



Dimensiones de la humanidad y retos actuales de la ecología

María F. Schmitz¹ , Francisco D. Pineda^{1,*}

(1) Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución. Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais, 12. 28040 Madrid, España.

* Autor de correspondencia: Francisco D. Pineda [pacopi@ucm.es]

> Recibido el 26 de octubre de 2022 - Aceptado el 07 de noviembre de 2022

Como citar: Schmitz, M.F., Díaz Pineda, F. 2023. Dimensiones de la humanidad y retos actuales de la ecología. *Ecosistemas* 32(especial): 2490. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2490>

Dimensiones de la humanidad y retos actuales de la ecología

Resumen: Comentamos algunas implicaciones ecológicas de la presencia de la especie humana en la Tierra, refiriendo determinados retos actuales de la ecología, la ciencia de los ecosistemas. Podemos observar una sociedad consciente, aunque aún no suficientemente motivada, del alcance que tienen ya los serios problemas ambientales que afectan a la humanidad. Estos empezaron a ser considerados con decisión y determinación en el mundo académico apenas en las últimas cuatro décadas. La circunstancia sirve hoy para gestar acuerdos urgentes y necesarios que proporcionen soluciones a escalas regionales y globales. La eficacia de la toma de decisiones ambientales y la actuación de todas las administraciones políticas de los países del planeta constituyen hoy un objetivo apremiante.

La cuestión fue ya motivo de preocupación para científicos como González Bernáldez, entre numerosos investigadores, técnicos e intelectuales algunos de los cuales citamos aquí. Buena parte de ellos, como quienes suscribimos el presente artículo, consideran además que, con excesiva frecuencia, los términos ecológico, medioambiental, equilibrio ecológico... y muchas otras palabras de moda, no son bien entendidos ni referidos en su verdadero contexto, alcance y aplicación.

Basándonos en las aportaciones de algunos de esos científicos, y bajo nuestra propia perspectiva, resumimos algunos aspectos clave del comportamiento peculiar de la especie humana, considerando el uso poco sensato que viene haciendo de los recursos materiales, energéticos y espaciales del planeta, lo que esto supone en la actualidad y lo que implicará en un futuro probablemente cercano si no cambiamos ese comportamiento.

Palabras clave: biosfera; ecosfera; interacción humanidad-ecosfera; noosfera; paisaje; salud del planeta

Monitoring of arthropod bioindicators in urban areas: objectives, experiences, and perspectives

Abstract: Determined ecological implications of the human species' presence on Earth are commented. We highlight some of the current challenges of ecology, the science of ecosystems, observing a society aware, although not yet sufficiently motivated, of the scope of the serious environmental problems already affecting humanity. These problems have begun to be considered with resolution and determination in the academic world hardly during the last four decades. The circumstance serves today to devise urgent and necessary agreements providing solutions at regional and global scales. The effectiveness of environmental decision-making and the action of all political administrations across the globe are today a pressing objective.

The issue was already a matter of concern for scientists such as González Bernáldez, among numerous researchers, technicians and intellectuals, some of whom we cite here. Many of them, and also the authors of this text, also consider that, too often, the terms ecological, environmental, ecological equilibrium..., amid other fashion terms, are not well understood or properly referred to in their true context, scope and application.

Building upon the contributions of some of those scientists, and applying our own perspective, we summarize the peculiar behaviour of the human species, considering the unwise use it has been making of the matter, energy and spatial resources of the planet, what this means at present and what it will imply in the probably near future if we do not change that behaviour.

Keywords: biosphere; ecosphere; human-ecosphere interaction; landscape; noosphere; planet health

