

# El sellado antropogénico del suelo. Análisis bibliométrico

## Anthropogenic Soil Sealing. Bibliometric Analysis

EMILIO JOSÉ ILLÁN-FERNANDEZ<sup>1</sup>  0000-0002-5793-5152

ALFREDO PÉREZ-MORALES<sup>1</sup>  0000-0001-7532-8711

ASUNCIÓN ROMERO-DÍAZ<sup>1</sup>  0000-0003-1355-4160

<sup>1</sup> Departamento de Geografía. Universidad de Murcia. España.

### Resumen

El sellado antropogénico constituye uno de los principales procesos de degradación física de los suelos y tiene como principal resultado su impermeabilización, con efectos negativos muy importantes. Los estudios sobre este tema son relativamente recientes, apareciendo las primeras investigaciones relevantes a finales del siglo XX. Sin embargo, no se ha realizado, hasta ahora, ningún estudio que analice su evolución. Por este motivo, se llevó a cabo un análisis bibliométrico de las publicaciones relacionadas con esta materia a nivel internacional a partir de las bases de datos Web of Science y Scopus en el periodo 2000-2019. Los resultados muestran cómo el número de trabajos ha ido aumentando de manera significativa hasta 2017, alcanzando tal relevancia que diferentes organizaciones gubernamentales propusieron acciones para la mitigación de sus efectos. Además, fue posible evidenciar qué autores son especialistas en el tema, qué países han realizado más estudios (China, EEUU y países europeos), y se ha obtenido una clasificación de las principales líneas temáticas que exponen las tendencias actuales. Finalmente, se ha establecido una hipótesis sobre su estancamiento en los últimos años por la aparición de las denominadas infraestructuras verdes.

Palabras clave: sellado antropogénico de suelo; análisis bibliométrico; indicadores bibliométricos; producción científica; degradación de suelos

#### Fechas • Dates

Recibido: 2021.09.23  
Aceptado: 2022.01.28  
Publicado: 2022.03.01

#### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Emilio José  
Illán-Fernandez  
[emiliojose.illan@um.es](mailto:emiliojose.illan@um.es)

## Abstract

Anthropogenic sealing is one of the main processes of physical degradation of soils and its main result of this process is waterproofing, with significant negative effects. Studies on this problem are relatively recent, with the first relevant research appearing at the end of the 20th century. However, until now, no study has been carried out to analyse its evolution. For this reason, a bibliometric analysis of the publications related to this subject at international level was carried out using Web of Science and Scopus databases for the period 2000-2019. The results show how the number of works has increased progressively until 2017, reaching such relevance that different governmental organisations proposed actions to mitigate its effects. In addition, it was possible to show which authors are specialists in this subject, which countries have developed these works the most (China, USA and European countries) and a classification of the main thematic lines was obtained. Finally, a hypothesis was established regarding its stagnation in recent years due to the appearance of the green infrastructures.

Keywords: anthropogenic soil sealing; bibliometric analysis; bibliometric indicators; scientific production; soil degradation

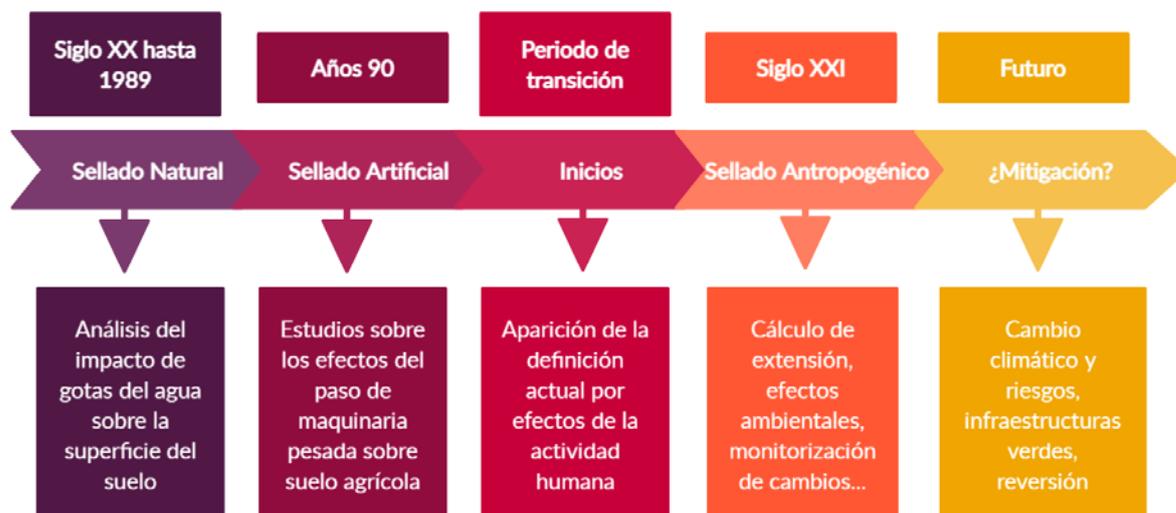
## 1. Introducción

En las últimas décadas, los cambios producidos en los usos y cubiertas del suelo son notables. Mientras que la cubierta del suelo hace referencia a los aspectos biofísicos presentes en la superficie, ya sean naturales o inducidos por el hombre, los usos se corresponden con la utilización del suelo desde una perspectiva antrópica (Di Gregorio, 2005). Es de destacar, principalmente, el aumento de las superficies artificiales como consecuencia de la urbanización (viviendas, equipamientos, industria, vías de comunicación, etc.) y con ello, el sellado del suelo (Deng et al., 2009; Rounsevell et al., 2006; Seto & Shepherd, 2009). Dicho proceso, y su generalización a escala global, afecta de forma directa a las funciones básicas del suelo, acrecentando otros problemas como pueden ser la pérdida de biodiversidad, contaminación, degradación edáfica o los efectos del cambio climático (Valera-Lozano et al., 2011). El aumento de los usos sellantes es debido, en gran medida, al crecimiento de las áreas urbanas (mayor dinamismo económico y laboral, polos de atracción, despoblamiento rural, etc.); a su rápida expansión en un periodo relativamente corto de tiempo; y a su capacidad de ejercer influencia sobre otros usos adyacentes. Sin embargo, la importancia y magnitud de los estudios acerca de este fenómeno no se han puesto en valor hasta los primeros años del siglo XXI.

El concepto de sellado de suelo es relativamente nuevo, pues se desarrolló desde finales del siglo XX. Desde entonces, su interés y relevancia científica aumentó, adquiriendo una importancia considerable en multitud de campos científicos. Pese a que se trata de un concepto reciente, ha experimentado una evolución rápida en cuanto a su significado (Figura 1).

En un primer momento, el sellado se entendía como un proceso natural en el que las gotas de lluvias intensas impactaban sobre la superficie del suelo, propiciando su compactación. Este proceso tiene como resultado una serie de cambios en su capacidad de infiltración, desde las capas superiores a las inferiores (Jones & Montanarella, 2001; Levy et al., 1994; Mualem et al., 1990).

Figura 1. Evolución del concepto de sellado de suelo



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, el objeto de estudio de los posibles sellados del suelo se centraba en aquel producido sobre áreas agrícolas (Hamza & Anderson, 2005; Ramos et al., 2000; Shainberg et al., 1992). De esta manera, se clasificaba como un proceso más de degradación de suelos por compactación, ocasionado fundamentalmente por el uso de maquinaria pesada sobre el suelo natural, que daba como resultado una pérdida de actividad biológica y capacidad de infiltración (García-Alvarado et al., 2014; Jones & Montanarella, 2001).

Más tarde, a finales de los años 90 del siglo XX y comienzo del XXI, se le comienza a relacionar, casi exclusivamente, con aquel derivado de la actividad humana no agrícola, como la industria, las infraestructuras y equipamientos, o la expansión urbana (Añó-Vidal et al., 2005). Es entonces cuando se consolida como tal el sellado antropogénico del suelo (SAS en adelante). En este sentido, no será hasta 2001 cuando la Comisión Europea a través de la Agencia Europea del Medio Ambiente defina este concepto de forma oficial como “la cobertura del suelo mediante la urbanización y la construcción de infraestructuras, de modo que el suelo ya no puede realizar las funciones básicas asociadas a él” (EEA, 2001). También ha sido definido por otros autores como “la destrucción o cubrimiento del suelo mediante edificios, construcciones u otras capas de material total o parcialmente impermeable, tales como asfalto, cemento, plásticos, etc., siendo este un proceso prácticamente irreversible” (Bernard, 2012), resultante de procesos de urbanización y cambios en los usos del suelo (Scalenghe & Marsan, 2009), como puede ser de agrícola a industrial o urbano.

