023), el análisis de origen-destino confirma que la mayoría de los migrantes de las ciudades periféricas provienen de su ciudad núcleo. En contraste, para las ciudades núcleo, una porción significativa de sus inmigrantes proviene de municipios externos a su área metropolitana. Este patrón se replica en las emigraciones, donde las ciudades periféricas conservan una fuerte relación con su ciudad núcleo y una conexión mucho menor con el resto del país. Aunque el destino principal de los migrantes de las ciudades núcleo sigue siendo su periferia, las cifras de otros destinos, especialmente fuera de su propio departamento, refuerzan la existencia, desde hace más de 50 años, de un conjunto de ciudades grandes e intermedias que equilibran los flujos migratorios nacionales (Cardona & Simmons, 1978; Castro Escobar, 2016; Villarraga Orjuela, 2015), proporcionando una sólida base para el desarrollo regional.

Este estudio presenta algunas limitaciones que es importante considerar. En primer lugar, existen posibles sesgos en los datos censales, especialmente en el Censo de 1993, debido a problemas de subregistro, errores en la recopilación y limitaciones en el acceso a la información. Estos sesgos podrían afectar la precisión de las tasas e indicadores observados. En segundo lugar, el análisis de transiciones en lugar de movimientos migratorios específicos introduce una subestimación de las tasas obtenidas. Al no contar con información sobre los movimientos intermedios dentro del periodo de cinco años, es imposible determinar si los flujos migratorios fueron directos o si, por ejemplo, los migrantes que residen en un municipio periférico habían pasado previamente por una ciudad núcleo. Por último, las herramientas metodológicas y cálculos empleados no han incorporado factores demográficos como la edad y el género, ni aspectos socioeconómicos como los niveles de ingreso y la desigualdad, que podrían influir significativamente en los flujos migratorios. Para mitigar estos efectos en futuras investigaciones, recomendamos complementar los datos censales con información de encuestas y registros administrativos, y ampliar el enfoque metodológico integrando un análisis demográfico y socioeconómico más detallado.

## 6. En conclusión

Los hallazgos de este estudio confirman de manera inequívoca la presencia, y diríamos incluso la consolidación, de una tendencia migratoria de gran relevancia a nivel nacional, destacando la importancia de los flujos interurbanos y el papel preponderante de las áreas metropolitanas en el contexto de la migración interna colombiana. En este aspecto, este artículo se suma a investigaciones previas al validar el papel crucial de las áreas metropolitanas en el contexto de migración interna colombiano. No es solo que un 45 % de los flujos migratorios involucran a alguno de los 61 municipios de las áreas metropolitanas colombianas analizadas en este artículo, sino que sus ciudades se destacan como puntos clave de inmigración y emigración a nivel nacional.

El análisis intrametropolitano revela de manera consistente un crecimiento poblacional en las ciudades periféricas metropolitanas, contrapuesto a una disminución relativa en las ciudades núcleo. Este fenómeno se alinea con la fase de relativa descentralización dentro de la etapa de suburbanización, conforme al modelo de desarrollo urbano propuesto por Klaassen (1981) y Van den Berg (1982 y 1987) en la década de los 80 (Champion, 2001). Más allá del cambio en los patrones de asentamiento, estos resultados subrayan la necesidad de comprender y abordar los factores que impulsan esta reconfiguración espacial no solo en Colombia, sino también en territorios de características similares.

El crecimiento poblacional en las ciudades periféricas se atribuye a diversos factores que, aunque no evaluados en este estudio, podrían vincularse con dinámicas observadas en casos internacionales, como el mercado inmobiliario de las ciudades núcleo, mejoras en infraestructuras de transporte y comunicación, y la promesa de una mejor calidad de vida en las ciudades periféricas. Este fenómeno, posiblemente indicativo de una segregación metropolitana, destaca la importancia de estudios focalizados en identificar estos factores y, desde una perspectiva de políticas públicas, aboga por inversiones en infraestructuras y servicios en las áreas periféricas para atender las demandas de una población en crecimiento.

A pesar del crecimiento en las ciudades periféricas, es esencial recordar que esto no implica un abandono de las áreas urbanas centrales. Las ciudades núcleo siguen siendo centros cruciales de actividad económica, cultural y administrativa. No obstante, la atención a las dinámicas migratorias internas es imperativa para evitar la concentración excesiva de población y recursos en las ciudades núcleo. Este enfoque promueve un desarrollo más equitativo y sostenible en todo el territorio nacional.

Los resultados de este estudio ofrecen recomendaciones prácticas significativas para la planificación urbana y la política de migración interna en Colombia. En primer lugar, se recomienda promover el desarrollo equilibrado de las áreas metropolitanas mediante inversiones en infraestructuras y servicios en las ciudades periféricas, mejorando así su capacidad de atraer y retener población. Es fundamental implementar políticas que faciliten la integración socioeconómica de los migrantes en estas ciudades periféricas, asegurando que puedan absorber el crecimiento poblacional de manera sostenible. También se deben desarrollar políticas de descentralización que fortalezcan las capacidades administrativas y financieras de los gobiernos locales en las ciudades periféricas, lo que permitirá una gestión más eficiente del crecimiento urbano. Además, es crucial fomentar estudios adicionales que exploren en profundidad los factores que impulsan las tendencias migratorias, incluyendo los impactos socioeconómicos y demográficos, más allá de la migración internacional. Finalmente, creemos que este estudio abre la puerta a futuras investigaciones, en al menos dos direcciones. En primer lugar, creemos que la aplicación de las metodologías aceptadas a un nivel metropolitano representa una contribución significativa, dado que, comúnmente, estas se aplican a escala nacional o divisiones administrativas mayores. Continuar aplicándolas e incorporarlas a un análisis demográfico y socioeconómico, resulta de vital importancia para seguir profundizando y entendiendo la naturaleza del fenómeno migratorio. Y, en segundo lugar, la importancia de las áreas metropolitanas, y aún más, de los flujos intrametropolitanos es cada vez más evidente, por lo que continuar estudiándolas no es solo recomendable, sino imperativo para ahondar en el entendimiento de los procesos urbanos de los territorios y de los flujos migratorios internos y externos.

## Bibliografía

- Balat, J., & Casas-Lozano, M. C. (2018, enero 2). *Firm Productivity and Cities: The Case of Colombia*. <https://doi.org/10.32468/be.1032>
- Banguero Lozano, H. (2005). Estructura y dinámica de la población del departamento del Cauca y de Colombia. 1938-2025. Un análisis comparativo. *El Hombre y la Máquina, enero-junio*(24), 72-91.
- Bayona-i-Carrasco, J., & Pujadas-i-Rúbies, I. (2014). Movilidad residencial y redistribución de la población metropolitana: Los casos de Madrid y Barcelona. *EURE (Santiago)*, 40(119), 261-287. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612014000100012>.
- Bell, M., Blake, M., Boyle, P., Duke-Williams, O., Rees, P., Stilwell, J., & Hugo, G. (2002). Cross-national comparison of internal migration: Issues and measures. *Journal of the Royal Statistical Society*, 165(3), 435-464.

- Bell, M., Charles-Edwards, E., Ueffing, P., Stillwell, J., Kupiszewski, M., & Kupiszewska, D. (2015). Internal Migration and Development: Comparing Migration Intensities Around the World. *Population and Development Review*, 41(1), 33-58.
- Bell, M., & Muhidin, S. (2009). Cross-National Comparison of Internal Migration. *University Library of Munich, Germany, MPRA Paper*.
- Bell, M., Rees, P., Blake, M., & Duke-Williams, O. (1999, octubre). *An Age-Period-Cohort Database of Inter-Regional Migration in Australia and Britain, 1976-96* [Monograph]. School of Geography. <http://www.geog.leeds.ac.uk/wpapers/>
- Camargo, A. (2023). Metropolización y crecimiento informal: Dinámicas de movilidad residencial intrametropolitana en Bogotá y los municipios aledaños. *EURE (Santiago)*, 49(148). <https://doi.org/10.7764/eure.49.148.06>
- Camargo, G., Sampayo, A. M., Galindo, A. P., Escobedo, F. J., Carriazo, F., & Feged-Rivadeneira, A. (2020). Exploring the dynamics of migration, armed conflict, urbanization, and anthropogenic change in Colombia. *PLOS ONE*, 15(11), e0242266. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242266>
- Cardona, R., & Simmons, A. (1978). Destino la metropoli: Un modelo general de las migraciones internas en América Latina Bogotá: CCRP.
- Carrillo, A. (2009). Internal displacement in Colombia: Humanitarian, economic and social consequences in urban settings and current challenges. *International Review of the Red Cross*, 91, 527-546. <https://doi.org/10.1017/S1816383109990427>
- Castellanos Caballero, E. (2016). *La migración interdepartamental en Colombia: Un estudio demográfico según el Censo de 2005*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Centro de Investigaciones sobre Dinámica Social. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/f8ccca68-2c05-4166-96df-32872c5c38ff>
- Castro Escobar, E. S. (2016). Transformaciones territoriales y procesos de metropolización en Colombia\_ aproximacion a partir de migracion interna.
- CEPAL, C. E. para A. L. y el C. (2023). Métodos para la medición de la migración interna y sus efectos sociodemográficos, con especial atención al uso de los Censos y las matrices de migración. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48923-metodos-la-medicion-la-migracion-interna-sus-efectos-sociodemograficos-especial>
- Champion, T. (2001). Urbanization, Suburbanization, Counterurbanization and Reurbanization. *Handbook of Urban Studies*, 143-161.
- Cuervo Ramírez, S. M., Barbieri, A. F., & Rangel Rigotti, J. I. (2018). La migración interna en Colombia en la transición al siglo XXI. Una aproximación multiescalar. *Revista Latinoamericana de Población*, 12(22), 50-68. <https://doi.org/10.31406/n22a4>
- Cunha, J., & Rodríguez, J. (2009). Crecimiento urbano y movilidad en América Latina. *Revista Latinoamericana de Población*, 3, 27-64. <https://doi.org/10.31406/relap2009.v3.i1.n4-5.1>
- Davis, J. C., & Henderson, J. V. (2003). Evidence on the political economy of the urbanization process. *Journal of Urban Economics*, 53(1), 98-125.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2008). *Estimación de la migración 1973-2003*.
- Docampo, M. G. (2014). Theories of Urban Dynamics. *International Journal of Population Research*, 2014, 1.
- Gómez, C. L. M. (2002). *Las migraciones internas en Colombia. Análisis territorial y demográfico según los Censos de 1973 y 1993* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Autònoma de Barcelona]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=4419>
- González, A., & Rubiano, N. (2012). Entre metrópolis y periferias. Análisis de los movimientos migratorios a partir del Censo de población de 1993.
- Gouëset, V., & Mesclier, E. (2007). Expansión de la red urbana (1951-1993). En *Ciudades y sociedades en mutación: Lecturas cruzadas sobre Colombia* (F. Dureau, O. Barbary, V. Gouëset, O. Pissot&T. Lulle (Eds.), pp. 33-91). Universidad Externado de Colombia.
- Hidalgo, R., & Borsdorf, A. (2009). El crecimiento urbano en Europa: Conceptos, tendencias y marco comparativo para el área metropolitana de Santiago de Chile. *Estudios Geográficos*, 70(266), Article 266. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0449>
- Hierro Franco, M. (2005). Concentración poblacional y dispersión territorial y migratoria en España, 1986-2003. <https://hdl.handle.net/10902/28620>
- Ibáñez Londoño, A. M., & Vélez, C. E. (2005). Civil conflict and forced migration: The micro determinants and the welfare losses of displacement in Colombia. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/7941>

- INEI, I. N. de E. e I., & CEPAL, C. E. para A. L. y el C. (Eds.). (2022). Perú: Migraciones internas y dinámica sociodemográfica de departamentos, provincias y distritos en las dos primeras décadas del siglo XXI.
- Kalmanovitz, Salomón, & López, E. (2006). *La agricultura colombiana en el siglo XX* (Ilustrada). Fondo de Cultura Económica. <https://www.banrep.gov.co/es/agricultura-colombiana-el-siglo-xx>
- Klaasen, L. H., & Scimemi, G. (1981). Theoretical issues in urban dynamics. En *Dynamics of Urban Development* (Klaassen, L. H., Molle, W. T. M. and Paelinck, J. H., pp. 8-28). Gower.
- López, L. M., & Cobos, E. P. (2008). Desindustrialización, terciarización y estructura metropolitana: Un debate conceptual necesario. *Cuadernos del CENDES*, 25(69), 21-45.
- Mármora, L. (1979). Labor Migration Policy in Colombia. *International Migration Review*, 13(3), 440-454. <https://doi.org/10.1177/019791837901300303>
- Morales, J. (2018). The impact of internal displacement on destination communities: Evidence from the Colombian conflict. *Journal of Development Economics*, 131(C), 132-150.
- Parr, J. B. (2012). The Spatial-Cycle Model (SCM) Revisited. *Regional Studies*, 46(2), 217-228. <https://doi.org/10.1080/00343404.2011.558895>
- Pérez Valbuena, G. J., & Meisel Roca, A. (2013). *Ley de Zipf y de Gibrat para Colombia y sus regiones: 1835-2005*. <https://babel.banrepultural.org/digital/collection/p17054coll18/id/230/>
- Pinto de Oliveira, L. A., & Ribeiro de Oliveira, A. T. (2011). *Reflexões sobre os deslocamentos populacionais no Brasil*. IBGE.
- Prieto-Bustos, W. O., Manrique-Hernández, J., Dueñas-Portes, M. A., Torres-Castiblanco, M. C., & Jaramillo-Cruz, M. C. (2021). *Conflicto armado y desplazamiento forzado: Un caso de migración forzada en Colombia*. Editorial Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/1839679b-0754-4f8a-8cf2-24c2aff6bcd0>
- Rees, P., Bell, M., Duke-Williams, O., & Blake, M. (2000). Problems and Solutions in the Measurement of Migration Intensities: Australia and Britain Compared. *Population Studies*, 54(2), 207-222.
- Rees, P., & Lomax, N. (2019). Ravenstein Revisited: The Analysis of Migration, Then and Now. *Comparative Population Studies*, 44. <https://doi.org/10.12765/CPoS-2020-10>
- Rodríguez Vignoli, J. (2004). Migración interna en América Latina y el Caribe: Estudio regional del período 1980-2000. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/7188>
- Rodríguez Vignoli, J. (2017). Efectos de la migración interna sobre el sistema de asentamientos humanos de América Latina. 123, 8-34.
- Ruiz, N. Y. R. (2008). Las particularidades del proceso urbanizador en Colombia. *Bitácora Urbano Territorial*, 12(1), Article 1.
- Sánchez Steiner, L. M. (2008). Éxodos rurales y urbanización en Colombia. Perspectiva histórica y aproximaciones teóricas. *Bitácora Urbano Territorial*, 13(2), Article 2.
- Schultz, T. P. (1971). Rural-Urban Migration in Colombia. *The Review of Economics and Statistics*, 53(2), 157-163.
- Silva Arias, A. C., & González Román, P. (2009). Un análisis de las migraciones internas en Colombia (2000-2005). *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 17(1), 123-144.
- Soledad, J. I., & Egea, C. (2011). El análisis del desplazamiento interno en Colombia con base en el Registro Único de Población Desplazada (RUPD): Localización y características (2000-2007). *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. <https://raco.cat/index.php/ScriptaNova/article/view/239127>
- Van den Berg, L., Drewett, L., Klaasen, L. H., Rossi, A., & Vijverberg, C. H. T. (1982). *Urban Europe: A Study of Growth and Decline*. Pergamon Press. <https://shop.elsevier.com/books/a-study-of-growth-and-decline/van-den-berg/978-0-08-023156-3>
- Van den Berg, L., Klaasen, L. H., & Van der Meer, J. (1987). "Urban revival? En *Spatial Cycles* (L. van den Berg, L. S. Burns, and L. H. Klaassen, pp. 127-145). Gower.
- Villa, M. (1991). Introducción al análisis de la migración: Apuntes de clase: notas preliminares. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/9271>
- Villarraga Orjuela, H. G. (2015). Migración interna, movilidad residencial y dinámicas metropolitanas en Colombia. Una aproximación desde la demografía espacial a los movimientos de población registrados en los Censos de 1964, 1973, 1993 y 2005. Universitat Autònoma de Barcelona. <https://ddd.uab.cat/record/132855>

- White, M. J. (2016). Introduction: Contemporary Insights on Migration and Population Distribution. En M. J. White (Ed.), *International Handbook of Migration and Population Distribution* (pp. 1-8). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7282-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7282-2_1)

## Agradecimientos

Los autores agradecen al DANE la disponibilidad de los datos estadísticos. También agradecemos las contribuciones vertidas en las respectivas evaluaciones de las personas que han revisado el texto del artículo.

## Contribución de autorías

Este texto forma parte de la Tesis Doctoral de Juan José Lizcano Palacio, realizada en el Programa de doctorado en Geografía, planificación territorial y gestión ambiental en la Universidad de Barcelona, siendo el principal autor del trabajo. Jordi Bayona y Jenniffer Thiers han contribuido a la conceptualización y metodología del trabajo; a la obtención, tratamiento y análisis de la información; y a la revisión del texto.

## Financiación

Este texto forma parte de los proyectos de investigación “Las migraciones internas en la redistribución de la población inmigrada en España” (CNS2022-135139, IP: Jordi Bayona) y “Migraciones y estrategias de reproducción demográfica y social en España: Género, origen y clase” (PID2023-148711OB-I00, IP: Andreu Domingo y Jordi Bayona). Jordi Bayona es profesor agregado Serra Húnter en el Departamento de Geografía de la UB.

## Conflicto de intereses

Los autores de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Factores determinantes en la distribución espacial de estudiantes universitarios en Concepción (Chile) mediante Regresión Geográficamente Ponderada (GWR)

Determinant factors in the spatial distribution of university students in Concepción (Chile), using Geographically Weighted Regression (GWR)

NATALIA ARAVENA SOLÍS<sup>1</sup>  0000-0002-1984-8824

JOSÉ PRADA TRIGO<sup>2</sup>  0000-0002-4071-1195

<sup>1</sup> Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile

<sup>2</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Valladolid

## Resumen

El objetivo de este artículo es analizar, a través de correlación espacial por medio de Regresión Geográficamente Ponderada (GWR) el desigual peso de distintas variables explicativas relacionadas con el lugar de residencia de estudiantes universitarios en la ciudad de Concepción (Chile). Pese a existir una cantidad creciente de literatura desde las “geografías estudiantiles” sobre las motivaciones residenciales de los estudiantes, existe un vacío en cuanto a estudios generales y con un carácter transversal. Por ello, tras georreferenciar individualmente más de 11000 puntos, correspondientes a la residencia temporal de los estudiantes universitarios de las tres universidades principales de Concepción, se analizó la relación de esta variable dependiente con otras variables socioeconómicas provenientes de fuentes secundarias (variables independientes). Los resultados, interpretados en base a la literatura especializada, mostraron una mayor importancia de la conectividad con el campus, la oferta de vivienda en edificios de apartamentos y la presencia de grupos de renta alta, media y media-baja.

Palabras clave: Estudiantes universitarios; distribución espacial; correlación espacial; análisis espacial; Concepción.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.11.13  
Aceptado: 2024.06.13  
Publicado: 2024.11.21

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Natalia Aravena Solís  
[naaravena@uc.cl](mailto:naaravena@uc.cl)

## Abstract

This article aims to analyze the unequal influence of various explanatory variables on the residential choices of university students in Concepción (Chile), using Geographically Weighted Regression (GWR) to assess spatial correlation. Although there is a growing body of literature in student geographies examining the motivations behind student residential choices, a gap remains in comprehensive, cross-cutting studies on this topic. To address this, we georeferenced over 11,000 data points representing the temporary residences of university students from the three main universities in Concepción. Then, we analyzed the relationship between this dependent variable and various socioeconomic variables obtained from secondary sources (independent variables). The results, interpreted in the context of the existing literature, highlight the significant role of factors such as campus connectivity, the availability of apartment housing, and the presence of high-, middle-, and lower-middle-income groups as primary factors influencing students in their choice of residence.

---

Keywords: University students; spatial distribution; spatial correlation; spatial analysis; Concepción.

---

## 1. Introducción

El estudio de los cambios producidos como consecuencia de la llegada de estudiantes a ciertos barrios en ciudades de tradición universitaria ha emergido como un tema de interés en la geografía urbana y la planificación territorial a nivel internacional en las últimas décadas. Este fenómeno, analizado en distintos países bajo el paraguas de la *estudiantización* (Nakazawa, 2017; Kinton et al., 2016) ha sido vinculado a veces con otros fenómenos como la gentrificación (Smith y Holt, 2007; Hubbard, 2008), la aparición de submercados inmobiliarios especializados (Miessner, 2021) o procesos de segregación espacial (Alamel, 2021). La existencia de una universidad al interior de la ciudad tiene consecuencias específicas en la estructura social y la economía local, como han establecido Manganelli et al. (2022).

Este proceso se caracteriza por cambios significativos en la estructura demográfica, el paisaje urbano y las dinámicas socioeconómicas en áreas cercanas a instituciones educativas (Jolivet et al. 2023). Sin embargo, mientras que la gentrificación tradicionalmente se ha centrado en la influencia de las clases más pudientes en la configuración de las ciudades, la *estudiantización* se ha relacionado más con la movilidad y vivienda estudiantil y sus efectos en la configuración urbana (Gu y Smith, 2020).

La noción de *estudiantización* describe cambios urbanos relacionados con el surgimiento de grandes concentraciones de estudiantes en ciudades y localidades universitarias. Acuñado por Smith (2004), este concepto pretende capturar cómo la expansión de la educación superior promovida por el Estado y el impulso para aumentar la participación de jóvenes en la educación superior, han llevado al crecimiento de poblaciones estudiantiles y a la creación de “barrios de estudiantes” en determinados vecindarios.

El término *estudiantización* se utiliza en diferentes contextos dentro de discursos académicos, políticos y mediáticos, demostrando que sus características sociales, económicas, culturales y físicas son prominentes en diversos contextos geográficos, particularmente cuando se asocian con la formación de concentraciones considerables de estudiantes (Smith, 2019; Kenna y Murphy, 2021). Esta tendencia global hacia la *estudiantización* ha atraído la atención de investigadores, formuladores de políticas y medios de comunicación, ya que tiene un profundo impacto en la

configuración de las ciudades y comunidades locales, particularmente por la concentración residencial de estudiantes en ciertos vecindarios, lo que ha llevado a debates sobre los conflictos de convivencia entre estudiantes y no estudiantes (Zasina, 2021).

A pesar de la creciente atención que la *estudiantización* ha recibido a nivel global, existe una notoria falta de investigaciones en el contexto latinoamericano. Si bien se han realizado algunos trabajos en Chile, estos se han centrado en enfoques cualitativos (Prada-Trigo, 2019) y en encuestas realizadas en barrios específicos (Prada et al., 2021). Hasta la fecha, no se ha llevado a cabo una aproximación de carácter más general sobre este tema en ningún caso latinoamericano. Este vacío en la investigación ofrece una oportunidad para la generación de nuevos trabajos que exploren en profundidad la relación entre la distribución espacial de estudiantes universitarios, sus lugares de residencia y la existencia de distintos factores de atracción para estos.

En este contexto, es esencial abordar la *estudiantización* desde dicha perspectiva, algo que esta investigación aplica al caso de estudio de Concepción, Chile, donde la existencia de una comunidad universitaria numerosa y el atractivo de la ciudad como destino educativo del sur del país, constituyen un buen ejemplo para comprender este fenómeno. Por consiguiente, la presente investigación pretende responder a la pregunta de investigación sobre cómo la distribución de ciertos servicios determina la selección de lugares residenciales para estudiantes universitarios en Concepción. Se busca interpretar cómo el proceso de *estudiantización* está configurando la realidad urbana de Concepción y así proporcionar información valiosa para la planificación urbana y la toma de decisiones en la ciudad, sumando esta investigación al creciente cuerpo de conocimiento sobre la *estudiantización*, y aportando una perspectiva importante desde el contexto latinoamericano.

Para ello, se recurre al análisis de correlación espacial mediante el uso de Regresión Geográficamente Ponderada (GWR), una metodología cuantitativa que permite determinar modelos explicativos otorgando datos específicos para cada localización (Montes-Galbán, 2022), al relacionarlos con variables explicativas dependientes socioespacialmente (Simionescu y Cifuentes-Faura, 2023), permitiendo su estudio y predicción a nivel intraurbano.

Sobre la estructura del presente artículo, a continuación, se desarrollan en mayor profundidad los marcos conceptuales de *estudiantización*, ciudad universitaria y correlaciones espaciales, luego se explica la metodología utilizada y se presenta el caso de estudio. Posteriormente se exponen los principales resultados, que resaltan la importancia de los aspectos socioeconómicos (clase social que habita en el barrio), accesibilidad y oferta residencial de nueva creación. Los mismos se discuten en relación con la bibliografía revisada y se concluye sobre la investigación, planteando sus aportes, nuevos desafíos y la necesidad de continuar discutiendo este fenómeno.

### 1.1. *Estudiantización*

Desde inicios del siglo XXI las *geografías estudiantiles*, que contaban ya con algunos trabajos previos (Kenyon, 1997; Chatterton, 2000) se expandieron alrededor del término *estudiantización*. Este, hace referencia a los cambios diversos producidos por la migración de un número relativamente alto de estudiantes universitarios a un sector residencial, provocando un desplazamiento de la población residente además de cambios sociales, económicos o culturales, asimilando en ocasiones este fenómeno con las “formas variopintas” de gentrificación (Smith, 2004; Sage et al., 2012; Nakazawa, 2017). El desplazamiento de la población local y los problemas asociados a la

presencia de estudiantes (consumo de alcohol, fiestas, ocupación del espacio público) han tendido a considerar este fenómeno como algo negativo (Hubbard, 2008; Smith y Hubbard, 2014) habiendo aparecido incluso movimientos vecinales en algunos países para oponerse a la llegada de nuevos estudiantes (Kinton *et al.*, 2016).

En los últimos años se ha producido una doble expansión de los trabajos sobre *estudiantización*. Por un lado, han aparecido nuevas investigaciones en países diferentes a Reino Unido, como Polonia (Murzyn-Kupisz y Szmytkowska, 2015; Grabkowska y Frankowski, 2016), Canadá (Revington, 2021), China (He, 2015; Gu y Smith, 2020), Sudáfrica (Taiwo *et al.*, 2021), Chile (Prada, 2019) o a través de comparativas internacionales (Kenna y Murphy, 2021). Por otro lado, se ha conectado con nuevas temáticas. Entre estas, destacan trabajos que amplían su foco hacia los cambios que ha sufrido la educación superior en las últimas décadas (Chatterton, 2010), o hacia la aparición de un segmento del mercado inmobiliario vinculado a los estudiantes (Gregory y Rogerson, 2019; Revington, 2021; Pillai *et al.*, 2021). El mismo, se sustenta en la idea de Avni y Alfasi (2018) de que las universidades tienen una influencia, aún poco estudiada, en el mercado inmobiliario de las ciudades donde se ubican. La extracción de rentas a partir de la vivienda habría encontrado un nicho de mercado en los estudiantes universitarios, indagándose sobre las ventajas de arrendarles a ellos frente a otros grupos tradicionales, como familias o inmigrantes (Lager y Van Hoven, 2019; Miessner, 2020). Como consecuencia de esta relación entre estudiantes y mercado inmobiliario se habría dado a su vez una segmentación del mercado estudiantil. En concreto, aquellos estudiantes que no pueden permitirse pagar una renta elevada buscarían espacios más alejados, peor conectados, con peores condiciones materiales, con menor seguridad o sin incluir en su arriendo servicios básicos como luz, calefacción o internet, lo que incurriría incluso en condiciones de pobreza energética (Alamel, 2021).

Estas ideas llevan a plantear la necesidad de aproximarse a las motivaciones de los estudiantes para encontrar vivienda y a los factores que priman en su búsqueda. En este sentido, algunos trabajos ponen su acento en la menor concentración de estudiantes en las áreas más deprimidas de la ciudad (Munro *et al.*, 2009), aunque un trabajo posterior de Prada (2019) analizaba la importancia de los universitarios para mejorar la imagen de barrios marginales. Por su parte, Allinson (2006) mencionaba motivaciones como la distancia a la universidad, el coste del transporte hacia el centro o la cuestión de la seguridad, si bien su aproximación se realizaba desde un punto de vista cualitativo, mediante entrevistas en profundidad. Por otro lado, Hubbard (2008) mencionaba que el fenómeno de la concentración de estudiantes puede identificarse mejor a nivel de barrio que de municipio, existiendo un vacío a la hora de analizar de forma estructural este fenómeno, al contarse con poca información a esta escala, lo que complica este tipo de análisis, como indicaban también Sage *et al.* (2012). En el contexto de la pandemia de COVID-19 el trabajo de Prada *et al.* (2021) trató de analizar las zonas con mayor descenso en el número de estudiantes como causa del cierre de las universidades y el regreso con las familias, sin embargo, su estudio se llevó a cabo en grandes sectores dentro de la ciudad, no existiendo una vinculación con los factores previos de localización. Por lo tanto, a pesar de que hay algunos trabajos importantes que analizan la dinámica de localización de estudiantes, puede avanzarse aún más en la ponderación de distintos factores territoriales en la explicación de la concentración de estudiantes universitarios.

## 1.2. Ciudad universitaria

El concepto de “ciudad universitaria” ha sido objeto de reflexión a lo largo de la historia, explorando diversos tópicos, modelos de asentamiento y casos paradigmáticos (Roca-Blanch, 2011;

Villavicencio, 2019). En este contexto, dos modelos claramente contrapuestos han surgido en la localización de los campus universitarios: el modelo europeo, que se caracteriza por una localización nítidamente urbana, y el modelo anglosajón, en el que estos lugares tienden a ubicarse en zonas periurbanas o incluso rurales, lo que se conoce en este contexto como “campus” (Roca-Blanch, 2011), planteando cuestiones fundamentales sobre la relación entre la universidad y la ciudad. La noción de campus se ha convertido en un término clave en este debate, especialmente en su aplicación en el mundo occidental y por su influencia en Latinoamérica. De esta forma, el campus se concibe como un espacio que busca reintegrar la presencia activa de la naturaleza en el tejido urbano y restablecer un equilibrio entre la vida urbana y la natural (Roca-Blanch, 2011). La elección de la ubicación del campus universitario no solo se basa en consideraciones arquitectónicas, sino que se desarrolla en conjunto con el entorno físico y se convierte en parte del “mundo vital” de las personas que lo utilizan (Seamon, 2013; Domae, 2017).

El crecimiento y universalización de la educación superior han supuesto el auge de la población estudiantil y la creación de viviendas para ellos en vecindarios tradicionales (Smith, 2004). Los campus universitarios se han desarrollado en diversos contextos geográficos, y su localización puede estar influenciada por factores como la disponibilidad de suelo y la distancia a la masa crítica urbana (Villavicencio, 2019). En algunos casos, esta localización lejos de la ciudad ha resultado en disfunciones (Roca-Blanch, 2011) que han requerido inversiones y proyectos complejos por parte de los gobiernos locales y supralocales.

Además de la localización del campus, es esencial comprender cómo una universidad ubicada en una ciudad se integra a la dinámica urbana (Roca-Blanch, 2011), ya que su sola presencia en ella tiene un impacto significativo en el entorno. Esto plantea cuestiones sobre cómo las instituciones de educación superior contribuyen (o no) al desarrollo económico, social y cultural de las ciudades (Goddard y Vallance, 2013), modificando sus dinámicas socioespaciales. Desde el urbanismo se ha reconocido que un ejemplo de este impacto es el papel de los estudiantes universitarios que residen “fuera del campus”, en la ciudad, lo que puede generar tanto impactos positivos como negativos en la comunidad urbana (Goddard y Vallance, 2013). La mencionada expansión de la educación superior y el aumento de instituciones universitarias en un mismo contexto urbano, dando lugar a las “ciudades universitarias”, junto con la falta de políticas nacionales para gestionar la vivienda estudiantil, han llevado a la creación de áreas urbanas crecientemente habitadas por estudiantes. Estos son residentes con un carácter temporal, lo que plantea desafíos específicos en la gestión de la vivienda estudiantil y la convivencia con los residentes locales (Hubbard, 2008; Munro et al., 2009).

La relación entre las universidades y el espacio urbano es dinámica y está en constante evolución (Arnau et al., 2013). En el siglo XX, la expansión de los sistemas de educación superior dirigida por el Estado permitió a los campus universitarios expandirse sustancialmente a través de la construcción de nuevas instalaciones para la enseñanza, la investigación y la vivienda estudiantil (Goddard y Vallance, 2013). La capacidad de las universidades para actuar como agentes inmobiliarios ha llevado a una transformación de la relación entre universidad y ciudad. Esta relación resulta más evidente en los principales centros de educación superior, especialmente en las universidades más antiguas y en las ubicadas en las grandes ciudades o cerca de estas (Davies, 2015). Sin embargo, también se pueden apreciar en ciudades medias que se transforman en “ciudades del conocimiento” o “ciudades universitarias”. El ensamblaje entre universidades urbanas y las ciudades es compleja y multidimensional (Domae, 2017). Su impacto abarca aspectos físicos, sociales, económicos y culturales. La localización del campus, la interacción entre estudiantes y

residentes, y la planificación del entorno universitario son temas clave que requieren un análisis detenido para comprender mejor la dinámica de las ciudades universitarias (Arnau et al., 2013), siendo los factores determinantes para la concentración de estudiantes una arista fundamental de este fenómeno.

