

La acidificación del Mediterráneo y sus efectos sobre la *Posidonia oceánica*: una aproximación al daño ecológico desde los límites planetarios¹

Esteban Morelle-Hungría
Universitat Jaume I

Morelle-Hungría, E. (2022). La acidificación del Mediterráneo y sus efectos sobre la *Posidonia oceánica*: una aproximación al daño ecológico desde los límites planetarios. *Revista Electrónica de Criminología*. 05-04, 1-15. <https://doi.org/10.30827/rec.5.33217>

RESUMEN: las amenazas globales que afectan a la salud planetaria han sido analizadas por la comunidad científica poniendo de relevancia la configuración de los límites planetarios. Algunos de estos no han sido tenidos en cuenta en la elaboración de mecanismos de protección, en especial, aquellos que afectan al medio marino. Las prioridades en las últimas décadas se han centrado sobre el cambio climático pero otro límite puede tener efectos similares a éste, la acidificación de océanos y mares. Las actividades humanas han incrementado la emisión de gases de efecto invernadero, en especial, el dióxido de carbono, éste interacciona directamente sobre la composición química del manto azul del planeta ocasionando un cambio que puede tener consecuencias de alcance global. Los ecosistemas acuáticos que mayor daño ecológico pueden sufrir son de un valor incalculable por la importancia que tienen para la salud del planeta, al ser hábitats prioritarios por los recursos que en ellos se pueden encontrar. La *Posidonia oceanica* es una de las especies que se configuran como un aliado para garantizar la seguridad planetaria, al ser un sumidero natural de dióxido de carbono, conocida como el "pulmón azul" del Mediterráneo; las consecuencias de un incremento de la acidez de mares y océanos pueden afectar tanto directa como indirectamente a esta especie que, a su vez, contiene otras especies. Las interrelaciones existentes entre los ecosistemas acuáticos y terrestres pueden permitir que los daños ecológicos generados por la acidificación marina y oceánica se evidencien a gran escala, al ser un problema global. Serán necesarias medidas e instrumentos que, desde una perspectiva ecocéntrica, permitan una protección basada en la eficacia y eficiencia, para ello, serán prioritarios instrumentos de mitigación y adaptación frente a este límite para garantizar la supervivencia del planeta.

PALABRAS CLAVE: Ecocriminología, límites planetarios, ecovictimología, acidificación marina, daño ecológico

THE ACIDIFICATION OF THE MEDITERRANEAN SEA AND THE EFFECTS ON *POSIDONIA OCEANICA*: AN APPROACH TO ECOLOGICAL HARM FROM PLANETARY BOUNDARIES

ABSTRACT: the global threats that affect planetary health have been analyzed by the scientific community, highlighting the configuration of planetary boundaries. Some of these have not been considered in the development of protection mechanisms, especially those that affect the marine environment. Priorities in recent decades have focused on climate change, but another limit can have effects similar to this one, the acidification of oceans and seas. Human activities have increased the emission of greenhouse gasses, especially carbon dioxide, which interacts directly with the chemical composition of the planet's blue mantle, causing a change that can have global consequences. The aquatic ecosystems that can suffer the greatest ecological damage are of incalculable value due to their importance for the health of the planet, as they are priority habitats due to the resources that can be found in them. *Posidonia oceanica* is one of the species that is configured as an ally to guarantee planetary security, as it is a natural carbon dioxide sink, known as the "blue lung" of the Mediterranean; The consequences of an increase in the acidity of the seas and oceans can affect both directly and indirectly this species, which, in turn, contains other species. The existing interrelationships between aquatic and terrestrial ecosystems can allow the ecological damage generated by marine and oceanic acidification to become evident on a large scale, as it is a global problem. Measures and instruments will be necessary that, from an ecocentric perspective, allow a protection based on effectiveness and efficiency, for this, mitigation and adaptation instruments will be a priority against this limit to guarantee the survival of the planet.

KEYWORDS: Ecocriminology, planetary boundaries, ecovictimology, marine acidification, ecological harm

FECHA RECEPCIÓN EN REC: 19/04/22

FECHA PUBLICACIÓN EN REC: 12/11/22

AUTOR/A CORRRESPONDENCIA: Esteban Morelle-Hungría, morelle@uji.es

¹ Trabajo enmarcado dentro del proyecto UJI B2021-41, "Respuestas legales de carácter sancionador frente al cambio climático como riesgo a la seguridad nacional."

SUMARIO: 1. *Introducción*, 2. *Acidificación de mares y océanos*, 3. *Daño ecológico provocado: un pilar fundamental*, 4. *Eco victimología: la necesaria visión integral para incrementar la eficacia normativa*, 5. *Perspectivas de futuro: importancia de este hábitat frente al cambio climático*. Conclusiones

1. INTRODUCCIÓN

El planeta se encuentra inmerso en un trabajo constante de autorregulación (Lovelock, 2000), debido, principalmente, al nivel de presión que se ejerce sobre el mismo por sus habitantes. En especial, debemos atender a las actividades de una única especie, al ser ésta la que una mayor situación de peligro ha generado sobre el mismo, la especie humana. Las diferentes especies que cohabitan en el planeta azul han venido utilizando, desde hace siglos, los recursos naturales, sin embargo, la especie humana con la llegada de la Revolución Industrial cambió el ritmo e intensidad de esta vinculación. De la extracción y utilización de estos recursos para la subsistencia se varió llegando a una sobreexplotación de los mismos vinculada, principalmente, al modelo económico expansivo de un consumismo extremo que ha derivado hacia un modelo de desigualdades socioeconómicas que también tiene repercusiones sobre la propia naturaleza.

Ese impacto intenso sobre la naturaleza, en general, y la biodiversidad, en particular, ha sido un área de interés para las diferentes disciplinas científicas, inclusive la Criminología. Sin entrar en profundidad sobre el ámbito de estudio, la perspectiva verde, ha introducido un campo significativo dentro de la Criminología que apenas ha sido analizada por la doctrina en España. Existiendo diversas denominaciones dentro de la doctrina especializada sobre esta subdisciplina creemos que la más acertada según nuestro planteamiento es la descrita por Potter (2017), Ecocriminología, al ser una ciencia social ecológicamente informada, a la cual nos adherimos (Morelle-Hungría, 2020a). La Ecología como disciplina científica es una de las más acertadas para realizar un análisis del impacto ambiental que pueden generar las actividades humanas. Los científicos han establecido diversas metodologías para valorar y analizar el impacto de la especie humana sobre el planeta, en especial nos interesan dos, el primero de ellos se trata de los denominados límites planetarios, nueve parámetros que el grupo de científicos liderado por Rockström y Steffen (2009) expusieron, cuantificando algunos de estos límites y llegando a conclusiones muy significativas, como que alguno de estos estaban ya sobrepasados, conviene indicar que posteriormente ambos científicos actualizaron esta tesis llegando a cuantificar algún límite más (Serra-Palao,

2020; Steffen et al., 2015). En segundo lugar, otro de los sistemas utilizados para poder valorar y calcular la sostenibilidad es la conocida como huella ecológica, en este caso, tal como sugiere Nogueira (2019, p. 5) existe un debate sobre la búsqueda de una única definición de esta medida, sin embargo, centrándonos en el trabajo criminológico establecido por Lynch podemos indicar que, “La huella ecológica humana es una medida ecológica de la sostenibilidad que pone el foco de atención en el consumo humano de los recursos ecológicos.” (Lynch et al., 2019, p. 32).