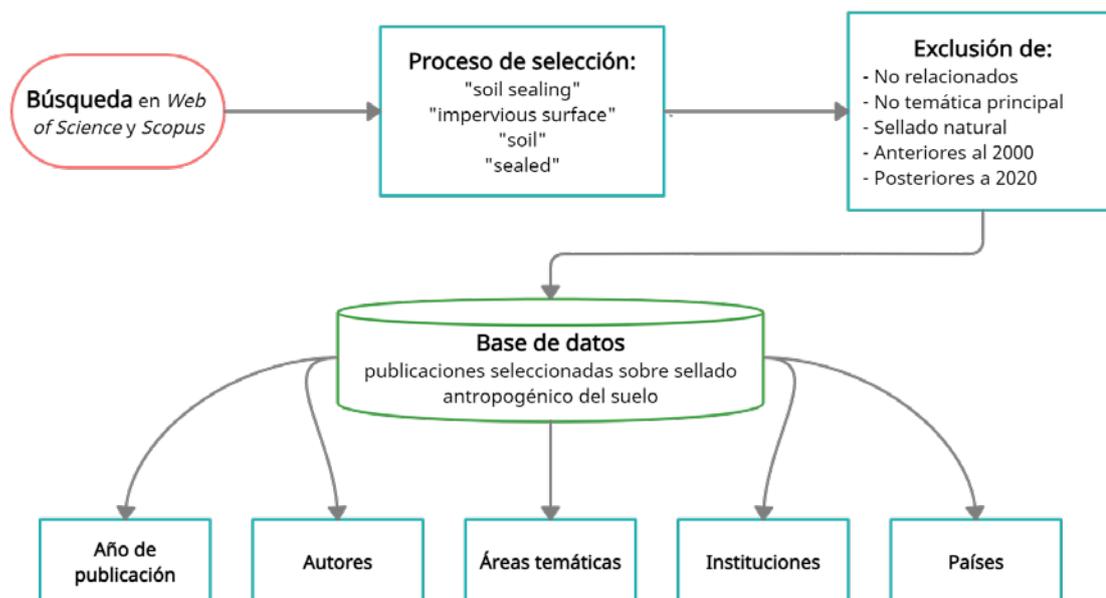
El objetivo de este trabajo ha sido analizar, a diferentes escalas (global, europea y española), las características de los estudios que sobre el SAS se han realizado en las últimas dos décadas.

## 2. Metodología

El análisis bibliométrico se extiende desde el 01/01/2000 hasta el 31/12/2019. Estas fechas han sido escogidas para tener un periodo lo suficientemente largo como para observar tendencias y

se acotan entre la aparición de los primeros trabajos relevantes hasta alcanzar las dos décadas. Para ello, se siguieron los ocho pasos establecidos por Okoli & Schabram (2010) pero aplicados a las publicaciones cuya temática coincida o se relacione con el SAS. Se consideraron únicamente como válidas aquellas que, desde distintas disciplinas, estudien o analicen esta temática como objeto principal. También se llevó a cabo el descarte de aquellas que se correspondían parcialmente o que solo mencionaban el fenómeno sin profundizar en la materia. Todo este proceso se distribuyó en tres etapas (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de trabajos sobre sellado antropogénico.



Fuente: Elaboración propia.

Etapa 1: pasos 2 (establecimiento del método) y 3 (búsqueda) de la guía de Okoli & Schabram. Consistió en la selección de publicaciones científicas utilizando la información proporcionada por Web of Science (WoS en adelante) y Scopus, debido a su extensa base de datos y fácil acceso. Existe una gran variedad de términos para este fenómeno, principalmente porque el concepto SAS puede ser denominado de forma diferente (“soil sealing”, “impervious surface”, “urban sprawl”, “urbanization”, “urban growth”, “build-up”, “land take”...) en función de la parte del mundo donde se estudie. Así, mientras que en países europeos es más común utilizar la denominación “soil sealing” o “land take”, en el resto predomina el uso de “impervious surface” o “urbanization”, aunque este último se aplica en estudios sobre crecimiento urbano. Una vez consideradas estas singularidades, se procedió a una búsqueda por términos, realizada el 3 de Julio de 2020, utilizando las siguientes palabras clave: “soil sealing”, “impervious surface”, “soil” y “sealed”. Finalmente, se seleccionaron aquellas publicaciones que aparecieron en la búsqueda con estos requisitos específicos tanto en títulos, resúmenes y palabras clave. Al mismo tiempo, se realizó una búsqueda complementaria con el término “green infrastructure” para comparar la posible tendencia de los trabajos sobre SAS en los últimos años.

Etapa 2: pasos 4 (selección de publicaciones) y 5 (exclusión de aquellas no científicas). En la segunda fase se ha realizado un cribado de investigaciones, descartándose aquellas que no tuvieran relación directa con la temática pese a su aparición en la búsqueda. Este proceso se realizó

mediante la lectura de sus resúmenes ya que, en numerosos casos, no tratan el SAS como asunto central. En consecuencia, no fueron escogidas las publicaciones que únicamente explican de forma somera el SAS o que aportaban otra visión diferente, como pueden ser estudios sobre su mitigación o soluciones de sus efectos. También se excluyeron aquellas que estudian el sellado de tipo natural, puesto que nuestro interés se centra en el sellado propiciado por el ser humano y sus actividades. Además, se acotó el periodo de selección por años de publicación, centrándonos entre el inicio del año 2000 y el final de 2019. Este lapso de tiempo seleccionado es debido a que, tras efectuar la búsqueda realizada en el paso anterior, se observó que los estudios sobre SAS son casi inexistentes en años previos al 2000.

Etapa 3: pasos 6 (extracción de datos), 7 (síntesis) y 8 (redacción de resultados). Por último, se procedió a la obtención de la información proporcionada por WoS y Scopus sobre cada una de las publicaciones finalmente seleccionadas. Se llevó a cabo un análisis en función de los indicadores elegidos y se procedió a la transcripción de los resultados.

Siguiendo otros estudios bibliométricos (Bordons, 1999; Wu *et al.*, 2015; Romero-Díaz, 2016; Campos-Sánchez, 2017; Camargo *et al.*, 2019), se emplearon los siguientes indicadores de la actividad científica: 1) evolución de las publicaciones, 2) áreas de investigación, 3) autores principales, 4) países y centros de investigación y 5) clasificación de las publicaciones según líneas temáticas. Así pues, una vez realizado el análisis, se pudo obtener una visión general de la investigación sobre el sellado antropogénico del suelo. Por último, se reflexiona de forma crítica sobre dicha evolución.

### 3. Resultados

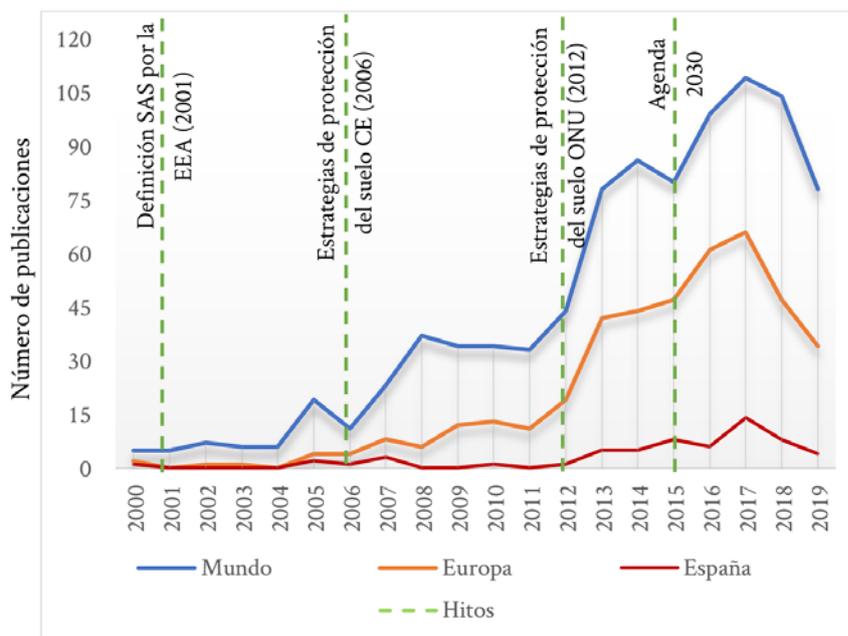
Las publicaciones que cumplían los requisitos establecidos han sido 1073, de las cuales 502 se encuentran indexadas en WoS y 571 en Scopus.

#### 3.1. Evolución de las publicaciones

El progreso de los trabajos sobre SAS (Figura 3) es semejante a nivel español, europeo y global, si bien es cierto que la multiplicación de las investigaciones se origina con algunos años de anterioridad en el resto del mundo con respecto a España y Europa. Además, la existencia de ciertos hitos o eventos (línea verde discontinua) parecen influir en la variación de publicaciones.

En este sentido, mientras que el aumento significativo de divulgaciones a nivel mundial aparece a partir de 2004 y, sobre todo, desde 2006, se evidencia cómo Europa no comienza a indagar a un mayor ritmo sobre el SAS hasta 2007-2008, cuando la tendencia es claramente alcista. Al mismo tiempo, se observa un incremento general en España, aunque con una inclinación a la baja durante los últimos años, al igual que a nivel europeo y global.

Figura 3. Evolución del número de publicaciones sobre sellado antropogénico en España, Europa y resto del mundo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

Esta variación anual de publicaciones puede haberse producido por diferentes motivos, entre ellos la legislación vigente o la aparición de nuevas tendencias de investigación. A nivel europeo, a principios de los años 2000, tiene lugar una mayor preocupación por cuestiones ambientales, entre ellas el SAS: en 2001 se define el sellado de suelo, por parte de la Unión Europea (UE), como un problema creciente (EEA, 2001) y en 2002 se establece el objetivo de un uso sostenible del suelo para reducir su aumento (Comisión Europea, 2002). En 2006 se avanza en la necesidad de una legislación comunitaria sobre este problema y se establecen estrategias de protección mediante políticas nacionales y promoción de su investigación (Comisión Europea, 2006a, 2006b). Es entonces cuando se comienza a distinguir un crecimiento en el número de investigaciones sobre SAS.

Más tarde, en 2012, y tras ser rechazada la propuesta de 2006 por algunos países miembros de la UE, se procede a la aplicación de la estrategia temática para la protección del suelo aprobada por la ONU (Naciones Unidas, 2012). Esto, junto con la publicación por parte de la Comisión Europea de la estrategia europea para la mitigación de sus efectos (Comisión Europea, 2012), tiene como resultado el repunte de estudios existente en todas las escalas. Asimismo, la conferencia de las Naciones Unidas Rio+20 de 2012 (Naciones Unidas, 2012) junto con la Agenda 2030 para un desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2015), impulsan dicho aumento, pues enfatizan la necesidad de abordar la problemática de la desertificación y de la degradación de suelos, en todas sus expresiones, desde una perspectiva global.