### 1.3. Correlación Espacial

La correlación espacial, un concepto fundamental en el análisis geográfico, y ha sido una herramienta de interés en los estudios territoriales. Bockstael (1996) destacó tempranamente su importancia tanto en la ecología como en la economía, particularmente desde la modelización de elecciones discretas y políticas públicas relacionadas con el uso de la tierra, aunque para ese momento se carecía de soluciones satisfactorias para expresar espacialmente sus resultados. Sin embargo, a partir de aportes como los de Anselin y Moreno (2003) o Fleming (2004), se subraya la introducción de la dependencia espacial en los modelos de elección discreta, es decir, de una u otra opción, como es el caso de las decisiones de residencia, fueran estas analíticamente intratables (exigiendo el empleo de técnicas de simulación) o *Bayesianas*, como es el caso de la correlación espacial (Chakir y Parent, 2009).

Estas técnicas de simulación no se limitan a la relación entre valores dentro de una variable individual, sino que también implican la co-localización de dos o más variables, siendo una explicativa y otra dependiente, aunque según Cromley et al. (2014) ha recibido menos atención en comparación a la autocorrelación espacial. La correlación espacial se ha explorado especialmente en datos categóricos, y se ha relacionado con el análisis de localización en geografía humana y otros campos del análisis regional. En este mismo sentido, el análisis de correlación mediante Regresión Geográficamente Ponderada (GWR) ha sido utilizado para analizar distribución espacial de tipos de vivienda, acceso equitativo a equipamientos de salud, accesibilidad a equipamientos, entre otras co-localizaciones espaciales, ofreciendo tanto medidas locales como globales (Cromley et al., 2014).

Recientemente, en algunos trabajos desde Latinoamérica se ha utilizado la correlación espacial en estudios respaldados por Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar la incidencia de la accesibilidad en los desequilibrios territoriales, especialmente en áreas relacionadas con la salud pública (Buzai, 2011), y en movilidad urbana (Martínez Bascuñán y Rojas Quezada, 2015), con el objetivo de evaluar su distribución geográfica.

Desde una perspectiva conceptual, resulta fundamental comprender la “primera ley de la Geografía” (Tobler 1979; Nieto y Márquez, 2018) que explica la dependencia y relación entre eventos en un lugar geográfico entre sí, puesto que todo estaría relacionado si resulta espacialmente cercano, aplicándose no sólo respecto a su autocorrelación, sino también en su correlación con objetos o elementos de otro tipo, como podrían ser servicios o factores cercanos a ciertos lugares residenciales. Con respecto a los aspectos técnicos, la regresión geográficamente ponderada (GWR) es una técnica utilizada en geografía y otras disciplinas, para evaluar un modelo local de la variable o proceso en estudio, ajustando ecuaciones de regresión a entidades individuales del conjunto de datos (Montes-Galbán 2022). Estas ecuaciones individuales se construyen incorporando las variables dependientes y explicativas de las entidades vecinas a la entidad de destino, ajustando ecuaciones de regresión a nivel de entidades geográficas individuales (ArcGIS Pro, 2023), lo que permite comprender relaciones espaciales variables y sus efectos.

Por lo tanto, en el contexto de un análisis espacial, la correlación (o co-localización) espacial se ha convertido en un concepto esencial. El supuesto de que las cosas cercanas están más relacionadas entre sí que las cosas lejanas ha llevado a la formulación de estadísticas de autocorrelación y correlación espacial, lo que permite modelar la relación de una variable dependiente con otras múltiples variables explicativas que la pueden influenciar, lo que permitiría explicar la disponibilidad y accesibilidad urbana (Martínez Bascuñán y Rojas Quezada, 2015) u otros fenómenos socioespaciales, como la pobreza (Treviño, 2016).

## 2. Metodología

La presente investigación se sostiene sobre una metodología de carácter cuantitativo, que utiliza software de sistemas de información geográfica (ArcMap) para el cálculo de sus indicadores de estadística espacial. Se inicia la investigación con la recopilación y procesamiento de una serie de variables de información espacial. Estas variables se seleccionaron cuidadosamente, como se detalla a continuación en la tabla 1, en conjunto con el levantamiento de datos de elaboración propia durante el año académico 2021-2022.

En el marco de un proyecto de investigación nacional financiado por el Gobierno de Chile, se solicitaron y obtuvieron las ubicaciones de las viviendas de los estudiantes de las tres universidades con mayor número de alumnos en la ciudad de Concepción: Universidad de Concepción, Universidad del Bío-Bío y Universidad Católica de la Santísima Concepción. Estos últimos, referidos al domicilio de los estudiantes, se georreferenciaron manualmente, dados los diferentes formatos y errores de escritura en las ubicaciones de su lugar de residencia. Estos datos se trabajaron anonimizados, se depuraron y georreferenciaron para las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén que constituyen la conurbación continua – consolidada del Área Metropolitana de Concepción, teniendo la mayor concentración de población y de Universidades. En el caso de la Universidad de Concepción, se tienen datos de ubicación de vivienda de estudiantes del periodo 1990 a 2021, para Universidad del Bío-Bío datos del periodo 2017 a 2021 y para la Universidad Católica de la Santísima Concepción datos del periodo 2017 a 2021, por lo que se decidió filtrar la base de datos para utilizar únicamente del periodo 2017 a 2021, en los que se tienen datos de ubicaciones de residencia estudiantil para el análisis. Depurados y normalizados los datos, se obtienen 27894 ubicaciones de viviendas de residencia estudiantil, incluyendo viviendas familiares y residencias semestrales, es decir, población flotante durante el año académico que habita en la ciudad. Estos últimos constituyen 11831 ubicaciones de estudiantes, georreferenciadas manualmente para evitar errores.

Tabla 1. Categorías y datos analizados.

CATEGORÍA	DATOS	PROCESAMIENTO	FUENTE	VARIABLE
Estudiantes	Ubicación Vivienda	Densidad de puntos en zona y manzana censales	Elaboración Propia	Dependiente
Distancia a Universidad	Buffer Ubicación Universidad (m.)	Buffer a 1000 m. Coincidencia de buffers.	Elaboración Propia	Independiente
Nivel Socioeconómico	Índice Socio Material Territorial	Información en zonas censales del área de estudio	OCUC	Independiente
Verticalización	Permisos de Edificación (n°/área)	Se filtra para obtener habitacional de más de 5 pisos en área de estudio	INE	Independiente

CATEGORÍA	DATOS	PROCESAMIENTO	FUENTE	VARIABLE
Movilidad	Corredores de Transporte (m.)	Zonas a 400 m. o menos de un paradero de transporte público	CEDEUS	Independiente
Amenidades	Equipamientos/Servicios (m.)	Se filtra para obtener servicios básicos (hospital, bomberos, policía, consultorios, farmacia, mercado) y servicios de alimentación o esparcimiento (gimnasio, banco, restaurantes, centro comercial, heladería, café, bar, cine).	CEDEUS	Independiente
Adultos Mayores	Mayores 65 años por manzana (n°/área)	Se utilizan microdatos del Censo 2017, en manzana censal	IDE-Chile	Independiente

Leyenda: OCUC - Observatorio de Ciudades UC (Pontificia Universidad Católica de Chile).

INE - Instituto Nacional de Estadística.

CEDEUS - Centro de Desarrollo Urbano Sustentable UC – UdeC.

IDE-Chile - Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Posteriormente se procesó la información espacial proveniente de fuentes secundarias (tabla 1), lo que permitió determinar las variables a analizar, basada en su relevancia para entender la distribución espacial de estudiantes universitarios en Concepción. La variable dependiente es la ubicación de vivienda de los estudiantes, representada por la densidad de estudiantes por área. Esta variable permite identificar patrones de concentración y correlacionar la distribución espacial de los estudiantes con variables urbanas y ambientales. Sobre las variables independientes, la variable “distancia a la Universidad” mide la proximidad de las residencias estudiantiles a las instituciones educativas, midiéndose en un *buffer* de 1000 metros desde el área (manzana o zona censal) hasta la localización de las universidades, un factor crítico en la elección de vivienda para los estudiantes. La proximidad a las universidades es fundamental, ya que influye significativamente en la decisión de dónde vivir, afectando la densidad estudiantil en ciertas áreas. Por otro lado, el Nivel Socioeconómico, evaluado a través del Índice Socio Material Territorial (generado por OCUC – UC Chile), nos permite examinar cómo el contexto socioeconómico de cada área afecta la distribución de los estudiantes, incluyendo datos como escolaridad, hacinamiento, allagamiento y materialidad de la vivienda, a partir del Censo de 2017.

La variable “verticalización”, representada por los permisos de edificación para construcciones de más de cinco pisos, se incluye para considerar el impacto de la disponibilidad de vivienda vertical en áreas específicas, identificando áreas (manzana o zona censal) de concentración de edificios. Áreas con alta densidad de construcciones altas suelen ser preferidas por estudiantes debido a la disponibilidad de opciones de alquiler, normalmente destinados al arriendo estudiantil (Prada et al., 2022). En cuanto a la variable “movilidad”, utilizamos un *buffer* de 50 metros para identificar las viviendas dentro de esta proximidad inmediata (según CEDEUS), y un *buffer* extendido de hasta 400 metros para reflejar una accesibilidad práctica, basado en el trabajo de Buzai (2011), tratándose como una variable dicotómica, si está o no a la distancia máxima de accesibilidad práctica. La movilidad resulta crucial para los estudiantes, que dependen del transporte público para trasladarse a la universidad y otros puntos de interés. La variable “amenidades”, que incluye la cercanía a servicios esenciales y de esparcimiento, examina cómo esta proximidad afecta la selección de residencia, se calcula en función de la proximidad como máximo de 400 metros a

los servicios, siguiendo el trabajo de Buzai (2011) en función de centros de salud, siendo también una variable dicotómica. La variable “disponibilidad” de servicios necesarios y de ocio puede hacer una zona más atractiva para los estudiantes. Finalmente, la variable “distribución de adultos mayores” se considera para analizar la coexistencia de estudiantes y población de más de 65 años, lo que puede influir en características del barrio como el ruido, la seguridad, y los servicios disponibles, calculándose densidad de adultos mayores por área (manzana o zona censal). Cada variable fue elegida tras un análisis preliminar que demostró su relevancia potencial basada en estudios previos y consideraciones teóricas sobre la vida estudiantil y urbana (Prada et al., 2022; Alamel, 2021; Kinton et al., 2016). La selección de estas variables busca proporcionar una visión comprensiva de múltiples factores que influyen en la distribución espacial de los estudiantes en un contexto urbano complejo como el de Concepción.

Dicha información se procesó para ajustar todas las categorías independientes a escala de zona o manzana censales, según sea posible. Se calculó presencia de estudiantes por manzana censal y por zona censal, para permitir el análisis en ambas escalas espaciales, y se establece esta variable como dependiente y discreta. Luego, se desarrolla el análisis de las relaciones espaciales, aplicando técnicas de regresión geográficamente ponderada (GWR), basadas trabajos como el de Bárcena et al. (2014).

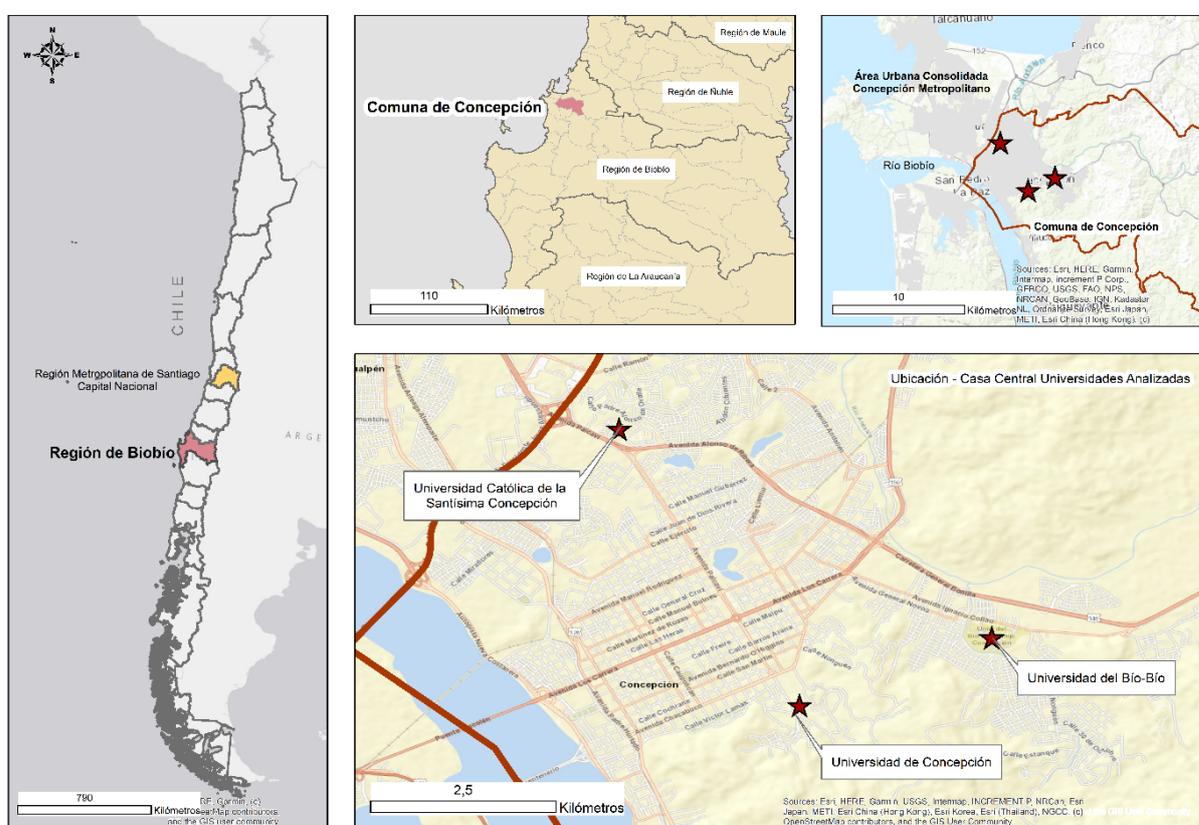
Los pesos del modelo GWR se asignaron utilizando un esquema de ponderación conocido como *Kernel*. Asimismo, en los cálculos de GWR se utilizó un ancho de banda adaptativo en función del *criterio de información de Akaike corregido* (AICc), para modelar relaciones que varían espacialmente, utilizando una forma local de regresión lineal. Esta metodología permite capturar y analizar las variaciones espaciales en las relaciones entre las variables. Para la función de densidad, se empleó el análisis GWR con un *Kernel* gaussiano, que es un tipo de función de ponderación utilizada para ejecutar cada análisis de regresión local. El ancho de banda de esta función se configuró de manera fija, lo que significa que la distancia espacial usada para resolver cada análisis de regresión local es constante y no varía a través del espacio, siguiendo la metodología propuesta por Martínez Bascuñán y Rojas Quezada (2015). Respecto a la definición de vecinos dentro del modelo, se estableció un número fijo de 30 vecinos para incluir en el ancho de banda local del *Kernel* gaussiano. Esta configuración se utiliza cuando el tipo de *Kernel* está ajustado a adaptativo y el método de ancho de banda a parámetro de ancho de banda. Este enfoque de modelado local permite una interpretación más precisa y detallada de cómo las variables independientes influyen en la variable dependiente en diferentes ubicaciones geográficas.

Esta técnica es especialmente útil para analizar la heterogeneidad y las relaciones espaciales de los datos, proporcionando un mayor grado de detalle y precisión en la estimación de las relaciones entre las variables. Sin embargo, es importante mencionar que el modelo GWR puede presentar problemas de fiabilidad, que pueden mejorar con datos de variabilidad espacial, en conjuntos superiores a 1000 objetos, y distinguiendo procesos espacialmente constantes y no constantes (Páez et al., 2011), lo que lo hacen válido en este caso. La utilización de GWR se ha consolidado como la opción más adecuada para analizar la influencia de elementos de infraestructura pública, como vías, parques y sistemas de transporte masivo, en los cánones de arrendamiento de viviendas, tal como se ha demostrado en investigaciones previas (Agudelo-Torres et al., 2017).

## 2.1. Caso de Estudio: Concepción, arquetipo de ciudad universitaria

Fundada en 1919, la Universidad de Concepción, con sede en la ciudad de Concepción (Figura 1) es la tercera universidad más antigua de Chile y la más longeva de las universidades fuera de la capital, Santiago de Chile. En su proyecto original estaba la idea de crear un campus abierto, según el modelo de otras universidades estadounidenses, como Berkeley. El campus tiene una extensión de más de 160 hectáreas en total, de las cuales más de 62 se encuentran construidas, por lo tanto, no se trata de un espacio denso, propio de las universidades europeas. Por el contrario, la situación en un borde urbano en el momento de su fundación, junto con la integración en un espacio natural situado al sur de la ciudad sitúa a esta universidad en la órbita de los campus norteamericanos en el sentido que indica Roca-Blanch (2011).

Figura 1. Ubicación nacional y regional de Concepción – ubicación de universidades analizadas.



Fuente: Elaboración propia (2024).

La Universidad de Concepción se ha constituido históricamente como una referencia para la ciudad. El campus universitario ha sido tradicionalmente una zona de esparcimiento para la población penquista, utilizándose durante todo el año para distintas actividades. Además, la propia Universidad se encarga de organizar eventos abiertos a todo el público (conciertos, proyecciones de cine, mercadillos) durante todo el año, reforzando su rol como hito urbano. El impacto del campus también es medible en el empleo que genera, siendo la mayor empresa de la ciudad de Concepción, con más de 3500 trabajadores entre académicos, personal administrativo y de mantenimiento y seguridad. La Universidad también tiene un impacto en cuanto a atracción de estudiantes, estando matriculados más de 30000 entre pregrado y postgrado, lo que supone contar con la mayor matrícula de la región y la sexta en todo Chile. Este movimiento de trabajadores y

estudiantes genera un movimiento diario desde toda la región hacia el campus, lo que redonda en la mencionada centralidad de la Institución en la ciudad.

Además de la Universidad de Concepción existen otras universidades, centros de formación técnica e institutos profesionales, entre las que destacan la Universidad del Bío-Bío (9000 estudiantes), la Universidad Católica de la Santísima Concepción (14000 estudiantes) y la Universidad de San Sebastián (8000 estudiantes). Todas ellas tienen campus en la ciudad de Concepción, aunque su forma es más acotada, inserta dentro del área urbana y con una mayor densidad edificatoria. En conjunto, los estudiantes universitarios (incluyendo pregrado, postgrado y formación técnica y profesional) suponen más de 100000 en el área metropolitana de Concepción de los más de 130000 que tiene la región del Biobío. Esto, como es de suponer, implica fuertes impactos económicos, sociales, demográficos y culturales, ya mencionados en otros trabajos recientes (Prada, 2019; Prada *et al.*, 2020). Los mismos, se refieren principalmente la creación de un mercado inmobiliario y de servicios en torno a los estudiantes, que incluye desde el alojamiento hasta los servicios de restauración y ocio; el cambio generacional y socioeconómico en muchos barrios próximos a las principales universidades, con un reemplazo de población tradicional por otra estudiante y con un carácter flotante; o los cambios en el uso del espacio, con la proliferación de fiestas y ocupación de parques y plazas por parte de la población estudiantil. En este contexto, resulta de gran interés analizar e interpretar qué factores resultan determinantes a la hora de explicar la distribución de los estudiantes universitarios en Concepción mediante correlación espacial.

### 3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de las correlaciones espaciales establecidas en la investigación. La correlación es una herramienta fundamental para comprender las relaciones entre variables (categorías) y su importancia en el contexto de este estudio. Para facilitar la interpretación de estos resultados, la Tabla 2 muestra un resumen de los resultados obtenidos y los coeficientes de discriminación para cada variable explicativa considerada en el análisis mediante la técnica de Regresión Geográficamente Ponderada (GWR). Los coeficientes de discriminación, en este contexto, reflejan la fuerza y la dirección de la relación entre cada variable explicativa y la variable dependiente (ubicación de viviendas de estudiantes semestrales), ajustada por la escala espacial correspondiente (zona o manzana censales).

Para calcular estos coeficientes, se empleó el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ), que mide la proporción de la variabilidad en la variable dependiente que es predecible a partir de las variables independientes. Este coeficiente es particularmente útil en contextos donde es necesario comparar modelos con diferentes números de variables explicativas, permitiendo una evaluación más justa de la contribución de cada variable al modelo general. Los niveles de significación de las correlaciones se calcularon utilizando el valor crítico ajustado de los pseudo-t estadísticos, que entrega la función de GWR en ArcMap, donde un valor de  $p < 0.001$  indica una relación muy significativa,  $p < 0.01$  indica una relación significativa, y  $p < 0.05$  indica una relación marginalmente significativa. Este valor ajustado se emplea para probar la significancia estadística de los coeficientes en una prueba de dos colas al 95% de confianza. Los niveles de significancia indicados en la Tabla 2, proporcionan una guía clara sobre la robustez estadística de las correlaciones observadas. Además, los niveles de correlación indicados en la tabla (“Alta”, “Media”, “Baja”) se basan en los valores de  $R^2$  obtenidos:

- Alta Correlación:  $R^2 \geq 0.5$
- Media Correlación:  $0.3 \leq R^2 < 0.5$
- Baja Correlación:  $R^2 < 0.3$

Estos umbrales fueron establecidos para clasificar la influencia de las variables en la distribución espacial de los estudiantes, proporcionando una guía clara para identificar los factores más significativos que afectan esta distribución. Además, el análisis GWR permitió identificar la variabilidad local de los coeficientes a través de diferentes zonas, reflejando cómo el impacto de cada variable puede variar espacialmente. Este enfoque es esencial para entender la heterogeneidad espacial en grandes áreas urbanas como Concepción, donde factores como la movilidad, el nivel socioeconómico y las amenidades pueden tener diferentes influencias dependiendo de la localización específica.

Tabla 2. Resumen de resultados y coeficientes de discriminación.

CATEGORÍA	TIPO DE VARIABLE	ESCALA / UNIDAD ESPACIAL	R <sup>2</sup> <sup>1</sup>	CORRELACIÓN	NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (p)
Movilidad	Explicativa	Zona Censal	0,7999	Alta	0,01
Adultos Mayores	Explicativa	Manzana Censal	0,6720	Alta	0,006
Nivel Socioeconómico (C2)	Explicativa	Zona Censal	0,5901	Alta	0,04
Nivel Socioeconómico (ABC1)	Explicativa	Zona Censal	0,5805	Alta	0,04
Verticalización	Explicativa	Zona Censal	0,5157	Alta	0,002
Distancia a Universidad	Explicativa	Manzana Censal	0,4784	Media	0,003
Amenidades (Emergencias)	Explicativa	Zona Censal	0,3940	Media	0,009
Nivel Socioeconómico (E)	Explicativa	Zona Censal	0,3795	Baja	0,04
Nivel Socioeconómico (D)	Explicativa	Zona Censal	0,3614	Baja	0,04
Nivel Socioeconómico (C3)	Explicativa	Zona Censal	0,3438	Baja	0,04
Amenidades (Comida)	Explicativa	Zona Censal	0,2663	Baja	0,009
Amenidades (Serv. Básicos)	Explicativa	Zona Censal	0,1419	Baja	0,009
Estudiantes Semestrales	Dependiente	Manzana Censal	-	(orientativa)	-
Estudiantes Semestrales	Dependiente	Zona Censal	-	(orientativa)	-

Fuente: Elaboración propia (2023).

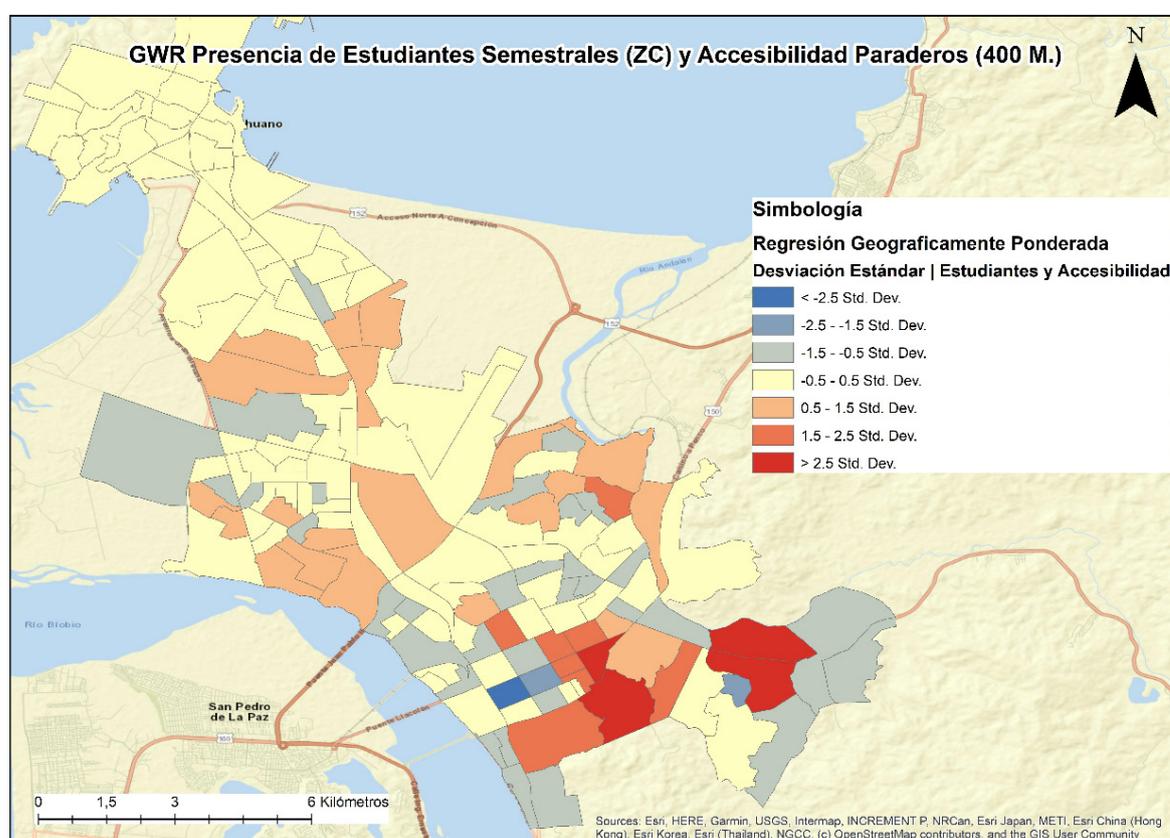
A continuación, se profundiza en los resultados espaciales que obtuvieron una alta correlación, y luego se presentan los resultados de correlaciones medias, que permiten interpretar qué factores resultan determinantes para la distribución de los estudiantes universitarios en Concepción. Lógicamente, los resultados que obtuvieron una baja correlación fueron desechados.

1. Medida de la bondad de ajuste, basada en coeficiente de correlación de Pearson (r). También se denomina coeficiente de determinación.

### 3.1. Correlación Alta

La variable explicativa que presenta mayor correlación es la movilidad, calculada a partir de accesibilidad a paraderos, como se observa en la Figura 2. La mayor correlación se evidencia entre la cercanía o accesibilidad a paraderos (según criterios SIEDU<sup>2</sup>) y la presencia de estudiantes. Esta relación presenta un  $R^2$  (coeficiente de determinación, bondad de ajuste) de 0,790 lo que permite la predicción: la presencia de estudiantes podría aumentar si mejora su accesibilidad al transporte público mediante la instalación de paraderos y circuitos de transporte, dado que existe una correlación geográfica entre la presencia de estudiantes y la de paraderos para una misma zona censal, la cual se observa ajustada al modelo en casi un 80%. Asimismo, es posible argumentar que una mejor accesibilidad al transporte público, con una mejor distribución a nivel intraurbano, redundaría en una distribución más homogénea de los estudiantes en el Área Metropolitana de Concepción (AMC), evitando efectos negativos derivados de su concentración (Allinson, 2006).

Figura 2. Movilidad y estudiantes (ZC)



Fuente: Elaboración propia (2023).

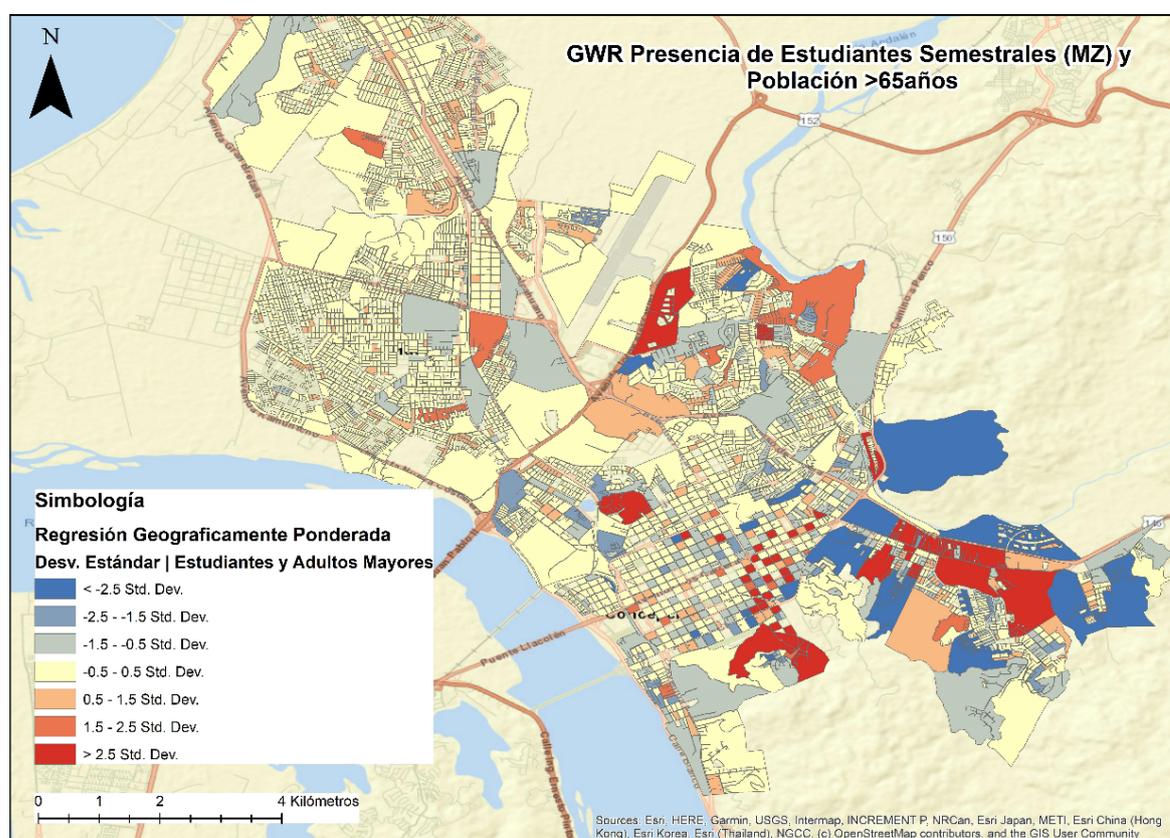
La segunda mayor correlación se observa en la variable "presencia de población mayor a 65 años por manzana censal". Esta obtiene un coeficiente de determinación de 0,670, lo que indica que el modelo se ajusta en un 67% a esta relación, valor que resulta significativo, especialmente considerando que ambas variables (dependiente y explicativa) son de naturaleza humana, en lugar de física o urbanística. En este caso en particular, esta correlación resulta de la presencia general

2. Sistema de Indicadores y Estándares de Desarrollo Urbano, Instituto Nacional de Estadística (INE) – Chile.

de estudiantes en áreas más densamente pobladas, sin embargo, es más fuerte la correlación en manzanas con un porcentaje más alto de adultos mayores, como se observa en la Figura 3.

En áreas como Collao, Tres Pascualas, Barrio Norte y Santa Sabina, se observa una mayor desviación estándar. Esto refleja que son sectores en los que reside una mayor cantidad de población mayor de 65 años por manzana, coincidiendo con una presencia más elevada de estudiantes. En Chile, la existencia de un sistema privado de pensiones, que arroja unas pensiones medias de jubilación ínfimas para buena parte de la población, ha llevado a muchos adultos mayores a recurrir a los arriendos como forma de obtener un ingreso extra a sus pensiones (Prada, 2019), lo que podría explicar esta alta correlación.