Ambos sistemas se utilizan en diferentes ámbitos, la huella ecológica, dispone de una escala más fácil de comprender, dónde se sitúa en 1.0 cuando los recursos naturales están siendo utilizados de forma sostenible, cuando se excede de esta cifra indica que se está poniendo en peligro la capacidad de recuperación y regeneración de los recursos. Como se puede observar, se trata de un procedimiento que cuantifica el consumo antrópico de recursos ecológicos lo que permite, a su vez, medir la presión antrópica sobre la biosfera (Guarin & Vitoncó, 2022, p. 5). De este modo se configura como un método para analizar y demostrar la capacidad de carga y la magnitud del exceso del mismo con relación a la capacidad de regeneración natural (Olalla, 2003; Wackernagel & Rees, 1996). Tal como establece el Ministerio de Transición Ecológica del Gobierno de España, la huella ecológica es “...un indicador de sostenibilidad que trata de medir el impacto que nuestro modo de vida tiene sobre el entorno.”. Asimismo, según esta fuente, la huella ecológica se sitúa a nivel global en 2.7 (ha), generando un excedente de 0.7 (ha), una de las características más significativas vuelve a ser la desigualdad existente a nivel territorial, en especial, entre el Norte y Sur del planeta. Este indicador, además, sirve para poder valorar diferencias entre territorios en el sobreconsumo de recursos naturales (Rees & Wackernagel, 2008). Por el contrario, los límites planetarios se configuran como un indicador global donde se analiza la destrucción ecológica por la actividad antrópica (Lynch et al., 2019, p. 24). Para ello, los científicos identifican nueve parámetros ecológicos que articulan la estabilidad del planeta en su conjunto, para continuar con nuestro planteamiento es necesario matizar que se tienen por aceptadas las características de la Teoría de Gaia (Lovelock & Margulis, 1974; Lovelock, 2006; 2009) incluyendo las premisas científicas aportadas, a posteriori, donde tal como establece Lynch (2019, p. 126) podemos plantear que el planeta se configura como un sistema vivo capaz de autorregularse, compuesto por los sistemas bióticos y abióticos donde las relaciones que interactúan son esenciales para la generación de propiedades óptimas para convivencia de todas las especies, las cuales contribuyen a generar y

mantener las condiciones equilibradas para garantizar la supervivencia del propio planeta.

Desde esta perspectiva podemos abordar como con la cuantificación de los límites planetarios podemos analizar el impacto global que la especie humana está generando sobre el planeta. Observamos cómo se han sobrepasado algunos de estos límites que los científicos han indicado que, en caso de alcanzar el punto de no retorno las consecuencias serían catastróficas para el planeta. Con el presente trabajo pretendemos demostrar cómo con la eco criminología es posible analizar estos límites planteados por la comunidad científica, centrándonos en uno de ellos, la acidificación de mares y océanos. Consideramos que todos ellos, los nueve planteados y algunos emergentes que hay que considerar, son de vital importancia para la comprensión del impacto global, sin embargo, dando continuidad a algunas de las líneas de investigación seguidas ampliamos analizando un caso concreto para poder comprender la magnitud de esta cuestión (Morelle-Hungría, 2022).

Uno de los mejores bioindicadores ecológicos utilizados en el campo de la biología marina se ha centrado sobre una especie marina considerada como el pulmón azul del planeta, la *Posidonia oceánica* (Morelle-Hungría & Serra-Palao, 2021). Esta especie localizada, principalmente, en el mar Mediterráneo, se encuentra protegida tanto por la Unión Europea, como hábitat prioritario (Directiva Hábitats, DOCE núm. 206, de 22 de julio de 1992, páginas 7 a 50), y como especie de especial protección por la normativa estatal (Ley de protección de la biodiversidad, BOE núm. 299, de 14 de diciembre de 2007). Asimismo, en algunos territorios también se ha tenido en cuenta la importancia de la especie, no solo a nivel ecológico (Convenio de Barcelona, BOE núm. 44, de 21 de febrero de 1978, páginas 4107 a 4115), sino que también por la importancia que para algunos sectores representa, en especial, en territorios de gran afluencia turística, como puede ser les Illes Balears, Cataluña y la Comunitat Valenciana, entre otros, donde se han articulado mecanismos jurídicos de protección sectorial (UICN-Mediterráneo, consultado el 10 de abril de 2022, en https://uicnmed.org/bibliotecavirtualposidonia/?page_id=9).

La importancia para la eco criminología de esta especie atendiendo a un enfoque holístico y desde una perspectiva ecocéntrica es, por un lado, su importancia ecológica considerada como una de las especies de mayor importancia de los ecosistemas acuáticos (Den Hartog, 1993; Morelle-Hungría, 2018). La morfología de

este vegetal superior y su biodinámica permite que sea una de las principales herramientas para afrontar otro de los límites planetarios, el cambio climático, al suponer un mecanismo de oxigenación del agua marina y de captación de dióxido de carbono. El movimiento de las corrientes marinas permite que las praderas de posidonia se desprendan de hojas que acaban en el fondo marino generando biomasa donde, una parte de la misma acaba próxima a las zonas costeras conformando una barrera protectora natural de costas y playas (Morelle-Hungría, 2018, p. 46). Asimismo, no podemos obviar como, desde un punto de vista antropocéntrico, esta especie aporta a las zonas marítimas-costeras un equilibrio óptimo para poder dotar a la especie humana de servicios económicos y sociales, al regular el clima, ser fuente de recursos pesqueros o bien un hábitat prioritario para el desarrollo de otras especies utilizadas como fuente de recursos, donde se incluyen, entre otras el desarrollo del turismo y la economía azul.

La importancia ecológica y socioeconómica de la *Posidonia oceánica* nos permite analizar cómo puede afectar a esta especie la alteración de uno de los límites planetarios ya planteados, la acidificación de mares y océanos. De esta forma, realizaremos un estudio eco criminológico donde analizaremos el alcance de este límite planetario, introduciéndose como un método cuantitativo de valoración del impacto antrópico sobre esta especie considerada de especial importancia para frenar el avance de otros límites. Asimismo, se realiza un estudio de los impactos que tendría la destrucción de esta especie desde este enfoque descrito, para poder valorar la importancia ecológica para el planeta todo ello a través de una investigación sobre estudios cuantitativos de impacto ambiental sobre la especie.

2. ACIDIFICACIÓN DE MARES Y OCÉANOS

La publicación del grupo de investigación de Rockström (2009) supuso todo un revulsivo al haber cuantificado algunos límites del planeta, señalando, además, que tres de ellos ya estaban traspasados, el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad y la alteración de los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y fósforo (Gómez-Lee, 2019). Sin embargo, centrándonos en uno de ellos, el cual ha centrado en la actualidad el debate por un sector de la doctrina científica, la acidificación acuática. Mucho se ha analizado sobre esta cuestión y desde hace bastante tiempo, como indica Doney (2006), en 1950 ya se plantearon a nivel científico la importancia de analizar el impacto de determinados gases industriales sobre mares y océanos si estos gases eran absorbidos por el agua y si de ello se podría alterar

las fórmulas químicas existentes. El mismo autor sugiere que, “el dióxido de carbono, al disolverse en el agua, produce un aumento de su grado de acidez (disminución del pH), lo que provoca la disolución del carbonato de calcio que se encuentra en los sedimentos marinos.” (Doney, 2006, p. 20).

El dióxido de carbono es conocido por su potencial efecto invernadero y otras características vinculadas a otros límites planetarios ya abordados, como el cambio climático, sin embargo, su afección sobre el mayor reservorio y fuente de recursos naturales para la especie humana - desde un punto de vista antropogénico - no ha sido recibido con la rigurosidad que precisaba. Este planteamiento se fundamenta en la falta de acción a nivel de elaboración de mecanismos de protección integrales del medio marino, pues como indica Ortiz-García (2012, p. 5), la especie humana ha tardado bastante en comprender la necesidad de proteger de forma eficaz, atendiendo a un enfoque y perspectiva integrada, el medio marino. Son muchos los usos que se ha venido dando a mares y océanos, sin embargo, pese al incremento insostenible de la presión ejercida sobre los ecosistemas acuáticos, conociendo algunos de los riesgos derivados de estas prácticas, no se han puesto en funcionamiento instrumentos integrales de protección marina. Este hecho fue evidenciado mediante la publicación de la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino, pese a que fue sobrepasando los límites establecidos por la propia Unión Europea que había fijado a través de la Directiva 2008/56/CE, conocida como Directiva Marco de Estrategias Marinas, el 15 de julio de 2010. Con todo ello, España estableció su primer instrumento integral de protección del medio marino, en pleno siglo XXI, para algunos todo un hito donde se intentaban dar respuestas a algunas de las incógnitas e incertidumbres que la comunidad científica había expuesto sobre algunas de las consecuencias derivadas de las actividades antrópicas. El objetivo de esta norma principal se centra en establecer el buen estado ambiental del medio marino, el cual denota una gran ambición ya que, siguiendo a la normativa comunitaria, se debe llevar a cabo desde un enfoque ecosistémico. Este se puede definir como la utilización de los recursos naturales, entendidos como servicios ecosistémicos, que permiten la realización de actividades antrópicas, teniendo en cuenta lo que la evidencia científica ha descrito para garantizar la protección del ecosistema en el cual está inmerso este recurso.