No obstante, gobiernos de diversos países, entre los que se destacan Estados Unidos y China, siguieron el camino contrario con respecto a los europeos. En el primer caso, Estados Unidos no elaboró ningún tipo de ley federal para mitigar los efectos del SAS, sino que estableció recomendaciones y dejó en manos de los gobiernos locales el establecimiento de normas. Estas no fueron muy desarrolladas, lo que propició la continuidad del problema y de sus efectos (Sung et al., 2013). Por otro lado, China fue modificando diferentes políticas con respecto al suelo: en 2004 es-

tableció una reforma de la ley de ordenación territorial para evitar un crecimiento desmesurado de la urbanización (Chen, 2007) y en 2014 se publicó el Nuevo Plan Nacional de Urbanización. No obstante, ambos países se centran en la protección de los suelos con el fin de un mayor desarrollo agrícola y no con el propósito de mitigar los efectos del SAS. Así, tanto EEUU como China tienen una gran producción científica pero debido, probablemente, a los problemas derivados de una legislación laxa que permite la rápida expansión del SAS, pues la mayoría se centran en su cuantificación y evolución.

Aun así, en cuanto a los tres niveles comparativos, la disminución de publicaciones relacionadas con esta temática desde 2017 es evidente. El cambio de la perspectiva social e investigadora sobre el SAS puede verse reflejado en ese descenso, posiblemente, por la aparición de otros enfoques que no solo lo analicen, sino que intenten aportar algún tipo de solución. Por tanto, lo importante no parece ser el problema en sí sino cómo llevar a cabo su mitigación o eliminación. Dicha variación a la hora de afrontar el SAS parece tener relación con los propósitos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, como el de minimizar o mitigar los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas o ciudades y el desarrollo de comunidades y ciudades sostenibles (Naciones Unidas, 2015). Si se tiene en cuenta que el SAS incrementa los impactos del cambio climático, es factible suponer que uno de los posibles motivos de tal decrecimiento es la proliferación de publicaciones que surgen con el fin de paliar sus efectos. De este modo, al añadir uno de los términos más empleados para referirnos a la solución de tales consecuencias, como es el de la creación de “infraestructuras verdes” (*green infrastructure*), se visualiza un proceso que podría explicar el descenso en cuanto a publicaciones exclusivas sobre SAS. No obstante, estas referencias no han sido incluidas en este análisis, ya que su objeto no es dar a conocer o explicar la problemática, sino aportar soluciones.

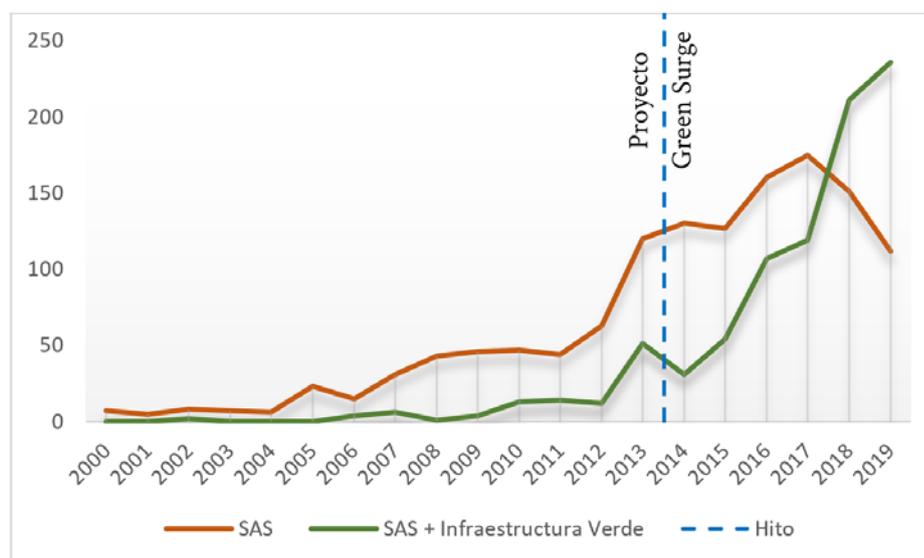
Las infraestructuras verdes son un concepto relativamente nuevo en términos de planificación, basado en una red hidrológica y de drenaje cuya función es complementar y vincular las áreas verdes relictas en áreas edificadas (Ahern, 2007; Mell, 2008). Su aplicación parece relevante, con proyectos como el *Green Surge* de la Comisión Europea, pues se intentan resolver los principales efectos negativos de la urbanización. Su objetivo principal era, entre otros, propiciar la adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad (Pauleit et al., 2019), elementos derivados o magnificados por el SAS.

Por tanto, pese a tener ambos conceptos una evolución similar, se observó un punto de inflexión entre 2017 y 2018 (Figura 4). Parece producirse el mismo efecto que en la Figura 3, con una subida de las publicaciones sobre infraestructura verde propiciada, probablemente, por el proyecto *Green Surge*.

Es a partir de entonces cuando las publicaciones con algún tipo de infraestructura verde como método de mitigación del SAS despuntan, demostrando una relación ente ambos conceptos. Además, ese incremento se acentúa al descender el número de trabajos que solo tratan el fenómeno. Este cambio en cuanto a la visión del problema puede haberse visto respaldado por un aumento de la conciencia ecológica a nivel mundial o regional, tal y como demuestran diferentes encuestas o estudios. En el caso europeo, la opinión pública en cuestiones relevantes o retos a los que se enfrenta la UE se mide a través de la herramienta del Parlamento Europeo conocida como *eurobarómetro*. En los últimos informes sobre la actitud ciudadana hacia el medio ambiente, más del 90 % de los 27.500 encuestados de todos los países miembros consideran esencial la protección del medio ambiente (Comisión Europea, 2020), el 93 % cree que el cambio climático es un

problema serio (63 % en 2009) y el 62 % opina que es necesario realizar acciones de adaptación y mitigación (Comisión Europea, 2021). Resultados semejantes aparecen en EEUU, con un aumento de la preocupación sobre las consecuencias del cambio climático del 51 % en 2009 al 66 % en 2020 (Ballew et al., 2019; YPCCC & Mason 4C, 2020). Así, una mayor preocupación sobre una cuestión específica (en este caso, el medio ambiente) proviene de la existencia de un problema real y, generalmente, tiene un impacto en cuanto a las investigaciones sobre ese aspecto. En este sentido, la definición del término *Antropoceno* así como la aparición de la expresión *Cambio Global* a principios del siglo XXI parece afianzarse entre la población con años de retraso tras observarse sus principales efectos nocivos, según se advierte en las encuestas. El primer concepto se entiende, según Paul Crutzen, como la era geológica donde el ser humano controla los procesos de la biosfera; mientras que el segundo se refiere a los cambios producidos por las actividades de origen antropogénico y que afectan al planeta (Duarte et al., 2006). En definitiva, estas expresiones ponen nombre a hechos hasta entonces no observados o no tenidos en cuenta y, por tanto, parece razonable relacionar la alteración del estudio del SAS desde una perspectiva vinculada a su mitigación y la adaptación de sus consecuencias con respecto al cambio global. Este nuevo punto de vista es, seguramente, debido a un incremento en la conciencia ambiental de la sociedad actual, siendo esta probablemente la razón del estancamiento del concepto considerado hasta ahora como objeto de análisis.

Figura 4. Comparación de publicaciones totales sobre sellado antropogénico de suelo e infraestructura verde.

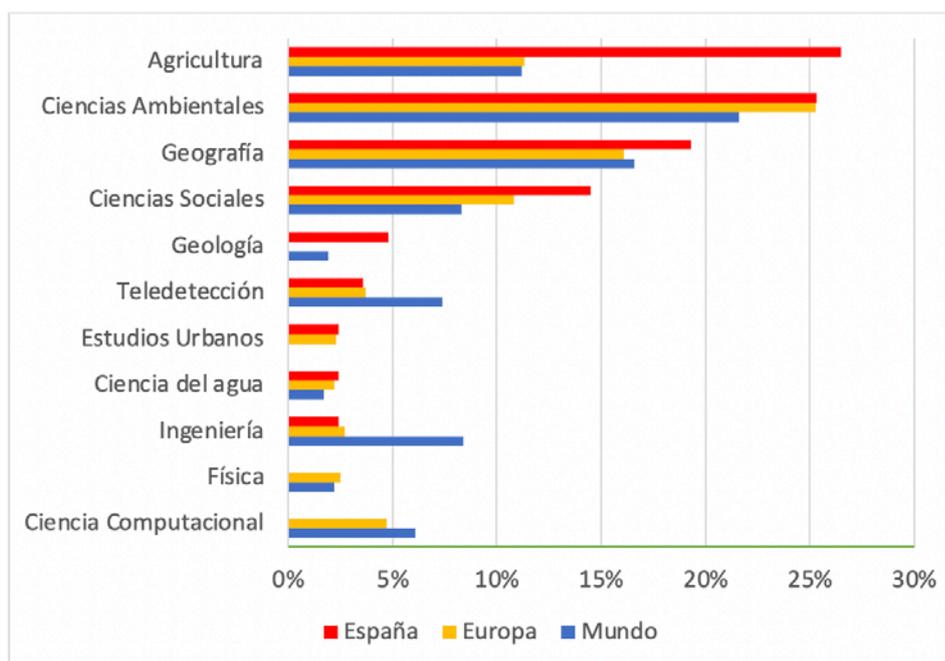


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

### 3.2. Áreas de investigación

El estudio del suelo es interdisciplinar y puede ser analizado por distintos campos de la investigación, no solo desde las áreas más comúnmente relacionadas. En este caso (Figura 5), no solo se centran en aquellas como pueden ser la agricultura o las ciencias ambientales, sino que existe una variabilidad en cuanto a estudios desde distintas ramas del conocimiento. En total, se encontraron más de 30 áreas diferentes, aunque solo se ven representadas aquellas con un número de publicaciones relevante.