Figura 3. Adultos mayores y estudiantes (MZ)



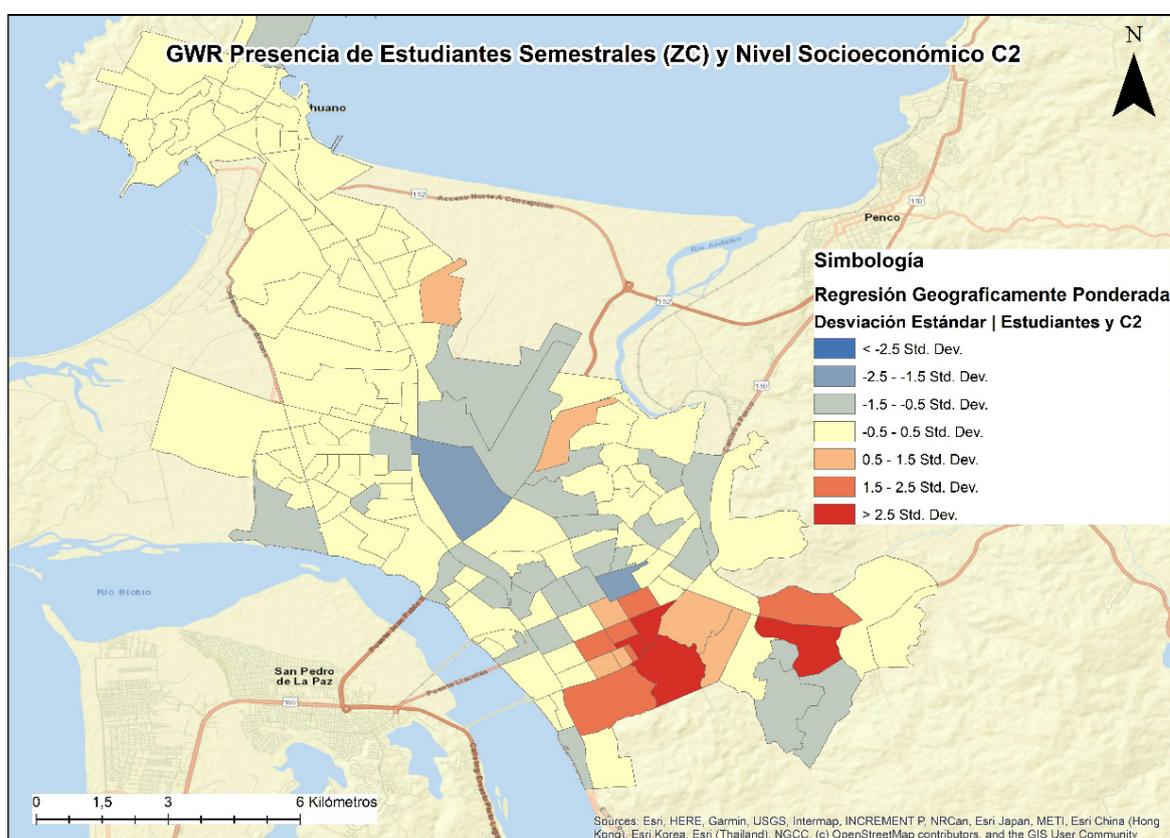
Fuente: Elaboración propia (2023).

La tercera mayor correlación se observa con la variable “nivel socioeconómico C2” como variable explicativa ( $R^2$  0,590), en la escala de zona censal. El nivel socioeconómico C2 se caracteriza por un ingreso mensual promedio del hogar de 1500774 pesos chilenos (aproximadamente 1500 euros) y un perfil donde el 26% de los sostenedores del hogar en este grupo posee un nivel de estudios universitarios completos o superiores, mientras que el 42% cuenta con un nivel universitario incompleto o educación técnica completa o incompleta. Además, el 37% de los sostenedores del hogar en este grupo se desempeña como vendedores, agricultores o trabajadores calificados (AIM Chile, 2023). Es decir, se corresponde con un perfil socioeconómico medio-bajo, que podría, al igual que en el caso de la población mayor de 65 años, recurrir al arriendo de habitaciones

para incrementar sus ingresos, como se ha visto en otros casos de estudio de la propia Concepción (Prada et al., 2020).

Esta relación se invierte en las zonas cercanas a Universidad de Concepción y Universidad del Bío-Bío, donde existe una alta presencia de estudiantes y una menor presencia del grupo socioeconómico C2, como se observa en la Figura 4. Esto sugiere una mayor influencia del factor “cercanía a la universidad” en la presencia de estudiantes en dichas áreas. Por el contrario, en las zonas periféricas, como Nonguén y Tres Pascualas, se observa una relación geográfica directa entre ambas variables. Esto es debido a que, en las áreas periféricas, las personas que arriendan a estudiantes presentan un cierto nivel económico y educativo para emprender esta actividad, lo que explicaría su mayor correlación con el grupo C2.

Figura 4. Grupo Socioeconómico C2 y estudiantes (ZC)

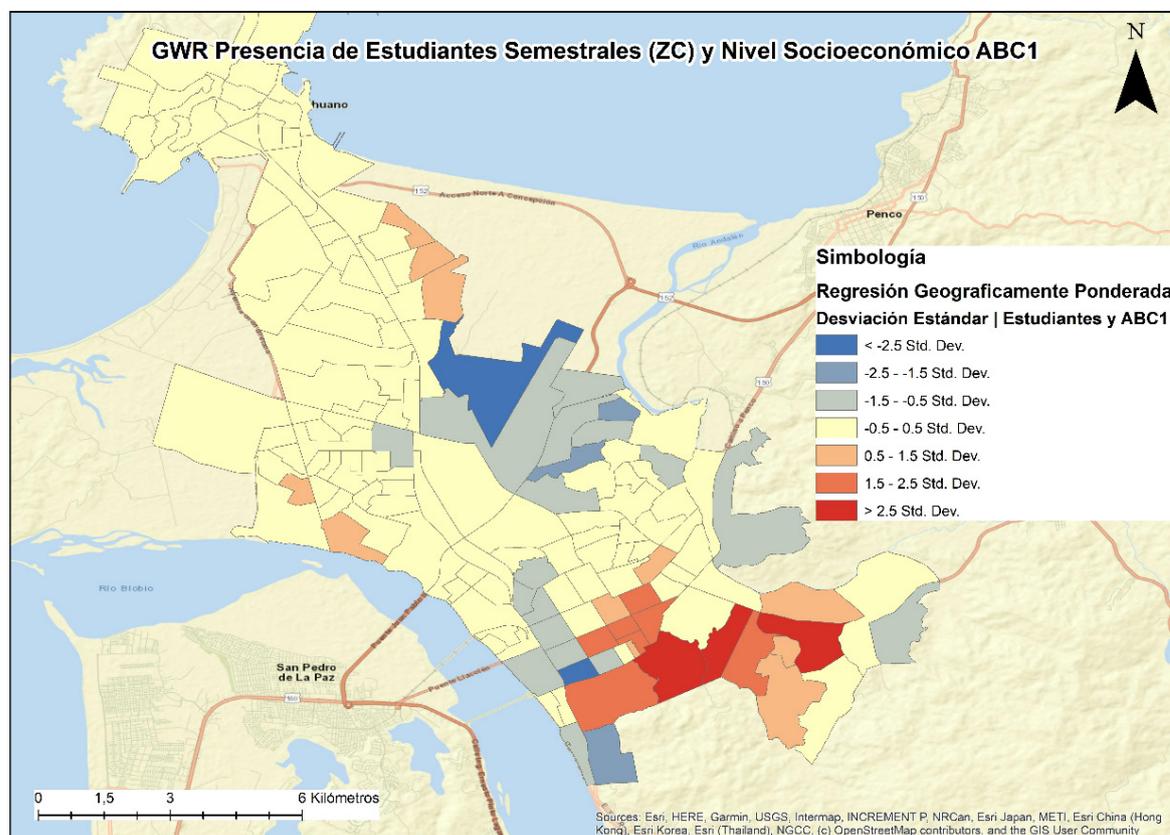


Fuente: Elaboración propia (2023).

La cuarta correlación más notable se establece entre el nivel socioeconómico ABC1, que comprende el 14,1% de la población nacional y se caracteriza por ingresos entre 2,5 y 7,5 millones de pesos chilenos mensuales (entre 2500 a 7600 euros aproximadamente), cuyos sostenedores de hogar poseen un nivel de educación universitaria completa o superior (AIM Chile, 2023). En este caso, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 0,580 para la escala de zona censal, lo que podría explicarse por la ubicación de barrios cercanos a las universidades, que tradicionalmente han sido hogar de personas pertenecientes al grupo socioeconómico ABC1 y donde a menudo se han establecido pensiones estudiantiles, como se observa en la Figura 5.

Este patrón no se presenta en la periferia de la ciudad, pero se sugiere una generalización basada en la correlación previamente identificada en la cartografía, indicando que los estudiantes tienden a residir en áreas con una presencia más notable de niveles socioeconómicos medios-altos y altos, repeliendo lugares con un nivel socioeconómico bajo, donde la sensación de peligro aumentaría y el confort habitacional se reduciría. Esto se podría explicar también desde la perspectiva de que, una vez finalizada la educación superior, estos barrios continúen siendo el lugar de residencia para profesionales, en línea con la idea de los estudiantes universitarios como *gentrificadores* potenciales, algo que mencionaba Smith (2004). Asimismo, es relevante mencionar que las zonas próximas a las universidades, especialmente a la Universidad de Concepción, aunque en menor medida los sectores de Collao y Paicaví se caracterizan por tener valores de vivienda más elevados, lo que exige un mayor ingreso para acceder a una vivienda en alquiler en esos sectores, restringiendo su acceso a grupos de menor renta.

Figura 5. Grupo Socioeconómico ABC1 y estudiantes (ZC)

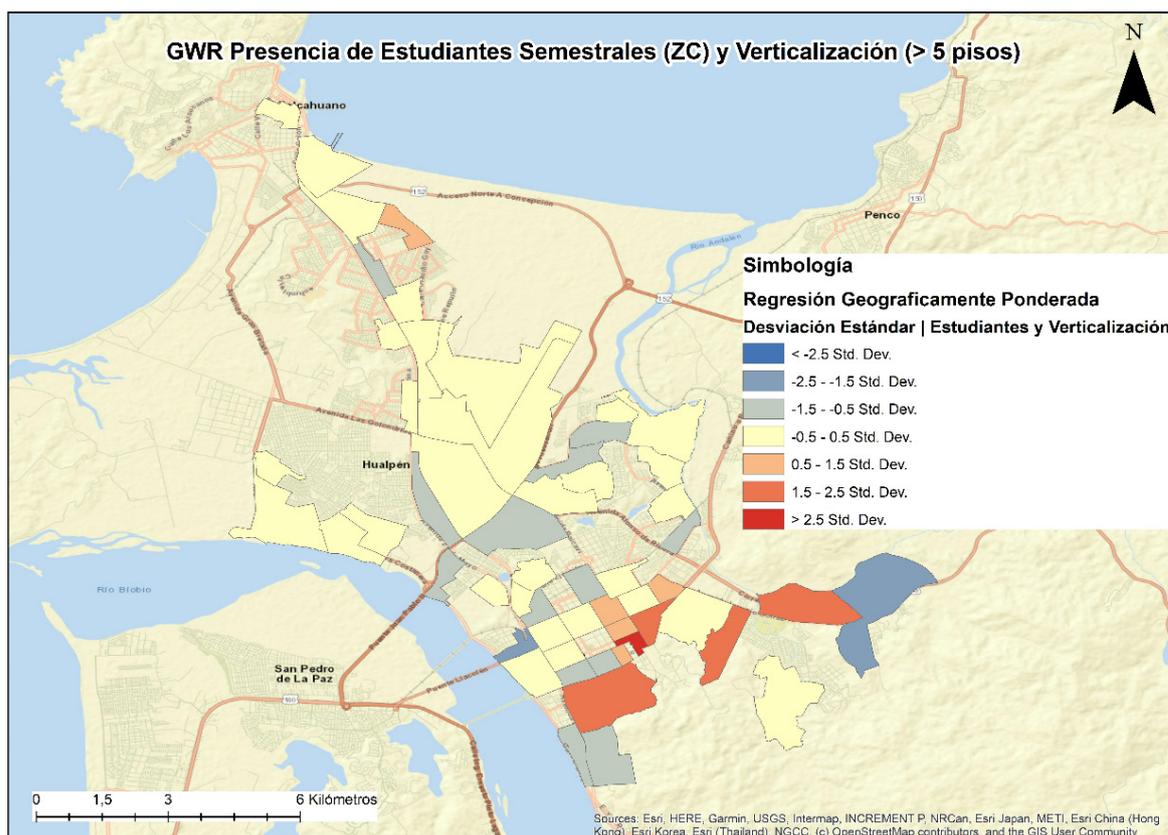


Fuente: Elaboración propia (2023).

La relación entre la *estudiantización* y la verticalización en la ciudad es un aspecto de gran relevancia, ya mencionada en otros trabajos más concretos (Prada et al., 2022) y que se refuerza también con los hallazgos de esta investigación. En este sentido, se observa que esta relación presenta una correlación significativa, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,510, lo que sugiere una asociación importante entre ambas variables. En particular, resulta interesante mencionar que, en las zonas censales ubicadas en el centro de Concepción, donde se registra una alta verticalización, la proporción de edificios en altura es mayor, en comparación, a la presencia de estudiantes, lo que permite inferir que otros grupos poblacionales también habitan en esos edificios.

La concentración de estudiantes en viviendas en altura tiende a vincularse con la proximidad a las universidades, como se aprecia en la Figura 6. Este fenómeno de verticalización en áreas urbanas, donde la presencia de estudiantes no se correlaciona directamente con la creciente oferta de viviendas en altura, plantea interrogantes importantes sobre la dinámica urbana y las estrategias de inversión en el mercado inmobiliario, pudiendo dirigirse este hacia jóvenes profesionales, parejas sin hijos u otras formas de hogar no tradicional.

Figura 6. Verticalización y estudiantes (ZC)



Fuente: Elaboración propia (2023).

### 3.2. Correlación Media

En relación con los factores que arrojaron una correlación media, el único que lo hizo (Tabla 2) fue la relación geográfica entre la proximidad a la universidad, además de la proximidad con los servicios de emergencia que se comenta más adelante. En el caso de la proximidad a la universidad, esta presenta un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,470 a escala de manzana censal, lo que resulta de gran interés, ya que se esperaba que la cercanía a la universidad fuera el factor determinante o explicativo predominante, es decir el de mayor correlación. No obstante, la accesibilidad mediante el transporte público resulta fundamental para explicar este resultado, tendiendo a difuminar la importancia de encontrarse cerca del propio centro universitario y siendo también muy valorada una buena conexión, como ya se vio, lo que coincide con otros trabajos (Russo y Capel, 2007). Se observa una concentración de mayores desviaciones estándar en el eje Paicaví, en el centro de Concepción y en el sector Collao, donde la presencia de estudiantes es elevada.

En el caso de la proximidad a servicios de emergencias (salud, bomberos, policía), muestra una correlación que presenta cierta validez, y por lo tanto se ha considerado como correlación media ( $R^2 = 0,390$ ) a escala de zona censal. No obstante, esta relación puede deberse a la concentración de servicios de emergencia en el centro de la ciudad. Por consiguiente, esta variable podría no haber sido determinante para explicar la presencia de estudiantes en ese sector. Resulta interesante observar que la presencia de amenidades no resulta significativa ni determinante para explicar la distribución y concentración de estudiantes. Esto podría sugerir que este tipo de información es secundaria en comparación con factores como la proximidad al transporte público, la cercanía a la universidad y la verticalización, es decir, residir en un apartamento dentro de un “barrio universitario”. Por último, no se pudieron establecer algunas correlaciones que se esperaban, especialmente en lo que se refiere a servicios, ya sea básicos, de alimentación, o de ocio y entretenimiento. Esto se explica debido a sus bajos coeficientes de determinación o porque en muchas áreas no fue posible establecer una relación dada la baja cantidad de datos de servicios, lo que es esperable como limitación en el uso de GWR.

#### 4. Discusión y Conclusiones

Este trabajo ha permitido confirmar desde una perspectiva integral algunos aspectos destacados por la literatura sobre *geografías estudiantiles* de forma individual o para casos de estudio concretos. En primer lugar, coincidiendo con Russo y Capel (2017) se ha puesto de relieve la importancia de la accesibilidad a las redes de transporte que conectan con los campus universitarios, que ha resultado ser, con diferencia, el mayor factor de localización de los estudiantes. En segundo lugar, destaca el papel que tendría el arriendo estudiantil a la hora de generar un ingreso extra para determinados colectivos (adultos mayores y rentas medias-bajas) que tienen la capacidad para emprender un negocio informal de arriendos que actúe como apoyo en su economía, algo que ya Prada et al. (2020) destacaron para dos barrios concretos. En tercer lugar, coincidiendo con la literatura internacional, la llegada de estudiantes sería el detonante de un proceso de cambio social, en el que determinados sectores, bien por la permanencia de los estudiantes una vez se convierten en profesionales, bien por la atracción de población a estos barrios en busca de amenidades y un “ambiente vibrante”, supondría una renovación del sector, lo que a su vez atraería a nuevos estudiantes, como Smith mencionaba en uno de los primeros estudios sobre este tema en Reino Unido (Smith, 2004). En cuarto lugar, la existencia de una oferta de pisos en edificios de nuevo cuño producto de un proceso de verticalización urbana ya identificado en la ciudad de Concepción (Pérez et al., 2019; Prada et al., 2022), atraería a estudiantes en busca de un alojamiento que cumpla las expectativas de un “estilo de vida estudiantil” caracterizado por la independencia respecto al núcleo familiar ya mencionado por otros trabajos en el contexto anglosajón (Sage et al., 2012).

En un nivel de importancia inferior, el atractivo de los campus universitarios se mantendría todavía como importante, lo que sin duda relaciona los resultados con un modelo de sociedad crecientemente móvil. Finalmente, otros factores como las amenidades para estudiantes, la presencia de población de bajos recursos o de servicios básicos no han resultado determinantes para explicar la aparición de estudiantes, al contrario de los hallazgos de otros casos de estudio con un corte más específico (Zasina, 2021). Esto podría deberse al hecho de que Concepción es una ciudad relativamente compacta y bien conectada, donde las distancias no resultan excesivas, resultando más relevante una buena conexión con la universidad o un alquiler más económico frente a residir cerca de las zonas de ocio estudiantil (generalmente más caras).

En conclusión, los estudiantes universitarios considerarían determinantes la accesibilidad, disponibilidad de un alojamiento económico, pero en un entorno seguro y la privacidad y seguridad en un edificio de apartamentos como aspectos fundamentales a la hora de elegir donde residir, resultando secundaria la distancia a la universidad y prácticamente irrelevante la proximidad a otros servicios. La correlación espacial se ha demostrado una herramienta útil para analizar esto de forma transversal, pero resulta dependiente de la disponibilidad de datos suficientes y de calidad, que limitan los análisis a esta condición. De esta forma, ha resultado posible valorar la influencia de la universidad sobre la ciudad en cuestiones como la movilidad, los ingresos o la demanda inmobiliaria vinculada a los estudiantes. En este sentido, la disponibilidad de la residencia de estos es un dato extraordinario, que requiere de un tratamiento preciso y muy laborioso, pero que abre la puerta a futuras investigaciones comparativas en otros casos de estudio.

## Bibliografía

- Agudelo-Torres, J.E., Martínez-Montoya D.F., & Ospina-Espinoza, O.A. (2017). Influencia de un parque en los cánones de arrendamiento de vivienda en Laureles en 2015: Una aplicación de regresión de geográficamente ponderada en el contexto de precios hedónicos. *Revista Espacios* 38(24), 33–44. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12622/3490>.
- AIM Chile (2023). *Grupos Socioeconómicos Chile*. Recuperado de <https://aimchile.cl/gse-chile/>.
- Alamel, A. (2021). The magnitude of all-inclusive energy packages in the UK student housing sector. *Area*, 00, 1 - 9. doi: <https://doi.org/10.1111/area.12713>.
- Allinson, J. (2006). Over-educated, over-exuberant and over here? The impact of students on cities. *Planning Practice and Research*, 21(1), 79-94. doi: <https://doi.org/10.1080/02697450600901541>.
- Anselin, L., & Moreno, R. (2003). Properties of tests for spatial error components. *Regional Science and Urban Economics*, 33(5), 595–618. doi: [https://doi.org/10.1016/S0166-0462\(03\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S0166-0462(03)00008-5).
- ArcGIS Pro. (2023). Cómo funciona Regresión ponderada geográficamente (GWR). *Recursos ArcGIS*. Recuperado de: <https://acortar.link/xAZZWK>.
- Arnau, J., Gutiérrez, M.E., & Pérez del Hoyo, R. (2013). De La Ciudad Universitaria al Campus de Universidad. Estudio de Una Evolución: Tres Épocas, Tres Escalas, Tres Modelos. *Dearq* 13, 6–23. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630942002>.
- Avni, N., & Alfasi, N. (2018). UniverCity: The Vicious Cycle of Studentification in a Peripheral City. *City y Community*, 17(4), 1248-1269. doi: <https://doi.org/10.1111/cico.12338>.
- Bárcena, M.J., Menéndez, P., Palacios, M.B., & Tusell, F. (2014). Alleviating the Effect of Collinearity in Geographically Weighted Regression. *Journal of Geographical Systems* 16(4), 441–66. doi: 10.1007/s10109-014-0199-6.
- Bockstael N.E. (1996). Modelling economics and ecology: The importance of a spatial perspective. *American Journal of Agricultural Economics* 78, 1168–1180. doi: <https://doi.org/10.2307/1243487>.
- Buzai, G.D. (2011). Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: análisis espacial de Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS) en la ciudad de Luján, Argentina. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 111-123. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v20n2/v20n2a09.pdf>.
- Chakir, R., & Parent, O. (2009). Determinants of Land Use Changes: A Spatial Multinomial Probit Approach. *Papers in Regional Science* 88(2), 327–44. doi: 10.1111/j.1435-5957.2009.00239.
- Chatterton, P. (2000). The cultural role of universities in the community: revisiting the university-community debate. *Environment and Planning A*, 32, 165–181. doi: <https://doi.org/10.1068/a3243>.
- Chatterton, P. (2010). The Student City: An Ongoing Story of Neoliberalism, Gentrification, and Commodification. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 42 (3), 509-514. doi: <https://doi.org/10.1068/a42293>.
- Cromley, R.G., Hanink, D.M., & Bentley, G.C. (2014). Geographically Weighted Colocation Quotients: Specification and Application. *The Professional Geographer* 66(1):138–48. doi: <https://doi.org/10.1080/00330124.2013.768130>.
- Davies, W.K.D. (2015). *Theme Cities: Solutions for Urban Problems* (First Edition, Vol. 112). Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9655-2>.

- Domae, L. (2017). *Planning the Campus with Place in Mind: A Phenomenological Exploration of the Lifeworlds of Community College Campuses in British Columbia* (Tesis doctoral). University of Victoria, Victoria. Recuperado de <https://dspace.library.uvic.ca/handle/1828/8365>.
- Fleming M.M. (2004). Techniques for estimating spatially dependent discrete choice models. En L. Anselin & F. Raymond (eds.) *Advances in spatial econometrics* (pp. 145-168). Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag.
- Goddard, J., & Vallance, P. (2013). *The University and the City*. Londres, Reino Unido: Routledge.
- Grabkowska, M., & Frankowski, J. (2016). Close to the city centre, close to the university? Are there symptoms of studentification in Gdańsk, Poland? *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series*, 32 (32), 73-83. doi: <https://doi.org/10.1515/bog-2016-0016>.
- Gregory, J., & Rogerson, J. (2019). Housing in multiple occupation and studentification in Johannesburg. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, 46 (46), 85-102. doi: <https://doi.org/10.2478/bog-2019-0036>.
- Gu, H., & Smith, D. (2020). 'Living off the Campus': Urban Geographies of Change and Studentification in Beijing, China. *Urban Geography* 41(2), 205-24. doi: [10.1080/02723638.2019.1659071](https://doi.org/10.1080/02723638.2019.1659071).
- He, S. (2015). Consuming urban living in 'villages in the city': Studentification in Guangzhou, China. *Urban Studies*, 52 (15), 2849-2873. doi: <https://doi.org/10.1177/0042098014543703>.
- Hubbard, P. (2008). Regulating the social impacts of studentification: a Loughborough case study. *Environment and Planning A*, 40, 323-341. doi: <https://doi.org/10.1068/a396>.
- Jolivet, V., Reiser, C., Baumann, Y., & Gonzales, R. (2023). Before Displacement: Studentification, Campus-Led Gentrification and Rental Market Transformation in a Multiethnic Neighborhood (Parc-Extension, Montréal). *Urban Geography* 44(5), 983-1002. doi: [10.1080/02723638.2022.2073150](https://doi.org/10.1080/02723638.2022.2073150).
- Kenna, T. & Murphy, A. (2021). Constructing exclusive student communities: The rise of superior student accommodation and new geographies of exclusion. *The Geographical Journal*, 187 (2), 138-154. doi: <https://doi.org/10.1111/geoj.12380>.
- Kenyon, E. (1997). The Impact of Student Households on Residential Communities. *The British Journal of Sociology*, 48 (2), 286-301. doi: <https://doi.org/10.2307/591753>.
- Kinton, C., Smith, D. & Harrison, J. (2016). De-studentification: emptying housing and neighbourhoods of student populations. *Environment and Planning A*, 48 (8), 1.617-1.635. doi: <https://doi.org/10.1177/0308518X16642446>.
- Lager, D., & Van Hoven, B. (2019). Exploring the Experienced Impact of Studentification on Ageing-in-Place. *Urban Planning*, 4 (2), 96-105. doi: <https://doi.org/10.17645/up.v4i2.1947>.
- Manganelli, B., Morano, P. M., & Tajani, F. (2022). The impact of studentification on the residential real estate market. Analysis of external factors and dynamics of the phenomenon generated by the university campus of Potenza (Italy). *Journal Valori e Valutazioni* 30, 59-69. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11563/166726>.
- Martínez-Bascuñán, M., & Rojas-Quezada, C. (2015). Regresión geográficamente ponderada para la modelación de la accesibilidad a la red hospitalaria en el Área Metropolitana de Concepción. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 52, 28-39. Recuperado de <https://www.pucv.cl/uuaa/geografia/revista/revista-n-52-2015>.
- Miessner, M. (2021). Studentification in Germany: How investors generate profits from student tenants in Goettingen and the impacts on urban segregation. *European Urban and Regional Studies*, 28 (2), 133-154. doi: <https://doi.org/10.1177/0969776420934850>.
- Montes-Galbán, E. (2022). Estimación de Variables Sociales a Nivel Intraurbano mediante la Regresión Geográficamente Ponderada (GWR): Analfabetismo en la ciudad de Córdoba / Argentina. *Anuario de la división Geográfica* 16, 1-10. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/187463>.
- Munro, M., Turok, I., & Livingston, M. (2009). Students in Cities: A Preliminary Analysis of Their Patterns and Effects. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 41 (8), 1805-1825. doi: <https://doi.org/10.1068/a41133>.
- Murzyn-Kupisz, M., & Szymkowska, M. (2015). Studentification in the postsocialist context: The case of Cracow and the Tri-City (Gdansk, Gdynia, and Sopot). *Geografie*, 120 (2), 188-209. doi: <https://doi.org/10.37040/geografie2015120020188>.
- Nakazawa, T. (2017). Expanding the scope of studentification studies. *Geography Compass*, 11(1), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1111/gec3.12300>.
- Nieto-Masot, A., & Márquez-Segovia, N. (2018). Análisis de la distribución espacial de equipamientos educativos (0-16 años) en Extremadura a escala de detalle. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 77, 493-520. doi: <https://doi.org/10.21138/bage.2549>.

- Páez, A., Farber, S., & Wheeler, D. (2011). A simulation-based study of geographically weighted regression as a method for investigating spatially varying relationships. *Environment and Planning A*, 43(12), 2992–3010. doi: <https://doi.org/10.1068/a44111>.
- Pérez, L., González, G., Villouta, D., Pagola, L., & Ávila, C. (2019). Procesos de reestructuración y verticalización en el centro de Concepción: Barrio Condell. *Revista de Urbanismo*, 41, 1-17. doi: <https://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2019.53926>.
- Pillai, A.K., Vieta, M.A., & Sotomayor, L. (2021). University Student Housing as Business Proposition and Entrepreneurial Activity: The Canadian Case. *Housing Policy Debate*, 1-24. doi: <https://doi.org/10.1080/10511482.2021.1883703>.
- Prada-Trigo, J. (2019). Understanding studentification dynamics in low-income neighbourhoods: Students as gentrifiers in Concepción (Chile). *Urban Studies*, 56 (14), 2863–2879. doi: <https://doi.org/10.1177/0042098018807623>.
- Prada-Trigo, J., Aravena, N., & Barra, P. (2022). Dinámicas inmobiliarias y cambios en la morfología urbana del Gran Concepción. *EURE* (Santiago), 48(144), 1-23. doi: <http://dx.doi.org/10.7764/eure.48.144.07>.
- Prada-Trigo, J., Aravena, N., & Barra, P. (2021). Temporary destudentification caused by COVID-19: Motivations and effects on social relations in a Chilean university city. *Population, Space and Place*, e2529. doi: <https://doi.org/10.1002/psp.2529>.
- Prada-Trigo, J., Cornejo, C., & Quijada-Prado, P. (2020). Cambios barriales como consecuencia de la llegada de estudiantes universitarios en dos sectores de Concepción-Chile. *Revista INVI*, 35(99), 109-129. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-83582020000200109>.
- Revington, N. (2021). Age Segregation, Intergenerationality, and Class Monopoly Rent in the Student Housing Submarket. *Antipode*, 53 (4), 1228-1250. doi: <https://doi.org/10.1111/anti.12710>.
- Roca-Blanch, E. (2011). Campus y ciudad: la experiencia del Barcelona Knowledge Campus. *Revista Iberoamericana de Urbanismo*, 5, 95–105. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099/12502>.
- Russo, A.P. & Capel, L.C. (2007). From Citadels of Education to Cartier Latins (and Back?): The Changing Landscapes of Student Populations in European Cities: Changing landscapes of student populations. *Geography Compass*, 1 (5), 1.160-1.189. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00056.x>.
- Sage, J., Smith, D., & Hubbard, P. (2012). The Diverse Geographies of Studentification: Living Alongside People Not Like Us. *Housing Studies*, 27 (8), 1.057-1.078. doi: <https://doi.org/10.1080/02673037.2012.728570>.
- Seamon, D. (2013). Lived Bodies, Place and Phenomenology: Implications for Human Rights and Environmental Justice. *Journal of Human Rights and the Environment* 4 (2). Recuperado de <https://ssrn.com/abstract=2762668>.
- Simionescu, M., & Cifuentes-Faura, J. (2023). Analysing public debt in the Mexican states: Spatial convergence, regional drivers and policy recommendations. *Papers in Regional Science*, 102, 737–760. doi: <https://doi.org/10.1111/pirs.12748>.
- Smith, D. (2004). 'Studentification': the gentrification factory? En R. Atkinson & G. Bridge (coords.) *Gentrification in a global context: the new urban colonialism* (pp. 73-90) Londres, Reino Unido: Routledge.
- Smith, D. (2019). Studentification. In *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies* (pp. 1–3). Wiley. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0325>.
- Smith, D., & Holt, L. (2007). Studentification and Apprentice Gentrifiers within Britain's Provincial Towns and Cities: Extending the Meaning of Gentrification. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 39 (1), 142-161. doi: <https://doi.org/10.1068/a38476>.
- Smith, D., & Hubbard, P. (2014). The segregation of educated youth and dynamic geographies of studentification. *Area*, 46 (1), 92-100. doi: <https://doi.org/10.1111/area.12054>.
- Taiwo, J., Opeyemi, M., Frances, T., & Omotoso, K. (2021). Off-campus student housing satisfaction indicators and the drivers: From student perspectives to policy re-awakening in governance. *Journal of Human Behavior in the Social Environment*. doi: <https://doi.org/10.1080/10911359.2020.1825247>.
- Tobler, W.R. (1979). Cellular geography. *Philosophy in Geography*, 379-386.
- Treviño C. (2016). Mapa y jerarquía espacial de la pobreza en México. Un nuevo procedimiento para identificar el patrón espacial de los problemas sociales. *El Trimestre Económico*, 83(332), 679–723. doi: <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.236>.
- Villavicencio, S. (2019). La ciudad Universitaria de Tucumán, Argentina: contexto y circunstancias de una utopía. *Arquitecturas Del Sur*, 37(55), 6–19. doi: <https://doi.org/10.22320/07196466.2019.37.055.01>.

- Zasina, J. (2021). The student urban leisure sector: Towards commercial studentification? *Local Economy*, 36(5), 374–390. doi: <https://doi.org/10.1177/02690942211051879>.

## Agradecimientos

Al personal técnico del proyecto Fondecyt Regular N° 1210084 (P.S.P; C.P.F. & D.A.A.), por su profesional labor en la georreferenciación manual de los datos utilizados en esta investigación.