Introducción

Entre otros estudios semejantes, un análisis publicado en *Nature Climate Change* resume en cinco tipos los riesgos asociados a cambios ambientales detectados en la Tierra apenas en las últimas décadas (Cramer et al. 2018). Estos pueden identificarse examinando diferentes regiones y medios continentales y marinos del planeta y también estudiándolo de manera global, gracias a los medios de que hoy disponen la ciencia y sus aplicaciones. Se trata de contingencias muy serias: escasez de agua, pérdida de biodiversi-

dad, garantía alimentaria, problemas de seguridad e inquietud sobre la salud pública. La sociedad humana está hoy generalmente informada de lo que podemos considerar una amplia temática ambiental, por ejemplo, mediante publicaciones como la mencionada. Junto a los autores del citado estudio, numerosas personas documentadas y expertas refieren las preocupaciones de lo que ha venido a llamarse acertadamente 'la salud del planeta'. Así, entre otros investigadores alarmados, el meteorólogo brasileño Carlos Nobre (Pinedo 2021) comenta recientemente lo que llama 'síntomas de muerte' apreciables en amplias extensiones de la Amazonía

y, entre otros informes interesantes, [WWF \(2022\)](#) acaba de publicar su habitual y valioso *Informe Planeta Vivo* destacando su inquietud con perspectiva biológica y faunística.

Partiendo de enfoques e ideas propios de la ciencia ecológica, y tomando como referencia algunos autores que citaremos oportunamente, el presente ensayo refiere, con perspectiva e inspiración ecológicas, algunas de las grandes cuestiones que han condicionado el desarrollo histórico de la humanidad y que suponen otros tantos retos para su bienestar presente y futuro. Dada la amplitud de estas dimensiones socio-ecológicas, no se pretende aportar una revisión o puesta al día de cada una de ellas en concreto, ni de la inmensa bibliografía que al respecto podría citarse. Centraremos, por tanto, el apoyo bibliográfico fundamentalmente en referencias de índole socio-ecológica, sobre cuya base planteamos nuestros comentarios.

Nuestra sociedad está preocupada y, asimismo, algo confusa y escéptica, dadas la cantidad y las tipologías de las noticias recibidas a través de algunos medios de comunicación que reiteradamente explotan, frecuentemente con poco conocimiento, la moda del 'medioambiente'. Entre los términos más aludidos, quizá la biodiversidad y el ecosistema gocen de la mayor popularidad, sobre todo en los últimos años. Pero muchos de esos vocablos son mal usados y entendidos incluso, sorprendentemente, por algunas instituciones académicas. Por ejemplo, 'ecosistema emprendimiento', 'ecosistema videojuego', 'ecosistema futbolístico', 'biodiversidad musical', 'equilibrio ecológico'..., entre otros neologismos, muchos de los cuales resultan absurdos. 'El pensamiento corrompe el lenguaje y también el lenguaje corrompe el pensamiento', según dijera George Orwell (1903-1950). Esto quizá nos compromete a todos y no debiéramos ser indolentes, nos dediquemos o no a la investigación, la aplicación y la enseñanza de la ciencia ecológica ([Pineda 2020](#)). Tras la realidad de esta moda percibimos una sensibilidad social que quizá se traduzca pronto en una actitud seria, responsable y, sobre todo, en un compromiso real de las administraciones. Así, en septiembre de 2022 se celebró la última *Asamblea General de las Naciones Unidas* —el 'Festival de la Democracia', según comentó el alto representante de la Unión Europea, Josep Borrell—. Un asunto muy serio de esta reunión se refirió a la presencia humana en el planeta y su influencia en las circunstancias que actualmente son protagonistas: el cambio climático, la urgencia de aumentar seriamente la oferta de energía solar y eólica, así como de 'hidrógeno verde', y la necesidad de afrontar el peligro de la deforestación. Paralelamente se consideraron los efectos sociales, económicos y ambientales de la guerra de Ucrania y de la última pandemia, circunstancias que aparecen interrelacionadas.

En cuanto a uno de los términos antes mencionados, la *biodiversidad*, el profesor Ramón Margalef se refería a esta idea considerándola sencillamente como el 'diccionario' de la vida, es decir, la relación o lista de especies biológicas presentes en distintos lugares o hábitats de la Tierra, así como sus razas, variedades y formas. Algunos biólogos preocupados por el número de especies que hoy habitan la Tierra estiman en unos dos millones las conocidas, pero probablemente se trate de un número mucho mayor. En cualquier caso, el número de especies consideradas amenazadas de desaparición es bastante elevado. Margalef diferenciaba también la biodiversidad de la *diversidad biológica*, que no consideraba en absoluto como su sinónimo sino como una idea más compleja e informativa que aquélla: la diversidad biológica es el 'lenguaje' de la vida, es decir, la variación de las proporciones y combinaciones de abundancias de las especies que habitan diferentes lugares, dependiendo de las características ambientales de éstos. Así, sabemos que en la Naturaleza, en lugares considerados supuestamente silvestres o no, suceden habitualmente fenómenos que afectan al número, proporciones y variedad de componentes vivos: i) ritmos —oscilaciones bien marcadas en el tiempo de algunas poblaciones biológicas—; ii) fluctuaciones —variaciones más o menos erráticas del tamaño de éstas— y iii) sucesión —cambios de las poblaciones de unas especies por otras, al principio rápidos y progresivamente más lentos, desde que comienza la colonización de un 'espacio