Figura 5. Publicaciones por áreas de investigación en España, Europa y resto del mundo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

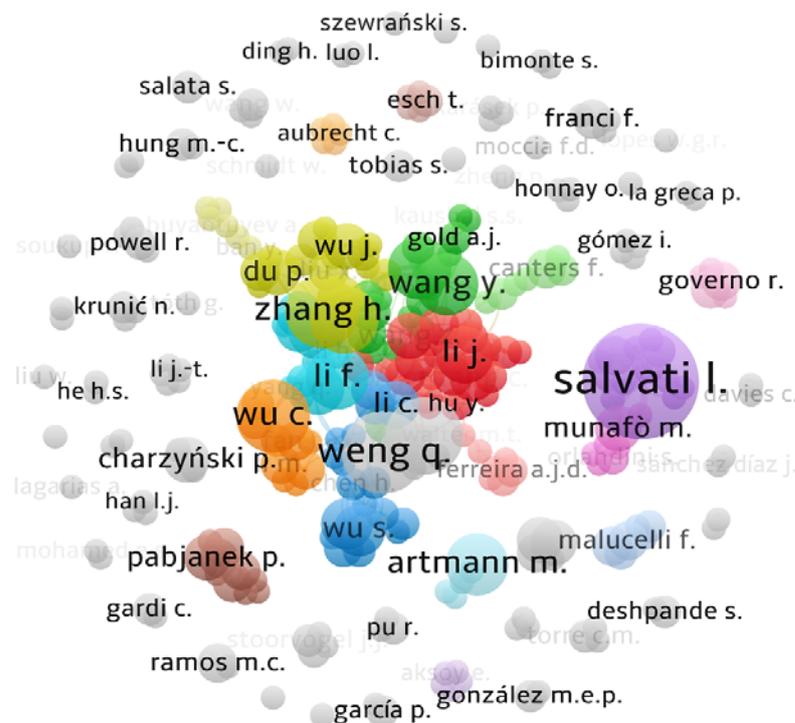
Las áreas de investigación que mayor número de publicaciones tienen sobre SAS en España, están principalmente relacionadas con el estudio de la superficie terrestre y sus usos: agricultura (26,5 %), ciencias ambientales (25,3 %), geografía (19,3 %) y las ciencias sociales (14,5 %), sumando aproximadamente el 85 % del total. Sin embargo, otras materias, relativamente nuevas, aparecen en el listado, tales como los estudios urbanos (2,4 %) o la teledetección (2,6 %). Al comparar el panorama español con Europa y el mundo, la situación por áreas de investigación es similar, aunque con algunos matices. Las principales siguen siendo las ciencias ambientales, la geografía y la agricultura, con un total del 52,6 % a nivel europeo y 49,4 % a nivel mundial, pero a mucha distancia del 71,1 % que suman las mismas áreas a nivel español. Este hecho se debe a la importancia de los estudios sobre la afección del SAS a la agricultura, puesto que el desarrollo urbano ha propiciado la ocupación de suelo, en gran parte agrícola, como pueden ser las huertas del área mediterránea (Guaita, 2008).

Por tanto, a pesar de existir una similitud a diferentes escalas, en cuanto a áreas de investigación, se puede apreciar una diferencia significativa en aquellas con un alcance secundario. Así, por ejemplo, la teledetección representa un 3,6 % en España y un 3,7 % en Europa, lejos del 7,4 % que supone a nivel global. Lo mismo ocurre en ingeniería, con un 2,4 %, 2,7 % y 8,4 % respectivamente o ciencia computacional, sin representación en España, pero con un 4,7 % en Europa y 6,1 % a nivel global. En estos casos, el origen de la diferencia se debe, principalmente, a que fuera de Europa (en el resto del mundo) los estudios proceden de departamentos más tecnológicos, con el cálculo del SAS a través de diferentes índices, modelos o técnicas y su automatización (Bui *et al.*, 2019; Yang & He, 2017; Zhang *et al.*, 2014). En definitiva, existe una variabilidad geográfica en esta área de investigación, según la parte del mundo donde se encuentre el centro de investigación. Y este se basa, generalmente, según la problemática principal causada por el SAS en este entorno: aspectos ambientales y sociales en Europa e investigaciones más repartidas en el resto del mundo, con mayor énfasis en cuestiones técnicas.

### 3.3. Autores principales

Paralelamente al desarrollo de los estudios sobre SAS, se produjo un aumento en el número de científicos que han investigado sobre esta temática, ascendiendo a un total de 572. Sin embargo, la existencia de este elevado número no deriva en un reparto equitativo de trabajos. En la Figura 6 se muestran los autores más destacados en función de la cantidad de publicaciones. Cada esfera puede englobar a otros investigadores con menor número de estudios pero que están vinculados al principal y que, por razones de representación, sus nombres no son visibles. En su conjunto, se distinguen diferentes agrupaciones: aquellos con colores más fuertes, que poseen una gran red de publicaciones con elevada cantidad de coautores; los integrados por tonos más suaves, con vínculos más limitados entre ellos; y el resto, formado por grupos más reducidos o individuales y que son representados por la gama de grises.

Figura 6. Autores más destacados y sus relaciones.



Fuente: Elaboración propia en VOSviewer a partir de datos de WoS y Scopus.

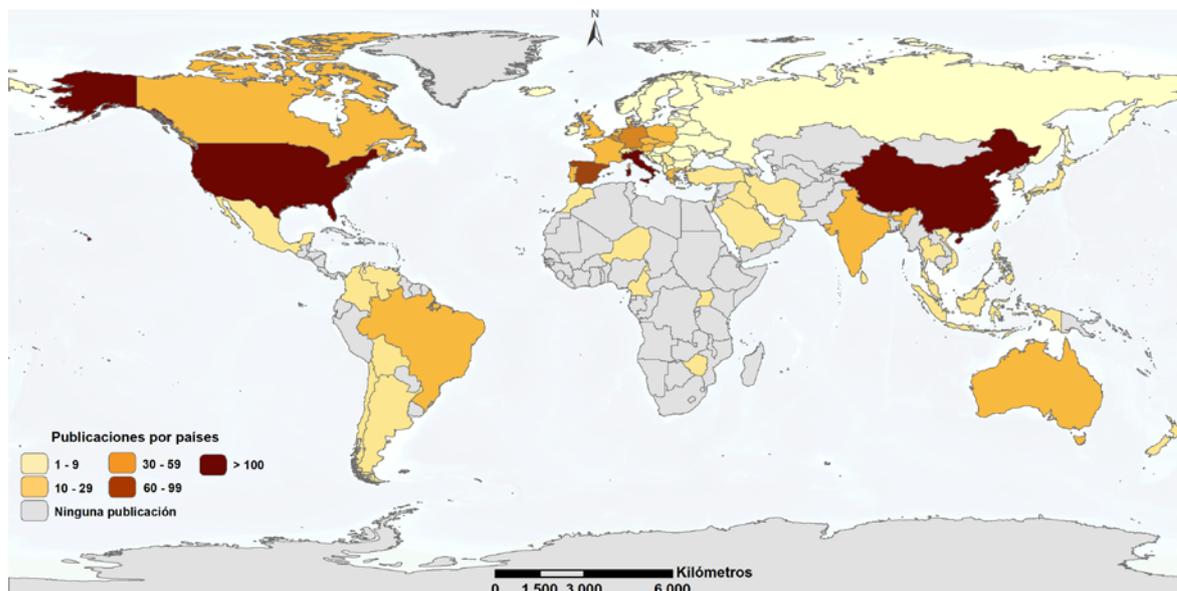
Entre todos ellos sobresale, en cuanto a número de publicaciones y a nivel global, Salvati, con más de 35 trabajos como autor principal o coautor y donde destacan los estudios llevados a cabo en Italia y España (Bajocco *et al.*, 2012; Cuadrado-Ciuraneta *et al.*, 2017; Munafò *et al.*, 2013). Le siguen Weng y Lu, con entre 15 y 20 publicaciones cada uno, con divulgaciones conjuntas sobre la clasificación de superficies artificiales en entornos de transición urbanos (Lu & Weng, 2007; Weng, 2012; Lu & Weng, 2006; Weng & Lu, 2008). Finalmente, es de resaltar las contribuciones de las españolas Pérez-González y García-Rodríguez, con alrededor de 15 publicaciones y que, junto con García-Alvarado, forman un grupo de investigación muy destacable, no solo a nivel español sino también internacional (García-Alvarado *et al.*, 2014; García-Rodríguez y Pérez-González, 2007; García-Rodríguez & Pérez-González, 2014), centrándose especialmente en estudios sobre el SAS en la Comunidad de Madrid.

### 3.4. Países y centros de investigación

La existencia de numerosos centros de investigación distribuidos a lo largo de todo el mundo revela el interés suscitado por esta materia. Al igual que con los autores, el reparto no es equitativo por países o continentes, pues estos se encuentran diseminados en zonas muy específicas del globo. En total, 62 países han participado, hasta el momento, en algún tipo de investigación sobre el SAS, aunque con una gran variabilidad respecto a su cuantía. De entre todos estos países, 28 pertenecen a Europa, 18 a Asia, 9 a América, 5 a África y 2 a Oceanía. Asimismo, es en aquellos considerados como más avanzados y con una gran concentración poblacional en áreas urbanas y periurbanas, donde existe un mayor interés en el estudio del SAS. De hecho, es en Europa donde se produce la mayor concentración de trabajos, con alrededor del 46 % de todas las investigaciones, seguido de Asia con casi el 26 % y América con el 22 %.