## Contribución de autorías

Natalia Aravena-Solís: Diseño de la investigación, revisión de la literatura, obtención de datos, análisis de datos, redacción del manuscrito.

José Prada-Trigo: Planteamiento de la investigación, obtención de datos, revisión y edición del manuscrito, supervisión y orientación.

## Financiación

Este artículo ha sido realizado en el marco del proyecto Fondecyt Regular n° 1210084 “Efectos asociados a la aparición de espacios con concentración de estudiantes universitarios en dos ciudades de Chile y conexión con dinámicas urbanas”, financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile.

## Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses.

# Propuesta de actuaciones para la gestión de playas ante peligrosidad y vulnerabilidad de su uso recreativo ante eventos reiterados de presencia de medusas. Aplicación en la Costa del Sol (Málaga)

Proposal of actions for the management of beaches due to the danger and vulnerability of their recreational use in case of repeated events of jellyfish presence. Application on the Costa del sol (Malaga)

ANA DE LA FUENTE ROSELLÓ<sup>1</sup>  0000-0003-4337-9439

FRANCISCO JOSÉ CANTARERO PRADOS<sup>1</sup>  0000-0002-4811-8724

RODOLFO SILVA CASARÍN<sup>2</sup>  0000-0003-0064-9558

<sup>1</sup> Universidad de Málaga, España.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, México.

## Resumen

La presencia de medusas o de otro elemento ajeno al medio litoral supone un factor limitante al ocio costero y afecta a un sector estratégico como es el turismo. Para mitigar los efectos dañinos de esta cuestión, se expone una metodología de apoyo a la gestión del problema sobre una muestra de 32 playas de la Costa del Sol, Málaga. Esta se presenta dividida en tres fases. En primer lugar, se realiza un diagnóstico del usuario y de la playa de la que se deriva una cartografía de zonas prioritarias de actuación. En la segunda fase se proponen medidas paliativas y de mitigación de la peligrosidad y de la vulnerabilidad. Por último, en la tercera fase, se examinan los factores condicionantes que deben tener cada playa para activar las intervenciones formuladas y se elabora una matriz de asignación de propuestas en función de la tipología de cada playa. Los resultados muestran un total de trece playas aptas para la activación de algunas de las actuaciones presentadas, en las que las medidas ante eventos de peligrosidad son potencialmente asumibles en la práctica totalidad de las playas prioritarias, estando las de vulnerabilidad algo más restringidas debido a los condicionantes necesarios para su instalación, tales como accesibilidad o superficie.

Palabras clave: Áreas turísticas; riesgos costeros; seguridad litoral; medidas de adaptación; propuestas de gestión.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.09.07  
Aceptado: 2024.09.23  
Publicado: 2024.11.22

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Ana de la Fuente Roselló  
[anadelafuente@uma.es](mailto:anadelafuente@uma.es)

## Abstract

The presence of jellyfish or other foreign elements to the coastal environment is a limiting factor for coastal leisure and affects a strategic sector such as tourism. To mitigate the negative effects of this issue, a methodology to support the management of the problem on across several beaches of the Costa del Sol, Malaga, is presented. It is presented in three phases. First, a diagnosis of both users and the beach itself is carried out, from which a cartography of priority areas for action is derived. In the second phase, palliative and mitigation measures for danger and vulnerability are proposed. Finally, in the third phase, the conditioning factors required for each beach to activate the proposed interventions are examined, and a matrix is drawn up for assigning proposals according to each beach's typology. The results identify thirteen beaches suitable for the activation of some of the actions presented, in which the measures for hazard events are potentially feasible on practically all the priority beaches, with those of vulnerability being somewhat more restricted due to the conditioning factors necessary for their installation, such as accessibility or surface area.

---

Keywords: Tourist areas; coastal hazards; coastal security; adaptation measures; management proposals.

---

## 1. Introducción

El estado de las costas en espacios litorales constituye un elemento fundamental en el desarrollo económico general y factores que alteren su equilibrio ecológico suponen una amenaza territorial. En estas áreas, la dependencia de la calidad de la playa afecta de forma directa a la población residente y a gran parte del entramado económico de la región, ya que constituye un factor estratégico para el normal funcionamiento de la economía, por lo que su deterioro provoca impactos importantes.

Europa se sitúa en el primer destino turístico mundial, recibe más de la mitad de las llegadas de turistas internacionales del mundo (51%) y el 39% de los ingresos que se generan a nivel global (OMT, 2020). El turismo es un sector estratégico en la Unión Europea y así lo establece el Tratado de Lisboa (2009), en el que se reconoce la importancia clave del sector, que previamente se establecía en el Tratado de la Unión Europea (1992) en su artículo 195. Por primera vez se otorga al turismo una competencia específica en el marco de la Unión Europea, mediante la promoción de la competitividad de las empresas del sector, favoreciendo su desarrollo. Además, el tratado contempla un enfoque integrado del turismo que lo fortalece con respecto al resto de políticas comunitarias. Se establece así un marco jurídico relacionado explícitamente con el turismo, que continúa con la Declaración de Madrid (2010), donde se formulan objetivos sostenibles en el sector y se insiste en la necesidad de integrar dicha sostenibilidad en otros sectores relacionados cómo la gestión del agua, el transporte o el tratamiento de residuos.

Si bien los destinos mediterráneos ofrecen numerosos recursos y se dirigen a diferentes segmentos turísticos, la dependencia turística de la playa, en el conjunto del Mediterráneo y, en concreto, para la costa andaluza, es incuestionable. El turismo encabeza el pilar fundamental en la economía en esta zona, suponiendo, en algunas áreas, la base de su desarrollo regional (Salvá Tomás, 1998). La vinculación entre costa y turismo es un hecho, por lo que un desequilibrio en el estado de la playa, tanto artificial como natural, implica un importante perjuicio en la economía territorial (Díaz et al., 2014). En Andalucía es especialmente significativo el impacto económico de la actividad turística (Caravaca y Fernández, 2003; Prieto, 2018) y factores negativos en la calidad del agua pueden provocar una pérdida económica significativa en sus áreas costeras.

La correcta correlación de estos factores repercute, además, en la economía nacional, ya que la contribución del turismo a la economía española es fundamental para equilibrar la balanza de pagos (Cuadrado-Roura y López-Morales, 2018). Por este motivo, preocupan los posibles efectos adversos que pudieran afectar al sector. Es por ello por lo que existen iniciativas, tanto europeas como nacionales, o de los diferentes gobiernos autonómicos, que entienden el turismo como prioritario a la hora de formular sus políticas (Olcina y Vera, 2016).

En las áreas costeras españolas en particular y en las sociedades actuales en general, la Administración Pública establece medidas de protección frente a determinados eventos tales como inundaciones o sísmicos, considerando estos, además, como parte de los instrumentos de planificación territorial. En este contexto se señalan deficiencias en ciertos aspectos, ya que se advierten nuevos retos al que enfrentarse en este escenario de riesgo costero, con el fin de garantizar la estabilidad y seguridad de la población.

Por su parte, la Comisión Europea (2020), en respuesta a la presión ejercida sobre el medio litoral, busca potenciar la competitividad de estas áreas mediante el denominado “crecimiento azul”, en el que se desarrollan estrategias de sostenibilidad (García Márquez *et al.*, 2023).

El caso de la presencia de organismos marinos perjudiciales para el ocio y la actividad en la playa, tales como algas exóticas invasoras o medusas en el litoral, exceptuando casos concretos, no constituye en sí un riesgo para la salud. Sin embargo, es motivo de alerta por sus consecuencias económicas, afectando a la población residente y a diferentes niveles productivos como la pesca o el turismo de sol y playa. Por tanto, se considera pertinente en este aspecto el estudio de esta problemática y el aporte de medidas de mitigación de la peligrosidad y de la vulnerabilidad de la población afectada.

En este contexto, y considerando la preocupación por preservar la marca Europa, que busca implicar un proyecto europeo más atractivo y competitivo mediante diferentes iniciativas, es esencial salvaguardar la calidad del turismo para la economía. Las soluciones administrativas no son fáciles, ya que en ocasiones suponen procedimientos controvertidos. En relación con las medidas de protección antitiburones, que si bien, el problema se estima, a priori, de mayor envergadura a otra problemática como las medusas, en cuanto a la magnitud del daño económico pudiera asemejarse. En este sentido se han propuesto soluciones a la peligrosidad como las redes de retención y emisiones acústicas, cuyas controvertidas consecuencias han sido investigadas por diversos autores (Cliff *et al.*, 1996; Green *et al.*, 2009; Dudley y Cliff, 2010; Cliff y Dudley, 2011; Erbe *et al.*, 2016, Gibbs *et al.*, 2020, entre otros).

Argumento semejante pudiera derivarse de la afección por algas tropicales en el Caribe, cuyos efectos y propuestas de medidas a acometer han estudiado numerosos autores (Hernández-Zanau *et al.*, 2017; Mercadé, 2019; Chávez *et al.* 2020; Roig *et al.* 2021; Azanza Ricardo y Pérez Martín, 2023, etc.). La acumulación masiva de algas en descomposición en playas del Caribe afecta a la industria turística, así como a los sistemas costeros. Las soluciones, que pasan principalmente por la retirada de los restos en la playa, parecen insuficientes, puesto que, además, causa daños medioambientales derivados de malas praxis en su recogida y retirada (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016).

En el litoral de la Costa del Sol, se han baremado los daños socioeconómicos que conlleva la imposibilidad del baño en las diferentes playas, que ha sido recientemente y cada vez más comúnmente afectada por estos avistamientos de medusas. En este contexto, Cantarero *et al.* (2022), que

analizan la problemática desde el análisis de vulnerabilidad, realizan su investigación a diferentes escalas temporales y espaciales, concluyendo que, en un escenario de recurrencia de avistamientos a lo largo de una temporada vacacional, la actividad económica relacionada con el buen funcionamiento de la playa se ve afectada. Asimismo, Cantarero *et al.* (2023) analizan el riesgo desde sus tres componentes, peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, y zonifican el riesgo en su conjunto en la Costa del Sol, proponiendo la distribución de su magnitud como apoyo en la toma de decisiones administrativas y en la implantación de medidas. Por su parte, en la mitad occidental de este mismo litoral, de la Fuente *et al.* (2022), estudian la susceptibilidad de afección de medusas, aunque sin medir las consecuencias sociales de este fenómeno en proporciones anormales, así como Rubio y Gutiérrez (2020) que analizan la distribución del fenómeno en la totalidad de la costa.

García Márquez *et al.* (2023) plantean los criterios que deben tener las playas para ser calificadas como “inteligentes”, acorde a las premisas que integran el concepto de gestión inteligente en los destinos turísticos. Entre estas prácticas se encuentran aspectos de gestión de riesgos en la playa, entre los que podrían considerarse el de afección de plagas biológicas, ante los cuales sería necesario actuar para mantener la consideración inteligente. La gestión de las playas también es formulada por Yepes (1999) para alcanzar un desarrollo constante y duradero ante las problemáticas que puedan afectar al medio litoral.

En este contexto de seguridad y preservación de la calidad de la actividad derivada del uso recreativo de la playa, se aporta una metodología de adecuación de soluciones de mitigación de la peligrosidad y de la vulnerabilidad en función de la tipología de la playa y del usuario que la frecuenta habitualmente. En primera instancia ante la problemática de la afectación por medusas, aunque con soluciones adaptables a otros riesgos costeros. Permite detectar aquellos puntos que son especialmente conflictivos y sobre ellos se proponen medidas de gestión litoral de la problemática.

## 2. Metodología

### 2.1. Zona de estudio

La zona de estudio la compone un total de 32 playas pertenecientes a la Costa del Sol, denominación del litoral que baña la provincia de Málaga, al sur de España. Estas playas, cuya disposición se muestra en la Figura 1, se extienden a lo largo de cerca de 200 km de longitud.

La Costa del Sol se caracteriza por su vinculación al sector servicios, con un importante desarrollo turístico. Concentra una numerosa oferta de alojamientos y servicios de ocio. La estructura y morfología de este litoral no es uniforme, ya que comprende gran variedad de tipologías costeras y de playas, lo que la convierte en una excepcional candidata como área de análisis. La unidad de análisis y representación la constituye la playa.

Figura 1. Playas seleccionadas



Fuente: Elaboración propia. Basemap proporcionado por Esri, ArcGIS Pro 2.9, bajo la licencia institucional de la Universidad de Málaga

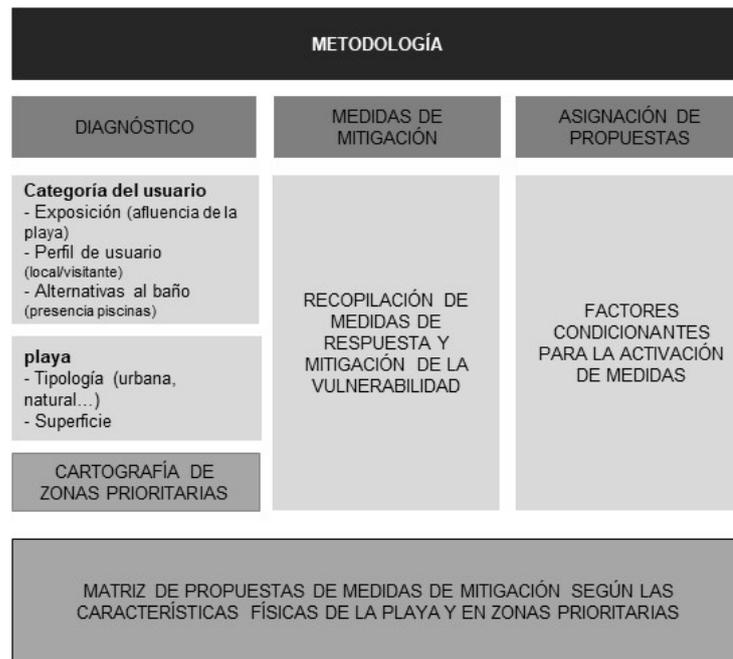
## 2.2. Fases metodológicas

La metodología consistió en tres fases (Figura 2). En la primera fase, se realizó el análisis de los sitios seleccionados en función de las características de cada playa, se caracterizó la afluencia de la playa en general y de los espacios que la componen en particular. Este análisis se basó en la recopilación de información bibliográfica y trabajo de campo durante los meses estivales del periodo 2019 a 2021. Además, los sitios se categorizaron de acuerdo con el tipo de usuario habitual de cada espacio, diferenciando playas turísticas y de público local. En este paso también fue fundamental la realización de visitas de reconocimiento y trabajo de campo, así como la elaboración de entrevistas a informantes clave. Dichas entrevistas ayudaron a obtener el perfil del visitante que después fue utilizado para poder afinar y estimar las actuaciones más pertinentes a llevar a cabo, en función del usuario habitual de la playa y la problemática específica que se analiza.

Posteriormente, en la segunda fase metodológica, se recopilaron alternativas mediante búsqueda bibliográfica y plantearon propuestas de ocio alternativo a la imposibilidad de baño debido a aparición de medusas u otros elementos que obstaculicen dicha actividad.

Por último, en función de la tipología y características definidas en la primera y segunda fase, se asignan y localizan propuestas recreativas, representados en una cartografía de aptitud de elementos de cada playa, vinculando la vulnerabilidad detectada en la primera fase y las posibles herramientas de mitigación de la segunda fase.

Figura 2. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia

## Fase 1. Diagnóstico del usuario y de la playa

### Fase 1.1. Diagnóstico del usuario

En el diagnóstico del usuario se consideran elementos tales como el grado de exposición, la tipología del usuario que frecuenta la playa y la alternativa al baño en el mar en el entorno de cada playa.

- Exposición

El factor de exposición fue caracterizado en este trabajo a través de la exposición bruta de los usuarios. Esta variable cuantifica el máximo número de usuarios en la playa en la temporada estival. Este procedimiento se ha llevado a cabo a través de la metodología de Yepes (2002), que permite estimar el número real de visitantes en el momento de máxima afluencia del año.

Una vez contabilizados los usuarios se procede a la extrapolación de la afluencia presente en la fotografía aérea, procedente del software Google Earth, al horario y día de máxima concentración de visitantes, que se establece a las 12:30 am y el 15 de agosto, respectivamente. Los datos obtenidos son estandarizados a partir de su relación con la longitud de cada playa, calculando la densidad de usuarios por cada 100 metros de costa. Los resultados permiten clasificar a cada playa en cuatro grados de exposición: baja, media, alta y muy alta. Estos intervalos fueron definidos considerando la exposición para la totalidad de playas de la Costa del Sol, a partir de valores medios y desviación estándar de los resultados obtenidos.

- Perfil de usuario

Se procede a realizar un sondeo con el fin de singularizar el tipo de visitante, si es mayoritariamente local o por el contrario si es turista, entendiendo en este punto que la vulnerabilidad de la playa va a ser mayor en playas eminentemente turísticas, área económica base de la Costa del Sol.

El tipo de visitante, mayoritariamente local o turista, se ha recogido a través del trabajo de campo y de las entrevistas a informantes clave, como son el personal de salvamento y vigilancia de las respectivas playas y el personal municipal encargada de la gestión de playas. En total, se entrevistaron a 39 informantes clave. Las preguntas realizadas en estas entrevistas se centraron en el tipo de visitante predominante (local o turista) y la percepción de los problemas causados por organismos marinos perjudiciales.

- Alternativas al baño en la playa. Piscinas

Se han contabilizado las piscinas existentes en el área de influencia inmediata de cada playa y se han establecido unos intervalos mediante el número de piscinas por cada 100 metros de costa en el área de influencia de cada playa por usuario expuesto.

Las piscinas fueron consideradas como única alternativa al baño en el mar. Por lo tanto, se contabilizó el número de piscinas en el área de influencia inmediata de cada playa. El área de influencia de la playa suele corresponderse con el espacio comprendido entre el paseo marítimo y la arteria viaria de mayor alcance que discurre paralela a él. En la Costa del Sol es la carretera Nacional 340 un eje viario que supone un claro delimitador de lo que en esta metodología se denominan “área de influencia”, abarcando el espacio situado entre esta red viaria y el frente marítimo. Las piscinas existentes en dicha área de influencia se han contabilizado mediante la capa de referencia catastral de los diferentes municipios que conforman el área de estudio (Instituto Geográfico Nacional (s.f.)), trabajando la información descargada de la sede electrónica del catastro mediante Sistemas de Información Geográfica (programa ArcGIS Pro). La razón del número de piscinas por cada 100 metros de costa entre el número de usuarios fue categorizada en cuatro intervalos (baja, media, alta y muy alta).

- Cartografía de zonas prioritarias en función del usuario

Se identificaron las zonas y medidas prioritarias según la combinación de las variables evaluadas y definieron los intervalos de importancia relativa de actuación de la Tabla 1.

Tabla 1. Áreas prioritarias en función del grado de exposición, el perfil de usuario y la ratio de piscinas del área de influencia de la playa

EXPOSICIÓN	PERFIL DE USUARIO PRINCIPAL	RATIO PISCINAS	PRIORIDAD DE ACTUACIÓN
Baja	Residente	Indiferente	No prioritaria
	Turista	Indiferente	No prioritaria
Media	Residente	Indiferente	No prioritaria
	Turista	Indiferente	No prioritaria
Alta	Residente	Mayor a 3	No prioritaria
		Menor a 2	Prioritaria
	Turista	Indiferente	Prioritaria
Muy alta	Residente	Indiferente	Prioritaria
	Turista	Indiferente	Prioritaria

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se observa la necesidad de activación de medidas a partir de una exposición alta en momento máximo del año. Esta preferencia se hace extensible a todas las playas eminentemente turísticas por la importancia de la derrama económica que deriva de su uso recreativo en la región. En las playas con mayoría de público residente se ha atendido a la ratio de piscinas/usuario, entendiendo que en un intervalo de correlación medio y bajo sería necesario intervenir con medidas adicionales para no perjudicar la actividad principal derivada de la playa.

Se consideran, por tanto, prioritarias aquellas playas eminentemente turísticas con una exposición alta y muy alta, así como aquellas playas de público mayoritariamente residente con muy alta exposición.

### Fase 1.2. Diagnóstico de la playa. Características de la playa

Las características territoriales de cada playa fueron determinadas con el propósito de adecuar las propuestas planteadas en función del espacio de aplicación. En este punto se considera la tipología y la superficie de cada playa.

- Tipología de la playa

En este paso es importante diferenciar playas insertas en circuitos urbanos, playas naturales y playas protegidas, debido a que las actividades a desarrollar tienen que respetar el espacio en el que se encuentran integrada. Para la definición del carácter de cada playa se ha consultado la guía de playas del Ministerio para la Transición Ecológica [MITECO] (2020), que categoriza estas en función de aspectos tales como el grado de urbanización, existencia o no de paseo marítimo, áreas vegetales y zonas protegidas, así como también ofrece una descripción cualitativa de la playa.

- Superficie de la playa

Al igual que la tipología, tanto la longitud como la anchura de cada playa estudiada puede consultarse en fuentes oficiales como MITECO. La tipología y superficie se verifica con trabajo de campo y mediante imágenes aéreas recientes, utilizando como fuente las del proyecto PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).

## Fase 2. Propuestas de actuación para la mitigación ante la problemática derivada de la imposibilidad de baño.

En esta fase se ha realizado una búsqueda de información documental acerca de experiencias alternativas de ocio en playas con alta peligrosidad y en playas en donde el visitante no pueda bañarse.

### Fase 2.1. Recopilación de medidas de respuesta ante la peligrosidad

#### a. Elementos de barrera.

Los métodos de barrera como procedimiento de exclusión están muy extendidos en muchos lugares del mundo ante la amenaza de tiburones. Las redes son métodos de retención muy comprometidos en términos medioambientales, puesto que implica en ocasiones, aun siendo el objetivo mantener alejada a ciertas especies peligrosas para el bañista, la captura de estas, algunas de ellas protegidas. Por este motivo, se están proponiendo otros métodos más respetuosos basados en barrera realizada con malla fina, sin huecos, que impide la entrada de tiburones y no supone peligro para esta ni cualquier otra especie. La propuesta de mallas de barrera se concibe de dimensiones reducidas, acotando tan sólo los primeros metros desde la orilla y fuera de las zonas de entrada

y salida de embarcaciones, donde las condiciones topográficas permitan adecuar su instalación, que se propone colocar los días de manifiesta peligrosidad.

Estas barreras, se han planteado desmontables en algunas playas, en las que se despliegan según las condiciones de baño. Ante la problemática de las medusas pudieran ser activadas ante situaciones problemáticas de aumento de la peligrosidad.

b. Modificaciones estructurales de envergadura. Construcción de áreas de baño

Se trata de construcción de áreas de baño anexa a la playa. La magnitud de la intervención dependerá de la configuración de la playa, siendo conveniente en la mitigación del potencial impacto utilizar áreas existentes como parte de la infraestructura de baño. Estas áreas pueden ser artificiales existentes, tales como diques o espigones, o naturales, compuestas por roquedos y áreas acantiladas.

c. Modificaciones topográficas de pequeño impacto. Adaptación de áreas de baño

De menor envergadura, alteración topográfica aprovechando la configuración de barreras de retención existentes, creando una zona de baño resguardada.

Fase 2.1. Recopilación de medidas para mitigar la vulnerabilidad

Estas medidas se basan principalmente en alternativas de ocio con actividades acuáticas, tanto en el mar como en la propia playa.

Estas propuestas se han clasificado en dos tipos de infraestructura, desmontables y fijas.

- Desmontables

d. Infraestructuras desmontables en la playa

Las infraestructuras de ocio desmontables en la playa, como los toboganes o instalaciones de pequeños parques acuáticos, son elementos populares que proporcionan diversión y entretenimiento a los visitantes de las playas. Estas instalaciones suelen estar diseñados para ser montados temporalmente en la arena. Antes de su instalación en una playa, es importante cumplir con las regulaciones locales e incluir requisitos de seguridad, protección ambiental y zonificación.

e. Infraestructuras desmontables en el mar

Las infraestructuras de ocio desmontables en el agua de la playa son estructuras temporales que se instalan en la zona costera para proporcionar entretenimiento y comodidad a los bañistas. Estas infraestructuras pueden variar en tamaño y diseño, y suelen incluir elementos como plataformas flotantes, toboganes acuáticos, trampolines, parques inflables, y áreas de descanso con sombra. Son populares en muchas playas debido a su capacidad para atraer visitantes y mejorar la experiencia de los usuarios en el agua. Además, al ser desmontables, pueden ser retiradas fácilmente al final de la temporada estival, lo que minimiza su impacto en el entorno costero. Sin embargo, es importante asegurar que estas infraestructuras sean seguras, respeten el medio ambiente marino y cumplan con las regulaciones locales para proteger la integridad del ecosistema costero.

f. Infraestructuras fijas en la playa

Se trata de instalaciones permanentes diseñadas para proporcionar entretenimiento y actividades acuáticas a los visitantes en la zona costera. Estas infraestructuras están ubicadas a lo largo del paseo marítimo o en zonas aledañas, cerca de la costa.

### Fase 3. Asignación de propuestas por playa en función de sus características

#### Fase 3.1. Factores condicionantes para la activación del abanico de medidas

Las características de cada playa son analizadas para identificar factores que podrían condicionar la activación del abanico de medidas propuesto Tabla 2.

Tabla 2. Factores condicionantes para la activación de las medidas de respuesta ante la peligrosidad y la vulnerabilidad

TIPO DE ACTUACIÓN		EXTENSIÓN REQUERIDA	TIPO DE PLAYA	ÁREA PROTEGIDA	ESPECIES MARINAS SENSIBLES	VEGETACIÓN TERRESTRE
Respuesta ante la peligrosidad	Retención	Indiferente	Intervención artificial Acanilada	Indiferente	No	Indiferente
	Modificaciones estructurales de envergadura	Indiferente	Intervención artificial Acanilada	Indiferente	No	Indiferente
	Modificaciones topográficas de pequeño impacto	Indiferente	Intervención artificial Acanilada	Indiferente	No	No/ Concentrada
Medidas de mitigación de la vulnerabilidad	Desmontables playa	35 m	Urbana/ semiurbana	No	Indiferente	No/ Concentrada
	Desmontables mar	Indiferente	Urbana/ semiurbana	No	No	Indiferente
	Infraestructuras fijas en la playa	50x20 (paseo marítimo/ explanada anexa)	Urbana/ semiurbana	No	Indiferente	No/ Concentrada

Fuente: Elaboración propia

#### Fase 3.2. Asignación de propuestas según las características físicas de la playa y en zonas prioritarias

Atendiendo a los resultados obtenidos en las fases precedentes, se adecuan las propuestas a las características particulares de cada playa. El resultado de este paso se refleja en la matriz de propuestas de cada playa prioritaria en función de los factores condicionantes de cada una a la hora de activar las medidas de ocio y paliativas de peligrosidad.

## 3. Resultados

### Fase 1. Diagnóstico del usuario y de la playa

#### Fase 1.1. Diagnóstico del usuario

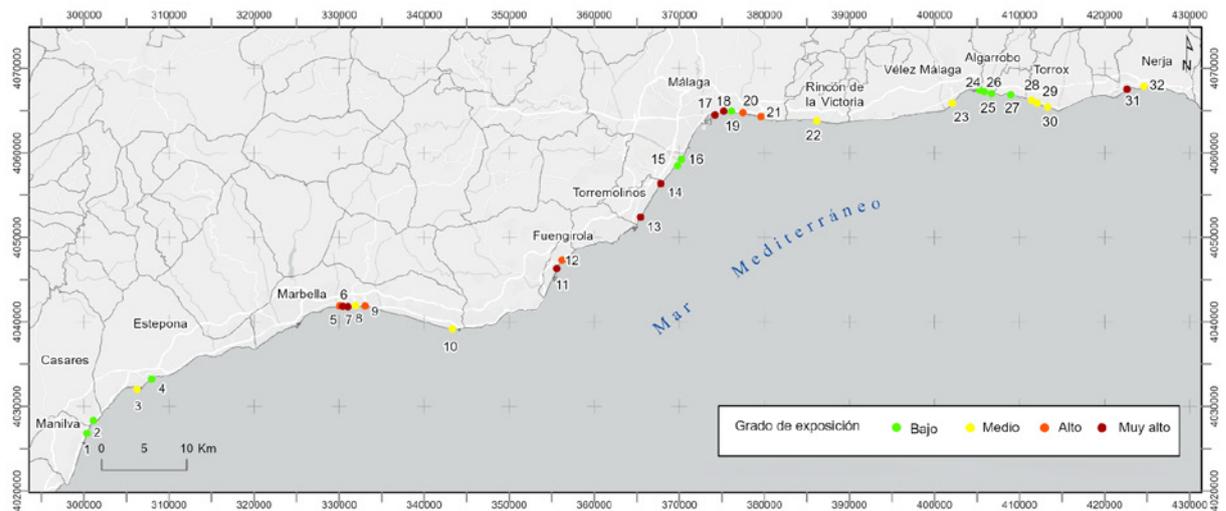
- Exposición

Las mayores exposiciones se registraron en las playas próximas a la capital (Figura 3), así como en torno a los principales núcleos turísticos (Marbella, Fuengirola, Torremolinos y Nerja). En estas

áreas las exposiciones muy altas y altas se intercalan con intervalos medios y bajos en algunos puntos, como Baños del Carmen (punto 18) o La Bajadilla (punto 8).

En la Figura 3 se muestra que los menores valores de exposición (colores verde y amarillo) ocurren/se presentan en las playas orientales, desde Rincón de la Victoria a Torrox, destacando Burriana como foco de alto grado de exposición en este sector de costa (Ver playa número 31 de la Figura 3). Esta playa registra además una de las mayores exposiciones de la totalidad de la Costa del Sol y de las playas del extremo occidental, correspondiente con los municipios de Manilva, Casares y Estepona.

Figura 3. Intervalos de gradación de la exposición



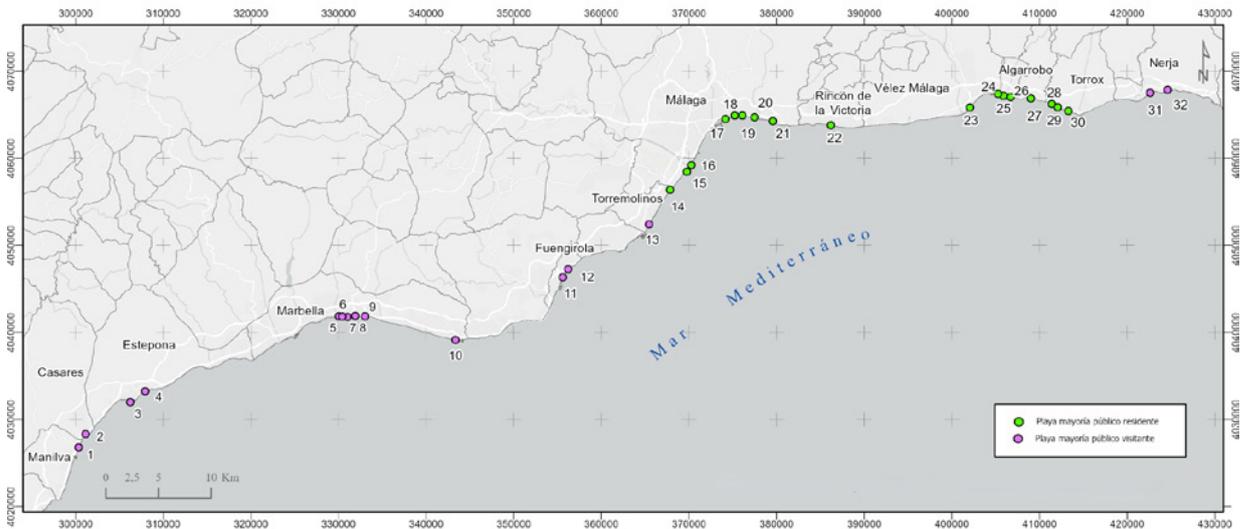
<sup>1</sup>Fuente: Elaboración propia. Basemap proporcionado por Esri, ArcGis Pro 2.9, bajo la licencia institucional de la Universidad de Málaga.

### 3.1. Perfil de usuario

El perfil del usuario visitante predomina en la mitad occidental y en el extremo oriental de la zona de estudio (Figura 4). Por su parte, los usuarios residentes tienden a acudir a playas del entorno de la capital (Figura 4. Playas de 17 a 21) y las adyacentes (Figura 4. Playas 14 a 16 y 18 a 22), extendiéndose además por parte de las playas más orientales, concretamente hasta Ferrara (Playa 30), en el término municipal de Torrox.

1. 1: Sabinillas; 2: Playa Ancha; 3: El Cristo; 4: La Rada; 5: Fontanilla; 6: El Faro; 7: La Venus; 8: La Bajadilla; 9: El Cable; 10: Dunas de Artola; 11: Los Boliches; 12: Las Gaviotas; 13: La Carihuela; 14: Los Álamos; 15: Guadalmar; 16: Guadalhorce; 17: La Malagueta; 18: La Caleta; 19: Baños del Carmen; 20: Pedregalejo; 21: El Chanquete; 22: Rincón de la Victoria; 23: Torre del Mar; 24: Caleta de Vélez; 25: Algarrobo; 26: Mezquitilla; 27: Lagos; 28: El Morche; 29: El Cenicero; 30: Ferrara; 31: Burriana; 32: Maro.