vacío de vida' hasta situaciones en que estas poblaciones permanecen mucho tiempo y varían lentamente, circunstancia conocida como *clímax*—. Estos fenómenos están generalmente muy condicionados, principalmente por un marco meteorológico y por su proyección a lo largo del tiempo —el clima—, junto a muchos otros fenómenos fisicoquímicos e influencias humanas que hace tiempo que eran percibidas, aunque no se mostraran tan evidentes como ahora.

La ecología es la ciencia de los ecosistemas. Se trata de un conocimiento interdisciplinar y transdisciplinar. Los ecosistemas, entiéndase bien, son 'conjuntos de procesos físicos (abióticos), biológicos y culturales interrelacionados'. Los procesos son, a su vez, conjuntos de fenómenos interrelacionados, de manera que estos sistemas suelen tener un funcionamiento notablemente complejo, aunque con frecuencia se consideren popularmente y también —de nuevo, incluso en algunos ámbitos académicos— con un fuerte sesgo biológico, llegándose a hablar de "ecosistemas vegetales", o "animales", etc., es decir, confundiendo *comunidades biológicas* (conjuntos de poblaciones de diferentes especies) con ecosistemas. La vida participa en éstos con un porcentaje realmente muy pequeño del flujo energético que rige el funcionamiento de los ecosistemas. Este flujo es principalmente de carácter físico o físico-químico y explica más del 93% de ese funcionamiento, aún en los lugares de mayor acumulación de biomasa, como una selva tropical, entre otros. Los flujos de carácter biológico llegan a alcanzar apenas el 3%, incluso en ecosistemas de carácter 'maduro', como un bosque muy longevo ([Gosz et al. 1978](#); [Escarré et al. 1984](#), entre otros). En cuanto a los flujos energéticos culturales, éstos dependen del tipo de ecosistema y son muy diferentes en un área presuntamente silvestre que en un bosque gestionado por su madera o sus frutos, una pradera administrada en términos ganaderos, un cultivo, una cuenca hidrográfica, un lago o una ciudad.

Los ecosistemas que suelen diferenciarse en el planeta —su configuración espacial precisa, los límites con que a veces se marcan o confinan según un juicio personal, señalándose cartográficamente extensión y contornos— son algo realmente difícil de delimitar. Ocurre que las permanentes dinámicas atmosférica, hídrica o geológica, con la consecuente transmisión de calor de un lugar a otro, viento, humedad, polvo, movimientos animales y todo tipo de propágulos biológicos, el transporte humano, etc., impedirán una delimitación definitiva del contorno de éstos, que será siempre subjetiva. La orilla de un lago permite diferenciar el medio acuático del terrestre, que lo rodea, pudiendo delimitarse la forma y extensión de esta masa de agua, pero más difícilmente las del ecosistema lago: la dinámica geomorfológica de la cuenca, sus suelos, la infiltración edáfica del agua de lluvia, su percolación y finalmente su descarga, así como la vegetación, fauna, usos del suelo, etc., harían difícil delimitar el ecosistema lago recurriéndose sólo a la orilla, así que incluso en este caso, es difícil o imposible, establecer objetivamente los límites cartesianos del ecosistema.