Los ecosistemas acuáticos han sido fuente de recursos antrópicos desde hace siglos, pero la sobreexplotación de éstos ha propiciado una situación límite en algunos de los ecosistemas utilizados. El conocimiento científico no solo va a permitirnos mejorar la protección

ambiental de estos ecosistemas, sino que, además, deben incluirse en los mecanismos de gestión integrada de los servicios utilizados, con ello, se permitirá el uso sostenible de los mismos. Tal como se ha indicado, este paso se ha incorporado desde hace apenas una década en nuestro ordenamiento jurídico, pero todavía queda mucho por conocer y acciones a elaborar. Con el conocimiento de los límites planetarios, hemos observado como existe una simbiosis en algunos de ellos, pues ese carácter sistémico se puede observar en el análisis de estos. El cambio climático, donde el dióxido de carbono es uno de los actores principales, también incide sobre el resto de los valores incluidos como límites, de esta forma la alteración de los ciclos biogeoquímicos se encuentra interrelacionado con la pérdida de la biodiversidad. La alteración de la composición química del manto azul del planeta puede afectar al equilibrio existente y generará consecuencias que deben analizarse a nivel científico para que los eco criminólogos podamos investigar los daños ambientales que pueden derivarse a nivel macro.

La conjunción de metodologías científicas y la evidencia de la Ciencia nos debe de guiar por el análisis criminológico del daño ecológico, desde una visión ecocéntrica, a modo de ejemplo, existen territorios con mayor vulnerabilidad que otros, como pueden ser las zonas árticas, donde se detectaron una alteración de los ciclos de nitrógeno, ocasionado principalmente por un exceso de estas actividades que llegan a contaminar aguas continentales y, además, zonas costeras y del litoral. Para poder mitigar estos efectos derivados del mismo, la propia naturaleza configura mecanismos a tener en cuenta para hacer frente a los daños ecológicos detectados de esta presión antrópica, algunos estudios indican que la utilización de prácticas tradicionales en el uso de los recursos naturales nos permite convertir esas prácticas hacia un planteamiento sostenible (Canfield et al., 2010). Un ejemplo sería la utilización de prácticas como la trashumancia para hacer frente al cambio climático, llegando a cuantificar la cantidad de emisiones fijadas que puede alcanzar el 20% (Gispert, 2021). Con relación al calentamiento del planeta podemos incluir a estas prácticas ancestrales que pueden servir como mecanismo o sistema para equilibrar la regeneración y la extracción de recursos en determinados territorios (Aryal et al., 2018; Fernández-Giménez & Ritten, 2020; García-Fernández et al., 2019; Manzano et al., 2021). Asimismo, volviendo a los entornos acuáticos, la adopción de prácticas tradicionales puede trasladarse al mismo, pero debemos atender a la complejidad de este límite planetario pues tal como apuntan los informes de la propia Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (en adelante, IUCN), “no hay soluciones

prácticas para remediar la acidificación de los océanos una vez que haya ocurrido, y es posible que tengamos que depender de la naturaleza para que siga su curso.” (Laffoley et al., 2021).

El mar Mediterráneo, es uno de los mares donde una mayor actividad antrópica se genera, los servicios prestados por este entorno natural se encuentran, en la actualidad, sobreexplotado, a tal expresión llegamos a tenor de los datos analizados sobre pesca, contaminación, entre otras, derivadas de la actividad generada principalmente por la industria y el turismo como motores económicos para la especie humana. Los datos aportados por algunos estudios científicos (Lacoue-Labarthe et al., 2016) indican que la afección sobre el Mediterráneo en cuanto a acidificación se refiere será una amenaza para el conjunto del ecosistema, incluyendo además los servicios ecosistémicos utilizados por nuestra especie. Las concentraciones detectadas de dióxido de carbono en esta zona se sitúan por encima de otras ubicadas en mismas latitudes e incluso por encima de las oceánicas (Lee et al., 2003; Sabine et al., 2002) que, según algunos autores (Palmiéri et al., 2014, Schneider et al., 2010) se relaciona con las temperaturas altas detectadas, asimismo conviene matizar tal como apuntan Lacoue-Labarthe y, otros, (2016, p. 4-5),

“... en los próximos cincuenta años, una extrapolación de los datos de esta serie temporal (Dyfamed, Mar de Liguria central) conduce a una disminución estimada del pH de 0,07 a 0,13 unidades, lo que corresponde a una tasa de disminución de $0,002 \pm 0,001$ unidades de pH por año (Geri et al., 2014).”

En conclusión, la acidificación de mares y océanos se ha extendido en los últimos años debido, principalmente, al incremento de las actividades antrópicas que utilizan los combustibles fósiles, la deforestación, entre otras, lo que genera una cantidad exagerada de toneladas de dióxido de carbono, lo que altera el equilibrio existente los ajustes naturales del sistema Tierra (Laffoley, 2021, p. 6). Este cambio en los sistemas naturales de equilibrio que inciden directamente sobre el clima, entre otras cuestiones, tienen un aliado en el componente mayoritario del planeta, los océanos y mares, pues suponen más de la tercera parte. Su mecanismo de absorción del dióxido de carbono ha cambiado con la situación actual, debido a una mayor emisión de este gas de efecto invernadero, con ello, mares y océanos absorben cada vez una mayor cantidad generando un efecto acumulativo y cuando este componente se disuelve en el medio acuoso incide sobre las reacciones

químicas formando ácido carbónico por lo que se acidifica el medio. Tal como apunta la propia UICN (2021),

“En los últimos 200 años, la acidez del agua de mar se ha incrementado en un 30%. Cabe señalar que el aumento de la acidez del agua de mar reduce el estado natural “básico” o “alcalino” de los océanos y fuerza artificialmente el equilibrio ácido/base del agua de mar hacia un medio más ácido. Las proyecciones futuras, si las emisiones de CO₂ continúan sin disminuir (Evolución sin cambios), muestran que, en el 2060, la acidez del agua de mar podría aumentar en un 120%.”

3. DAÑO ECOLÓGICO GENERADO: UN PILAR FUNDAMENTAL

Desde la eco criminología uno de los objetivos planteados se centra sobre el daño ecológico que generan determinadas prácticas antrópicas. Atendiendo a lo ya descrito en el presente apartado nos centraremos en analizar cómo el impacto derivado de un incremento en los niveles de acidificación del manto azul del planeta puede afectar al equilibrio existente. Los estudios eco criminológicos abordan no únicamente los hechos tipificados en las normas penales, sino que, además, analizan aquellas conductas que, inclusive se encuentren legalmente autorizadas, siempre que generen daños ambientales que puedan suponer un riesgo para los ecosistemas en los que se encuentren (Brisman & South, 2019, 2020; South, 2014). De esta forma observamos cómo el concepto de víctima también se contextualiza en un sentido amplio, donde atendiendo al enfoque ecosistémico, cualquier especie que se encuentre en el ecosistema afectado puede ser víctima del daño producido, bien sea directa como indirectamente (Hall & Varona, 2018).

En los ecosistemas acuáticos se pueden detectar numerosas actividades antrópicas que generan impactos negativos sobre los mismos o bien, sobre alguna de las especies que habitan en el medio. Tal como apuntan recientes estudios en esta materia, García-Ruiz et al. (2020, p. 3) las prácticas de pesca ilegal, no declarada o no reglamentada (conocida por sus siglas en inglés, IUU), la piratería marítima, la extracción de recursos naturales marinos y oceánicos, así como la producción de contaminantes tanto físicos como químicos que alteran las condiciones de equilibrio de los ecosistemas afectados, son algunos ejemplos de la actividad antrópica intensiva que tanto, directa como indirectamente generan consecuencias para el medio marino (véase los estudios de Jouffray et al., 2020;

Morelle-Hungría, 2020b; Taylor, 2019). Pese a todo el conocimiento que, hoy en día, se encuentra disponible, hemos visto cómo la comunidad científica todavía no tiene la certeza de los daños que la acidificación de mares y océanos puede tener, pese a ello sí que se sitúa a la misma, como uno de los tipos de contaminantes más complejos y recientes a los que hay que atender con preferencia por la magnitud de estos. Como indica Laffoley et al. (2021, p. 11), el incremento de la acidificación del manto azul planetario puede influir en la capacidad de determinadas especies que utilizan el carbono en algún proceso fisiológico, como para la evolución de esqueletos o conchas, además, tal como hemos argumentado, otras especies se verían afectadas a diferente nivel según el nivel trófico donde se situase la especie afectada. Este sería el primer paso, a nivel ambiental, pero, si atendemos a una visión antropogénica considerando a determinadas especies de moluscos o bivalvos empleados en determinados servicios ecosistémicos marinos también se verían afectadas por lo que a nivel socioeconómico la incidencia negativa también se evidenciaría con repercusiones sobre indicadores económicos. Debemos atender a la vulnerabilidad de determinadas zonas o territorios donde los efectos de la acidificación serán con mayor intensidad. En este sentido, como ya hemos indicado, el mar Mediterráneo, se sitúa como zona de vulnerabilidad al incluir ecosistemas y recursos ecosistémicos más sensibles a la acidificación de este, en especial las praderas de una de las especies endémicas por excelencia, la *Posidonia oceánica*.