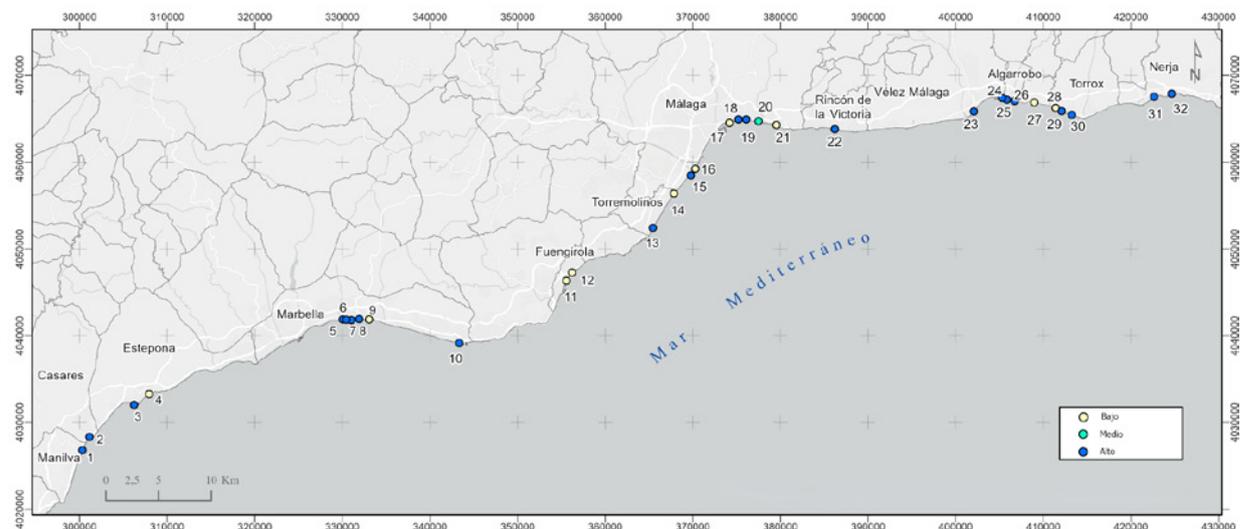
Figura 4. Perfil de usuario predominante en cada playa



Fuente: Elaboración propia. Basemap proporcionado por Esri, ArcGis Pro 2.9, bajo la licencia institucional de la Universidad de Málaga.

- Alternativas al baño en la playa: Piscinas  
La mayoría de las playas analizadas poseen un grado alto de ratio de piscinas en el área de influencia inmediata de la playa, lo que disminuye la vulnerabilidad entre la población residente, que tiene alternativas al baño ante la imposibilidad de hacerlo en la playa. Las playas más vulnerables en este sentido se distribuyen mayoritariamente por la mitad occidental de la costa, y en menor medida en la oriental. Pedregalejo, en el entorno de la capital, constituye la única playa de las consideradas inserta en el intervalo intermedio (Figura 5).

Figura 5. Ratio de piscinas



Fuente: Elaboración propia. Basemap proporcionado por Esri, ArcGis Pro 2.9, bajo la licencia institucional de la Universidad de Málaga.

- Cartografía de zonas prioritarias en función del usuario  
La mayoría de las playas ubicadas en la costa central/occidental (playas 5 a 21) se clasifican como prioritarias para la implementación de medidas. Específicamente, Sabinillas, Playa Ancha y La

Rada (1, 2 y 4, respectivamente) presentan una exposición baja, mientras que El Cristo, La Bajadilla y Dunas de Artola (3, 8 y 10) tienen una exposición media.

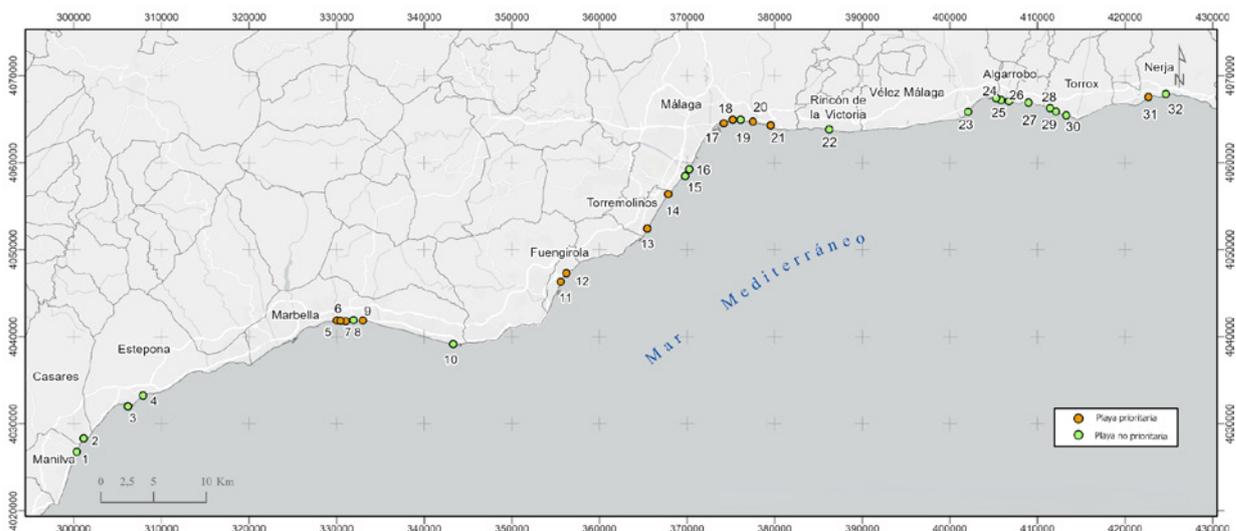
Destaca que en la capital Guadalmar, Guadalhorce y Baños del Carmen, playas 15, 16 y 19, por tener una exposición baja, no tienen consideración de prioritarias. En contraste, La Malagueta y La Caleta (playas 17 y 18) se clasifican como prioritarias debido a su muy alta exposición.

Asimismo, en la metodología se contempla la presencia de piscinas como alternativas al baño, en playas con exposición alta, mayoritariamente de público residente y con bajo-medio intervalo de piscinas como alternativa al baño sobre las que se considerarían áreas prioritarias a atender. Esta circunstancia se da en las playas de Pedregalejo y El Chanquete (playas 20 y 21), que se clasifican como prioritarias.

En la costa oriental, las playas no se consideran prioritarias, a excepción de Burriana (playa 31), con una muy alta exposición y mayoritariamente de perfil visitante.

La clasificación de las playas en función de estos criterios se observa en la Figura 6.

Figura 6. Playas prioritarias y no prioritarias



Fuente: Elaboración propia. Basemap proporcionado por Esri, ArcGIS Pro 2.9, bajo la licencia institucional de la Universidad de Málaga.

### Fase 1.2. Diagnóstico de la playa. Características de la playa

- Tipología de la playa y dimensiones

Las características de las playas objeto de estudio se resumen en la Tabla 3, en las que se resaltan las consideradas como prioritarias.

Tabla 3. Dimensión y características de cada playa

Playa	Longitud (metros)	Anchura (metros)	Grado de urbanización	Intervención artificial	Vegetación submarina	Vegetación terrestre	Zona protegida	Paseo marítimo/ Zona anexa	Composición
Sabinillas	1900	50	Urbana	Puerto deportivo W	Laminariales	No	No	Si	Arena
Playa Ancha	1300	50	Urbana	No	No	No	Interés ornitológico	Si	Grava
El Cristo	1100	700	Semiurbana	Puerto deportivo E	No	No	Interés ornitológico	No	Arena
La Rada	2300	80 a 50	Urbana	Puerto deportivo W	No	No	No	Si	Arena
La Fontanilla	800	30	Urbana	Protección lateral E	No	No	No	Si	Arena
El Faro	200	30	Urbana	Protección lateral W y Puerto deportivo E	No	No	No	Si	Arena
La Venus	400	40	Urbana	Protección lateral E y Puerto deportivo W	No	No	No	Si	Grava / Arena
La Bajadilla	850	40	Urbana	Protección lateral W y Puerto deportivo E	No	Si	No	Si	Grava / Arena
El Cable	550	40	Semiurbana	Puerto deportivo W	No	Ajardinada concentrada	No	No	Arena
Dunas de Artola	1200	30	Aislada	Protección lateral E	Laminariales, Posidonia oceanica	Extendida	RENPA Parque Natural	No	Arena
Los Boliches	1400	40	Urbana	Protección lateral W	No	No	No	Si	Arena
Las Gaviotas	1400	40	Urbana	Protección lateral E	No	No	No	Si	Arena
La Carihuela	1200	30	Urbana	Puerto deportivo W	No	No	No	Si	Arena
Los Álamos	1000	60	Semiurbana	No	No	No	No	Si	Arena
Guadalmar	400	30	Semiurbana	No	No	Concentrada	Si	No	Arena
Guadalhorce	1400	60	Aislada	No	No	Extendida	RENPA Paraje natural	No	Arena
La Malagueta	1200	45	Urbana	Protección lateral E y W	No	Ajardinada concentrada	No	Si	Arena
La Caleta	1000	20	Urbana	Protección lateral E y W	No	No	No	Si	Arena
Baños del Carmen	450	5	Urbana	Protección lateral E	No	Extendida	No	No	Bolos / Grava
Pedregalejo	1100	20	Urbana	Protección lateral E, W y frontal	No	No	No	Si	Arena
El Chanquete	615	20	Urbana	Protección lateral E y Puerto deportivo W	No	No	No	Si	Arena
Rincón de la Victoria	3600	30	Urbana	No	No	Ajardinada concentrada	No	Si	Arena
Torre del Mar	3300	40	Urbana	Puerto pesquero E	Zostera marina	Ajardinada concentrada	No	Si	Arena
Caleta de Vélez	1000	30	Urbana	Protección lateral E y Puerto pesquero W	Zostera marina	Ajardinada concentrada	No	Si	Arena
Algarrobo	940	40	Urbana	Protección lateral E y W	Zostera marina	No	No	Si	Grava / Arena
Mezquitilla	730	10	Semiurbana	Protección lateral E y W	Zostera marina	No	No	No	Bolos
Lagos	2300	5	Semiurbana	No	Zostera marina	No	No	No	Grava

Playa	Longitud (metros)	Anchura (metros)	Grado de urbanización	Intervención artificial	Vegetación submarina	Vegetación terrestre	Zona protegida	Paseo marítimo/ Zona anexa	Composición
El Morche	1300	50	Urbana	No	No	No	No	Si	Arena
El Cenicero	1350	50	Urbana	No	No	Ajardinada concentrada	No	Si	Arena
Ferrara	2350	30	Urbana	No	No	No	No	Si	Arena
Burriana	800	40	Urbana	No	No	Ajardinada concentrada	No	Si	Arena/Zona acantilada
Maro	300	20	Aislada	No	Posidonia oceánica, Zostera marina	Natural concentrada	No	No	Arena/Zona acantilada

Fuente: elaboración propia a partir de datos de MITECO

## Fase 2. Medidas de mitigación ante la problemática derivada de la imposibilidad de baño

En esta sección se presentan los resultados de la recopilación de medidas para reducir la peligrosidad (Fase 2.1) y la vulnerabilidad (Fase 2.2) en las playas. Se identificaron medidas para la peligrosidad, destacando los elementos de barrera, y alternativas para la vulnerabilidad, basándose en infraestructuras de ocio, tanto en la playa como en el mar.

### Fase 2.1. Recopilación de medidas de respuesta ante la peligrosidad

#### a. Elementos de barrera.

En la fotografía 1 de la Figura 7, correspondiente a una playa en Hong Kong, el arco visible en la superficie señala una red de barrera antiburones.

#### b. Modificaciones estructurales de envergadura. Construcción de áreas de baño

En el ejemplo de la fotografía 2 de la Figura 7, perteneciente a El Charco de Isla Cangrejo, en Los Gigantes (Tenerife) se adapta a la zona de roquedo existente.

#### c. Modificaciones topográficas de pequeño impacto. Adaptación de áreas de baño

En la imagen 3 (Figura 7) se observa una zona de baño resguardada perteneciente al municipio de Castell de Ferro, en Granada, de fisiografía similar a muchas de las playas de la Costa del Sol.

### Fase 2.2. Recopilación de medidas para mitigar la vulnerabilidad

#### d. Infraestructuras desmontables en la playa

Como ejemplo de este tipo, la playa de El Morche en Torrox cuenta con un tobogán acuático como se puede observar en la imagen 4 de la Figura 7.

Asimismo, otra de las playas de análisis, Algarrobo, cuenta con una instalación desmontable sobre el arenal de la playa (fotos 5a y 5b, Figura 7).

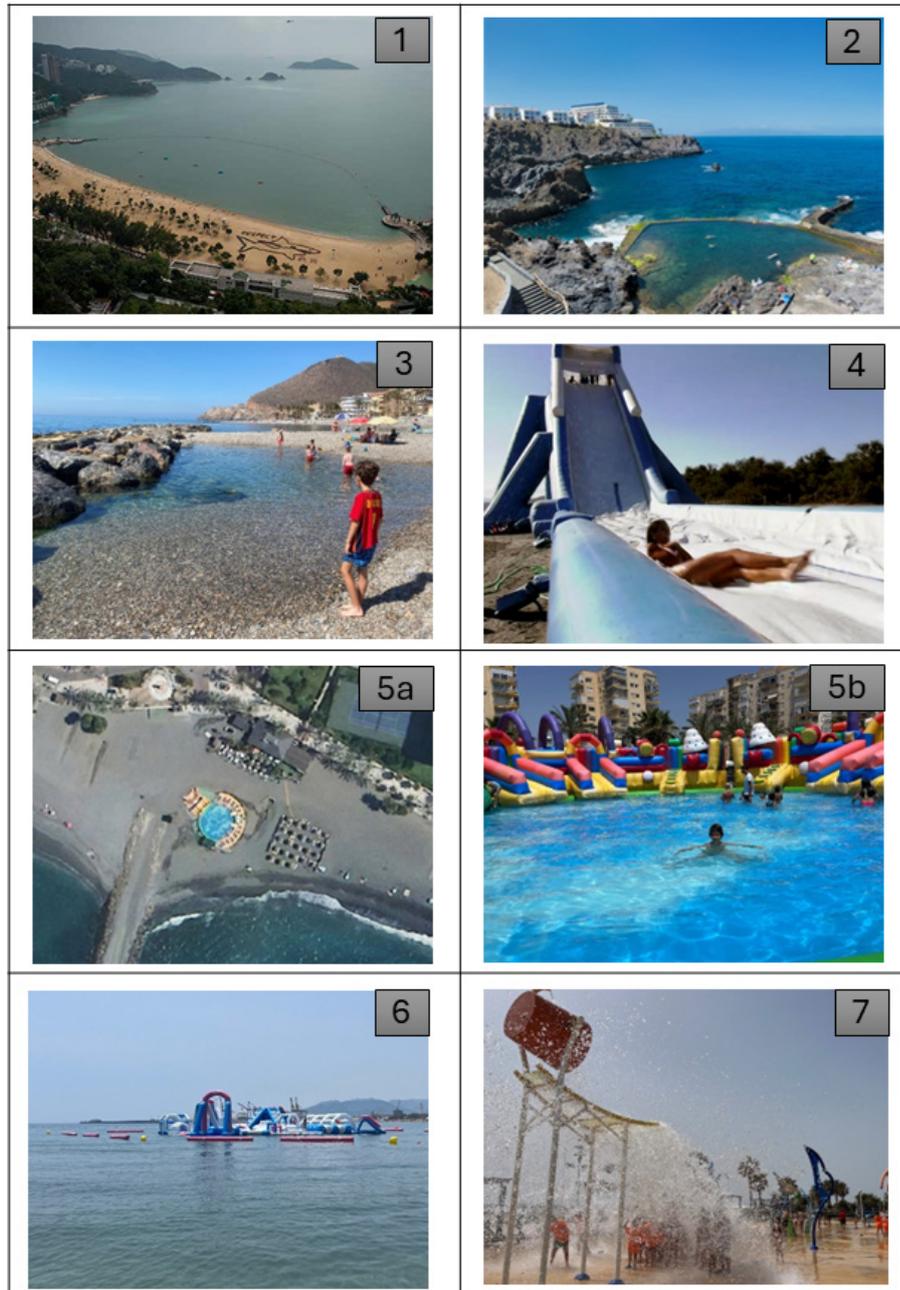
#### e. Infraestructuras desmontables en el mar

Los desmontables en mar constituyen un elemento popular en la Costa del Sol. Estas infraestructuras deben estar protegidas por mallas de retención para constituir un elemento de protección ante medusas. En la imagen 6 de la Figura 7 un ejemplo en la playa de La Caleta (Málaga).

## f. Infraestructuras fijas en la playa

Preferentemente en suelo firme, el concepto es adecuarlo al paseo marítimo o una explanada anexa a la playa. En la Figura 7, imagen 8, se muestra un ejemplo de este tipo de infraestructura, en este caso situada en el Paseo marítimo Antonio Banderas (Málaga).

Figura 7. Medidas de respuesta a la peligrosidad y la vulnerabilidad



## Leyenda

Elementos de barrera. Mallas de barrera en una playa de Hong Kong. López (2013)

Modificaciones estructurales de envergadura. Charco de Isla Cangrejo. Los Gigantes (Tenerife). GoTenerife (2023)

Modificaciones topográficas de pequeño impacto. Área de baño en Castell de Ferro (Granada). Autor/a

Infraestructuras desmontables en la playa. Tobogán acuático en Torrox (Málaga). Canal Sur (2021)

Infraestructuras desmontables en la playa. Parque acuático desmontable en Algarrobo (Málaga). Imagen google earth (2023)

5b. Infraestructuras desmontables en la playa. Parque acuático desmontable en Algarrobo (Málaga). Autor/a (2023)

Infraestructuras desmontables en el mar. Parque acuático desmontable en playa La Caleta (Málaga). Autor/a

Infraestructuras fijas en la playa. Área de recreo acuático en Paseo Marítimo Antonio Banderas (Málaga). Autor/a

### Fase 3. Matriz y mapa de propuestas según las características físicas de la playa y en zonas prioritarias

La matriz resultante (Tabla 4) recoge las posibles playas, consideradas como prioritarias, que se adecúan a las diferentes actuaciones propuestas, en respuesta a la problemática observada que se deriva de la peligrosidad y de la vulnerabilidad ante presencia de medusas.

Con respecto a las potenciales intervenciones ante la peligrosidad, las actuaciones de retención podrían ser instaladas en la mayoría de las playas, debido principalmente a la inexistencia de especies marinas sensibles que consideraría comprometida su instalación, en función de las referencias recogidas en MITECO (2021) (las especies marinas se encuentran en playas no prioritarias, como Dunas de Artola o Maro, y no se ha considerado en la matriz final). La excepción la constituye la playa de Los Álamos, la cual, ante la inexistencia de infraestructuras existentes laterales, el impacto de su instalación sería mayor y se debería de realizar un estudio previo para analizar la posibilidad de la colocación de las barreras.

En el caso de la construcción de áreas de baño, tanto de envergadura como basadas en modificaciones topográficas de bajo impacto, si bien sería adecuada la realización de un estudio pormenorizado previo en cada punto, sería, a priori, adaptable a playas con roquedo y/o intervenciones artificiales, que, al igual que en las medidas de retención sirvieran como apoyo. En este sentido, por las mismas razones que en la propuesta anterior, son las mismas playas las aptas para la construcción de estas.

Atendiendo a las medidas de mitigación de la vulnerabilidad, las infraestructuras desmontables de playa, al necesitar una extensión mínima y estimando positivo el buen acceso (playa urbana o semiurbana), se reducen los puntos sobre los que se recomienda su instalación a siete playas (La Venus, El Cable, Los Boliches, Las Gaviotas, Los Álamos, La Malagueta y Burriana).

En cuanto a los desmontables instalados en el mar, el buen acceso también es primordial para su instalación (playas urbanas o semiurbanas), no debiendo situarse en zonas protegidas y/o con vegetación marina sensible.

Por último, para la colocación de infraestructuras fijas en la playa, que se instalan en el paseo marítimo o una explanada anexa con espacio suficiente, y cuyos requisitos excluyen que tenga vegetación dispersa o que esté en áreas protegidas, se consideran un total de doce playas, excluyendo de las urbanas El Cable, debido a la inexistencia de espacio suficiente para ubicar la actividad.

Tabla 4. Matriz de asignación de propuestas por playas en función de sus características

TIPO DE ACTUACIÓN		EXTENSIÓN REQUERIDA	TIPO DE PLAYA	ÁREA PROTEGIDA	ESPECIE MARINA SENSIBLE	VEGETACIÓN TERRESTRE	PLAYA PRIORITARIA
Respuesta ante la peligrosidad	Retención	Indiferente	Intervención artificial Acantilada	Indiferente	No	Indiferente	5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 17, 18, 20, 21, 31
	Modificaciones estructurales de envergadura		Intervención artificial Acantilada		No	Indiferente	
	Modificaciones topográficas de pequeño impacto		Intervención artificial Acantilada		No	No/Concentrada	

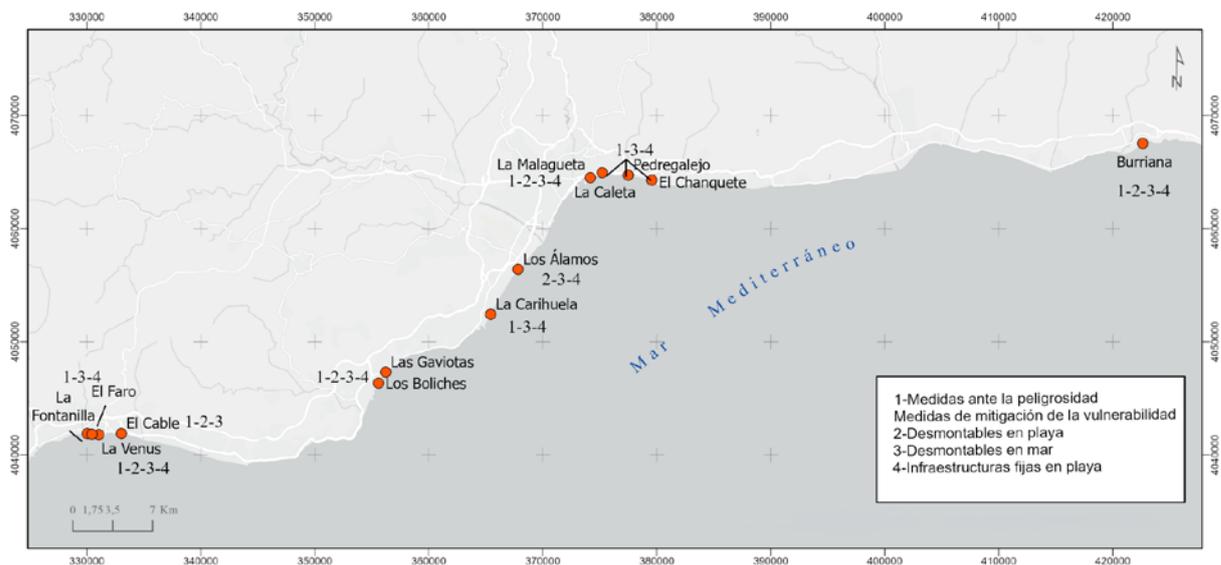
TIPO DE ACTUACIÓN		EXTENSIÓN REQUERIDA	TIPO DE PLAYA	ÁREA PROTEGIDA	ESPECIE MARINA SENSIBLE	VEGETACIÓN TERRESTRE	PLAYA PRIORITARIA
Medidas de mitigación de la vulnerabilidad	Desmontables playa	35 m ancho	Urbana / semiurbana	No	Indiferente	No/ Concentrada	7, 9, 11, 12,14, 17, 31
	Desmontables mar	Indiferente	Urbana/ semiurbana	No	No	Indiferente	5, 6, 7, 9, 11, 12, 13,14, 17, 18, 20, 21, 31
	Infraestructuras fijas en la playa	50x20	Urbana/ semiurbana	No	Indiferente	No/Concentrada	5, 6, 7, 11, 12, 13,14, 17, 18, 20, 21, 31

Leyenda: 5: Fontanilla; 6: El Faro; 7: La Venus; 9: El Cable; 11: Los Boliches; 12: Las Gaviotas; 13: La Carihuela; 14: Los Álamos; 17: La Malagueta; 18: La Caleta; 20: Pedregalejo; 21: El Chanquete; 31: Burriana; 32: Maro. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8 se zonifican las actuaciones propuestas en las playas prioritarias. Se observan varios casos en los que los factores condicionantes para la activación de medidas se ajustan a todas las propuestas. Este es el caso de La Venus, Los Boliches, Las Gaviotas, La Malagueta y Burriana.

En el resto de las playas se combina la casuística de posibilidad de actuaciones de peligrosidad junto con propuestas de desmontables en playa y mar (El Cable) o en mar y fijas (Pedregalejo, La Carihuela, El Chanquete, La Caleta, La Fontanilla y El Faro). Por su parte, la playa de Los Álamos, según la metodología desarrollada, admite la instalación de todas las de mitigación de la vulnerabilidad y excluye las de peligrosidad.

Figura 8. Zonificación de las actuaciones propuestas en las playas prioritarias



Fuente: Elaboración propia. Basemap proporcionado por Esri, ArcGIS Pro 2.9, bajo la licencia institucional de la Universidad de Málaga.

#### 4. Discusión de resultados

En esta investigación se presentan los resultados del estudio sobre la mitigación de la peligrosidad y la vulnerabilidad en las playas de la Costa del Sol debido a la presencia de plagas de medusas. Se recopilaban medidas para reducir la peligrosidad y la vulnerabilidad adaptadas a los diferentes

casos de estudio. Las medidas de gestión planteadas pretenden servir de apoyo en la intervención administrativa sobre la planificación territorial y turística. Cuando se identifican estos enjambres, las zonas potencialmente afectadas pueden cerrarse al baño y su impacto amplificarse significativamente debido a la cobertura mediática, lo que a su vez genera efectos negativos para las economías locales (MITECO, 2024). Dada la tendencia hacia la cronicidad del problema y su alcance en la costa mediterránea en general, plantear medidas de mitigación podrían convertir el problema en una oportunidad para actividades recreativas alternativas al baño en el mar.

La utilidad del método desarrollado se basa en la identificación de los puntos necesitados de atención prioritaria para mitigar el riesgo de afección por medusas, fenómeno de consecuencias desfavorables, para la imagen turística, base económica principal de la región y con afección asimismo sobre el usuario habitual que frecuenta estas playas. Estos puntos prioritarios se localizan en áreas urbanas localizadas mayoritariamente en la costa occidental y en las aledañas a la capital provincial, que acusan los mayores intervalos de exposición con público principalmente visitante. En la costa oriental, debido a una menor exposición, con usuario principalmente local, únicamente se distingue una playa prioritaria, Burriana, que difiere en las características de sus vecinas. En este punto es necesario profundizar en las particularidades de cada caso concreto, mediante el análisis previo del impacto que la actuación pueda causar en cada playa, sobre todo en lo referente a aquellas actuaciones de carácter permanente. De igual manera, sería adecuado seguir indagando en instalaciones existentes y en la posibilidad de adaptación al riesgo que se está tratando en este estudio, pudiendo ampliar el catálogo de actuaciones, así como proyectar nuevas propuestas que pudieran servir a la mitigación de la problemática. En el caso de necesidad de actuación sobre un punto completo sería necesario estudiar la posibilidad más idónea para el caso de estudio, así como la posibilidad de combinar varios tipos de actuaciones en el mismo espacio. De igual manera, en futuras investigaciones, se hace necesario profundizar en la titularidad de las piscinas para perfilar con más exactitud las alternativas al baño.

En línea con la seguridad del usuario, García Márquez *et al.* (2023), señalan, entre sus requisitos de certificación de playa inteligente, la gestión de los riesgos costeros como elemento fundamental de planificación turística y los incluye entre sus criterios para recibir este calificativo, debido a que la mala gestión de estos puede afectar la competitividad del destino. Para que este propósito actúe en consonancia con el crecimiento azul que conceptualiza la Comisión Europea (2020), esta planificación debe plantearse de manera sostenible e integradora, como se ha tratado de realizar en la presente investigación, en la que se han considerado aspectos de diversa índole, entre los que se encuentran los espacios protegidos y las áreas de vegetación, tanto marina como terrestre. No obstante, para que este objetivo se lleve a cabo de la manera más sostenible posible, es necesario realizar un exhaustivo análisis a la hora de implementar una medida concreta en un punto específico de la costa, asegurando así la compatibilidad de la acción.

Algunos autores analizan efectos sobre la vulnerabilidad del uso turístico en espacios litorales (García y Vallejo, 2012; Lithgow *et al.*, 2019; Yong, 2021, entre otros). Existen escasas experiencias previas de estudios de la problemática de medusas en la Costa del Sol. Cantarero *et al.* (2022) analiza la vulnerabilidad a varias escalas temporales y espaciales en Torre del Mar y Caleta de Vélez, playas que se incluyen en esta investigación. En su análisis de la vulnerabilidad de la playa, tanto a corto como a largo plazo, realizan encuestas a los usuarios de estas para analizar las consecuencias socioeconómicas. En este sentido autores como Gibbs y Warren (2015) han seguido esta estrategia para mitigar problemática litoral de presencia de tiburones en Australia, al igual que

Friedrich *et al.* (2014), que investigan la percepción pública de los tiburones y su conservación en el Reino Unido.

En esta investigación se ha preferido recurrir a aspectos de caracterización del usuario tales como la exposición de la playa o el perfil del visitante, mediante entrevistas a agentes clave de la gestión de las playas, así como verificar las alternativas al baño, contabilizando las piscinas que se encuentran en el área de influencia de cada playa. Los aspectos que analizan estos autores en las consecuencias de esta misma problemática a largo plazo, equiparables a la situación que se pretende caracterizar en este estudio, se centran en la opinión del usuario y de los establecimientos terciarios dependientes del estado de esta, sin aportar soluciones a la problemática que se trata en esta investigación. Con respecto a la exposición, Cantarero *et al.* (2022) la consideran para estimar el número de encuestas, no como elemento de caracterización de la playa, además, no realizan un análisis exhaustivo de exposición, tal y como se realiza en este, sino que se refiere a un estudio previo de Navarro Jurado *et al.* (2009) en el que se cuantifican los usuarios para estas áreas, no gradando en intervalos y de difícil comparación.

Para diferentes tramos litorales de la Costa del Sol, con algunas playas coincidentes a las de este estudio, Cantarero *et al.* (2023) consideran los tres componentes en el análisis del riesgo, peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. La exposición la analizan utilizando la misma técnica que utiliza Yepes (2002), al igual que el presente estudio, aunque con resultados puntualmente dispares, en el que algunas playas tienen una exposición menor a las indicadas en aquel, entre estas, las playas pertenecientes a Torrox (El Morche, El Cenicero y Ferrara), que se califican con exposición alta, en esta se consideran como media. Esta discordancia de resultados probablemente viene derivada por la elaboración de los intervalos, que en esta investigación ha descartado las zonas rocosas en ocasiones anexas a algunas playas, que desvirtúan el resultado de la longitud de cada una, considerando, por tanto, más preciso y exacto el resultado de exposición obtenido en el presente estudio. La vulnerabilidad la realizan, al igual que Cantarero *et al.* (2022) mediante encuestas, en este caso solo al usuario, sin caracterización del usuario y de la playa realizada en este estudio y sin aportar soluciones de gestión del problema.

Con respecto a soluciones ante la peligrosidad, se han recogido actuaciones consistentes en frenar el peligro de otros tipos de riesgos de tipo biológico, que tienen su fin, igual que en el presente estudio, en proteger al bañista de elementos nocivos presentes en la playa. De entre los principales elementos de protección ante ataque de tiburones, más allá de métodos drásticos como el cierre de playas o la caza de tiburones, poco útiles frente a la problemática de esta investigación, se encuentran las redes de malla ancha, las cuales se conciben para que los animales de menor tamaño no queden atrapadas en ella (Dudley y Cliff, 1993; Gibbs y Warren, 2015; Cliff y Dudley, 2015), algo incompatible con las medusas, que en su mayor proporción tienen un reducido volumen y, además, supone un método controvertido, debido a que en ocasiones especies inofensivas como rayas, tortugas o delfines quedan atrapadas en ella (Domeier, 2012). Por ello, Green *et al.* (2009) apuestan por mallas finas, sin apenas hueco, las cuales tienen mayor éxito en la disminución de capturas de especies sensibles, y son compatibles con el fenómeno de esta investigación, tal y como se ha propuesto entre las medidas antipeligrosidad, que, además, se reduce a los primeros metros y se conciben desmontables, con el fin de minimizar el posible impacto, quedando descartada en playas con especies marinas vulnerables. La problemática principal de estas mallas es la dificultad de instalación en áreas de gran oleaje, algo que no sucede en cuanto a las condiciones de baño de las playas de estudio, que se caracterizan por ser aguas tranquilas (MITECO, 2021). En esta misma línea, Gibbs *et al.* (2020) presentan un estudio acerca de la gestión de peligros ante

los tiburones para la protección de los bañistas en Nueva Gales del Sur (Australia). Pese a las diferencias del peligro considerado y el espacio en el que se registra, se concluye que la incidencia de mordeduras ha disminuido en esta zona mediante el programa de gestión de malla de tiburones, por lo que su función antipeligrosidad es efectiva.