Hace mucho tiempo que no existen *ecosistemas silvestres* en la Tierra, aunque algunos paisajes muestren esa apariencia. Además, si hoy en día subimos al Himalaya, las características de la radiación solar que recibamos a esa altitud, el aire que respiremos o el viento que notemos hace ya mucho tiempo que son, en buena medida, productos de la cultura. Cada vez son más evidentes los cambios ambientales provocados por la humanidad en la *ecosfera* —el ecosistema constituido por el planeta Tierra, seguramente el único lugar del universo donde existe la vida, tal como la conocen bioquímicos y biólogos, entre otros estudiosos de las ciencias experimentales—. Los límites espaciales de este ecosistema también son difusos, ligados esencialmente a la fuerza de la gravedad, la energía geotérmica del planeta y la radiación solar y cósmica recibida.

La cultura, por su parte, es la manifestación de las actividades humanas en el planeta, como agricultura, recolección, caza, pesca, ganadería, minería, arquitectura, pintura, literatura, escultura, música... La mayoría de las actividades mencionadas tienen lugar desde la prehistoria hasta nuestros días ([Koenigswald 1960](#); [Millás y Arsuaga 2020](#), entre otros). El profesor Pedro Montserrat (*Mont-*

serrat 2009, entre otras publicaciones suyas sobre el tema) consideraba que las últimas de las actividades aludidas realmente serían en la actualidad la ‘espuma de la cultura’. Desde hace poco más de un siglo el nombre *noosfera* comparte protagonismo con el de ecosfera, antes mencionado. El término *noosfera* se debe al científico ucraniano y soviético Vladimir I. Vernadski (1863-1945) y refiere la serie de cambios en el funcionamiento y estructura de la Tierra dirigidos, directa o indirectamente, por la mente humana (*noos*). El término *ecosfera* se debe probablemente al norteamericano Kennet S. Cole (1900-1984) que, entre otros aspectos, completa y perfila el de *biosfera*, o conjunto de comunidades biológicas del planeta.

Hace algunos años que, mediante una fluida correspondencia con el profesor Margalef, quienes suscribimos el presente texto comprendimos que no existieran ya ecosistemas silvestres en la Tierra. En relación con ello, las observaciones de maestros de la ciencia ecológica, entre ellos los ya citados, ayudan a pensar en la seria problemática ambiental generada por la humanidad. Esta tendrá —está teniendo ya— serias consecuencias en la estructura y la dinámica de medios acuáticos continentales y marinos, en ambientes terrestres, en la atmósfera y en la propia supervivencia humana y de otras muchas especies que ahora pueblan la Tierra.

Algunos discípulos del profesor Fernando González Bernáldez, a quien dedicamos el presente texto en el treinta aniversario de su muerte, también tuvimos ocasión de aprender con él, a través de análisis e interpretación del territorio (Martínez de Pisón 2004; Farinós Dasi 2022; Mata Olmo y López Estébanez 2022), algunas de las consecuencias ecológicas actuales de la presencia humana en la ecosfera. Entre otras enseñanzas, Bernáldez explicaba que ‘el paisaje es la percepción polisensorial que tiene un observador de la imagen generada por la trama de relaciones ecológicas subyacente en cualquier lugar’ (Pineda et al. 1973; González Bernáldez 1981, 1985). La apariencia del paisaje puede variar de lo fascinante o precioso a lo desagradable u horroroso y, tras estas estimaciones subjetivas, pueden llegar a vislumbrarse y medirse factores ambientales importantes del funcionamiento de los sistemas que subyacen en él. En relación con esto, también puede entenderse al paisaje como un indicador ecológico de las manifestaciones más o menos naturales de la ecosfera y de su gestión o administración humana. Por ejemplo, mediante procedimientos adecuados de detección de su valor o interés a través de su percepción por diferentes observadores encuestados y no sólo por expertos o avezados en su estudio.

Como ciencia, ‘la ecología no puede decir que un paisaje sea bueno o malo’, indicaba Margalef (Margalef 1983). Pero admitiendo esto, el análisis del paisaje a diferentes escalas y su valoración por la sociedad en el entorno en que habitualmente vive o que eventualmente visite con diferentes fines —recreo, trabajo, turismo...— puede ayudar a entender su valor, así como las *razones* por las que un paisaje sea considerado bello y atractivo por diferentes personas, o todo lo contrario. Esto, en cierta medida, también alerta sobre la implicación de la sociedad humana en algunas consecuencias serias, fácilmente perceptibles o no, de su presencia en la ecosfera.