En términos absolutos por países (Figura 7), el ranking mundial se encuentra encabezado por China, que destaca sobre el resto con un total de 217 publicaciones (20,2 %), seguido por Estados Unidos con 182 (17 %) e Italia con 141 (14,1 %). En cuarta posición aparece España con un total de 60 publicaciones (5,6 %), y muy de cerca Alemania, con 54 (5 %). Por tanto, solo entre estos 5 países se concentra el 61 % de la investigación sobre SAS en el mundo. El resto de naciones, a excepción de Bélgica con 31, tienen menos de 30 publicaciones: 6 estados se sitúan en la franja entre 20 y 29, 8 entre 10 y 19 y los demás han aportado menos de 9 publicaciones.

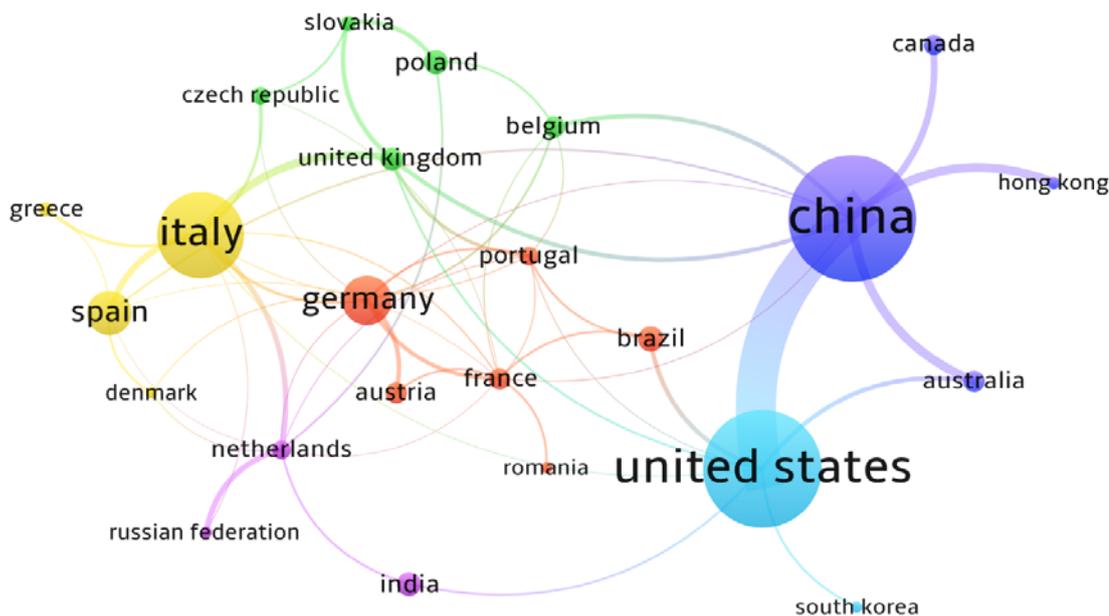
Figura 7. Mapa de distribución de publicaciones en el mundo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

Si se analizan aquellos situados en las primeras posiciones, es posible observar los nexos existentes (Figura 8). Así, China y Estados Unidos muestran una relación realmente intensa con una elevada cantidad de investigaciones conjuntas sobre SAS, aunque es el país asiático el que se vincula más con otras naciones occidentales. Por otro lado, el resto de países, casi todos europeos, evidencian la existencia de una red notable de publicaciones, si bien no tan potente como el caso anterior.

Figura 8. Principales países según publicaciones y vínculos.



Fuente: Elaboración propia en VOSviewer a partir de datos de WoS y Scopus.

Sin embargo, esta concentración de los estudios en un número relativamente escueto de países no es casual. Aunque, por un lado, existen motivos relacionados con el nivel de desarrollo socioeconómico del país, uno de los factores clave es el valor que se le da al suelo y sus funciones.

Si se tiene en consideración lo expuesto en el apartado 3.1 respecto a la opinión pública sobre el medio ambiente y la normativa aplicada en algunos países, se observa una relación con la cantidad de publicaciones. Los países más productivos son aquellos en los que los aspectos ambientales tienen una importancia significativa en términos sociales y científicos y que, además, se sustentan bajo un apoyo gubernamental mediante legislación. Por ejemplo, mientras que en China la mayor preocupación es la afección agrícola por pérdida de superficie de suelo fértil y contaminación debido al desarrollo urbano (Shi et al., 2016; Gong et al., 2019), Estados Unidos se centra en los efectos producidos por el *urban sprawl* (Jantz et al., 2005; Weng & Lu, 2008; Sexton et al., 2013). En contraposición, Europa estudia los efectos negativos a nivel medioambiental (contaminación, pérdida de biodiversidad, etc.) y de riesgos (inundación, isla de calor, etc.) (Artmann, 2015, Pistocchi et al., 2015).

No obstante, es necesario aclarar que un mayor número de publicaciones por país no significa la existencia directa de una mayor producción científica; es decir, países con una menor población pueden tener un número de trabajos inferior, pero ello no indica que su nivel de investigación sea bajo. Lo interesante radica en poder ajustar la situación de cada país a través de indicadores para no distorsionar la realidad. Para ello, y basado en otras publicaciones (Inönü, 2003; Meo et al., 2013), es posible evaluar la ciencia desde una perspectiva más objetiva a través de índices como las publicaciones por millón de habitantes.

Así, en la Tabla 1 se muestra mediante un indicador de publicaciones, por millón de habitantes y por países, la producción científica sobre SAS, pudiendo ser comparados teniendo en cuenta su

población. En este caso destaca China, siendo el primer país en números totales pero que, a su vez, obtiene el índice de publicaciones por millón de habitantes de los más bajos del mundo, solo por detrás de India, donde la investigación del SAS es residual, y Brasil. Por el contrario, otros países como Austria, Bélgica o Italia sí que mantienen posiciones elevadas en la clasificación en ambas comparativas, lo que puede indicar que sí se trata de un tema más ampliamente estudiado.

Tabla 1. Publicaciones sobre SAS por millón de habitantes y país.

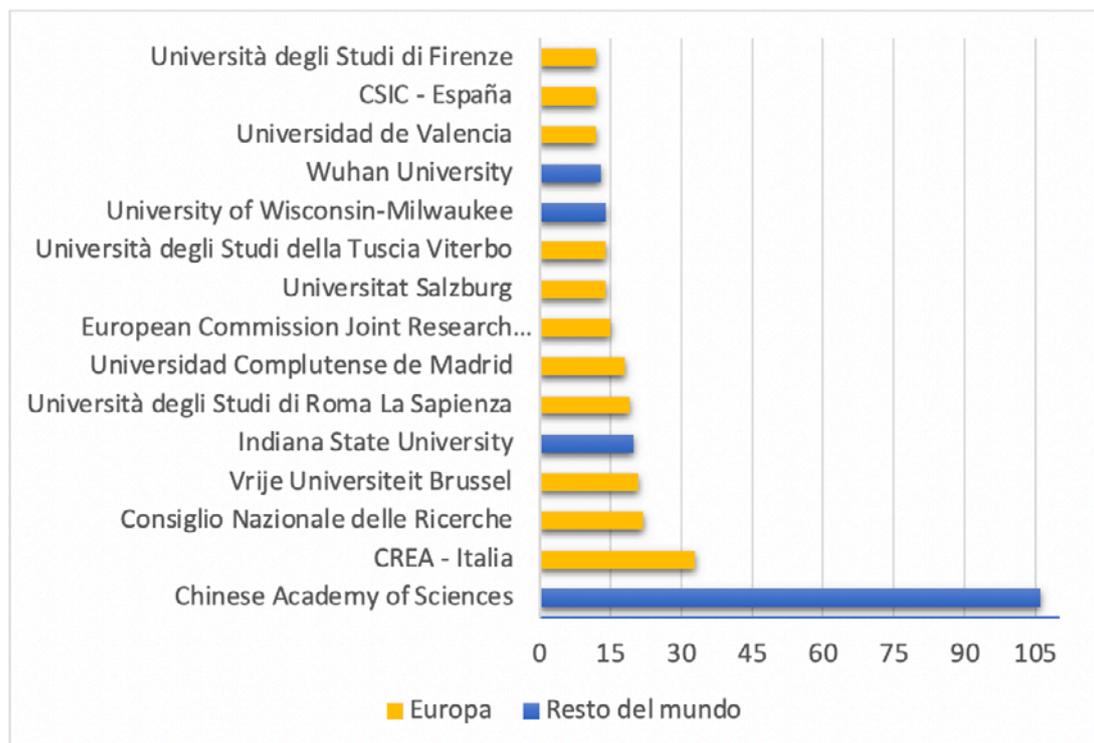
País	Artículos	Población	Artículos/Millón Hab.
China	217	1 402 112 000	0,15
Estados Unidos	182	329 484 120	0,55
Italia	141	59 554 020	2,37
España	60	47 351 570	1,27
Alemania	54	83 240 520	0,65
Bélgica	31	11 556 000	2,68
Polonia	29	37 950 800	0,76
Brasil	27	212 559 410	0,13
Reino Unido	23	67 215 290	0,34
Austria	22	8 917 200	2,47
India	20	1 380 004 390	0,01
Portugal	17	10 305 560	1,65
República Checa	17	10 698 900	1,59
Australia	17	25 687 040	0,66
Canadá	17	38 005 240	0,45
Francia	16	67 391 580	0,24
Países Bajos	15	17 441 140	0,86
Eslovaquia	13	5 458 830	2,38
Grecia	12	10 715 550	1,12
Corea del Sur	9	51 780 580	0,17
Dinamarca	8	5 831 400	1,37
Hong Kong	7	7 481 800	0,94
Eslovenia	6	2 100 130	2,86
Serbia	6	6 908 220	0,87
Suiza	6	8 636 900	0,69

(\*) Banco Mundial (2020)

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de población obtenidos del Banco Mundial (2020).