Otro elemento de incomodidad y perjuicio socioeconómico, similar a la problemática de las medusas, lo constituyen la llegada en grandes proporciones de sargazo, predominantemente en las costas del Caribe, o de otras especies de algas invasoras, también presentes y cada vez más extendidas en las costas andaluzas. Estas algas amenazan, además del equilibrio biológico de la playa, al turismo y al baño en el agua, afectando, por tanto, también al ocio costero en la población residente. Con respecto a las soluciones abordadas para esta problemática, las acciones posibles a corto plazo pasan por su retirada, valorando su utilización posterior para otros usos, como exponen Chavez et al (2020) para diversificar la economía, reduciendo así la dependencia turística de la costa del Caribe mexicano y fomentar el crecimiento de la industria local mediante su aprovechamiento en forma de biogás, abonos o bloques de construcción, entre otros aprovechamientos, prácticas insuficientes hasta el momento para mitigar el impacto según Hernández-Zanau et al., (2017). Estos procedimientos no se contemplan en este estudio, ya que, además de ser comprometidas por sus consecuencias medioambientales (Rodríguez-Martínez et al., 2016), pretende ofrecer alternativas al baño en el mar ante la vulnerabilidad y elementos de barrera ante la peligrosidad.

## 5. Conclusiones

El control de los eventos de proliferación de medusas en la Costa del Sol es de suma importancia tanto para la economía local como para la preservación de la funcionalidad de las playas como espacios públicos de evasión y mitigación del calor. En el contexto de seguridad y preservación de la calidad de la actividad recreativa en la playa, es esencial implementar una metodología que adecue soluciones de mitigación de peligrosidad y vulnerabilidad adaptada a la tipología de la playa y del usuario que la frecuenta. Este enfoque no solo aborda la problemática de la afectación por medusas, sino que también es adaptable a otros riesgos costeros. Detectar puntos conflictivos y proponer medidas de gestión litoral específicas se considera de suma importancia, especialmente en un momento en que las previsiones para la zona mediterránea, en el contexto del cambio climático, indican un incremento de las olas de calor. La gestión efectiva de estos espacios y la planificación frente a retos como los efectos del cambio climático son responsabilidades públicas, ya que afectan directamente la salud y el bienestar básico de la población local. La preservación y protección de las playas como refugios gratuitos y de acceso libre para la población es fundamental, considerando tanto el impacto económico del turismo como el uso recreativo y refugio que estos espacios ofrecen durante las olas de calor.

Por este motivo se ha llevado a cabo una metodología en la que se han señalado, en base a las características de las playas objeto de estudio y de la categorización del visitante habitual de estas, unos puntos de prioridad de actuación para mitigar el problema. Un paso clave para la recuperación de la función de ocio en las playas es la identificación de estrategias apropiadas para controlar los efectos de proliferación de medusas y, en base a la posible limitación de actuación, motivada por la preservación ecológica y la sostenibilidad del uso recreativo en la playa que pudiera alterar la implementación de actuaciones, así como por limitaciones de recursos humanos y económicos, la identificación de playas prioritarias para su implementación. En este sentido, el

método aquí propuesto podría representar un apoyo a la toma de decisiones y al diseño de políticas públicas encaminadas a mantener y recuperar la funcionalidad de estos espacios.

Sobre estos puntos identificados como prioritarios se han propuesto medidas de atenuación de los diferentes componentes del riesgo (peligrosidad y vulnerabilidad) con el objetivo de aportar posibles soluciones, algunas de ellas, como las modificaciones estructurales o topográficas o las infraestructuras de ocio fijas, de manera permanente, mientras que otras desmontables, en periodos problemáticos, tal es el caso de métodos antipeligrosidad, como barreras de retención, o de vulnerabilidad, como instalaciones de ocio en las inmediaciones de la playa y en el mar.

Las líneas de actuación para la adaptación a esta y otras problemáticas que, cada vez con más frecuencia, padecen las playas mediterráneas, se presenta como una herramienta para garantizar la calidad de las playas, siempre respetando las particularidades de cada una de ellas y en equilibrio con la sostenibilidad. En este sentido, la metodología ha resuelto de manera adecuada los problemas de vulnerabilidad y peligrosidad que plantean la proliferación de eventos de apariciones de medusas en las playas y que afecta tanto a la seguridad de los bañistas como a la economía local basada en el turismo.

Los resultados se han generado a partir de cartografía geoespacial, lo que facilita las labores de gestión y actualización de los datos de partida, así como la adaptación de los criterios de ponderación en otros escenarios que pudieran requerir diferentes requerimientos. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica han sido de suma utilidad para integrar criterios necesarios en la elaboración de la cartografía de zonas prioritarias, facilitando igualmente la representación cartográfica en la totalidad del estudio.

La metodología y los resultados obtenidos pueden ser de ayuda en la planificación turística de la Costa del Sol, repercutiendo, no solo de la imagen del destino turístico, sino también en el bienestar y la reducción del impacto negativo que puede traer al visitante local un menoscabo de las funciones recreativas de la playa.

Dado el carácter genérico de la metodología, esta invita a aplicarse a otros territorios. En relación con las medidas para adaptar el territorio a esta problemática, dada la escala de trabajo, es primordial profundizar en las particularidades de cada caso concreto. Esto implica realizar un análisis exhaustivo del impacto que las intervenciones puedan tener en cada playa, especialmente en lo que respecta a aquellas acciones de carácter permanente. Asimismo, resulta pertinente seguir explorando potenciales instalaciones y su capacidad de adaptación al riesgo abordado en este estudio; asimismo, para abordar el problema de manera íntegra, sería conveniente ampliar la selección de playas de estudio en la Costa de Sol. Esto permitiría ampliar el abanico de posibles acciones y generar nuevas propuestas que contribuyan a mitigar la problemática. En caso de ser necesario intervenir en un área completa, es fundamental estudiar la opción más adecuada para el caso en cuestión, así como evaluar la posibilidad de combinar diversos tipos de intervenciones en el mismo espacio. Este enfoque integral garantizará una respuesta efectiva y adaptada a las necesidades específicas de cada entorno costero.

En el caso de necesidad de actuación sobre un punto concreto sería necesario estudiar la posibilidad más idónea para el caso de estudio, así como la posibilidad de combinar varios tipos de actuaciones en el mismo espacio. Valdría la pena encajar estos análisis en las estrategias de planificación inteligente en áreas turísticas litorales. Asimismo, sería conveniente ampliar la investiga-

ción en otros destinos costeros en un escenario de cambio climático a fin de asistir a la toma de decisión que se orienta en los procesos de reducción del riesgo de los espacios litorales.

## Bibliografía

- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4), 704–726. <https://doi.org/10.1007/BF02804901>
- Azanza, J., & Pérez, R. (2023). Impacto de la acumulación de Sargazo del verano del 2015 sobre las Tortugas Marinas de Playa La Barca, Península de Guanahacabibes. *Revista de Investigaciones Marinas*, 36(1 Enero-Junio SE-Ecología). <https://revistas.uh.cu/rim/article/view/5730>
- Brazier, W., Nel, R., Cliff, G., & Dudley, S. (2012). Impact of protective shark nets on sea turtles in KwaZulu-Natal, South Africa, 1981–2008. *African Journal of Marine Science*, 34(2), 249–257. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2012.709967>
- Canal Sur. (2021). Torrox cuenta con uno de los toboganes acuáticos más grandes de Europa. <https://www.canal-sur.es/television/programas/a-toda-costa/noticia/1752794.html>
- Cantarero, F. J., de la Fuente, A., & Bellido, J. J. (2023). El impacto de las medusas en el uso recreativo de las playas. Un enfoque desde la perspectiva del riesgo. *Cuadernos Geográficos*, 62(1 SE-Artículos), 300–318. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.27168>
- Cantarero, F. J., De la Fuente, A., & Reyes, S. J. (2022). Analysis of the vulnerability of tourism and leisure to jellyfish swarms on the eastern Costa del Sol. A multiscale and multi-temporal perspective. Análisis de la vulnerabilidad del turismo y el ocio ante enjambres de medusas. *Revista de Estudios Andaluces*, 44, 8–30. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.12795/rea.2022.i44>
- Caravaca, I., & Fernández, F. (2003). La importancia y significado del sector terciario. In A. López Ontiveros (Ed.), *Geografía de Andalucía* (pp. 713–749). Ariel.
- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R., Francisco, V., Estevez, M., Celis, L., Monroy, V., Leal-Bautista, R., Masia, L., Tussenbroek, B., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., & Silva, R. (2020). Massive Influx of Pelagic Sargassum spp. on the Coasts of the Mexican Caribbean 2014-2020: Challenges and Opportunities. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w12102908>
- Cliff, G., & Dudley, S. (2011). Reducing the environmental impact of shark-control programs: A case study from KwaZulu-Natal, South Africa. *Marine and Freshwater Research*, 62, 700. <https://doi.org/10.1071/MF10182>
- Cliff, G., Dydket, S., & Jyrt, M. (1996). *Catches of white sharks in KwaZulu-Natal, South Africa and environmental influences* (A. P. Klimley & D. G. B. T.-G. W. S. Ainley (eds.); pp. 351–362). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012415031-7/50033-1>
- Comisión Europea. (2020). *La política marítima integrada de la Unión Europea*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/121/la-politica-maritima-integrada-de-la-union-europea>
- Cuadrado, J. R., & López, J. M. (2018). El turismo en la recuperación y el equilibrio exterior de España. *Papeles de Economía Española*, 158, 154. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/el-turismo-en-la-recuperación-y-equilibrio/docview/2161264486/se-2?accountid=14568>
- De la Fuente, A., Sortino, J. F., Reyes, S. J., & Perles, M. J. (2022). Susceptibilidad de afección por enjambres de medusas (Pelagia noctiluca) en las playas del litoral occidental de la provincia de Málaga. *Investigaciones Geográficas*, (77), 239-258. <https://doi.org/10.14198/INGEO.18723>
- Díaz, P., Ojeda, J., Álvarez, J. I., & Prieto, A. (2014). Sensibilidad de las playas en función de la accesibilidad de los potenciales usuarios turísticos (plazas regladas) en la costa andaluza y los procesos de erosión. In A. Zaragoza B Ramón Morte (Ed.), *Tecnologías de la información para nuevas formas de ver el territorio: XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica* (pp. 954–966).
- Domeier, M. (2012). *Global Perspectives on the Biology and Life History of the White Shark*. CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b11532>
- Dudley, S. F. J., & Cliff, G. (2010). Influence of the annual sardine run on catches of large sharks in the protective gillnets off KwaZulu-Natal, South Africa, and the occurrence of sardine in shark diet. *African Journal of Marine Science*, 32(2), 383–397. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2010.502641>
- Dudley, S. F. J., & Cliff, G. (1993). Some effects of shark nets in the Natal nearshore environment. *Environmental Biology of Fishes*, 36(3), 243–255. <https://doi.org/10.1007/BF00001720>

- Erbe, C., Wintner, S., Dudley, S. F. J., & Plön, S. (2016). Revisiting acoustic deterrence devices: Long-term bycatch data from South Africa's bather protection nets. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 27(1), 10025. <https://doi.org/10.1121/2.0000306>
- Espinoza, L. A., & Li, J. J. (2020). El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México. *BBVA Research*, 20, 2–33.
- Esri. (2024). How Emerging Hot Spot Analysis works.
- Friedrich, L., Geulen, E. and Wetters, K. (2014). *Das Dämonische* (pp. 1–7). Brill | Fink. [https://doi.org/https://doi.org/10.30965/9783846754887\\_001](https://doi.org/https://doi.org/10.30965/9783846754887_001)
- García, C., Caballero, J. D., Cantero, F. J., & Guevara, A. J. (2023). "Smart Beaches": análisis del concepto de gestión inteligente aplicado a las playas. *Investigaciones Turísticas*, 0(25 SE-Artículos), 77–99. <https://doi.org/10.14198/INTURI.19771>
- Garcia, D. and Vallejo, I. (2012). Caracterización y modelos de funcionamiento del sistema playa-duna en el Parque Nacional de Doñana (Huelva, España).
- Gibbs, L. and Warren, A. (2015). Transforming shark hazard policy: Learning from ocean-users and shark encounter in Western Australia. *Marine Policy*, 58, 116–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.04.014>
- Gibbs, L., Fetterplace, L., Rees, M., & Hanich, Q. (2020). Effects and effectiveness of lethal shark hazard management: The Shark Meshing (Bather Protection) Program, NSW, Australia. *People and Nature*, 2(1), 189–203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pan3.10063>
- Go Tenerife. (n.d.). *Charco de Isla Cangrejo*.
- Green, M., Ganassin, C., Reid, D. D., & Industries, N. S. W. D. of P. (Eds.). (2009). *Report into the NSW Shark Meshing (Bather Protection) program : incorporating a review of the existing program and environmental assessment / NSW Dept of Primary Industries*. DPI Fisheries Conservation and Aquaculture Branch.
- Hernández-Zanuy, A., Nuñez, J., Alcolado, P., & Carmenate, M. (2017). *Adaptación basada en ecosistemas alternativa en los ecosistemas marinos y costeros*.
- Instituto Geográfico Nacional. (n.d.). Catastro Digital de España. <https://www.catastro.minhap.es/>
- La Voz de Cádiz. (2014). *El mayor recinto acuático flotante, en la playa de Regla de Chipiona y en la de Getares de Algeciras*. <https://www.guiadecadiz.com>
- Lithgow, D., Martínez, M., Gallego-Fernández, J., Silva, R. and Ramírez Vargas, D. (2019). Tourism Management Exploring the co-occurrence between coastal squeeze and coastal tourism in a changing climate and its consequences. *Tourism Management*, 74, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.02.005>
- Lopez, P. (2013). *Hong Kong environment animal species shark food*. AFP.
- Mercadé, S. (2019). *La forma correcta de proceder con la limpieza de las playas turísticas y el levante del sargazo*. Corporación Universidad de la Costa. <https://hdl.handle.net/11323/6087>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2021). *Guía de Playas*. <https://www.miteco.gob.es/es/>
- Navarro, E., Dantas, A., & Silva, C. (2009). Coastal Zone Management: tools for establishing a set of indicators to assess beach carrying capacity (Costa del Sol – Spain). *Journal of Coastal Research*. [https://www.researchgate.net/publication/268427989\\_Coastal\\_Zone\\_Management\\_Tools\\_for\\_establishing\\_a\\_set\\_of\\_indicators\\_to\\_assess\\_beach\\_carrying\\_capacity\\_Costa\\_del\\_Sol\\_-\\_Spain](https://www.researchgate.net/publication/268427989_Coastal_Zone_Management_Tools_for_establishing_a_set_of_indicators_to_assess_beach_carrying_capacity_Costa_del_Sol_-_Spain)
- Neff, C. (2012). Australian Beach Safety and the Politics of Shark Attacks. *Coastal Management*, 40(1), 88–106. <https://doi.org/10.1080/08920753.2011.639867>
- Olcina, J., & Vera, J. F. (2016). Cambio climático y política turística en España: diagnóstico del litoral mediterráneo español. *Cuadernos de Turismo*, 38, 323–359. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6018/turismo.38.271471>
- Organización Mundial del Turismo. (2021). *Panorama del turismo internacional, Edición 2020*. <https://doi.org/https://doi.org/10.18111/9789284422746>
- Prieto, L. (2018). Diagnosis, prognosis, and management of jellyfish swarms. In E. Chassignet, A. Pascual, J. Tinoré, & J. Verron (Eds.), *New Frontiers in Operational Oceanography* (pp. 737–758). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Prieto, A. and Díaz, P. (2021). Approaches to the beaches carrying capacity in times of COVID-19: The case of the andalusian atlantic coast. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 88, 1–46. <https://doi.org/10.21138/BAGE.3012>

- Rodríguez-Martínez, R., Tussenbroek, B., & Jordán-Dahlgren, E. (2016). *Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015)* (pp. 352–365).
- Roig, F. X., Olivo, O., Martín-Prieto, J., Huguet, P., Rodríguez-Perea, A., Bernadí, G., Ferrer, Del, P., & Piñero, T. (2021). *Cuantificación de la pérdida de sedimento por la retirada de depósitos de *Thalassia testudinum* en las playas del Caribe: efectos geomorfológicos*. 11, 28–37.
- Rubio, A., & Gutiérrez, O. (2020). Impacto de las medusas en el litoral andaluz. Implicaciones para el turismo de Sol y Playa. *Estudios Geográficos*, 81(288 SE-Artículos), e038. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202053.033>
- Salvà Tomàs, P. A. (1998). Los modelos de desarrollo turístico en el mediterráneo. *Cuadernos de Turismo*, 0(2 SE-Artículos), 7–24. <https://revistas.um.es/turismo/article/view/23401>
- Samulandia.com. (n.d.). *Samulandia*. <https://www.samulandia.com/>
- Schling, M., Guerrero-Compeán, R., Pazos, N., Bailey, A., Arkema, K., & Ruckelshaus, M. (2022). El Impacto económico del sargazo : Evidencia de la costa mexicana El Impacto económico del sargazo : Evidencia de la costa mexicana. *Inter-American Development Bank*.
- Sumpton, W. D., Taylor, S. M., Gribble, N. A., McPherson, G., & Ham, T. (2011). Gear selectivity of large-mesh nets and drumlines used to catch sharks in the Queensland Shark Control Program. *African Journal of Marine Science*, 33(1), 37–43. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2011.572335>
- Valiela, I., McClelland, J., Hauxwell, J., Behr, P. J., Hersh, D., & Foreman, K. (1997). Macroalgal blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography*, 42(5), 1105–1118. [https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5\\_part\\_2.1105](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1105)
- Vortex. (2018). *Splashpad de VORTEX en el Paseo Marítimo Antonio Banderas*. <https://parques-agua.vortex-intl.com/splashpad-de-vortex-en-el-paseo-maritimo-antonio-banderas/>
- Ye, N., Zhang, X., Mao, Y., Liang, C., Xu, D., Zou, J., Zhuang, Z., & Wang, Q. (2011). “Green tides” are overwhelming the coastline of our blue planet: Taking the world’s largest example. *Ecological Research*, 26, 477–485. <https://doi.org/10.1007/s11284-011-0821-8>
- Yepes, V. (1999). Las playas en la gestión sostenible del litoral. *Cuadernos de Turismo*, 0(4 SE-Artículos), 89–110. <https://revistas.um.es/turismo/article/view/22881>
- Yong, E. L. (2021). Understanding the economic impacts of sea-level rise on tourism prosperity: Conceptualization and panel data evidence. *Advances in Climate Change Research*, 12(2), 240–253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.03.009>

## Contribución de autorías

Ana de la Fuente Roselló: Redacción de la introducción, metodología, resultados y discusión.

Francisco J. Cantarero Prados: Redacción de la introducción, metodología, resultados y discusión.

Rodolfo Silva Casarín: Supervisión y apoyo institucional durante la estancia en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Financiación

No ha existido financiación.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

# Vulnerabilidad ambiental en áreas rurales asociadas al sistema fluvial Ctlamochita, Córdoba, Argentina

Environmental vulnerability in rural areas associated with the Ctlamochita river system, Córdoba, Argentina

ELIANA CONCI<sup>1,2</sup>  0009-0009-7634-6503

MARÍA JIMENA RODRIGUEZ<sup>3</sup>  0009-0006-5415-7312

ANALÍA ROSA BECKER<sup>4,5</sup>  0000-0002-6019-3807

MARÍA MICAELA LEDESMA<sup>5,6</sup>  0000-0003-2800-8779

ALDO FERNANDO RANGONE<sup>4</sup>  0009-0008-5676-4014

JULIETA FABIOLA SALGUERO<sup>4</sup>  0009-0004-0736-8059

<sup>1</sup> Grupo CLIOPE (Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza) (UTN-FRM). Argentina.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)-CCT Mendoza. Argentina.

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones y Transferencia Villa María, CONICET-UNVM, Córdoba. Argentina.

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Villa María (UNVM). Córdoba. Argentina.

<sup>5</sup> Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Córdoba. Argentina.

<sup>6</sup> Instituto de Ciencias Veterinarias (INCIVET), UNRC-CONICET, Córdoba. Argentina.

## Resumen

En áreas rurales ribereñas de Córdoba (Argentina) se reportaron procesos de degradación de ecosistemas y avance de la frontera agrícola, potenciando la ocurrencia de inundaciones en centros urbanos. La evaluación de la vulnerabilidad contribuye al conocimiento del riesgo y está condicionada por características del terreno y localización geográfica. El objetivo es determinar la vulnerabilidad ambiental en áreas rurales del ambiente fluvial Ctlamochita mediante factores formadores del suelo (geomorfología, material originario, clima, biota y tiempo pedogenético) y el factor antrópico (indicadores e índices de calidad del suelo). Se utilizaron valores normalizados para cada sitio muestreado por Subunidad Ambiental y se obtuvo un mapa de vulnerabilidad ambiental. Los resultados explican que en la Faja Fluvial el relieve, pendientes del 1-3 %, vegetación nativa y tiempo pedogenético condicionan la susceptibilidad. En cambio en la Paleollanura de Inundación depende de la vegetación nativa, pendientes del 0-5 % y moderada calidad de suelos. Las amenazas ambientales provienen del uso y manejo del suelo (agricultura y ganadería) y de procesos geológicos como inundaciones, anegamientos y erosión de márgenes del río Ctlamochita. El conocimiento de la vulnerabilidad ambiental contribuye al ordenamiento territorial y evaluación de riesgos ambientales regionales.

Palabras clave: Unidades Geomorfológicas; factores formadores; calidad de suelos; ordenamiento territorial; riesgos ambientales.

### Fechas • Dates

Recibido: 2023.12.11  
Aceptado: 2024.10.01  
Publicado: 2024.11.25

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Eliana Conci  
[econci@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:econci@mendoza-conicet.gob.ar)

## Abstract

In rural riverside areas of Córdoba (Argentina), processes of ecosystem degradation and advance of the agricultural frontier have been reported, increasing the occurrence of floods in urban centers. The vulnerability assessment contributes to risk knowledge and is conditioned by terrain characteristics and geographical location. The objective is to determine the environmental vulnerability in rural areas of the Citalamochita river through the soil-forming factors (geomorphology, original material, climate, biota and pedogenetic time) and the anthropic factor (soil quality indicators and indices). On the one hand, normalized values were used for each site sampled by Environmental Subunit and an environmental vulnerability map was obtained. The results explain that in the Fluvial Belt the relief, slopes of 1-3 %, native vegetation and pedogenetic time condition the susceptibility. On the other hand, in the Flood Paleo-plain it depends on the native vegetation, slopes of 0-5 % and moderate soil quality. Environmental threats come from land use and management (agriculture and livestock) and geological processes such as floods, flooding and erosion along the banks of the Citalamochita river. Knowledge of environmental vulnerability contributes to land use planning and the assessment of regional environmental risks.

Keywords: Geomorphological Units; soil-forming factors; soil quality; land use planning; environmental risks.

## 1. Introducción

El suelo forma parte del medio físico, evolución de los paisajes y ecosistemas (Pereyra y Torres-Duggan, 2016). Las políticas de desarrollo y expansión agrícola han conducido en América Latina a la degradación del suelo, con descensos en la productividad e incrementos en los costos de producción, dando consecuencias económicas y sociales (Pla, 2012). La conversión en agroecosistemas en América Latina y el Caribe es del orden del 30 % (600 Mha). Una parte de estas áreas está afectada por procesos de degradación, donde los factores impulsores son el cambio climático y la presión humana, relacionados a características naturales fisiográficas y tipo de cubierta vegetal (Pennock y McKenzie, 2015). En Argentina las actividades agropecuarias ocupan grandes superficies y reemplazan o modifican el hábitat natural y servicios ecosistémicos (Bran *et al.*, 2017). Más del 40% del territorio está afectado por procesos de degradación y no se diferencian los causados por factores naturales de los derivados de la actividad antrópica (Lavado, 2016). La expansión e intensificación de la agricultura ha sido probablemente el hecho más notable. Esto se ha asociado a: (i) la conversión de nuevas áreas sin historia agrícola; (ii) la reconversión de tierras anteriormente dedicadas a la ganadería; (iii) el aumento de la superficie sembrada con soja; (iv) la expansión del doble cultivo; y (v) el aumento de la superficie cultivada sin labranza (Magrin *et al.*, 2005; Paruelo *et al.*, 2005; Boletta *et al.*, 2006). La provincia de Córdoba, región central del país agrícola-ganadera, está afectada por erosión, inundaciones, sedimentación, constituyendo amenazas para el ambiente. De las 16,5 Mha de la provincia, 13,7 están dedicadas a alguna actividad agropecuaria desarrollada en condiciones edafoclimáticas variables, de las cuales más de 8 Mha presentan un alto grado de "agriculturización" (Gorgas *et al.*, 2014). En la región existe un manejo inadecuado del territorio y muchos sectores en deterioro (Carignano *et al.*, 2014), siendo escasos los estudios morfoedológicos con base ambiental (Rodríguez *et al.*, 2017a).

Los riesgos ambientales deben evaluarse en función del fenómeno natural causante del daño, la fragilidad del medio y cantidad de bienes expuestos (Lario-Gómez *et al.*, 2017). La Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO, 1979) indica que la eva-

luación de la vulnerabilidad contribuye al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso, donde la vulnerabilidad está condicionada por la geología y la climatología (Ayala-Carcedo, 2002).

En el departamento (dpto.) General (Gral.) San Martín (Córdoba, Argentina), Planicie fluvioeólica central y áreas rurales ribereñas del río Ctlamochita, se reportaron problemáticas ambientales asociadas al avance de la frontera agrícola. Esto, sumado a los procesos de degradación de ecosistemas frágiles, ha potenciado la ocurrencia de mayores inundaciones en centros urbanos por la creciente frecuencia e intensidad de las precipitaciones (Rodríguez, 2022). Un modo de monitorear la degradación de suelos es ser evaluados por características de su calidad mediante indicadores (Fernández y Urricariet, 2014), donde las propiedades edáficas y su posición en el paisaje determinan la susceptibilidad a ser dañados por distintos procesos (Zinck, 2005). La comprensión y modelización de los cambios en el uso y ocupación del suelo han generado interés para la gestión medioambiental. La teledetección y los sistemas de información geográfica son herramientas esenciales para evaluar los factores que provocan estos cambios (Bonansea *et al.*, 2021). Por tanto, es imprescindible determinar la vulnerabilidad ambiental en áreas rurales del ambiente fluvial Ctlamochita (dpto. Gral. San Martín, Córdoba, Argentina), mediante el análisis de factores formadores e indicadores de estado del suelo, a fin de contribuir a la sustentabilidad ambiental regional.

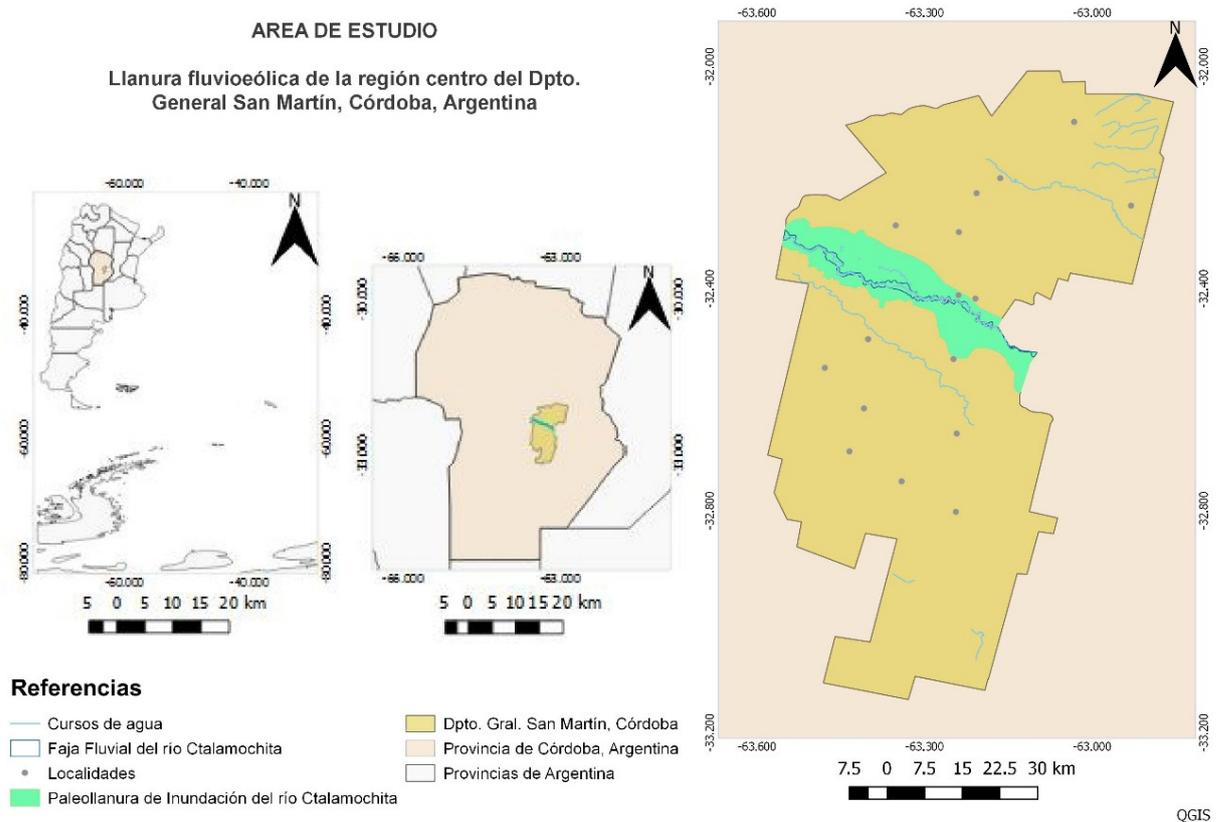
## 2. Área de estudio

Argentina tiene una superficie bicontinental de 3.800.000 km<sup>2</sup> y ocupa el extremo sur de América del Sur, entre los 21°46'S y los 55°10'S. Presenta gran variación altitudinal y, aunque gran parte del territorio está por debajo de los 200 m s.n.m., la zona occidental de la Cordillera de los Andes posee varios de los picos más altos del planeta como el Cerro Aconcagua de 6959 m (Mendoza). El país posee riqueza geológica, geomorfológica, climática, fitogeográfica y edáfica; predominan los accidentes geográficos fluviales, seguidos de los eólicos. La zona central y nororiental corresponde a las Llanuras Chaqueña y Pampeana (Pereyra, 2019) y en esta última se encuentran los suelos más fértiles conocidos como Molisoles Pampeanos (Liu *et al.*, 2012). Los Argiudoles y Hapludoles son los Grandes Grupos representativos (Rubio *et al.*, 2019), siendo el Loess Pampeano el material parental dominante (Pereyra, 2019).

La provincia de Córdoba exhibe un conjunto de geoformas resultantes de procesos exógenos y endógenos. La Llanura Chacopampeana se divide en: Depresión tectónica de la laguna de Mar Chiquita, Planicie arenosa eólica del sur, Ambientes pedemontanos y Planicie fluvioeólica central. En esta última se encuentra el área de estudio, conformada por abanicos aluviales coalescentes generados por ríos que nacen en las Sierras Grandes y descargan sus aguas hacia oriente: Suquía, Xanaes, Ctlamochita (o Tercero) y Chocancharava. En la Planicie fluvioeólica central (Bonalumi *et al.*, 2005; Carignano *et al.*, 2014) se han desarrollado procesos morfogenéticos que originaron los suelos provinciales (Sanabria *et al.*, 2014). Rodríguez (2022) propone que esta Planicie está compuesta por Unidades Ambientales Integradas (UAI) para el dpto. Gral. San Martín. En ese relieve se desarrollan molisoles, entisoles y alfisoles con problemas de salinidad y anegamiento (Bosnero *et al.*, 2006), donde el Lineamiento Rayo Cortado-Pampayasta-Alejandro influye en la hidrogeología (Costa *et al.*, 2014). El área de análisis se ubica en la cuenca media a baja del río Ctlamochita, Subunidades Ambientales Integradas Faja Fluvial y Paleollanura de Inundación del dpto. Gral. San Martín (Rodríguez, 2022) (Figura 1 y Figura 2).