Algunas investigaciones efectuadas sobre los efectos de la acidificación oceánica en praderas de esta fanerógama indican que la morfología estructural de la planta puede cambiar en un escenario futuro y las comunidades que residen en este hábitat serán afectadas por este cambio, analizaron posibles escenarios con diferente pH con resultados de diferencias significativas (Mecca et al., 2020, p. 78). En un reciente estudio sobre el impacto de la acidificación marina en algunas especies como la *Posidonia oceanica*, Agawin et al. (2021) analizan la respuesta de esta especie de vital importancia en el Mediterráneo a determinados factores como pueden ser la acidificación, aumento de la temperatura, donde midieron determinados parámetros para evaluar la posible respuesta ante diferentes escenarios. Sin duda, se trata de una investigación de alta significación al contemplar diferentes parámetros vinculados con el cambio climático donde sus resultados sugieren que “el aumento de CO₂ puede agravar este balance negativo y, por lo tanto, puede afectar potencialmente la supervivencia y el mantenimiento de estos pastos marinos.” (Agawin et al., 2021, p. 9), pese a ello, tal

como indican estos autores son necesarios más estudios sobre la respuesta de esta especie de forma individual. A esta necesidad de incrementar el conocimiento sobre los efectos de la acidificación de mares y océanos también se unen otros autores como Zunino et al. (2021) donde indican que este impacto incide directamente en hábitats como las praderas de esta especie con un efecto directo sustancial debido a las relaciones tróficas existentes entre las especies que cohabitan en la misma, lo que también se traslada a los servicios ecosistémicos. Estos autores utilizaron para su investigación un nuevo modelo matemático de las cadenas tróficas y no tróficas de las especies que habitan en este ecosistema analizando las consecuencias sobre el mismo por este impacto antrópico (Zunino et al., 2021, p. 1570), los escenarios previstos sugeridos por estos resaltan el impacto negativo sobre la red trófica señalando como los efectos previstos serán difíciles de identificar (Zunino et al., 2021, p. 1572).

Como podemos observar los avances científicos han puesto de manifiesto que es necesario profundizar con mayor rigurosidad sobre una cuestión tan compleja como puede ser el impacto de la acidificación sobre una especie de vital importancia para otras, como es la *Posidonia oceánica*. En un medio donde los impactos pueden ser acumulativos es necesario contar con mecanismos eficaces y eficientes a nivel científico, en especial sobre las consecuencias derivadas de impactos que pueden transmitirse a través de las redes tróficas (Link, Pranovi & Libralato, 2022, p. 10). Por ello, es necesario incrementar las medidas de conocimiento hacia este escenario al que parece que nos adentramos al sobrepasar este límite del planeta. Desde hace tiempo se conocen diferentes grados de certeza frente a las investigaciones científicas con relación a la acidificación de mares y océanos (IGBP, IOC, SCOR, 2013), el IPCC (2019) indica que el nivel de confianza de la ciencia referente a la acidificación oceánica es muy alto o probable en cuanto a:

- La disminución de la función de sumidero de dióxido de carbono del manto azul (mares y océanos) al incrementarse la acidificación.
- La intensa actividad antrópica ha generado ese cambio en la velocidad de acidificación de mares y océanos.
- El impacto de los efectos puede tener consecuencias duraderas incluso, se puede llegar a cuantificar.
- Existe una relación directa con los niveles de emisión de dióxido de carbono y como efecto mitigador se puede configurar la reducción de emisiones antropogénicas.

Es necesario incrementar las medidas de adaptación a esta situación hasta que se tengan en cuenta los avances científicos sobre el impacto de la acidificación oceánica y marina, en especial, en aquellas zonas con mayor vulnerabilidad o con territorios con mayor probabilidad de afectación. Para ello, es necesario incrementar los mecanismos de monitorización para poder evaluar a tiempo real los efectos de esta intrusión antropogénica en el medio marino y oceánico. Para poder gestionar de forma eficaz y eficiente es necesario una mayor coordinación entre los diferentes sectores, pues con el conocimiento científico no bastará, ni tampoco con el impulso único de medidas como la aprobación de nuevas reservas marinas pues, es necesario aunar esfuerzos entre las diferentes disciplinas, la ecología, la biología, la sociología, el derecho y la criminología son necesarias para poder comprender la magnitud de los efectos que pueden derivarse de traspasar ciertos límites planetarios pues el daño ecológico generado de forma directa en todo caso transformará el medio acuático tal y como lo conocemos generando la adaptación a este nuevo escenario previsto tras los cambios físico-químicos. De ello, se derivarán consecuencias socioeconómicas de gran calado al verse afectados los servicios ecosistémicos acuáticos a los que estamos vinculados con esa interacción entre la especie humana y el medio marino, pues, dándonos cuenta estamos generando tal nivel de presión que en todo caso los perjudicados seremos todas las especies, pero con mayor impacto la nuestra propia, ello derivado de la adicción a la que nos hemos visto expuestos con la sobreexplotación de los recursos naturales.

4. ECOVICTIMOLOGÍA: LA NECESARIA VISIÓN INTEGRAL PARA INCREMENTAR LA EFICACIA NORMATIVA

Tal como hemos indicado la concepción amplia de víctima en los delitos ecológicos incluye no sólo a la especie humana, sino que debe abordar a ecosistemas o

sus integrantes. Ese cambio de rumbo orientado hacia una clara visión ecocéntrica o, inclusive biocéntrica, nos debe de hacer reflexionar. En especial habida cuenta del estado actual de nuestro entorno, con los daños ambientales derivados de las acciones humanas y, por ende, la destrucción no solo de los recursos naturales sino que del planeta en su conjunto atendiendo a una perspectiva ecosistémica.

Atendiendo al marco regulador en cuanto a víctimas del delito, en sentido estricto, debemos analizar como la Ley 4/2015, de 27 de abril, del Estatuto de la víctima del delito, lleva marcado un claro sesgo antropocéntrico. Si analizamos el articulado de este observamos como en su artículo 2^º establece una definición general de víctima en la que se contemplan de forma exclusiva a las personas físicas que sufran daños o perjuicios sobre su persona o patrimonio, matizando especialmente si se trata de lesiones físicas o psíquicas o perjuicios económicos derivados de la comisión de un delito. Asimismo, se contempla también la víctima indirecta en determinados supuestos. Observamos cómo el legislador ha dotado de una mayor estructura y contenido al concepto de víctima sin embargo lo hace con un marcado acento antropocéntrico. También es cierto que se ha ampliado el concepto que hasta la aprobación de esta norma se venía empleando, en especial, en este tipo de infracciones penales que afectan a toda la sociedad (incluyendo a especies no humanas y ecosistemas) y como tal se podría configurar como un problema de seguridad pública, en especial tras las consecuencias derivadas de la interacción humana frente a otras especies con la aparición de enfermedades zoonóticas (Morelle-Hungría, 2020) lo que puede derivar en impactos socioeconómicos (Hall, 2013).

Otros autores como Luis-García (2018, p. 283) proponen una nueva clasificación en tres grandes apartados a tenor del daño causado por el delito ambiental, diferencia la autora entre ofendidos, familiares en determinados casos y perjudicados. No coincidimos

² Artículo 2. Ámbito subjetivo. Concepto general de víctima.

Las disposiciones de esta Ley serán aplicables:

a) Como víctima directa, a toda persona física que haya sufrido un daño o perjuicio sobre su propia persona o patrimonio, en especial lesiones físicas o psíquicas, daños emocionales o perjuicios económicos directamente causados por la comisión de un delito.

b) Como víctima indirecta, en los casos de muerte o desaparición de una persona que haya sido causada directamente por un delito, salvo que se trate de los responsables de los hechos:

1.º A su cónyuge no separado legalmente o de hecho y a los hijos de la víctima o del cónyuge no separado legalmente o de hecho que en el momento de la muerte o desaparición de la víctima convivieran con

ellos; a la persona que hasta el momento de la muerte o desaparición hubiera estado unida a ella por una análoga relación de afectividad y a los hijos de ésta que en el momento de la muerte o desaparición de la víctima convivieran con ella; a sus progenitores y parientes en línea recta o colateral dentro del tercer grado que se encontraran bajo su guarda y a las personas sujetas a su tutela o curatela o que se encontraran bajo su acogimiento familiar.