En cuanto a la localización de los centros de investigación, su ubicación se corresponde con los países con mayor índice de publicaciones. Igualmente, la existencia de una legislación más restrictiva, como puede ser en Europa, parece favorecer su consolidación. En la Figura 9 se muestran los 15 centros de investigación con más de 10 de trabajos sobre el SAS a nivel mundial, de los cuales 11 pertenecen a Europa, 2 a América y 2 a Asia.

Figura 9. Publicaciones por centro de investigación a nivel global



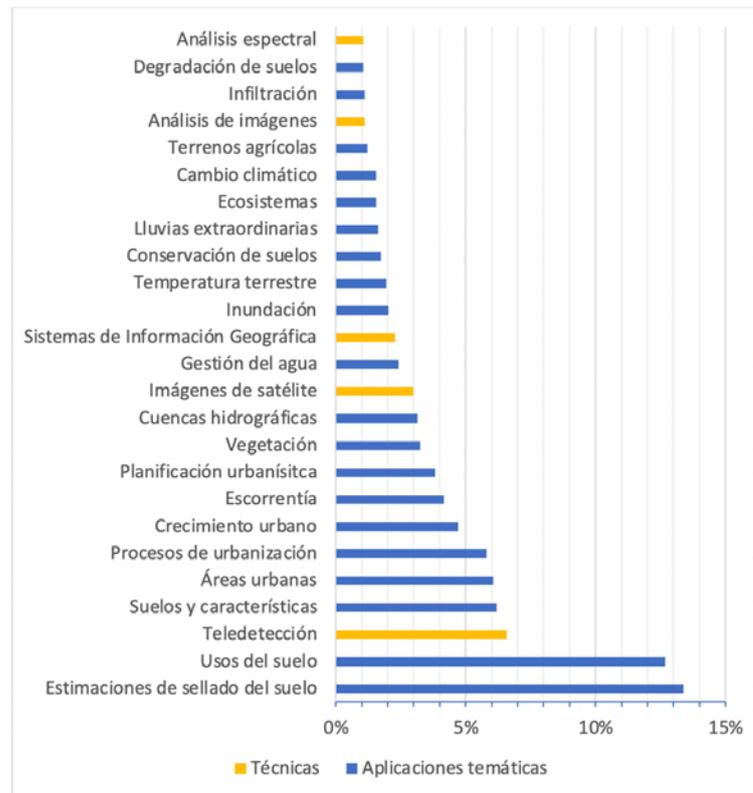
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

De entre todos, sobresale la Academia de Ciencias de China, con 106 publicaciones, la cual representa el 9,9 % de la producción mundial. Por otro lado, aunque Estados Unidos se posiciona en segundo lugar en cuanto a número de publicaciones, únicamente dos de sus universidades aparecen entre las más productivas a nivel global. Esto es debido principalmente a que, pese a que se ha originado una gran cantidad de investigaciones respecto al SAS, ningún centro se ha especializado en este campo concreto y, en general, se estudia esporádicamente. La mayoría de centros destacados se encuentran en Europa, con un número de publicaciones entre 10 y 30, pero despunta el instituto agrícola CREA de Italia, con 33 trabajos. Si se desglosan las instituciones a nivel europeo, nos encontramos que las más notorias se corresponden igualmente con los países con mayor producción científica sobre SAS: Italia ocupa el primer lugar con 5 centros de investigación, seguido de España con 3 y la tercera posición se reparte entre la Comisión Europea, la Universidad de Bruselas y la Universidad de Salzburgo.

### 3.5. Líneas temáticas de las publicaciones

El análisis temático de las investigaciones se realizó categorizando las publicaciones en función del tema principal del estudio, es decir, en qué se centran los trabajos sobre SAS. Con el objeto de reducir las categorías temáticas, se han aglutinado en 35 (Figura 10) únicamente aquellas que alcancen al menos el 1 % del total de publicaciones, sumando entre las aplicaciones y las técnicas un total de 25. La gran cantidad de líneas de investigación sobre el SAS viene a demostrar la interdisciplinariedad que existe en la materia, haciendo posible tratar un mismo problema desde distintas perspectivas.

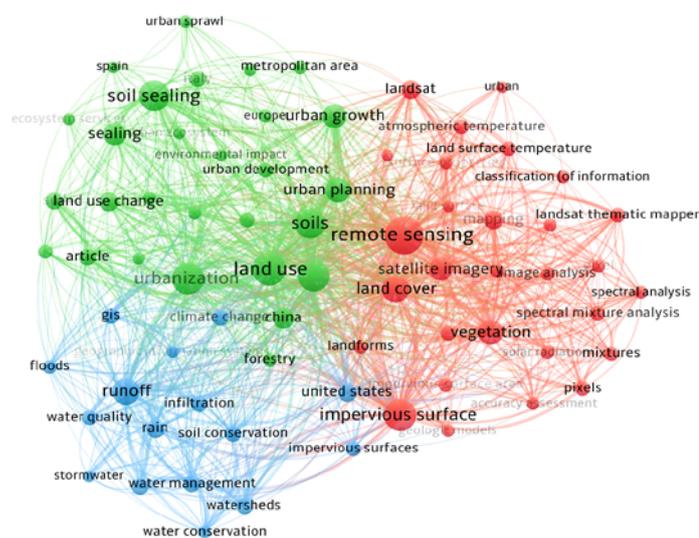
Figura 10. Principales líneas temáticas sobre SAS.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WoS y Scopus.

Además, con el análisis de las palabras clave más empleadas por los autores en sus investigaciones (Figura 11) y sus relaciones, se puede observar cuales son las tendencias en cuanto al SAS. La diferente coloración indica una categorización de términos relacionados entre sí (llevada a cabo por la propia aplicación), mientras que las conexiones muestran la existencia de vinculación entre las diferentes palabras asignadas por los investigadores.

Figura 11. Red de palabras clave.



Fuente: Elaboración propia en VOSviewer a partir de datos de WoS y Scopus.

Debido al elevado número de líneas, y teniendo en cuenta la información proporcionada por las palabras clave empleadas por los autores, se han sintetizado en 5 grandes temáticas generales: i) Degradación de suelos; ii) Uso de nuevas tecnologías; iii) Cambios hidrológicos; iv) Desarrollo urbano; y v) Cambio climático.

i) El análisis de la degradación del suelo y su influencia en los ecosistemas, debido a su impermeabilización, es uno de los temas que más han sido investigados desde sus inicios. Numerosos trabajos analizan distintos grados de sellado, con el fin de no eliminar completamente las funciones del suelo una vez sellado. Estos se realizan mediante el estudio de los impactos de diferentes superficies afectadas, como en el caso de la investigación llevada a cabo en Toruń (Polonia) por Piotrowska-Długosz & Charzyński (2015).

ii) Los estudios relacionados con la aplicación de nuevas técnicas de análisis espacial (teledetección, SIG) se centran especialmente en la estimación del SAS o en la detección de los cambios en los usos con el objetivo de monitorizarlos. En el caso inicial tenemos como ejemplo el trabajo de Wu & Murray (2003) o el de Munafò *et al.* (2013). En ellos, el primero calcula el área sellada de Columbus (Ohio) a través de imágenes Landsat mientras que, en el segundo, se realiza una estimación a escala nacional para Italia. Por otro lado, es común el estudio de los cambios de usos en áreas próximas a grandes ciudades, como en los casos de Pekín (Ding & Shi, 2013) o Milán (Villa, 2012).

iii) Los cambios en la hidrología producidos por el SAS también son una problemática con una importancia notable. Los principales trabajos se basan en los efectos que se producen en la infiltración, como el desarrollado por Gregory *et al.* (2006), donde se compara la capacidad de infiltración de distintos suelos de áreas urbanas de Florida (EEUU) en función de su grado de sellado. También se trata la escorrentía, siendo ejemplos de ello las investigaciones de Du *et al.* (2012), donde se utilizan diferentes años para comparar niveles de sellado y escorrentía a nivel de cuenca en Jiangsu (China), observándose un aumento del riesgo de inundación; o el de Ungaro *et al.* (2014), en el que se analiza la expansión de la superficie sellada en el norte de Italia y su relación con un incremento de la escorrentía de hasta el 20 % en algunas zonas.

iv) Una de las líneas temáticas que más relevancia ha adquirido en los últimos años es la que aborda los inconvenientes que generan las áreas urbanas y la impermeabilización de las superficies. En este caso, existen una gran diversidad de estudios, pero la mayoría se centran en el análisis del crecimiento urbano y la facilitación de un control sobre estas áreas. Ya, a principios del presente siglo, se evidencia la necesidad de estudiar el rápido crecimiento que experimentaban numerosas ciudades, como son los casos de Queensland en Australia (Ward *et al.*, 2000) o Shanghái en China (Yin *et al.*, 2011). Por otro lado, en Europa, dichos estudios se centran más en el estado actual de la materia, consecuencias y posibles alternativas para su control, como ocurre en Alemania (Artmann, 2014; Artmann, 2015), España (Rodríguez-Rojas *et al.*, 2018; Romero-Díaz *et al.*, 2017) o Italia (Fini *et al.*, 2017; Munafò *et al.*, 2010).

v) Los estudios relacionados con la contribución del SAS al cambio global y los efectos derivados del cambio climático se sitúan entre las investigaciones con más importancia en la actualidad. Estos se enfocan, principalmente, en el análisis de las temperaturas superficiales y su efecto de isla de calor, así como en el riesgo de inundación. Dentro de los primeros, destacan estudios como el de Ward *et al.* (2016), donde se analiza el caso de 70 ciudades europeas y en las que se indica el papel fundamental que ejerce la cantidad de superficie sellada y no sellada ante las olas de calor; o el de Dugord *et al.* (2014) en Berlín (Alemania), en el que se evidencia la distribución

de la superficie sellada como almacenamiento de calor, principalmente nocturno. Por otro lado, con respecto al riesgo de inundación, podemos mencionar el estudio de Skougaard-Kaspersen et al. (2017) en 4 ciudades europeas, en las que se ha realizado una previsión futura de desarrollo urbano y aumento del riesgo de inundación en función de escenarios climáticos, basándose en el crecimiento de la superficie sellada entre 1984 y 2014.