Carignano et al. (2014) indican que el Paleoabánico aluvial (14.000 km<sup>2</sup>) del río Ctlamochita se conforma por superposición de cuatro abánicos (fluvial meandriforme, palustre, sistemas de paleocauces y planicie de inundación) sujeto a inundaciones (Bonalmi et al., 2005). La cuenca del río es un sistema pluvial con régimen permanente y tiene un área de 9580 km<sup>2</sup> (Carnicelli et al., 2018), que nace en las Sierras Grandes de Córdoba y se regula por embalses que pertenecen al sistema de generación eléctrica provincial (Ochoa et al., 2016). El cauce tiene un ancho promedio de 35 m y recorre (300 km O-E) la cuenca que lleva su nombre hasta el río Carcarañá. En sus márgenes se localizan importantes centros poblados como Villa María (Cossavella et al., 2013).

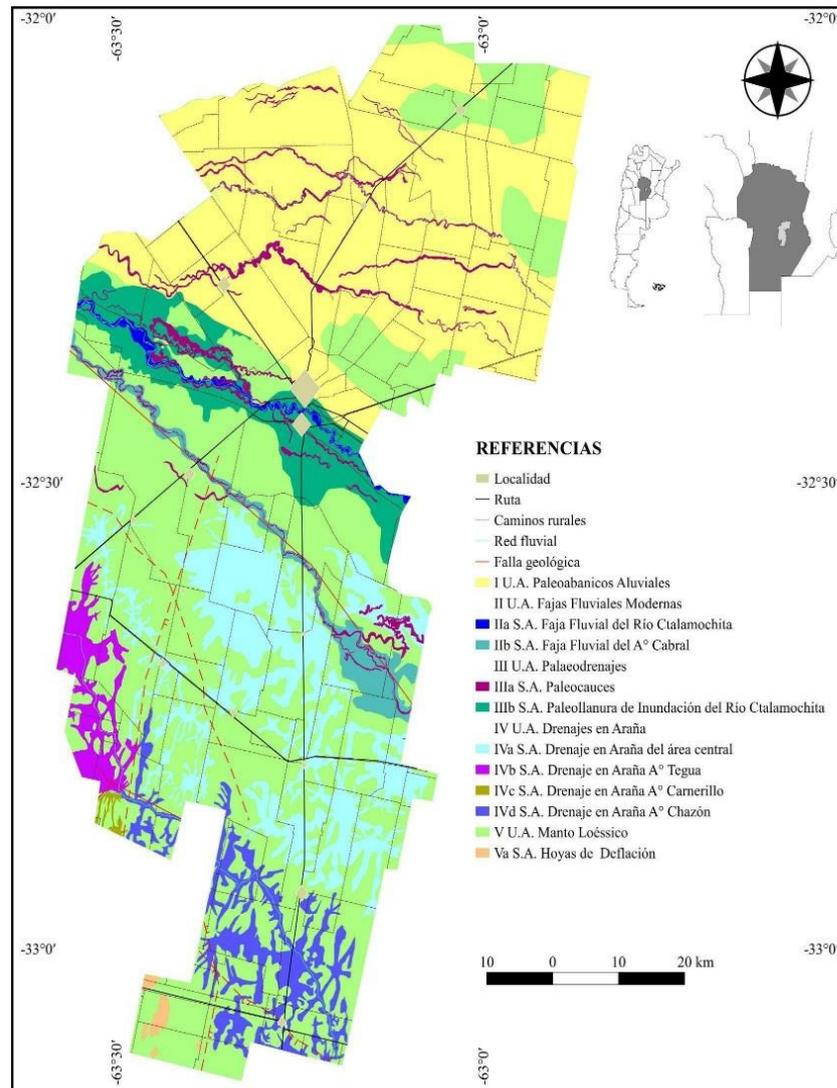
Figura 1. Ubicación del área de estudio a escala regional.



Fuente: elaboración propia en base a datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de Rodríguez (2022).

El clima del territorio argentino presenta gran diversidad dada su extensión y disposición latitudinal alargada (Pereyra, 2019). En Córdoba, la marcada variabilidad del sistema climático sudamericano controla el ciclo hidrológico a diferentes escalas espaciales y temporales (Piovano et al., 2009; Córdoba, 2012), repercutiendo sobre la cantidad y calidad del agua y en la frecuencia e intensificación de eventos extremos. Esto implica que la región esté expuesta a riesgos por exceso (inundaciones, en el SE), como por falta de agua (sequías, en el NO) (Lopez et al., 2021). En las últimas décadas se incrementaron las precipitaciones medias anuales y los episodios de fuertes lluvias, donde los factores antrópicos inciden sobre la cantidad y calidad de los recursos hídricos (Dasso et al., 2014).

Figura 2. Mapa de UAI del dpto. Gral. San Martín.



Fuente: Rodríguez (2022) con datos geográficos del IGN.

El área de estudio presenta un clima templado subhúmedo de tipo monzónico con una precipitación media anual de 805 mm (Rodríguez, 2022), temperatura media anual de 16,5°C y vientos dominantes del sector N-NE (Bosnero et al., 2006). La vegetación natural corresponde a la Provincia Biogeográfica Pampeana, Distrito del Espinal, caracterizado por un bosque xerófilo con relictos aislados en un paisaje agrícola (Arana et al., 2021). En sectores bajos y derrames del río Ctalamochita hay comunidades herbáceas de hidrófitas y halófitas (Bosnero et al., 2006). Gorgas et al. (2014) afirman que el uso de la tierra es agrícola, sin respetar en algunos sectores la capacidad de uso.

### 3. Metodología

La caracterización climática se efectuó con datos pluviométricos de la Agencia de Extensión Rural-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (AER-INTA) Villa María (Serie 1956-2022) (32°25'S, 63°15'O, Altitud 198 m s.n.m.) y termométricos de la Carta de Suelos de Villa María (Bosnero et al., 2006).

Se seleccionaron al azar 37 puntos (naturales e intervenidos) en suelos representativos de las Subunidades Ambientales Faja Fluvial del río Ctalamochita (14 sitios, 9 intervenidos y 5 naturales) y su Paleollanura de Inundación (23 sitios, 19 intervenidos y 4 naturales). Los sectores seleccionados pertenecen a productores de la zona, con diversos tipos de explotación, uso y manejo de la tierra. Allí se realizaron observaciones con toma de muestras a campo y entrevistas a 23 productores intervinientes (Plencovich *et al.*, 2017) para la obtención de los datos sociales, uso y manejo de la tierra. El procesamiento de los datos se hizo mediante Excel e InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

Se realizó un registro a campo de la presencia/ausencia de vegetación y de cobertura vegetal con posterior análisis de imágenes satelitales distantes en el tiempo para comparar cambios. Se utilizaron dos imágenes satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), una del 16 de agosto de 1990 y otra del 29 de agosto de 2018, de los satélites Landsat 5 y 8 (Path y Row: 228-82 y 228-83) respectivamente, presentando un nivel de procesamiento L2. Los datos fueron procesados mediante el software Qgis 2.18.4. Para comparar los cambios se aplicó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) donde se extrajeron los valores en puntos muestreados para calcular la vulnerabilidad de cada Subunidad Ambiental.

La caracterización morfopedológica se efectuó mediante el enfoque de Zinck (2012) con descripción morfológica y muestreo de perfiles en sitios naturales según el Handbook N° 18 (Soil Survey Staff, 2017) y posterior clasificación (Soil Survey Staff, 2014).

Para determinar vulnerabilidades se tomaron como base los conceptos de Rodríguez *et al.* (2017b) y el análisis de diversos factores como datos climáticos, topografía, litología, tipos de suelos, vegetación, cambios en el uso y manejo de la tierra y sociales que influyen en la génesis del suelo, tanto a instancia de gabinete como de campo (Jenny, 1941). Para el análisis de los factores formadores se utilizó la función propuesta por Jenny (1980): “S” ó “s”: f (cl; b; mo; g; t), donde S representa el suelo; s: una propiedad del suelo; cl: clima; b: biota; mo: material originario; g: geomorfología; y t: tiempo de inicio de la pedogénesis. Es importante destacar que no se incluyen datos de la población afectada fija o móvil.

Se seleccionó un set mínimo de indicadores de estado del suelo (Rodríguez *et al.*, 2014) de acuerdo con Cantú *et al.* (2007) para calcular el factor antrópico dado por el uso y manejo del suelo. El muestreo se realizó en los diferentes sitios a dos profundidades: en el horizonte (hz) superficial (0-5 cm; 5-10 cm) de la Faja Fluvial, así como en el superficial (0-5 cm) y subsuperficial (10-15 cm) de la Paleollanura de Inundación. Los mismos se evaluaron para definir la vulnerabilidad mediante comparación entre las muestras a campo de las Subunidades Ambientales y con sus naturales. Los indicadores fueron calibrados considerando el suelo natural de referencia adyacente al suelo intervenido. Se realizaron determinaciones para el cálculo de indicadores: carbono orgánico (CO) por calcinación (Heiri *et al.*, 2001), pH mediante potenciometría, relación suelo-agua 1:2,5 (Jackson, 1970), resistencia mecánica (RM) con penetrómetro manual y densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986).

La evaluación de la calidad y el modelo que aquí se propone para determinar la vulnerabilidad ambiental se basaron en Cantú *et al.* (2007) y Becker (2017) que establecen índices de calidad de suelo (ICS) con valores normalizados de indicadores entre 0 (peor condición) y 1 (mejor condición). Para establecer los valores máximos y mínimos para cada indicador se consideraron en algunos atributos umbrales calculados en los suelos de referencia y, en otros, valores de la región (Tabla 1). Para el CO del Haplustol típico de la Paleollanura de Inundación se consideró mínimo

el requerimiento para ser mólico (Soil Survey Staff, 2014); para la Faja Fluvial, el mínimo de la Paleollanura de Inundación. Como máximo, valores de sitios naturales. Para la DA, el mínimo fue la mejor condición (suelos naturales de referencia) y el máximo datos teóricos para la Faja Fluvial y de sitios intervenidos para la Paleollanura de Inundación. El mínimo de pH con el límite crítico donde puede verse deteriorado el sistema radical de las plantas y el máximo con valores de referencia. Para la RM mínima los suelos de referencia y los máximos fueron el promedio de valores en intervenidos. Finalmente, se estableció un ICS promediando los valores de todos los indicadores y se utilizó en una escala con cinco clases de calidad de suelo de acuerdo con Cantú et al. (2007).

Para las determinaciones de las vulnerabilidades se utilizaron las clases establecidas por Cantú et al. (2007) y se adaptaron al análisis de factores formadores y factor antrópico (calidad del suelo) (Tabla 2). Los valores de vulnerabilidades fueron asignados y normalizados entre 0 y 1, donde aquellos factores con valor numérico bajo representan baja vulnerabilidad, mientras que la misma aumenta cuando el número es mayor.

Tabla 1. Máximos y mínimos de cada indicador por hz y Subunidad Ambiental.

Subunidad Ambiental			Faja Fluvial		Paleollanura de Inundación	
Indicador	Unidad de medida	Valores	Hz Ap (0-5 cm)	Hz Ap (5-10 cm)	Hz Ap (0-5 cm)	Hz AB (10-15 cm)
CO	%	Máximo	3,85	2,91	5	3
		Mínimo	0,60			
DA	g/cm <sup>3</sup>	Máximo	1,80		1,50	
		Mínimo	0,97	1,04	0,87	0,94
pH		Máximo	7,20		7	
		Mínimo	5			
RM	Mpa	Máximo	4,92		2,80	5,46
		Mínimo	1,03			0,15

Fuente: elaboración propia según determinación de máximos y mínimos para la región.

Tabla 2. Clases de vulnerabilidades mediante índices.

Índice de vulnerabilidades	Escala	Clases
Muy alta	0,80 -1,00	1
Alta	0,60 - 0,79	2
Moderada	0,40 - 0,59	3
Baja	0,20 - 0,39	4
Muy baja	0,00 - 0,19	5

Fuente: elaboración propia en base a Cantú et al. (2007).

Seguidamente, se determinaron los factores más influyentes en la vulnerabilidad natural del recurso ante diferentes presiones o amenazas antrópicas y naturales. Se aplicó la fórmula de vulnerabilidad para cada punto de muestreo y se promediaron los valores de cada Subunidad Ambiental para la obtención de la vulnerabilidad total por Subunidad de la siguiente manera:

$$V(f) = \text{Factores formadores} + \text{Factor antrópico}$$

$$V(f) = (g + mo + cl + b + t) + cs$$

$$V(f) = a(vg) + b(vmo) + c(vcl) + d(vb) + e(vt) + f(vcs)$$

donde V (f) indica las vulnerabilidades que están en función de; g: la geomorfología; mo: material originario; cl: clima; b: biota; t: tiempo de inicio de la pedogénesis; cs: calidad del suelo; y v: vulnerabilidad (de cada factor: g, mo, cl, b, t y cs). Cada valor de vulnerabilidad se multiplicó por un factor (a; b; c; d; e; f) que representa el peso de acuerdo a su propensión a sufrir amenazas naturales y/o antrópicas.

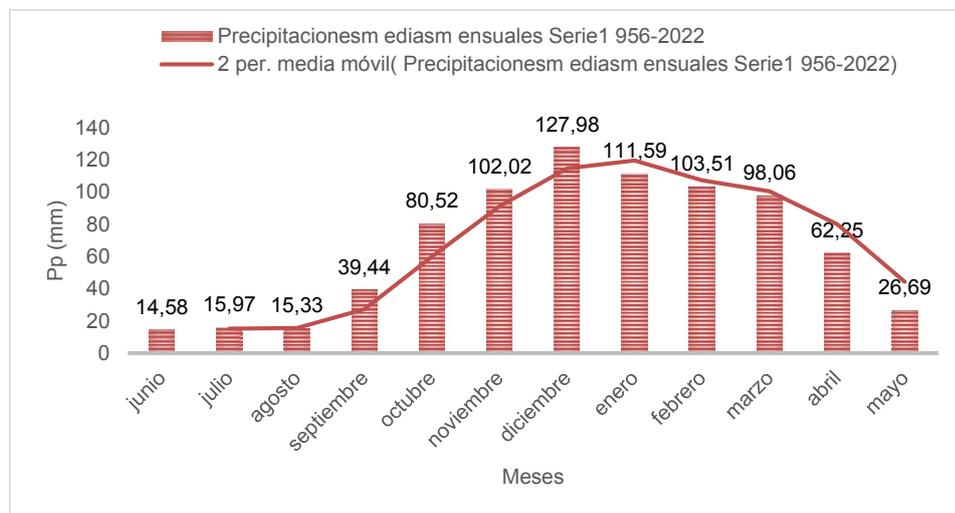
La identificación de amenazas y procesos geológicos se efectuaron con el análisis de entrevistas y registro fotográfico. Finalmente, se construyó un mapa de vulnerabilidad ambiental de las Subunidades Ambientales con Qgis 2.18.4. Se elaboró una tabla de atributos que contenía los valores de cada una de las variables consideradas y se aplicó el método de interpolación Distancia Inversa Ponderada para visualizar la distribución espacial de las mismas (Pérez Tovar, 2017). A este interpolado se le aplicaron los colores del semáforo de forma gradual siguiendo la escala establecida para los valores normalizados entre 0 y 1 a modo de detectar grados de vulnerabilidades de las Subunidades Ambientales y obtener una base para la planificación y ordenamiento territorial y ambiental.

## 4. Resultados

### 4.1. Caracterización climática

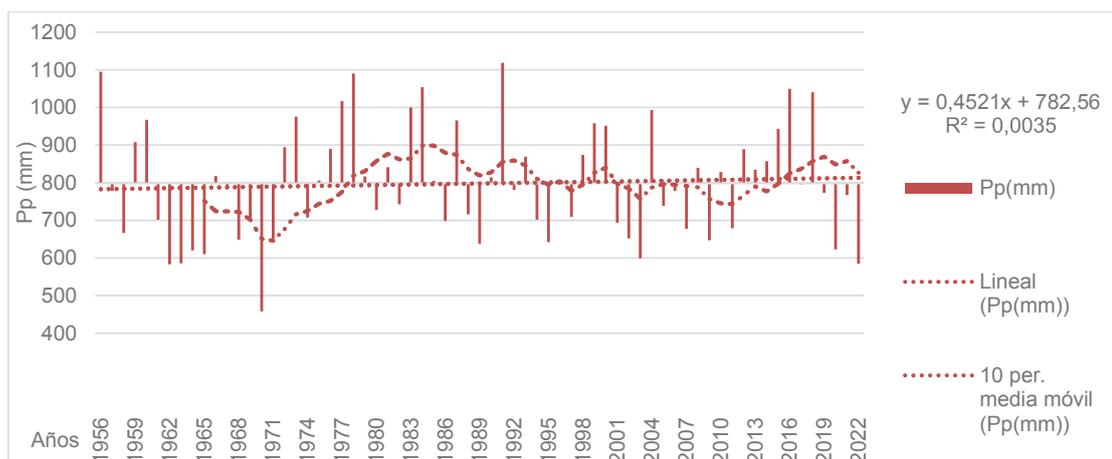
El régimen de precipitaciones es de tipo monzónico, concentrándose entre las estaciones de primavera-verano, presentando un 78,16 % de las precipitaciones anuales entre octubre y marzo (Figura 3). La precipitación media anual de la Serie 1956-2022 es de 797,94 mm (Figura 4), donde se identifican ciclos húmedos y secos. El ciclo seco más marcado es entre 1961-1971 con una precipitación media anual mínima de 458 mm en 1970. A partir de 1971 los ciclos tienden a ser húmedos con ciclos secos intermitentes, donde la precipitación media anual máxima es 1119 mm en 1991. El p-valor arroja como resultado 0,9573 para la variable precipitaciones. El clima es templado subhúmedo, característico del centro de la pradera pampeana. La temperatura media anual es de 16,5°C, siendo enero más cálido (23,9°C) y julio más frío (9,4°C). La amplitud térmica aproximada es de 14,5°C.

Figura 3. Precipitaciones medias mensuales de Villa María (Serie 1956-2022).



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la AER-INTA.

Figura 4. Precipitaciones medias anuales de Villa María (Serie 1956-2022).



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la AER-INTA.

#### 4.2. Datos sociales, uso y manejo de la tierra

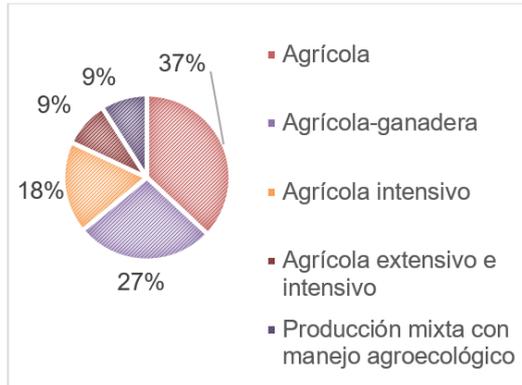
De 23 productores entrevistados en las diferentes Subunidades Ambientales, el 48 % están ubicados en la Faja Fluvial del río Ctlamochita y el 52 % en su Paleollanura de Inundación. Cada Subunidad tiene particularidades en el uso y manejo de la tierra.

En la Faja Fluvial del río Ctlamochita el 64 % de los entrevistados residen en zona rural, el 27 % en zona urbana y un 9 % en zona rural-urbana. Un 55 % son arrendatarios, 27 % son propietarios de forma hereditaria y un 18 % son propietarios. El 72 % de las producciones son recientes (menos de 30 años de antigüedad), donde se observaron cambios en el uso de la tierra. En este sentido el tipo de explotación que prevalece es la agrícola (37 %), siguiéndole la mixta (agrícola-ganadera) (27 %), agrícola intensiva (18 %), agrícola extensivo e intensivo (9 %) y producción mixta (9 %) con manejo agroecológico (Figura 5a). En cuanto a la agricultura, se realizan rotaciones y el 86 % con pasturas. Se destaca que hay presencia de vegetación (más del 73 %), particularmente a la ribera del río Ctlamochita. En relación con los factores ambientales que incidieron en los campos de manera negativa, un 46 % fue afectado por inundaciones debido al desbordamiento del río Ctlamochita, un 9 % por erosión en los márgenes del río, otro 9 % por anegamientos de caminos, mientras que un 27 % tanto por inundaciones por desbordamiento como por erosión de margen, quedando un 9 % sin afecciones (Figura 6a). No se ha observado erosión hídrica ni anegamientos actuales.

En la Paleollanura de Inundación el 83 % residen en zona rural y el 17 % en zona urbana. Un 33 % son arrendatarios, un 33 % son propietarios de forma hereditaria, mientras que un 25 % son propietarios y un 9 % son propietarios y arrendatarios a la vez. El 42 % de las producciones son recientes (menos de 30 años de antigüedad), un 16 % de entre 31 a 40 años y un 42 % desde hace más de 60 años. El tipo de explotación que predomina es la agrícola-tambera (42 %), la agrícola-ganadera (25 %), la agrícola (17 %) y la agrícola extensiva e intensiva (16 %) (Figura 5b). En la agricultura se realizan rotaciones con pasturas. Presenta un 50 % de masa arbórea natural y/o implantada. En relación con los factores ambientales que incidieron, un 42 % fue afectado por las inundaciones de los caminos rurales donde el agua provenía de otras zonas que estaban siendo inundadas por desbordamiento del río Ctlamochita. En cuanto a inundaciones un 8 % de los productores fueron afectados, mientras que un 25 % por inundaciones y anegamientos de

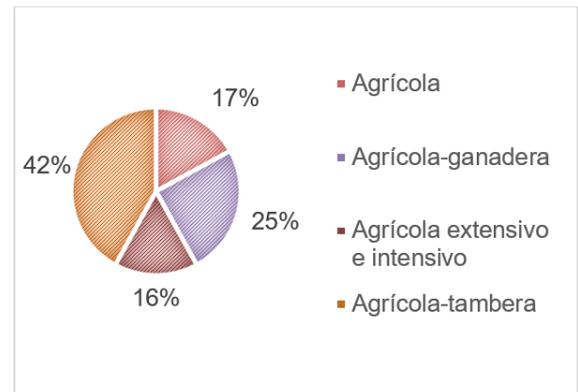
caminos. Por último, el 25 % restante no ha tenido afecciones (Figura 6b). En sí, los anegamientos de campos no han prevalecido ya que el terreno es más elevado en esta Subunidad Ambiental. Los productores alegan las inundaciones ocurridas a abundantes lluvias en cuenca alta, cambio climático, reactivación de paleocauces, usos y manejos del suelo y formas de explotación, escasez y/o ausencia de bosque nativo y pasturas de cobertura, como también al control insuficiente por parte de organismos responsables.

Figura 5a. Tipos de explotación en la Faja Fluvial.



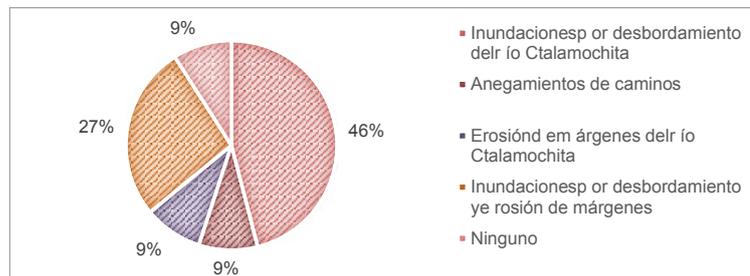
Fuente: elaboración propia a partir de datos de entrevistas a productores.

Figura 5b. Tipos de explotación en la Paleollanura de Inundación.



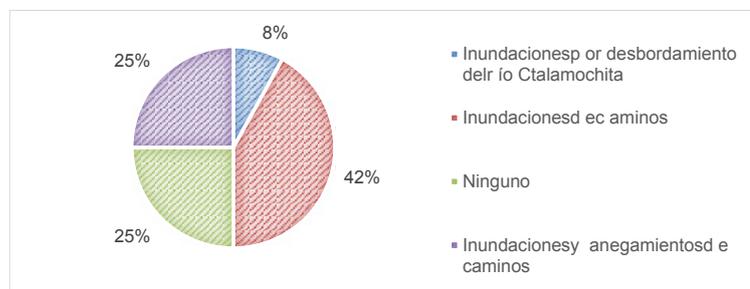
Fuente: elaboración propia a partir de datos de entrevistas a productores.

Figura 6a. Amenazas naturales en la Faja Fluvial.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de entrevistas a productores.

Figura 6b. Amenazas naturales en la Paleollanura de Inundación.

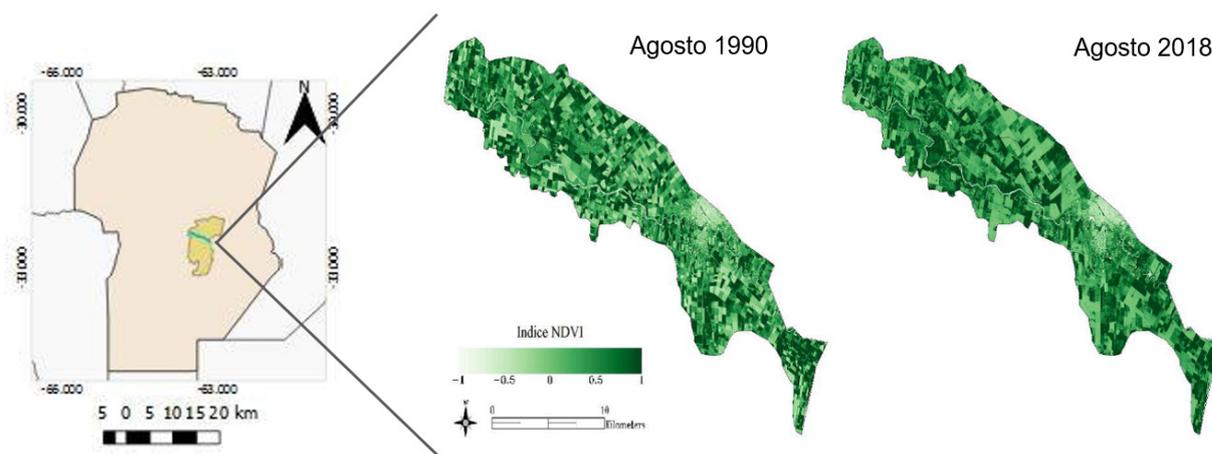


Fuente: elaboración propia a partir de datos de entrevistas a productores.

### 4.3. NDVI

A partir de la observación a campo y de los datos proporcionados por los productores se detalla que hay más presencia de vegetación en la Faja Fluvial, en ambos márgenes del río Ctlamochita, mientras que en la Paleollanura de Inundación hay una menor presencia de masa arbórea natural o implantada. La cobertura vegetal en ambas Subunidades Ambientales es similar. La Figura 7 muestra que los valores de NDVI promedio de los puntos de muestreo no presentan diferencias entre agosto de 1990 y el de 2018. La Faja Fluvial posee un valor de NDVI promedio de 0,36 en 1990 y de 0,41 en 2018. La Paleollanura de Inundación de 0,43 en 1990 y de 0,40 en 2018. Es decir, las coberturas vegetales no han variado notablemente en los años considerados. Si se analizan los puntos de muestreo por separado se observa una tendencia al aumento en los valores de NDVI de la Faja Fluvial, mientras que en la Paleollanura de Inundación tienden a disminuir. La biota es un factor formador indispensable al evaluar las vulnerabilidades de un suelo y la presencia de cobertura vegetal atenúa las amenazas que pudieran presentarse en las diferentes Subunidades Ambientales.

Figura 7. Índice NDVI del ambiente fluvial Ctlamochita (agosto 1990 y 2018).



Fuente: elaboración propia a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y 8.

### 4.4. Características morfoedológicas de la toposecuencia representativa del ambiente fluvial Ctlamochita

A partir del mapa de Rodríguez (2022) se aprecian los perfiles de suelo representativos naturales e intervenidos (Figuras 8a, 8b, 8c y 8d) que conforman la toposecuencia del ambiente fluvial con sus características morfológicas (Tablas 3 y 4).

En la Faja Fluvial el tipo de paisaje es característico de las terrazas fluviales, relieve normal con pendientes de Clase 2 (1-3 %), escurrimiento medio y permeabilidad moderada en los primeros *hz* y permeabilidad muy lenta a partir de los 50 cm, suelo imperfectamente drenado con peligro de inundación de Clase 2 (áreas inundables). La distribución de la humedad es no uniforme en todo el perfil, seco y fresco con cobertura vegetal que varía entre el 80 % en sitios intervenidos y 100 % en naturales. Los suelos son desarrollados a partir de sedimentos fluviales franco arenosos. El *hz* superficial varía en espesor (19 cm en el natural a 7 cm en el intervenido), de colores pardo grisáceo muy oscuro en seco a pardo muy oscuro en húmedo y bien estructurado. Continúan hasta los 50 cm de profundidad diferentes *hz* C distinguiéndose 3 en el natural y 2 en el

intervenido, de colores pardo grisáceo oscuro en seco a pardo muy oscuro a negro en húmedo y estructuras masivas a laminares. Se evidencia presencia de gravas finas y medias entre los 35 y 50 cm de profundidad del natural.

Figura 8. Perfiles representativos del ambiente en estudio.

a) Faja Fluvial natural.

b) Paleollanura de Inundación natural.

c) Faja Fluvial intervenida.

d) Paleollanura de Inundación intervenida.



Fuente: elaboración propia: muestreo (a, b y c) y Castoldi y Emiliani (2016) (d).

El relieve de la Paleollanura de Inundación es subnormal con pendientes de Clase 0 (0-5 %), escurrimiento medio y permeabilidad moderadamente rápida, suelo bien drenado, peligro de inundación de Clase 3 (áreas poco inundables). La distribución de la humedad es no uniforme en todo el perfil, con cobertura vegetal del 100 %, en el natural y en el intervenido seleccionado. Los suelos son desarrollados a partir de sedimentos fluviales franco limosos. El epipedón presenta 20 cm de espesor, color pardo grisáceo oscuro a muy oscuro en seco en el intervenido y pardo amarillento oscuro a pardo grisáceo muy oscuro en seco en el natural. Predominan bloques medios débiles a moderados. El endopedón presenta un enriquecimiento en arcilla alrededor de los 35 a 40 cm distinguiéndose dos hz Bw en el natural, color pardo en seco y pardo oscuro a pardo amarillento oscuro en húmedo, prismas medios que rompen a bloques angulares medios y bloques gruesos a medios angulares en el natural, en cambio el intervenido presenta bloques irregulares medios. El pasaje al material originario es transicional, se encuentra a mayor profundidad en el natural (60 cm), masivo, con un hz C sin carbonatos que comienza diseminarse en la masa del suelo.

Tabla 3. Descripción del suelo: hz y características morfológicas en los sitios naturales e intervenidos de la Faja Fluvial del río Ctalamochita.

Sitio	Hz	Prof (cm)	Textura	Estructura	Color		Consistencia				Raíces	Límite	Suelo
					seco	húmedo	s	h	m-ad	m-pl			
Natural	A	0-19	Are-fr-grdi de 1cm	Bl-gr-me, fu	10Y/R 3/2	10Y/R 2/2	3	2	1	1	RR	ab-su	Ustipsamments típico
	C1	19-25	Are-fi	M-L	10Y/R 4/2	10Y/R 2/2	4	3	0	1	R	ab-su	
	C2	25-35	Fr-are-mfi	M	10Y/R 4/2	10Y/R 2/1	4	3	0	1	R	ab-su	
	C3	35-50	Are-grfi-grmedi	M	10Y/R 4/2	10Y/R 3/2	3	2	0	0	-	ab-su	
	2C	50+	Fr-arc-are	M	10Y/R 4/3	10Y/R 2/2	4	4	0	1	-	-	
Intervenido	Ap	0-7	Are-fr	Bl-gra-me, fu	10Y/R 4/2	10YR 2/2	3	2	1	1	R	ab-su	
	C1	7-16	Are-fr	A6-gra	10Y/R 4/3	10YR 2/2	3	2	1	1	R	ab-su	
	C2	16-47	Are-fi	Bl-gr	10YR 5/2	10YR 3/2	4	3	0	1	R	cl-su	
	Ck	47+*	Are-lim	M	10YR 5/2	10YR 3/2	1	0	1	0	-	-	

Leyendas Tablas 3 y 4: Textura: Are-grfi-grmedi: arenoso con gravas finas y medias dispersas; Are-fi: arenoso fino; Are-fr: areno-franco; Are-fr-grdi: areno-franco con gravas dispersas; Are-lim: areno limoso; Fr: franco; Fr-are-mfi: franco arenoso muy fino; Fr-arc-are: franco-arcillo-arenoso; Fr-lim: franco limoso. Estructura: Tipo: A3: granular; Bl: bloques; Bl-gra: grandes; A4: bloques subangulares; A5: bloques angulares irregulares; A6: bloques angulares regulares; A6-gra: bloques angulares regulares grandes; Bl-gr: gruesos; L: laminar; M: masiva; P: prismas. Clase: fi: fina; me: media; gr: gruesa. Grado: de: débil; mo: moderada; fu: fuerte. Hz: horizonte. Prof (cm): profundidad. Consistencia: s: seco; h: húmedo; m-ad: mojado (adhesividad); m-pl: mojado (plasticidad). Límite: Tipo: ab: abrupto; cl: claro; gr: gradual; Forma: su: suave. \*Alta reacción al carbonato de calcio (60 cm). \*\*Escasos barnices. \*\*\*Reacción débil, bajo contenido de carbonatos. \*\*\*\*Escasos barnices, abundantes hongos. \*\*\*\*\*Reacción débil, bajo contenido de carbonatos (+70cm).