2.º En caso de no existir los anteriores, a los demás parientes en línea recta y a sus hermanos, con preferencia, entre ellos, del que ostentara la representación legal de la víctima.

Las disposiciones de esta Ley no serán aplicables a terceros que hubieran sufrido perjuicios derivados del delito.

con este posicionamiento pues creemos que la mayor eficacia normativa posible se podría obtener incorporando esa visión ecocéntrica de la problemática en este tipo de delitos. No estamos hablando de cuestiones ambiguas o que desde la Criminología verde se defienden sin entrar a valorar cuestiones penales. En los tipos penales abordados por estos autores tenemos el tipo básico del delito contra el medio ambiente, tipificado en el artículo 325 del CP, el cual prevé una causa de significación específica pues la conducta típica debe causar daños sustanciales a la calidad del aire, suelo o aguas, inclusive se indica que también puede ser posible su configuración si los afectados son animales o plantas. De esta forma percibimos cierta falta de rigor a la hora de identificar como potenciales víctimas a especies no humanas, pero no incluir a éstas en la concepción de víctimas en sentido estricto. También es cierto que no existe una unanimidad de la doctrina o por la normativa (Luis-García, 2018) pero como investigadores en criminología y victimología debemos centrar los esfuerzos en incrementar los mecanismos de protección y hacerlo posible desde un punto de vista integral y holístico.

Estamos ante una cuestión de gran complejidad donde interseccionan varias áreas de conocimiento, nuestro posicionamiento se basa en una perspectiva ecocéntrica que, algunos autores pueden señalar como radical (Fuentes-Osorio, 2022, p. 9). Defendemos que los ecosistemas como parte insertada en la biosfera y en el conjunto de la propia naturaleza debería entenderse como un bien jurídico autónomo y atendiendo a las conductas que se han incorporado a las normas penales, observamos como se ha realizado de forma que podría ser incongruente con el sentido de las reformas operadas. El principal problema observado con relación a los ecosistemas como bien jurídico se establece en la interpretación que se puede realizar de la afectación sobre el mismo, como bien expresa Fuentes-Osorio (2022). De esta forma se pueden establecer diversas fórmulas para valorar la afectación del bien jurídico, donde se deben de valorar y estudiar los componentes del propio ecosistema afectado que podrá variar en función de diversas variables, tamaño, componentes que lo integran, etc. En el caso planteado, tal como hemos planteado un incremento del dióxido de carbono puede generar una serie de consecuencias directas e indirectas, en especial sobre ecosistemas marinos/acuáticos. La acidificación de mares y océanos supone una alteración del ecosistema pues se produce una deficiencia de iones de carbonato que son necesarios y requeridos por especies que integran este ecosistema para su correcta evolución. Otra de las consecuencias directas que pueden detectarse se ciñen

de forma directa sobre algunos de los integrantes de las cadenas tróficas marinas pues pueden llegar a desaparecer (Muñoz, 2021).

Pero también desde una perspectiva ecovictimológica antropocéntrica podemos observar cómo existen cuestiones que deben ser abordadas. Los cambios sobre los ecosistemas marinos/acuáticos afectan tanto directa como indirectamente a especies que son fuente de recursos antrópicos por lo que esto tiene una repercusión directa sobre el modelo económico. Moluscos, crustáceos, algunas especies de peces son algunas de las especies que se ven afectadas por la acidificación de mares y océanos, éstas son especies que se encuentran dentro de las más utilizadas por sectores pesqueros como fuente de alimentación en gran parte del planeta (Muñoz, 2021). Al verse afectado la flota pesquera, también existirá un impacto sobre los modelos socioeconómicos pues algunos sectores relacionados de forma indirecta como el turismo.

La Posidonia oceánica se sitúa como una especie que, en cierto modo, es privilegiada por las características y por el estatus que representa en el mar Mediterráneo. Sus propiedades y características nos permiten hacer frente a una situación generada por nuestra propia especie y que puede afectar a un bien jurídico cómo es el propio ecosistema donde se encuentra inmersa esta especie. En este sentido el legislador sí incluyó una preferencia en cuanto a incrementar el grado de protección a la misma frente a determinadas actividades antrópicas, pero también se observó un acento antropocéntrico en estas normas sectoriales aprobadas (Morelle-Hungría, 2019) por ello es necesario readaptar los sistemas de protección, adoptando una nueva definición de víctima que incluya desde ese posicionamiento ecocéntrico planteado.

Tal como hemos mantenido adoptar un posicionamiento desde una perspectiva ecocéntrica pura sería beneficioso para el conjunto del planeta. Estamos inmersos en una confluencia de equilibrios biológicos que son posible entenderlos mediante la teoría de sistemas. Los recientes cambios legislativos en materia de protección penal ambiental han ido introduciendo mecanismos más ecocéntricos sin embargo, se observa cómo no se encuentran estructurados desde estos posicionamientos y por ende, resultarán ineficaces.

5. PERSPECTIVAS DE FUTURO: IMPORTANCIA DE ESTE HÁBITAT FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático ha supuesto un cambio significativo en la comprensión de la magnitud de los niveles de presión antrópica. Ha permitido - entre otras cuestiones - incrementar los medios y recursos para hacerle frente o inclusive, que la sociedad ponga entre sus prioridades al cambio climático, pero, la pregunta esencial será si no hemos llegado tarde. Desde hace mucho tiempo se tiene conocimiento de los efectos que podría ocasionar llegar al punto donde hoy en día nos encontramos. Los indicadores sobre el nivel actual del planeta son desalentadores, ya en 2008, nos indicaron que tres de los límites planetarios planteados por Rockström estaban sobrepasados, en la actualidad hay cuatro que se consideran ya traspasados, el último, los cambios de la composición freática que, unido al cambio climático, pérdida de la biodiversidad y los ciclos biogeoquímicos del fósforo y nitrógeno, hacen peligrar el futuro del planeta.

Dentro de estos límites hemos visto cómo existe una vinculación entre todos ellos, sin embargo, sobre dos de estos se puede apreciar una relación con mayores similitudes, se trata del ya traspasado, cambio climático y el que estamos a las puertas de traspasar, según el Centro para la Resiliencia de Estocolmo (2021), las previsiones no son positivas sino se adoptan medidas con carácter de urgencia. Tal como se ha expuesto existen zonas con mayor vulnerabilidad siendo todas las especies afectadas, incluida la humana, generando grandes desigualdades según diferentes parámetros socioeconómicos. Atendiendo a recientes estudios donde se valoran, para la especie humana, aspectos sobre el bienestar humano, se observa cómo las desigualdades económicas son un factor para tener en cuenta al traspasar los límites planetarios (Collste et al., 2021, p. 7). Se han implementado medidas tendentes a mejorar la respuesta a los resultados obtenidos tras la cuantificación de alguno de estos límites, en especial el cambio climático, sin embargo, se observa como con la acidificación oceánica y marina esto no ha pasado. Son muy recientes los estudios que abordan esta problemática, de hecho, hasta hace apenas unas décadas no se disponían de datos científicos sobre esta cuestión, pese a que, como ya hemos visto, en 1950 algunos autores hacían referencia a los cambios químicos de la composición marina como consecuencia de los gases industriales. No obstante, la comunidad científica ha expuesto con rigurosidad la necesidad de seguir investigando sobre la acidificación al suponer un gran desafío para el planeta. Los riesgos que supone

sobre la diversidad de los ecosistemas acuáticos, como las consecuencias de un incremento del pH sobre la capacidad del manto azul para continuar con la función de sumideros de dióxido de carbono, pues no podemos obviar que eliminan en torno al 25 % de las emisiones de origen antrópico.