#### 4. Conclusión

Se revisaron publicaciones que investigaban el sellado antropogénico de suelo, pero hasta la fecha no se encontró ninguna que analizara el concepto y sus características, con la excepción de García-Alvarado et al. (2014).

Se observa que la velocidad de difusión y el enfoque del término “sellado de suelo” fue variando desde finales del siglo XX hasta la actualidad, con la consolidación de este como SAS y, por tanto, derivado de la acción humana, excluyendo casi por completo su origen natural.

Desde el principio de los 2000 se evidencia el aumento de las investigaciones sobre el SAS con motivo de diferentes actuaciones gubernamentales que lo sitúan como un problema a atajar, pues forma parte del denominado Cambio Global. Se reconoce que no solo afecta al ámbito natural (contaminación, pérdida de biodiversidad, funciones del suelo, afección a la red hídrica, etc.) sino que también al humano (inundaciones, isla de calor, pérdidas económicas derivadas, etc.).

Se ha visto cómo la evolución de los trabajos ha estado influenciada por diversos factores. Existe una relación del aumento de estudios sobre este tema con respecto a algunas variables: la definición del SAS como problema a resolver, una mayor preocupación social de sus efectos negativos y la creación de normativas e informes nacionales, comunitarios o internacionales. No obstante, se observó un máximo en 2017, con el 16 % del total de publicaciones en el periodo analizado. Desde entonces, se produjo un descenso en el número de estudios sobre la cuantificación del SAS a la vez que se origina un aumento de las investigaciones sobre la minimización de los inconvenientes derivados de su expansión.

El origen de los estudios y las áreas de investigación que han abordado el tema es muy variable. La mayoría de los trabajos se reparten entre Europa (46 %), Asia (26 %) y América (22 %). Por países, destacan China, Estados Unidos e Italia, pero se produce una mayor tasa de publicación en los países europeos, si se tiene en cuenta el tamaño de su población. Por otro lado, es remarkable la variedad de áreas de investigación que han abordado el SAS desde diferentes perspectivas. Aunque las predominantes son las ciencias ambientales, la geografía y la agricultura, despuntan otras como la teledetección y las ciencias computacionales, ligadas a la automatización y monitorización del sellado.

En definitiva, pese a la actualidad de la problemática, parece que no se han llevado a cabo suficientes estudios que resalten la necesidad de realizar acciones más contundentes ante este problema global, con la esperable implicación de las infraestructuras verdes sobre aquellas regiones donde se encuentre más extendido. Por este motivo, esperamos que las investigaciones futuras se orienten, mayoritariamente, en un enfoque relacionado con la mitigación de los efectos del SAS y de la influencia que este tiene de magnificar las consecuencias del cambio climático y global.

## Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España mediante las ayudas para contratos predoctorales para la formación de profesorado universitario (FPU) de la que el primer autor es beneficiario (FPU18/03622), así como parcialmente financiado por el proyecto 20912/PI/18 de la Fundación Séneca (Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia).

## Contribución de autorías

Emilio José Illán-Fernández es el responsable de la búsqueda de información, análisis de resultados, redacción y revisión. Alfredo Pérez-Morales y Asunción Romero-Díaz contribuyeron en el diseño de la investigación, análisis de resultados, redacción y revisión de manuscritos.

## Financiación

La financiación fue incluida en el apartado agradecimientos, por lo que dicho apartado puede ser eliminado y la información que contiene puede ser traspasada a este epígrafe de financiación sin ningún problema.

## Conflicto de intereses

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

## Bibliografía

- Ahern, J. (2007). Green infrastructure for cities: the spatial dimension. In *Cities of the future: towards integrated sustainable water and landscape management*. IWA Publishing. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.558.8386>
- Añó-Vidal, C., Pascual, J. A., & Sánchez-Díaz, J. (2005). Capacidad de uso y sellado antropogénico del suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/41782>
- Artmann, M. (2014). Institutional efficiency of urban soil sealing management—From raising awareness to better implementation of sustainable development in Germany. *Landscape and urban Planning*, 131, 83-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.07.015>
- Artmann, M. (2015). Managing urban soil sealing in Munich and Leipzig (Germany)—From a wicked problem to clumsy solutions. *Land Use Policy*, 46, 21-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.02.004>
- Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., & Salvati, L. (2012). The impact of land use/land cover changes on land degradation dynamics: a Mediterranean case study. *Environmental management*, 49(5), 980-989. DOI: 10.1007/s00267-012-9831-8
- Ballew, M., Marlon, J., Rosenthal, S., Gustafson, A., Kotcher, J., Maibach, E., & Leiserowitz, A. (2019). Do younger generations care more about global warming? Yale University and George Mason University. New Haven, CT: *Yale Program on Climate Change Communication*. Recuperado de <https://climatecommunication.yale.edu/publications/do-younger-generations-care-more-about-global-warming/>
- Banco Mundial (2020). World Development Indicators Database. *Population, total*. Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicador/SP.POP.TOTL>
- Bernard, G. (2012). *Supporting elected representatives in the preservation of agricultural land: Suggestions for a methodological guide*. Norwegian University of Life Sciences. Recuperado de <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/189407/Master%20Thesis%20Gaelle%20Bernard.pdf>
- Bordons, M. (1999). Evaluación de la actividad científica a través de indicadores bibliométricos. *Revista española de cardiología*, 52(10), 790-800. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0300-8932\(99\)75008-6](https://doi.org/10.1016/S0300-8932(99)75008-6)
- Bui, Q. T., Pham Van, M., Hang, N. T. T., Nguyen, Q. H., Linh, N. X., Hai, P. M., ... & Van Cu, P. (2019). Hybrid model to optimize object-based land cover classification by meta-heuristic algorithm: an example for supporting urban management in Ha Noi, Viet Nam. *International Journal of Digital Earth*, 12(10), 1118-1132. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1542039>

- Camargo, J. M., Silva, M. V., Ferreira-Júnior, A. V., & Araújo, T. (2019). Marine geohazards: a bibliometric-based review. *Geosciences*, 9(2), 100. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9020100>
- Campos-Sánchez, F. S. (2017). Ciudades medias españolas siglo XXI. Revisión y análisis bibliométrico de enfoques y temáticas predominantes. *Cuadernos geográficos*, 56(1), 217-241. DOI: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v56i1.3960>
- Chen, J. (2007). Rapid urbanization in China: A real challenge to soil protection and food security. *Catena*, 69(1), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.019>
- Comisión Europea (2002). *Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002: laying down the sixth community environmental action programme*. Official Journal of the European Communities, L242/1, 1-15. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002D1600>
- Comisión Europea. (2006a). *Proposal Establishing a Framework for the Protection of Soil and amending Directive 2004/35/EC*. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0232:FIN:%20EN:PDF>
- Comisión Europea. (2006b). *Thematic Strategy for Soil Protection*. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0231&from=EN>
- Comisión Europea. (2012). *Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing*. Recuperado de [https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_en.pdf)
- Comisión Europea (2020). *Special Eurobarometer 501. Attitudes of European citizens towards the Environment*. Recuperado de [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_20\\_331](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_331)
- Comisión Europea (2021). *Special Eurobarometer 513. Climate Change*. Recuperado de <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2273>
- Cuadrado-Ciuraneta, S., Durà-Guimerà, A., & Salvati, L. (2017). Not only tourism: Unravelling suburbanization, second-home expansion and “rural” sprawl in Catalonia, Spain. *Urban Geography*, 38(1), 66-89. DOI: <https://doi.org/10.1080/02723638.2015.1113806>
- Deng, J. S., Wang, K., Hong, Y., & Qi, J. G. (2009). Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and urban planning*, 92(3-4), 187-198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.001>
- Di Gregorio, A. (2005). *Land cover classification system: classification concepts and user manual: LCCS* (Vol. 2). Food & Agriculture Organization.
- Ding, H., & Shi, W. (2013). Land-use/land-cover change and its influence on surface temperature: a case study in Beijing City. *International Journal of Remote Sensing*, 34(15), 5503-5517. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.792966>
- Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., & Xu, C. Y. (2012). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhui River basin, China. *Journal of Hydrology*, 464, 127-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.057>
- Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo-Buendía, M., & Valladares, F. (2006). *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. Recuperado de [https://www.unioviado.es/ranadon/Ricardo\\_Anadon/docencia/DoctoradoEconomia/DuarteCambioGlobal.pdf](https://www.unioviado.es/ranadon/Ricardo_Anadon/docencia/DoctoradoEconomia/DuarteCambioGlobal.pdf)
- Dugord, P. A., Lauf, S., Schuster, C., & Kleinschmit, B. (2014). Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk—the case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 86-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.07.005>
- EEA. (2001). *Proceedings of the Technical Workshop on Indicators for Soil Sealing. Technical report 80*. Copenhagen, European Environment Agency. Recuperado de [https://www.eea.europa.eu/publications/technical\\_report\\_2002\\_80](https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2002_80)
- Fini, A., Frangi, P., Mori, J., Donzelli, D., & Ferrini, F. (2017). Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements. *Environmental research*, 156, 443-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.032>
- García-Alvarado, J. M., Pérez-González, M. E., & García-Rodríguez, M. P. (2014). Revisión del concepto de sellado de suelos y propuesta de tipología urbana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 34(1), 87-103. DOI: [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_AGUC.2014.v34.n1.45193](http://dx.doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n1.45193)
- García-Rodríguez, M. P. & Pérez-González, M. E. (2007). Changes in soil sealing in Guadalajara: cartography with Landsat images. *Science of total Environment*, 41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.048>