Fuente: elaboración propia en base a los resultados del muestreo de suelos.

Tabla 4. Descripción del suelo de la Paleollanura de Inundación.

Sitio	Hz	Prof (cm)	Textura	Estructura	Color		Consistencia				Raíces	Límite	Suelo
					seco	húmedo	s	h	m-ad	m-pl			
Natural	A	0-10	Fr-lim	A4-gr-me, A3-gr-fi, de	10Y/R 3/4	10Y/R 2/2	2	2	1	1	RRR	ab-su	Haplustol típico
	AB	10-20	Fr-lim	Bl-me-fi, A3-fi, de	10Y/R 3/2	10Y/R 2/2	2	1	1	1	RRR	ab-su	
	Bw1	20-29**	Fr	P-me, A6-me, A3, mo-de	10Y/R 4/3	10Y/R 3/3	4	3	2	2	RRR	cl-su	
	Bw2	29-43	Fr	A6-gr-me, A3-me, de	10Y/R 4/3	10Y/R 3/4	2	2	1	1	RR	cl-su	
	BC	43-60	Fr-lim	Bl-me, A3-fi, de	10Y/R 5/3	10Y/R3/6	2	1	2	1	R	cl-su	
	C	60-81	Fr-lim	M	7.5Y/R 5/3	7.5Y/R 3/4	0	0	1	1	R	cl-su	
	Ck	81+***	Fr-lim	M	7.5Y/R 6/3	7.5Y/R 3/4	0	0	1	1	R	-	
Intervenido	Ap	0-7	Fr-lim	A5-me, mo	10Y/R 4/2	-	-	3	2	2	RRR	cl-su	
	A2	7-20	Fr-lim	A5-gr, mo-A3	10Y/R 3/2	-	-	2	2	2	RRR	gr-su	
	Bw****	20-35	Fr-lim	A5-me, mo-de	10Y/R 2/2	-	-	2	2	2	RRR	gr-su	
	BC	35-50	Fr	A3-me, de	7,5Y/R 4/3	-	-	1	2	2	RR	cl-su	
	Ck*****	50+	Fr	M	7,5Y/R 4/4	-	-	1	2	2	R	-	

Fuente: elaboración propia en base a los resultados del muestreo de suelos.

#### 4.5. Determinación de las vulnerabilidades ambientales

Los factores formadores contribuyen a la susceptibilidad ambiental de una Subunidad Ambiental y se le suma el factor antrópico mediante la calidad del suelo con indicadores. La geomorfología, tiempo de pedogénesis y biota condicionan la vulnerabilidad natural de la Faja Fluvial y en la Paleollanura de Inundación, la biota y calidad del suelo, y en menor medida la geomorfología. La ausencia de masa arbórea y la moderada calidad de suelos hacen a la vulnerabilidad natural y antrópica.

Se presentan los valores normalizados de indicadores y el ICS para cada Subunidad Ambiental (Tabla 5). La Faja Fluvial en el hz Ap (0-5 cm) se aleja en calidad un 30,3 % de su referente natural, mientras que en el hz Ap (5-10 cm) un 34,3 %. La Paleollanura de Inundación en el hz Ap (0-5 cm) se aleja un 42,6 % y en el AB (10-15 cm) un 46,6 %. Los valores de cada indicador se alejaron del natural de referencia, más en la Paleollanura de Inundación que en la Faja Fluvial ya que el uso y manejo afectaron la calidad de los suelos. La Tabla 6 detalla los factores y valores asignados de vulnerabilidad del recurso ante presiones o amenazas antrópicas y naturales.

Tabla 5. Indicadores e ICS normalizados por hz y Subunidad Ambiental.

Subunidad Ambiental				
Indicador	Faja Fluvial del río Ctalamochita		Paleollanura de Inundación	
	Ap (0-5 cm)	Ap (5-10 cm)	Ap (0-5 cm)	AB (10-15 cm)
CO	0,572	0,572	0,491	0,640
DA	0,754	0,754	0,502	0,430
pH	0,673	0,673	0,747	0,837
RM	0,790	0,790	0,547	0,229
ICS	0,697 Clase 2: alta	0,697 Clase 2: alta	0,572 Clase 3: moderada	0,534 Clase 3: moderada

Fuente: elaboración propia en base a la determinación de máximos y mínimos para cada Subunidad Ambiental y hz.

Tabla 6. Factores y valores de vulnerabilidad por Subunidad Ambiental.

Vulnerabilidad	Factores formadores	Factor	Valor		Factor	Valor	
		Geomorfología	0,50	1	0,50	0,50	
		Faja Fluvial		Paleollanura de Inundación			
		Material originario	0,02	0,30	0,02	0,30	
			Limos loessoides arenosos (Formación Arroyo Las Lajas) (Cantú, 1992)				
		Clima	0,04	0,30	0,04	0,30	
			Subhúmedo				
		Biota (cobertura)	0,20	0,29*	0,20	0,29*	
			NDVI				
		Tiempo de pedogénesis	0,04	1	0,04	0,50	
			Poco desarrollo		Mediano desarrollo		
Factor Antrópico	Calidad del suelo	0,20	0,20**	0,20	0,37**		

\* Valores promedios de la vulnerabilidad del NDVI por Subunidad Ambiental.

\*\* Valores promedios de la vulnerabilidad de la calidad del suelo por Subunidad Ambiental.

Fuente: elaboración propia en base al cálculo de cada factor formador y antrópico.

La fórmula de vulnerabilidad total promedio para la Faja Fluvial es:

$$V(f) = \text{Factores formadores} + \text{Factor antrópico}$$

$$V(f) = (g + mo + cl + b + t) + cs$$

$$V(f) = a(vg) + b(vmo) + c(vcl) + d(vb) + e(vt) + f(vcs)$$

$$V(f) = 0,50(1) + 0,02(0,30) + 0,04(0,30) + 0,20(0,29) + 0,04(1) + 0,20(0,20)$$

$$V(f) = 0,50 + 0,006 + 0,012 + 0,058 + 0,04 + 0,04$$

$$V(f) = 0,66$$

Por lo que es alta, definiendo una clase de vulnerabilidad de tipo 2.

La fórmula de vulnerabilidad para la Paleollanura de Inundación es:

$$V(f) = \text{Factores formadores} + \text{Factor antrópico}$$

$$V(f) = (g + mo + cl + b + t) + cs$$

$$V(f) = a(vg) + b(vmo) + c(vcl) + d(vb) + e(vt) + f(vcs)$$

$$V(f) = 0,50(0,50) + 0,02(0,30) + 0,04(0,30) + 0,20(0,29) + 0,04(0,50) + 0,20(0,37)$$

$$V(f) = 0,25 + 0,006 + 0,012 + 0,058 + 0,02 + 0,074$$

$$V(f) = 0,42$$

Siendo moderada de tipo 3, por lo que la Faja Fluvial es más vulnerable.

A partir del cálculo de las vulnerabilidades totales de cada Subunidad Geomorfológica se observa que la Faja Fluvial es más vulnerable que la Paleollanura de Inundación ante amenazas naturales y antrópicas. No obstante, no debe descuidarse la Paleollanura de Inundación donde su vulnerabilidad es moderada y esto es clave en el análisis de los riesgos ambientales.

#### 4.6. Amenazas y procesos geológicos

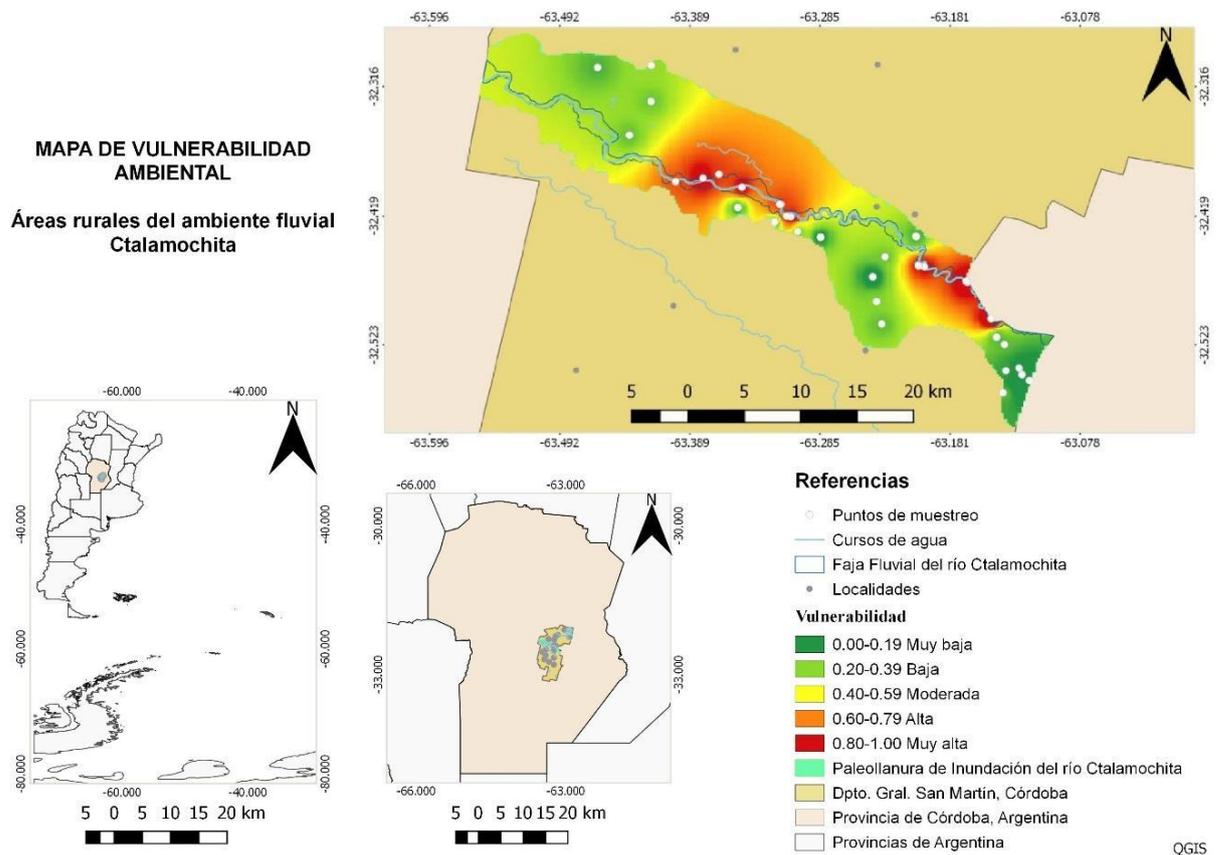
Las amenazas que influyen en el área de estudio están caracterizadas por el uso y manejo que se dan a los suelos y los procesos geológicos intervinientes que poseen un marcado carácter de la dinámica del río Ctalamochita. Se identifica que las áreas de derrame, terrazas altas, paleocauces y meandros abandonados tienen una notable representación areal, por lo que las amenazas naturales en la Faja Fluvial son las inundaciones por desbordamiento del río y erosión de márgenes. En la Paleollanura de Inundación los procesos de inundaciones y anegamientos de caminos rurales. La presencia de agua se debe a desbordes del sistema hidrológico superficial permanente, ciclos climáticos húmedos, lluvias intensas locales y/o desarrolladas en cuenca alta. La mayoría de los procesos se potencian por intervenciones.

#### 4.7. Integración sistemática de las vulnerabilidades

Las condiciones climáticas, geomorfológicas, material originario, biota y tiempo de inicio de la pedogénesis del área de estudio son determinantes en la ocurrencia de procesos geológicos. No obstante se analiza que la vulnerabilidad de un sistema no sólo depende de los factores formadores de un suelo, sino también del factor antrópico en relación con la calidad de los suelos. Esto indica que ante la amenaza en un medio natural, no solo el proceso geológico se hace presente, sino que hay una profunda relación con la forma e intensidad de las intervenciones antrópicas efectuadas en el medio físico. En la Figura 9 se observa que la vulnerabilidad de la Faja Fluvial ante inundaciones por desbordamiento del río Ctalamochita y erosión de márgenes es alta, con valores entre 0,605 y 0,768. Aunque no se observan grandes diferencias entre los valores de vulnerabilidad por punto de muestreo. Las zonas más vulnerables se caracterizan por la geomorfología propia de esta Subunidad Ambiental y un bajo desarrollo de los suelos, donde la masa arbórea ha sido altamente modificada, siendo la biota un factor condicionante. Si bien la calidad de los suelos es alta, se requiere sostener su buena gestión y no debe descuidarse su uso y manejo. En la Paleollanura de Inundación, ante inundaciones y anegamientos de caminos, la vulnerabilidad es baja a moderada entre 0,324 y 0,473 y no tiene distinciones entre puntos de muestreo, pero la condicionan la ausencia de masa arbórea natural o implantada, la geomorfología y su moderada calidad de suelos.

El riesgo se obtiene de multiplicar las vulnerabilidades por las amenazas y, aunque aquí no se ha calculado, algunos factores presentan mayor peso que otros en la definición del riesgo ambiental total de una Subunidad Geomorfológica. Si bien los valores totales varían entre altos en la Faja Fluvial y bajos a moderados en la Paleollanura de Inundación, las amenazas se valorarían por encima de las vulnerabilidades, dado el uso y manejo del suelo y los procesos geológicos. De este modo, se logra zonificar el territorio a partir de los factores naturales y antrópicos y los procesos geológicos que constituyen una herramienta útil para la prevención de desastres y previsión de riesgos potenciales. Se considera que las vulnerabilidades propias de los suelos y las amenazas actuales y potenciales identificadas deberían condicionar el uso y manejo de los suelos y no solo la capacidad de uso productiva definida en las cartografías pedológicas disponibles. Los productores perciben y exponen las amenazas naturales que se desencadenan en sus tierras, por lo que el conocimiento de la vulnerabilidad ambiental es imprescindible para prevenir y remediar la degradación de los suelos.

Figura 9. Vulnerabilidades de las Subunidades Ambientales.



Fuente: elaboración propia con datos geográficos del IGN y de Rodríguez (2022).

## 5. Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la determinación de la vulnerabilidad ambiental, a partir del análisis de factores formadores e indicadores de calidad del suelo, contribuyen a la sustentabilidad ambiental regional. Godagnone y de la Fuente (2014) expresan

que el conocimiento de los suelos, su ubicación y el área que ocupan son fundamentales para planificar racionalmente su aprovechamiento. Además, toda decisión acerca de cambios en el uso de la tierra debiera ser evaluada a través de la mayor o menor fragilidad del ambiente (Mazziotti, 2014).

En relación con la caracterización climática, de los valores totales de los años en estudio se desprende un  $R^2$  (Figura 4) extremadamente pequeño (0,0035) por lo que la variación interanual no podría ser explicada o correlacionada con los valores medios de precipitación. La línea de tendencia es levemente positiva, aunque la misma tiene una pendiente sumamente débil demostrando un cambio casi imperceptible (Forgioni, comunicación personal, 2018). A su vez, con el valor  $p$  obtenido no se puede concluir que exista una diferencia significativa entre las precipitaciones medias anuales, donde de la Casa y Nasello (2012) indican que la precipitación anual en Córdoba no presenta una tendencia lineal y homogénea en toda la región. Esta variabilidad interdecadal explica que en la región se identifiquen ciclos húmedos y secos.

Los datos sociales arrojaron similitudes con investigaciones de la región. Rodríguez (2022) advierte migración de la población rural al sector urbano, concentrándose en ciudades intermedias que caracterizan al dpto. Gral. San Martín, donde el bosque ribereño fue altamente modificado. Por otro lado, se originó el avance de la agricultura sobre áreas ocupadas antes por la ganadería (Castoldi y Emiliani, 2016).

En relación con los factores ambientales que incidieron, tal como señala Celis (2008), numerosas regiones de la Argentina han sido afectadas por distintos tipos de desastres a lo largo de la historia, siendo los más predominantes aquellos vinculados a causas de origen hidrometeorológico como las inundaciones. La vegetación ejerce un fuerte control sobre las variables hidrológicas (Rodríguez et al., 2021) ya que impacta en la respuesta de los recursos naturales a eventos. En coincidencia, Pereyra (2012) expresa que la Llanura pampeana es la región más intensamente modificada por el uso humano, donde lo natural subsiste en pequeños sectores. Si bien la actividad agrícola-ganadera predomina en la Paleollanura de Inundación, posiblemente la agricultura esté desplazando a la producción ganadera y el avance de la frontera agrícola se dé hacia la Faja Fluvial (Salguero, 2022).

En cuanto a la determinación de las vulnerabilidades ambientales se coincide en que la morfología, pendiente de la Faja Fluvial (Carignano et al., 2014), áreas de derrame (Bosnero et al., 2006) y terrazas erosivas condicionan la vulnerabilidad natural. En la Faja Fluvial, Geotaxa más joven y activa, los procesos de morfogénesis dominan sobre los de pedogénesis y se han reportado diferentes usos productivos que afectan de manera negativa la fragilidad natural del sistema. En cambio, la Paleollanura de inundación no presenta problemáticas para el uso productivo, pero precisa ser planificada respetando la dinámica fluvial (Rodríguez, 2022). Cisneros et al. (2001) indican que las inundaciones del sur de la provincia presentan factores naturales y antrópicos en interacción. Un sistema de información de los recursos naturales es necesario para un mejor diagnóstico y estudio de las condiciones del suelo y nivel de degradación (Pennock y McKenzie, 2015). Esto demuestra la importancia de considerar el factor antrópico en el análisis de vulnerabilidades ambientales y su influencia en la determinación de amenazas. Se destaca que el cálculo efectuado se trata de una gran aproximación al estudio de la vulnerabilidad, siendo necesario incluir referencias de la población afectada en estudios posteriores, para obtener resultados más completos en materia de prevención.

## 6. Conclusiones

En la presente investigación desarrollada en las Subunidades Ambientales Faja Fluvial del río Ctalamochita y Paleollanura de Inundación se determinó la vulnerabilidad ambiental en áreas rurales del ambiente fluvial Ctalamochita, Córdoba. Mediante el análisis de factores formadores del suelo (geomorfología, material originario, clima, biota y tiempo de pedogénesis) y el factor antrópico con indicadores e índices de calidad del suelo, se obtuvo una zonificación del territorio. Así, la geomorfología, tiempo de pedogénesis y la biota condicionan la vulnerabilidad natural de la Faja Fluvial, mientras que en la Paleollanura de Inundación tienen especial relevancia la biota, calidad del suelo por uso y manejo y en menor medida la geomorfología. En las Subunidades Ambientales analizadas los indicadores CO, DA, pH y RM son efectivos para evaluar la calidad de un suelo, observándose que los sitios intervenidos difieren en calidad respecto a los naturales de referencia. Las entrevistas a productores proporcionan datos valiosos sobre el uso y manejo de la tierra. Los procesos geológicos están influenciados por la dinámica del río Ctalamochita y se ven potenciados por intervenciones antrópicas. Las amenazas naturales en la Faja Fluvial incluyen inundaciones por desbordamiento del río Ctalamochita y erosión de sus márgenes, mientras que en la Paleollanura de Inundación se identifican inundaciones y anegamientos de caminos rurales.

La zonificación del territorio basada en la vulnerabilidad de las Subunidades Ambientales es fundamental para evaluar la capacidad de unidades territoriales para distintos usos. Esta metodología es sencilla de aplicar mediante factores formadores y antrópicos y replicable en las otras UAI. La identificación de las vulnerabilidades es un paso indispensable para analizar amenazas y riesgos ambientales, permite evaluar las posibilidades de implementar medidas de atenuación de accidentes en las poblaciones ribereñas, considerando la población expuesta y evaluar riesgos ambientales sobre la población y el territorio rural y urbano a nivel regional. La historia de la dinámica del sistema fluvial, así como las probabilidades de eventos de inundaciones fuertes, erosión de márgenes y anegamientos, permiten elaborar políticas integradas a nivel de cuenca.

De esta investigación surgen preguntas para futuros trabajos: ¿cómo pueden integrarse métodos de monitoreo para actualizar la zonificación de la vulnerabilidad ambiental?; ¿qué nuevos indicadores de calidad del suelo podrían incorporarse?; ¿cuáles son las mejores prácticas de manejo del suelo que podrían reducir la vulnerabilidad? Estos interrogantes, y otros, implican desafíos en el estudio de riesgos ambientales regionales y abren paso a metodologías más integradas.

## Bibliografía

- Arana, M.D., Natale, E., Ferretti, N., Romano, G., Oggero, A., Martínez, G.,...Morrone, J.J. (2021). *Esquema bio-geográfico de la República Argentina*. Opera lilloana, 56, 1-238.
- Ayala-Carcedo, F.J. (2002). El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.
- Becker, A. (2017). ¿Qué son los indicadores? Capítulo I. Aspectos Generales. En M.G. Wilson (Ed.), *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina* (1a ed., pp. 19-22). Entre Ríos: Ediciones INTA.
- Blake, G.R., y Hartge, K.H. (1986). Bulk density. En A. Klutr (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods* (5, pp. 363-375). Madison, Estados Unidos.
- Boletta, P.E., Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M., y Grilli, M. (2006). Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, 228(1-3), 108-114. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.045>
- Bonalumi, A., Martino, R., Sfragulla, J. A., Carignano, C., y Tauber, A. (2005). Hoja Geológica 3363-I Villa María, Provincia de Córdoba. *Boletín*, 347.

- Bonansea, M., Bazán, R., Germán, A., Ferral, A., Beltramone, G., Cossavella, A., y Pinotti, L. (2021). Assessing land use and land cover change in Los Molinos reservoir watershed and the effect on the reservoir water quality. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103243. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103243>
- Bosnero, H., Pappalardo, J., Sanabria, J., Carnero, M., y Bustos, V. (2006). *Carta de Suelos de la Rep. Argentina, Hoja 3363-9, Villa María, Escala 1:50.000*. Convenio Agencia Córdoba Ambiente-INTA.
- Bran, D.E., Gaitán, J.J., y Wilson, M. (2017). Los indicadores de calidad de suelo como un componente de la sustentabilidad de los agroecosistemas. Capítulo I. Aspectos Generales. En M.G. Wilson (Ed.), *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina* (1 ed., pp. 15-18). Entre Ríos: Ediciones INTA.
- Cantú, M.P. (1992). Holoceno de la provincia de Córdoba. En M. Iriondo (Ed.), *El Holoceno de la República Argentina* (pp. 1-16). Buenos Aires: CADINQUA, INQUA-AGA-CONICET.
- Cantú, M.P., Becker, A., Bedano, J.C., y Schiavo, H.F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencias del Suelo*, 25(2), 173-178.
- Carignano, C., Kröhling, D., Degiovanni, S., y Cioccale, M. (2014). Geomorfología. *Geología del Cuaternario, Geomorfología y Cambio Climático*. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, Córdoba.
- Carnicelli, G., Cossavella, A., Lubrina, E., OMill, P., Rodriguez, I., y Roqué, M. (2018). Estudio de calidad de agua para diversos usos en el Río Tercero (Ctalamochita) Córdoba. *4to Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos*. Buenos Aires.
- Castoldi, L.R., y Emiliani, E.I. (2016). *Evaluación de la calidad de un suelo representativo de la Paleollanura de Inundación en agroecosistemas de Villa María, Córdoba* (tesis de grado). Universidad Nacional de Villa María, Córdoba, Argentina.
- Celis, A. (2008). Documento país en avance: riesgos de desastres en Argentina. En *Documento país en avance: Riesgos de desastres en Argentina*. Centro Estudios Sociales y Ambientales.
- Cisneros, J., Degiovanni, A., Gil, H., Cantero, J.J., Cantero, A., Rang, S.,... Vigliocco, M. (2001). *Propuesta de Creación de los Distritos de Ordenamiento Ambiental: Gral. Levalle - Río Bamba - Laboulaye y Rosales - Leguizamón - Villa Rossi*. Convenio UNRC-Dirección de Saneamiento Obras Hidráulicas de la Provincia de Buenos Aires.
- Córdoba, F. (2012). *El registro climático del Holoceno tardío en latitudes medias del SE de Sudamérica: Limnogeología de las Lagunas Encadenadas del Oeste, Argentina* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Cossavella, A. M., Carranza, P., Oroná, C., Monarde, F., Larrosa, N., Nadal, F.,...Díaz, A. (2013). Gestión de efluentes líquidos en la cuenca del río Tercero (Ctalamochita). *XXIV Congreso Nacional del Agua*. San Juan.
- Costa, C., Massabie, A., Sagripanti, G., Brunetto, E., y Coppolecchia, M. (2014). Geología de Superficie, Neotectónica. *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*. Córdoba.
- Dasso, C.M., Piovano, E.L., Pasquini, A.I., Córdoba, F.E., Lecomte, K.L., Guerra, L., y Campodónico, V.A. (2014). Recursos hídricos superficiales. *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*. Córdoba.
- de la Casa, A., y Nasello, O. (2012). Tendencias parciales de los días de lluvia y la intensidad media anual en la provincia de Córdoba, Argentina. *Meteorológica*, 37(2), 67-77.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C.W. (2017). *InfoStat versión*. Grupo InfoStat, FCA, UNC, Argentina.
- Fernández, P.L., y Urricariet, S. (2014). Deterioro de los recursos naturales. Degradación y calidad de suelos. En P.B. Lombardo, P.L. Fernández y S. Urricariet (Eds.), *Agroecosistemas. Caracterización, implicancias ambientales y socioeconómicas* (1 ed.). Editorial FAUBA.
- Godagnone, R.E., y De la Fuente, J.C. (2014). Los recursos naturales de Argentina en un SIG. *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional Materia Orgánica y Sustancias Húmicas*. Buenos Aires.
- Gorgas, J., Sanabria, J., Bustos, V., y Rouzaut, S. (2014). Recursos Naturales: Los Suelos. *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*. Córdoba.
- Heiri, O., Lotter, A.F., y Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25, 101-110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Jackson, M. L. (1970). *Análisis Químico de Suelos*. Barcelona: Omega.
- Jenny, H. (1941). Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. Mineola.
- Jenny, H. (1980). The soil resource: Origen and behavior. *Ecological studies*, 37, 276-304.

- Lario Gómez, J., Bardají Azcárate, T., Herrera García, G., Pérez Torrado, F.J., Gutiérrez Santolalla, F., García Rodríguez, M.,...Menéndez-Duarte, R. (2017). *Introducción a los Riesgos Geológicos*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.
- Lavado, R. S. (2016). *Degradación de los suelos argentinos. Suelos y geología argentina: una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Undav Ediciones.
- Liu, X., Lee Burras, C., Kravchenko, Y.S., Duran, A., Huffman, T., Morras, H.,...Yuan, X. (2012). Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(3), 383-402. <https://doi.org/10.4141/cjss2010-058>
- Lopez, E.E., Pintos, G., Corral, M.A., y Rodríguez, A. (2021). Vulnerabilidad hídrica del gran Córdoba ante escenarios de sequías y análisis de alternativas para la provisión de agua. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 8(1), 31-39.
- Magrin, G.O., Travasso, M.I., y Rodríguez, G.R. (2005). Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic change*, 72, 229-249. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5374-9>
- Mazziotti, H.J.M. (2014). Plan de desarrollo del sudoeste bonaerense: política pública en ambientes frágiles. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional Materia Orgánica y Sustancias Húmicas. Buenos Aires.
- Ochoa, S., Reyna, T., Reyna, S., García, M., Labaque, M., y Díaz, J. M. (2016). Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(2), 95-101.
- Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Experts Group Meeting*. Recuperado de <https://digitallibrary.un.org/record/95986?ln=es&v=pdf>
- Paruelo, J.M., Guerschman, J.P., y Verón, S.R. (2005). Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia hoy*, 15(87), 14-23.
- Pennock, D., y McKenzie, N. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo, Resumen técnico*. Roma, Italia: FAO y GTIS.
- Pereyra, F.X. (2012). *Suelos de la Argentina*. Buenos Aires, Argentina: Anales N°50. SEGEMAR-AACS-GAEA.
- Pereyra, F.X. (2019). Geology and Geomorphology. En G. Rubio, R.S. Lavado y F.X. Pereyra (Eds.), *The soils of Argentina*. Springer International Publishing.
- Pereyra, F.X., y Torres Duggan, M. (Eds.). (2016). *Suelos y geología argentina: una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Undav Ediciones.
- Pérez Tovar, G.A. (2017). *Dinámica espacio-temporal (2004-2017) en el parque ecológico Distrital de humedal Capellanía en Bogotá a partir de parámetros de calidad de agua* (tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Piovano, E., Ariztegui, D., Córdoba, F., Cioccale, M., y Sylvestre, F. (2009). Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and eastern Patagonia, Argentina) during the last 13.0 ka. En F. Vimeux, F. Sylvestre y M. Khodri (Eds.), *Past climate variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and Surrounding regions: From the Last Glacial Maximum to the Holocene* (pp. 323-351). Springer-Developments in Paleoenvironmental Research Series (DPER).
- Pla, I. (2012). Problemas de degradación de suelos en América Latina: Evaluación de causas y efectos. *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito, Ecuador.
- Plencovich, M.C., Vugman, L.I., Cordon, G., Rodriguez, M., Mella, A., y Sónora, M.V. (2017). La Construcción del conocimiento en las ciencias ambientales. En EFA (Ed.), *La investigación en las ciencias ambientales*, 1 ed.
- Rodriguez, M.J. (2022). *Evaluación de la calidad de suelos mediante indicadores e índices en la región de Villa María, Córdoba* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Rodriguez, M.J., Becker, A., Grumelli, M., Bouza, P., Castoldi, L., Giaccone, C.,...Gastaldi, B. (2017b). Implementación de la geopedología para contribuir a la evaluación ambiental del Departamento General San Martín, Córdoba. *IV Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables*. Universidad Nacional de Villa María, Córdoba.
- Rodriguez, M.J., Becker, A., Grumelli, M., Bouza, P., y Conci, E. (2017a). Conformación de unidades morfopedológicas para el desarrollo de una planificación sustentable del Departamento General San Martín, Córdoba. *XX Congreso Geológico Argentino. Geología, Presente y Futuro*. San Miguel de Tucumán.

- Rodríguez, M.J., Becker, A., Grumelli, M., Pagliano L., Bedano, J. C., y Cabrera, F.S. (2014). Variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo en agroecosistemas del Centro-sur de Córdoba. *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional Materia Orgánica y Sustancias Húmicas*. Buenos Aires.
- Rodríguez, M.J., Conci, E., Becker, A., Grumelli, M., Ledesma, M.M., Rangone, A.,...Bouza, P. (2021). Environmental Risk in the Fluvio-Aeolian Plain of the Region Center of the General San Martín Department, Córdoba, Argentina. En P. Bouza et al. (Eds.), *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina: Proceedings of the Seventh Argentine Geomorphology and Quaternary Studies Congress* (pp. 244-284). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66161-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66161-8_11)
- Rubio, G., Pereyra, F.X., y Taboada, M.A. (2019). Soils of the Pampean Region. En G. Rubio, R.S. Lavado y F.X. Pereyra (Eds.), *The soils of Argentina*. Springer International Publishing.
- Salguero, J.F. (2022). *Caracterización del avance de la frontera agrícola: impacto potencial del nitrógeno en el ambiente fluvial Ctalamochita* (tesis de grado). Universidad Nacional de Villa María, Córdoba, Argentina.
- Sanabria, J., Tauber, A., Argüello, G., Morrás, H., Moretti, L., Krapovickas, J.,...Zahn, E. (2014). Paleosuelos del Holoceno en el área de Los Gigantes, Sierra Grande de Córdoba, Argentina. *XIX Congreso Geológico Argentino*. Córdoba.
- Soil Survey Staff. (2014). *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Washington: USDA.
- Soil Survey Staff. (2017). *Soil Survey Manual*. Handbook 18. Washington: USDA.
- Zinck, A. (2005). Suelos, información y sociedad. *Gaceta ecológica*, 76, 7-22.
- Zinck, A. (2012). *Geopedología: elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales: Enschede*. The Netherlands, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation.

## Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Nacional de Villa María (UNVM) y Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza (UTN-FRM) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

## Contribución de autorías

Eliana Conci: conceptualización, metodología, investigación, organización y análisis formal, y redacción original. María Jimena Rodríguez: conceptualización, metodología, investigación, análisis y redacción; Analía Rosa Becker: supervisión metodológica y análisis; María Micaela Ledesma: investigación, análisis de datos espaciales, elaboración de mapas y redacción; Aldo Fernando Rangone: supervisión metodológica y análisis de datos sociales; Julieta Fabiola Salguero: análisis y redacción.

## Financiación

Este trabajo fue financiado por el Proyecto de investigación "Evaluación de riesgos ambientales en agroecosistemas de la región central del departamento General San Martín, Córdoba" 2018-2019, Res. Rect. N° 615, Universidad Nacional de Villa María (UNVM), Argentina. También, con recursos humanos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.