Esa interconexión entre ambos límites se evidencia con la dependencia entre ambos, a una mayor emisión de gases contaminantes - como el dióxido de carbono - mayor probabilidad de un incremento en el pH de mares y océanos, con las alteraciones químicas que puede conllevar y los efectos globales de los mismos. Mares y océanos son los grandes afectados y también los diferentes ecosistemas que en ellos residen, con todas sus especies, estos cambios detectados hace décadas han aumentado los niveles de contaminación que soportan, no solo el ya mencionado incremento de pH como consecuencia de una mayor emisión de gases de efecto invernadero, pues a ello debemos sumar el incremento de la temperatura y otros tipos de contaminantes, líquidos o sólidos que en la actualidad también se detectan (Halpern et al., 2015). Entre los grandes afectados encontramos aquellos hábitats formados por carbono, como pueden ser los arrecifes de coral, también otros como las praderas de fanerógamas marinas, hábitats con un potencial incalculable en la autorregulación del planeta, debido - entre otras cuestiones - al ser considerados como bioindicadores por excelencia del estado ambiental de las aguas, son un sumidero natural de dióxido de carbono, son fuente de recursos naturales y de servicios ecosistémicos, mejoran la calidad de las aguas. Las praderas de posidonia son muy sensibles a los cambios y en la situación actual se observa como la regresión de estas pueden ocasionar consecuencias muy negativas para los ecosistemas donde se encuentran, en especial, el Mar Mediterráneo, hace una década autores como Jordà et al. (2012) indicaba que esta especie podría verse afectada hasta en un 90 % atendiendo a las diferentes causas de impacto negativo sobre ella. Según Vaquer-Sunyer et al. (2021) tomando a la *Posidonia oceánica* como indicador se observa una disminución gradual del estado ambiental de las aguas de la zona de les Illes Balears, lo que debemos tenerlo en cuenta para poder afrontar la situación actual.

Las medidas a adoptar deben basarse en dos configuraciones, (a) aquellas orientadas a mitigar los efectos derivados del impacto de la acidificación del Mediterráneo junto con otros contaminantes, pues no podemos obviar el efecto global del conjunto y la interconexión existente, de ahí la adopción de medidas integrales; (b) aquellas dirigidas a adaptar la dependencia de las especies, en especial la humana,

sobre los servicios ecosistémicos obtenidos de mares y océanos, pues la capacidad de autorregulación de los ecosistemas acuáticos pueden permitir a sus integrantes adaptarse pero el nivel de dependencia por la sobreexplotación de los mismos de nuestra especie no permitirá ese ajuste natural. Esta estrategia ha sido adoptada ya para hacer frente al cambio climático dando resultados satisfactorios, pese a las cifras actuales. Para ello, es necesario implementar dentro de los mecanismos de ordenación y planificación marítima instrumentos de mitigación frente a la acidificación; como sugiere Harrould-Kolieb (2021, p. 554), dentro de las Áreas Marinas Protegidas (AMPs) pueden ser incorporadas medidas que tiendan directamente a proteger a los ecosistemas acuáticos frente a esta problemática. Asimismo, hacer frente a las emisiones de dióxido de carbono debe ir de la mano de instrumentos capaces de adaptar el medio para futuros escenarios, como hemos observado la gran biodiversidad acuática existente puede servir como aliado para hacer frente a tal situación. Pese a que a escala local y territorial se han ido adaptando medidas tanto de mitigación (Kelly et al., 2011, p. 1037) como de adaptación frente a la acidificación, son necesarias, tal como hemos visto con el cambio climático, incorporar estos mecanismos frente a la acidificación oceánica a escala global (Harrould-Kolieb, p. 557).

Las Naciones Unidas y la Unión Europea iniciaron discusiones sobre esa cuestión hace casi dos décadas, sin embargo, en la actualidad, algunos países no han considerado esta problemática como una prioridad, pese a las graves consecuencias de los daños ambientales generados (Galdies et al., 2020, p. 6), este hecho puede indicar que son necesarias medidas coordinadas a diferente nivel. La complejidad de la acidificación oceánica y marina precisa de una acción integral de alcance global complementada con instrumentos sectoriales orientados, todos ellos, hacia la mitigación y adaptación.

La especie humana ha transgredido varios límites que el planeta configura, llegando a poner en riesgo el equilibrio climático detectado hace miles de años con la llegada del Holoceno, ello supuso todo un halo de esperanza tras las catástrofes naturales que el planeta sufrió, incluidas las extinciones masivas de especies. Con el nivel de presión antrópica actual, se ha alterado el ritmo natural del planeta para hacer frente a los cambios globales que han venido sucediéndose, pero, a tenor por los datos expuestos en el presente, nuestra especie no ha aprendido de los errores ya cometidos. Observamos como después de una pandemia que ha afectado a millones de personas y que todavía sigue haciéndolo, la dependencia del mayor aliado del

cambio climático, los combustibles fósiles, no se ha visto afectada. Sirve de ejemplo diversos acuerdos internacionales que fueron incumplidos por parte de los diferentes países firmantes, como pueden ser los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODMs) que fueron adoptados por las Naciones Unidas en el año 2000, según se desprende del informe del propio organismo internacional los ambiciosos objetivos planteados por la comunidad internacional no lograron alcanzarse pese a los esfuerzos de algunas de las naciones (PNUD, 2015). Pese a ello, nuevamente los esfuerzos de la comunidad internacional dieron sus frutos con la aprobación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, conocidos como ODS (Naciones Unidas, 2015), donde se incluyen nuevos escenarios con la introducción del conocimiento científico. De esta forma se observa cómo se incluyen metodologías multinivel para analizar el desarrollo sostenible, donde se conjuga el conocimiento de diferentes áreas de conocimiento. El estado español ha establecido en la Agenda 2030 los ODS, donde se encuentra el objetivo 14, que consiste en “Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.” Dentro de ella, se especifica la meta 14.3. consistente en “Minimizar y abordar los efectos de la acidificación de los océanos, incluso mediante una mayor cooperación científica a todos los niveles.”.

Las medidas implementadas con la aprobación de los ODS, los indicadores utilizados para la acidificación de océanos son la acidez media del mar, a través de la medida del pH captada en estaciones de muestreo representativas, éstas no se encuentran registradas según se informa en la página del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2021). Ello denota, nuevamente, la falta de rigurosidad en las medidas políticas ambientales adoptadas por parte de las instituciones. Tal como afirma Gómez-Gil (2017, p. 118),

“... para que se produzcan avances significativos, los ODS necesitan decisiones claras y compromisos políticos precisos, que transformen la retórica vacía y las palabras huecas y sin valor en medidas efectivas de transformación para mejorar el castigado planeta y las condiciones de vida de sus habitantes.”

La importancia de la *Posidonia oceanica* para el Mediterráneo, donde está considerado uno de los recursos naturales de mayor importancia ecológica, es ya una evidencia, los esfuerzos de las administraciones de algunos territorios para hacer frente a las agresiones que nuestra especie está ocasionando sobre este hábitat, parecen no seguir el carácter integral que precisa este

medio (Morelle-Hungría, 2019). Las actividades antrópicas generan: vertidos, peligros físicos sobre la especie como puede ser a través del fondeo de embarcaciones, alteran las condiciones fisicoquímicas del medio marino, la presencia de especies invasoras, la pesca intensiva, etc. Frente a este escenario son necesarias medidas integrales dejando el carácter sectorial y, además, hacer frente de forma coordinada no solo en un territorio, sino que debe atenderse la importancia para todo el Mediterráneo. Hemos analizado la complejidad de la problemática que presenta la acidificación de mares y océanos, el impacto que puede tener sobre determinados hábitats marinos y oceánicos, como las barreras de coral o las praderas de esta fanerógama marina, el horizonte necesita incorporar a corto, medio y largo plazo mecanismos integrales multinivel desde un posicionamiento ecocéntrico, alejándonos de esa visión antropogénica que hemos evidenciado en el desarrollo de este artículo cuando hemos investigado los instrumentos jurídicos y normativos elaborados frente a esta problemática.

El daño ecológico que se puede generar con la transgresión de este límite planetario ha de ser tenido en cuenta desde esa perspectiva ecosistémica y con una visión ecocéntrica, de esta forma se podrán incrementar tanto la eficacia como eficiencia de los instrumentos y mecanismos, tanto de mitigación como de adaptación frente a la acidificación de mares y océanos. Son necesarios, además, replanteamientos nuevos que consideren el daño generado sobre los ecosistemas acuáticos por el valor que realmente representan, no solo para los beneficios de nuestra especie, pues como se ha advertido anteriormente, la importancia del buen estado de mares y océanos es esencial para el equilibrio ecológico y, por ende, de la propia especie humana. Como indica Serra-Palao (2020, p. 6) sobre resaltar la teoría de la justicia ecológica para hacer frente a la acción antrópica y limitar las actividades antrópicas teniendo en cuenta los límites del planeta,

“Este transformador marco ético-jurídico constituye una superación de las políticas ambientales de corte antropocéntrico y una reestructuración de los principios economicistas que guían en la actualidad la relación ser humano-naturaleza.”

Suscribiendo el posicionamiento de Serra-Palao (2020, p. 7), es necesario que los mecanismos jurídicos de protección que se puedan configurar tengan una perspectiva ecocéntrica, tan solo con este planteamiento se podrá hacer frente a la situación que hemos generado tras serios e inequívocos avisos que el planeta nos ha

ido dando, tan solo queda plantearnos ¿por qué tropezamos varias veces con el mismo obstáculo?