- García-Rodríguez, M. P., & Pérez-González, M. E. (2014). Análisis multitemporal del urbanismo expansivo en el corredor del Henares. Aportación de las imágenes de satélite. *Estudios Geográficos*, 75(277), 597-618. DOI: <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201419>
- Gong, P., Li, X., & Zhang, W. (2019). 40-Year (1978–2017) human settlement changes in China reflected by impervious surfaces from satellite remote sensing. *Science Bulletin*, 64(11), 756-763. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.04.024>
- Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H., & Miller, G. L. (2006). Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of soil and water conservation*, 61(3), 117-124. Recuperado de <https://abe.ufl.edu/faculty/mdukes/pdf/stormwater/Gregor-et-%20al-JSWC-compaction-article.pdf>
- Guaita, N., López, I., & Prieto, F. (2008). Cambios de ocupación del suelo en España: implicaciones para la sostenibilidad. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 156, 235-260. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/75852>
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and tillage research*, 82(2), 121-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Inönü, E. (2003). The influence of cultural factors on scientific production. *Scientometrics*, 56(1), 137-146. DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1021906925642>
- Jantz, P., Goetz, S., & Jantz, C. (2005). Urbanization and the loss of resource lands in the Chesapeake Bay watershed. *Environmental Management*, 36(6), 808-825. DOI: 10.1007/s00267-004-0315-3
- Jones, R. J., & Montanarella, L. (2001). "Subsoil compaction: a hidden form of soil sealing in Europe". En *O-COPERNICUS*, 3er taller, Busteni, Rumania.
- Levy, G. J., Levin, J., & Shainberg, I. (1994). Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 58(1), 203-209. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010030x>
- Lu, D., & Weng, Q. (2006). Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, 102(1-2), 146-160. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.02.010>
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote sensing*, 28(5), 823-870. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Mell, I. C. (2008). Green infrastructure: concepts and planning. In *FORUM ejournal*, 8(1), 69-80.
- Meo, S. A., Al-Masri, A. A., Usmani, A. M., Memon, A. N., & Zaidi, S. Z. (2013). Impact of GDP, spending on R&D, number of universities and scientific journals on research publications among Asian countries. *PLoS one*, 8(6). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066449>
- Mualem, Y., Assouline, S., & Rohdenburg, H. (1990). Rainfall induced soil seal (C) A dynamic model with kinetic energy instead of cumulative rainfall as independent variable. *Catena*, 17(3), 289-303. DOI: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(90\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0341-8162(90)90022-6)
- Munafò, M., Norero, C., Sabbi, A., & Salvati, L. (2010). Soil sealing in the growing city: a survey in Rome, Italy. *Scottish Geographical Journal*, 126(3), 153-161. DOI: <https://doi.org/10.1080/14702541.2010.527855>
- Munafò, M., Salvati, L., & Zitti, M. (2013). Estimating soil sealing rate at national level—Italy as a case study. *Ecological indicators*, 26, 137-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.001>
- Naciones Unidas (2012). Resolution Adopted by the General Assembly on 27 July 2012: 66/288. *The future we want*. Recuperado de [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_66\\_288.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_66_288.pdf)
- Naciones Unidas. (2015). Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015: 70/01. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Recuperado de [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf)
- Okoli, C., & Schabram, K. (2010). A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1954824>
- Pauleit, S., Ambrose-Oji, B., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., ... & van den Bosch, C. K. (2019). Advancing urban green infrastructure in Europe: Outcomes and reflections from the GREEN SURGE project. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 4-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.006>
- Piotrowska-Długosz, A., & Charzyński, P. (2015). The impact of the soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physicochemical properties in the Ekranic Technosols of Toruń (Poland). *Journal of Soils and Sediments*, 15(1), 47-59. DOI 10.1007/s11368-014-0963-8

- Pistocchi, A., Calzolari, C., Malucelli, F., & Ungaro, F. (2015). Soil sealing and flood risks in the plains of Emilia-Romagna, Italy. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 398-409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.06.021>
- Ramos, M. C., Nacci, S., & Pla, I. (2000). Soil sealing and its influence on erosion rates for some soils in the Mediterranean area. *Soil Science*, 165(5), 398-403. DOI:10.1097/00010694-200005000-00003
- Rodríguez-Rojas, M. I., Huertas-Fernández, F., Moreno, B., Martínez, G., & Grindlay, A. L. (2018). A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the south of Spain. *Journal of environmental management*, 205, 151-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.075>
- Romero-Díaz, A. (2016). *Estado de la cuestión de los estudios de abandono. Abandono de cultivos en la Región de Murcia: consecuencias ecogeomorfológicas*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, 19-39. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Asuncion-Diaz-3/publication/304989541\\_Estado\\_de\\_la\\_cuestion\\_de\\_los\\_estudios\\_de\\_abandono/links/577e2fc208aed39f59945b9c/Estado-de-la-cuestion-de-los-estudios-de-abandono.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Asuncion-Diaz-3/publication/304989541_Estado_de_la_cuestion_de_los_estudios_de_abandono/links/577e2fc208aed39f59945b9c/Estado-de-la-cuestion-de-los-estudios-de-abandono.pdf)
- Romero-Díaz, A., Caballero-Pedraza, A., & Pérez-Morales, A. (2017). Expansión urbana y turismo en la Comarca del Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia). Impacto en el sellado del suelo. *Cuadernos de turismo*, (39), 521-546. DOI: <https://doi.org/10.6018/turismo.39.290691>
- Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Araújo, M. B., Carter, T. R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J. I., Kankaanpää, S., Leemans, R., Metzger, M. J., Schmit, C., Smith, P. & Tuck, G. (2006). A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(1), 57-68. DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.027
- Scalenghe, R., & Marsan, F. A. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and urban planning*, 90(1-2), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>
- Seto, K. C., & Shepherd, J. M. (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 89-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.012>
- Sexton, J. O., Song, X. P., Huang, C., Channan, S., Baker, M. E., & Townshend, J. R. (2013). Urban growth of the Washington, DC-Baltimore, MD metropolitan region from 1984 to 2010 by annual, Landsat-based estimates of impervious cover. *Remote Sensing of Environment*, 129, 42-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.025>
- Shainberg, I., Levy, G. J., Rengasamy, P., & Frenkel, H. (1992). Aggregate stability and seal formation as affected by drop's impact energy and soil amendments. *Soil Science*, 154(2), 113-119. DOI:10.1097/00010694-199208000-00004
- Shi, K., Chen, Y., Yu, B., Xu, T., Li, L., Huang, C., ... & Wu, J. (2016). Urban expansion and agricultural land loss in China: A multiscale perspective. *Sustainability*, 8(8), 790. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8080790>
- Skougaard-Kaspersen, P., Høegh Ravn, N., Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H., & Drews, M. (2017). Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(8), 4131-4147. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-21-4131-2017>
- Sung, C. Y., Yi, Y. J., & Li, M. H. (2013). Impervious surface regulation and urban sprawl as its unintended consequence. *Land use policy*, 32, 317-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.10.001>
- Ungaro, F., Calzolari, C., Pistocchi, A., & Malucelli, F. (2014). Modelling the impact of increasing soil sealing on runoff coefficients at regional scale: a hydrogeological approach. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(1), 33-42. DOI: 10.2478/johh-2014-0005
- Valera-Lozano, A., Añó-Vidal, C., & Sánchez-Díaz, J. (2011). Crecimiento urbano (1956-2005) y sellado antropogénico del suelo en el municipio de Alacant. *Serie Geográfica*, 17 (2011), 97-108. Recuperado en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/43161/1/CA%20c3%b1%20c3%b320.pdf>
- Villa, P. (2012). Mapping urban growth using Soil and Vegetation Index and Landsat data: The Milan (Italy) city area case study. *Landscape and urban planning*, 107(3), 245-254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.014>
- Ward, D., Phinn, S. R., & Murray, A. T. (2000). Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data. *The Professional Geographer*, 52(3), 371-386. DOI: <https://doi.org/10.1111/0033-0124.00232>
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, 527-539. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>
- Weng, Q. (2012). Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment*, 117, 34-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030>

- Weng, Q., & Lu, D. (2008). A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 10(1), 68-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.05.002>
- Wu, C., & Murray, A. T. (2003). Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote sensing of Environment*, 84(4), 493-505. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00136-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00136-0)
- Wu, X., Chen, X., Zhan, F. B., & Hong, S. (2015). Global research trends in landslides during 1991–2014: a bibliometric analysis. *Landslides*, 12(6), 1215-1226. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0624-z>
- Yale Program on Climate Change Communication (YPCCC) & George Mason University Center for Climate Change Communication (Mason 4C). (2020). *Climate Change in the American Mind: National survey data on public opinion (2008-2018)*. DOI: 10.17605/OSF.IO/JW79P
- Yang, J., & He, Y. (2017). Automated mapping of impervious surfaces in urban and suburban areas: Linear spectral unmixing of high spatial resolution imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 54, 53-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.09.006>
- Yin, J., Yin, Z., Zhong, H., Xu, S., Hu, X., Wang, J., & Wu, J. (2011). Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy (1979–2009) in China. *Environmental monitoring and assessment*, 177(1), 609-621. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1660-8>
- Zhang, Y., Zhang, H., & Lin, H. (2014). Improving the impervious surface estimation with combined use of optical and SAR remote sensing images. *Remote Sensing of Environment*, 141, 155-167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.028>