CONCLUSIONES

Los niveles de presión antropogénica ejercidos sobre los ecosistemas acuáticos están generando un impacto directo a escala multinivel y, además, evidencian una clara desigualdad en los flujos ecológico-económicos, en especial sobre algunos territorios y zonas más vulnerables, como pueden ser los territorios insulares del hemisferio sur del planeta, por lo que estamos ante un problema de alcance global y que además no es solo ecológico pues, afecta a todas las especies y sobre la especie humana se configura como una problemática socio ecológica (Ortega-Santos, 2021; Morelle-Hungría & Serra-Palao, 2021).

El planeta tierra dispone de un sistema de autorregulación el cual se ha visto afectado por el escenario configurado por la especie humana, en especial, sobre el componente mayoritario del planeta azul, el agua. Los daños ecológicos generados por las actividades realizadas, vinculadas al crecimiento incontrolado de los sistemas económicos han alcanzado tal nivel que suponen un peligro sobre el conjunto del planeta. Este planteamiento se configura desde una perspectiva ecocéntrica al estar todas las especies interrelacionadas, debido a ello los impactos y problemas surgidos por esta amenaza aumenta las probabilidades de traspasar los límites planetarios que todavía estamos a tiempo de revertir. Que el planeta dispone de límites para garantizar el estado de equilibrio en el que nos encontramos no es algo novedoso, sin embargo, no se han tenido en cuenta las consecuencias que pueden generar algunas de estos límites, como es la acidificación de mares y océanos.

El incremento de las emisiones de ciertos gases potenciadores del calentamiento global, en especial, del dióxido de carbono, supone un incremento del peligro para la salud planetaria al afectar con mayor impacto sobre el equilibrio de los conocidos como pulmones azules. La capacidad de una especie vegetal para hacer frente a otro límite planetario, el cambio climático, ha sido puesta de relieve por parte de la doctrina científica, la *Posidonia oceánica*. Esta especie de fanerógama marina endémica del mar Mediterráneo, dispone de una característica - entre otras - que la hace prioritaria para su protección, al ser considerada como un sumidero de dióxido de carbono. Sobre esta especie se han detectado diversas amenazas, la mayoría tienen la impronta humana, pero una de ellas ha pasado inadvertida, por

la falta de datos que desde hace tiempo se tenía, los cambios en la composición química del agua de mares y océanos como consecuencia de la acidificación. Este proceso es consecuencia, principalmente, del incremento de las emisiones de dióxido de carbono lo que puede hacer disminuir el pH del agua, este cambio a nivel global tendrá unos efectos sobre los ecosistemas acuáticos, pero, en especial, tendrá un impacto directo sobre aquellas especies y hábitats como las formaciones coralinas y las praderas de *Posidonia oceánica*.

Los mecanismos adoptados hasta la fecha han seguido la senda marcada por los elaborados para hacer frente a otro límite, el cambio climático, sin embargo, estas deben ser específicas a tenor de la complejidad de esta amenaza acuática. Los instrumentos jurídicos que deben implantarse deben configurarse desde una perspectiva ecocéntrica, tendentes a la mitigación como a la adaptación de los medios afectados, para ello debe analizarse el daño ecológico que podría generar. El conocimiento científico tendrá un papel relevante en las medidas configuradas para la protección de mares y océanos en general, y sobre los ecosistemas más vulnerables que precisarán de prioridad para su protección. Las praderas de *Posidonia oceánica* son determinantes para el futuro del medio marino y, por ende, del planeta, de esta forma serán necesarias medidas de alcance internacional pero también la reconfiguración de los mecanismos de protección ambiental establecidas en nuestro ordenamiento. La conjunción de varias disciplinas como la criminología, la sociología, la ecología, el derecho y la biología, se alzan como una característica esencial y prioritaria para la elaboración de verdaderos instrumentos de protección planetaria.

Bibliografía

- Agawin, N. S. R., Gil Atorrasagasti, M. G., Frank Comas, A., Fernández-Juárez, V., López-Alforja, X., & Hendriks, I. E. (2021). Response of the seagrass *Posidonia* oceánica and its associated N₂ fixers to high business-as-usual climate change scenario in winter. *Limnology and Oceanography*, 66(6), 2346–2359. <http://doi.org/10.1002/lno.11758>
- Aryal S., Maraseni T., Cockfield G., de Bruyn L.L. (2018) Transhumance, Livestock Mobility and Mutual Benefits Between Crop and Livestock Production. In: Lichtfouse E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews 31. Sustainable Agriculture Reviews, vol 31. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94232-2_2
- Brisman, A., & South, N. (2019). Green criminology and environmental crimes and harms. *Sociology Compass*, 13(1), e12650. <https://doi.org/10.1111/soc4.12650>
- Brisman, A., & South, N. (Eds.). (2020). *Routledge international handbook of green criminology* (2nd ed.). Routledge.
- Canfield, D-E., Glazer, A-N., Falkowski, P-G. (2010). The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle. *Science*, vol 330.
- Collste, D., Cornell, S., Randers, J., Rockström, J., & Stoknes, P. (2021). Human well-being in the Anthropocene: Limits to growth. *Global Sustainability*, 4, E30. <http://doi.org/10.1017/sus.2021.26>
- Doney, C.S. (2006). Los peligros de la acidificación oceánica. *MUSEO*, vol. 3, n°21, 17.
- Fernández-Giménez, M-E., and Ritten, J. (2020). An economic analysis of transhumance in the Central Spanish Pyrenees. *Pastoralism* 10: 1-13. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s13570-020-00163-4.pdf>
- García-Fernández, A., Manzano, P., Seoane, J., Azcárate, F-M., Iriondo, J-M. and Peco, B. (2019). Herbivore corridors sustain genetic footprint in plant populations: a case for Spanish drove roads. *PeerJ* 7, e7311. <https://peerj.com/articles/7311/?fbclid=IwAR0dMVUNqtzViVLwyA20cv6BbAPjkTtkJgmA4hAuhOYddKYcXpc6fNR37n0>
- García-Ruiz, A., South, N., & Brisman, A. (2020). Eco-Crimes and Ecocide at Sea: Toward a New Blue Criminology. *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, 0306624X2096795. <https://doi.org/10.1177/0306624x20967950>
- Geri, P., El Yacoubi, S., Goyet, C., (2014). Forecast of sea surface acidification in the Northwestern Mediterranean Sea. *J. Comput. Environ. Sci.* 7. Article ID 201819.
- Gispert, J. (2021). La trashumancia puede fijar del 10 al 20% de las emisiones globales de combustibles fósiles. *Terra: Ecología práctica*. Octubre 2021. Disponible en <https://www.terra.org/categorias/articulos/la-trashumancia-puede-fijar-del-10-al-20-de-las-emisiones-globales-co2>
- Gómez-Gil, C. (2017). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica PAPELES de relaciones ecosociales y cambio global, núm. 140, 2017/18, pp. 107-118. Disponible en

- https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/revisita_papeles/140/ODS-revision-critica-C.Gomez.pdf
- Gómez Lee, Martha Isabel, Agenda 2030 de desarrollo sostenible: comunidad epistémica de los límites planetarios y cambio climático (2030 Agenda for Sustainable Development: The Epistemic Community of Planetary Limits and Climate Change) (January 19, 2019). *OPERA* No.24, Enero-Junio, 2019, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3338094>
- Guarín Calle, J. C., & Vitoncó Orozco, Y. (2022). La huella ecológica, indicador de sostenibilidad ambiental y social. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4156-4175. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1791
- Hall, M. (2013). "Victims of environmental harms and their role in national and international justice", in: WALTERS, R., WESTERHUIS, D.S. and WYATT, T. (Eds.), *Emerging issues in Green Criminology. Exploring power, justice and harm*, op. cit., 218-241, p. 222- 228. También: HALL, M., *Victims of Environmental Harm, Rights, Recognition and Redress Under National and International Law*, Oxon (UK): Routledge.
- Hall, M., & Varona, G. (2018). La victimología verde como espacio de encuentro para repensar la otredad más allá de la posesión. *Revista de Victimología Online*, (7), 107-128.
- Halpern BS, Frazier M, Potapenko J, Casey KS, Koenig K, Longo C, Stuart Lowndes J, Cotton Rockwoow R., Selig ER, Selkoe K y Walbridge S. (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 6:7615.
- Harrould-Kolieb, E. (2021), Enhancing synergies between action on ocean acidification and the post-2020 global biodiversity framework. *Conservation Biology*, 35: 548-558. <https://doi.org/10.1111/cobi.13598>
- IGBP, IOC, SCOR. (2013). Ocean Acidification Summary for Policymakers – Third Symposium on the Ocean in a High-CO2 World. International Geosphere-Biosphere Programme, Stockholm, Sweden.
- INE, (2021). Indicadores de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Consultado en <https://www.ine.es/dyngs/ODS/es/objetivo.htm?id=5128>
- IPCC, (2019). Resumen para responsables de políticas, en: *Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC* [H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (eds.)]. En prensa. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf
- Jordà, G., Marbà, N., & Duarte, C. M. (2012). Mediterranean seagrass vulnerable to regional climate warming. *Nature climate change*, 2(11), 821-824.
- Jouffray, J.-N., Blasiak, R., Norström, A., Osterblom, H., & Nyström, H. (2020). The blue acceleration: The trajectory of human expansion into the ocean. *One Earth, Perspective*, 2(1), 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.12.01>
- Kelly, R. P., Foley, M. M., Fisher, W. S., Feely, R. A., Halpern, B. S., Waldbusser, G. G., & Caldwell, M. R. (2011). Mitigating Local Causes of Ocean Acidification with Existing Laws. *Science*, 332(6033), 1036-1037. <http://doi.org/10.1126/science.1203815>
- Laffoley, D., Baxter, J.M., Turley, C., Jewett, L., y Lagos, N.A., (editores). (2017). Una introducción a la acidificación del océano: Lo que es, lo que sabemos y lo que puede suceder. UICN, Gland, Suiza, 30 pp.
- Lacoue-Labarthe et al. (2016). Impacts of ocean acidification in a warming Mediterranean Sea: An overview. *Regional Studies in Marine Science* 6, 1-11.
- Lee, K., Choi, S.-D., Park, G.-H., Wanninkhof, R., Peng, T.-H., Key, R.M., Sabine, C.L., Feely, R.A., Bullister, J.L., Millero, F.J., Kozyr, A., (2003). An updated anthropogenic CO2 inventory in the Atlantic Ocean. *Glob. Biogeochem. Cycles* 17, 1116.
- Link, J. S., Pranovi, F., & Libralato, S. (2022). Simulations and interpretations of cumulative trophic theory. *Ecological Modelling*, 463, 109800.
- Lovelock, J. (2000). *The ages of Gaia: A biography of our living earth*. Oxford University Press, USA.
- Lovelock, J. (2006). *The Revenge of Gaia: Earth's Climate Crisis & the Fate of Humanity*. New York: Basic Books.
- Lovelock, J. (2009). *The Vanishing Face of Gaia*. New York: Basic Books.
- Lovelock, J. & Margulis, L. (1974). Atmospheric Homeostasis by and for the Biosphere: The Gaia Hypothesis. *Tellus*, 26 (1-2), p. 2-10.
- Lynch, M. J., Long, M. A., & Stretesky, P. B. (2019). *Green Criminology and Green Theories of Justice*. Palgrave Macmillan, Cham.
- Manzano, P., A. García-Fernández, J. Seoane, F. M. Azcárate, J. M. Iriondo, and B. Peco. (2021). *Livestock Corridors Working as Pollinator Refuges and Dispersal Hotspots: Lessons from Spain*. <https://uknowledge.uky.edu/igc/24/1/23/>
- Mecca, S., Casoli, E., Ardizzzone, G., & Gambi, M. C. (2020). Effects of ocean acidification on phenology and epiphytes of the seagrass *Posidonia oceanica* at two CO2 vent systems of Ischia (Italy). *Mediterranean Marine Science*, 21(1), 70-83. <https://doi.org/10.12681/mms.20795>
- Morelle-Hungría, E. (2019). Análisis jurídico y viabilidad de la protección autonómica de la posidonia oceanica, a través del Decreto 25/2018, de 27 de julio, en las Illes Balears. *Medio Ambiente & Derecho: Revista electrónica de derecho ambiental*, 34.
- Morelle-Hungría, E., (2020a). Ecocriminología, la necesaria visión ecosistémica en el siglo XXI. *Revista electrónica de criminología*, núm. 3, pp. 1-16.
- Morelle-Hungría, E. (2020b). La protección de la biodiversidad marina frente al ruido subacuático: ¿es necesario incorporar valores umbral?. *Revista Jacobea de Posgrado*, núm. 19.

- Morelle-Hungría, E. (2022). Explorando los límites planetarios y la respuesta frente a un problema de seguridad integral: el cambio climático. Pendiente evaluación.
- Morelle-Hungría, E. & Serra-Palao, P. (2021). New Challenges in Planetary Health: A Brief Review of the "Blue Lung". Paper presented in International Conference, *Towards a Global Legal Framework in Harmony and Peace with Nature*. International Council of Environmental Law (ICEL), University Carlos III of Madrid (Uc3m, Spain), november 2021.
- Muñoz, T. (2021). Ecosistemas marinos, otra víctima más del CO2. Consultado en <https://prezi.com/p/hrhhyvi5iqhm/ecosistemas-marinos-otra-victima-mas-del-co2/> el 28 de septiembre de 2022.
- Nogueira López, A. (2019). La huella ecológica. El establecimiento de indicadores ambientales y su significación para el Derecho. *Revista Catalana De Dret Ambiental*, 10(1). <https://doi.org/10.17345/rcda2589>
- Olalla, M.A. (2003). Indicadores de sostenibilidad y huella ecológica. Aplicación a la UAM. Resumen del Proyecto de Fin de Carrera de la Licenciatura de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México.
- Ortega-Santos, A. (2021). Extractivismo marino-colonial. Apropiación asimétrica de recursos marinos en el golfo de California (México) siglos XVI-XXI. *Relaciones Internacionales*, (46), 99-117.
- Ortiz-García, M. (2011). La Ley de Protección del Medio Marino: hacia la gobernanza marítima. *Revista Catalana de Dret Ambiental*. 2011, 2(2): 1-31
- Palmiéri, J., Orr, J.C., Dutay, J.-C., Béranger, K., Schneider, A., Beuvier, J., Somot, S., (2014). Simulated anthropogenic CO2 uptake and acidification of the Mediterranean Sea. *Biogeosci. Discuss.* 11, 6461–6517.
- Palao, P. S. (2020). Cómo hacer frente a la impunidad ambiental: hacia una Convención Internacional contra el ecodidio. *Actualidad Jurídica Ambiental*, (100), 6-35.
- Potter, G. (in press). Green criminology as ecocriminology: Developing an ecologically-informed social science of crime. In H. Mol, D. R. Goyes, A. Brisman, & N. South (Eds.), *Introducción a la Criminología Verde: Conceptos para la comprensión de los problemas socio-ambientales*. Bogotá: Universidad Antonio Nariño.
- Rees, W.E.; Wackernagel, M. (2008). Urban Ecological Footprints: why cities cannot be sustainable. In *Urban Ecology*, ed. Maluff, J.M. et al., pp. 537-555, Boston: Springer.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- Sabine, C.L., Feely, R.A., Key, R.M., Bullister, J.L., Millero, F.J., Lee, K., Peng, T.-H., Tilbrook, B., Ono, T., Wong, C.S., (2002). Distribution of anthropogenic CO2 in the Pacific Ocean. *Glob. Biogeochem. Cycles* 16, 1083.
- Sauza, B, Tocamo, Y y González, J. (2021). Acidificación de los océanos. Universidad UMECIT.
- Schneider, A., Tanhua, T., Körtzinger, A., Wallace, D.W.R., (2010). High anthropogenic carbon content in the eastern Mediterranean. *J. Geophys. Res.* 115, C12050.
- South, N. (2014). Green Criminology: Reflections, Connections, Horizons. *International Journal for Crime, Justice and Social Democracy*, 3(2), 5-20.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Taylor, M. (2019, April 3). Campaign to save oceans maps out global network of sanctuaries. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/2019/apr/04/campaign-to-save-oceans-maps-out-global-network-of-sanctuaries>
- Vaquer-Sunyer, R., Barrientos, N., Reviriego, B., Santandreu M., y Martino, S. (2021). Índice Multivariante Posidonia oceanica (POMI). Informe Del Mar Balear. Disponible en <https://www.informemarbalear.org/wp-content/uploads/2021/03/imb-pomi-esp.pdf>
- Wackernagel, M.; Rees W. E., (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Published, Philadelphia. pp. 326-348.
- Zunino, S., Libralato, S., Melaku Canu, D., Prato, G., Solidoro, C., (2021). Impact of ocean acidification on ecosystem functioning and services in habitat-forming species and marine ecosystems. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00601-3>