La especie humana en la ecosfera

La aparición de los ancestros de la humanidad junto a las especies que constituían la biosfera en ese momento debió suponer desde sus comienzos una cierta simplificación de la estructura biológica de las regiones que la especie humana empezó a habitar. La lenta pero progresiva mayor sencillez del paisaje continental debió de estar ligada sobre todo a la alimentación de esta especie, probablemente centrada primero en la recolección de frutos energéticos, carnosos y dulces, seguida de una dieta completada con alimentos proteicos animales, mediante la caza, junto a unas incipientes actividades ganaderas y agrícolas. Con el dominio del fuego, el progreso de tales actividades en los lugares habitados por

esta especie tuvo que suponer aumentar la relación entre la producción vegetal, *P*, y la biomasa, *B*, hasta entonces existente en esos sitios. La relación entre esos parámetros, *P/B*, conocida como *tasa de renovación*, $r = 1/t$, debió empezar a aumentar con el transcurso del tiempo, *t*; siendo así que biomasa, producción vegetal y tiempo mantienen una conocida relación,

$$r = P/B = B/t/B = 1/t$$

El valor de este cociente aumentaría progresivamente con el desarrollo de la caza, la ganadería, la recolección de leña, la selvicultura y la agricultura, generándose una simplificación estructural de la biomasa vegetal presente y de la materia orgánica del suelo en los territorios habitados. Así, el paisaje humanizado se extendió progresivamente por los medios continentales del planeta. Esa capacidad transformadora del paisaje sigue aumentando en la actualidad con enorme eficacia. Al final del presente texto volveremos a referirnos a la idea de paisaje.

Margalef comenta la interacción actual de la humanidad con el resto de la ecosfera (Margalef 1974) refiriéndose a algunas de las características exclusivas de nuestra especie que la diferencian de ‘otras especies animales dominantes’. Las que destaca y comentaremos ahora son cinco: 1) capacidad de transporte; 2) generación y consumo de energía exosomática —no alimentaria, como petróleo o carbón—; 3) tendencia a generar y acumular residuos (contaminación); 4) las tristemente actuales aptitudes para propagar enfermedades y 5) invención del dinero. Todas ellas aparecen como protagonistas de mayor o menor relieve en los riesgos asociados a cambios ambientales acumulados en la Tierra a lo largo de la historia y han llegado a ser realmente problemas muy serios apenas en el último siglo. En los párrafos siguientes se comentan estos cinco aspectos.

En cuanto a la *capacidad de transporte* humana, ésta se diferencia con eficacia de los mecanismos biológicos evolutivamente exitosos que representan, tanto en animales como en otros organismos, una posibilidad de escapar de los circuitos naturales de regulación local mediante ‘mecanismos de prueba y error’, bien a través de movimientos en pequeños trayectos o a través de migraciones a grandes distancias. Estas últimas estarían motivadas sobre todo por el mesoclima, o clima regional y local, y la necesidad de alimentos y hábitats adecuados en cada momento. La capacidad de transporte alcanzada por la sociedad humana gracias a rápidos vehículos, como trenes, grandes camiones, aviones o grandes barcos repercute desde hace tiempo (López Linage y Arbex 2005, entre otros), tanto en la disponibilidad de alimentos y de energía exosomática como en el traslado de materiales dispares, incluyéndose entre ellos residuos y contaminantes, así como pandemias.

En relación con la generación y el consumo humano de *energía exosomática*, la posibilidad de disponer de ella se debe en gran medida al funcionamiento de la biosfera desde el pasado remoto, que ofrece hoy materia energética como petróleo, carbón mineral o gas, actualmente usadas en este orden. Esta disponibilidad se debe también a la capacidad de captar eficazmente energía hidráulica, solar, geotérmica y, desde antiguo, la eólica y mareal. La obtención y eficacia del uso de estas formas de energía guardan relación con la capacidad de transporte aludida y su relación con los combustibles, de forma algo diferente en el caso de la energía solar. Sus repartos y consumos son actualmente muy desiguales en las sociedades constituidas por los 8000 millones de personas estimados como población humana de la Tierra. El consumo medio diario de energía alimentaria por una persona puede estimarse en 1500-2500 kcal, salvo que se tratase de un individuo muy activo, como un atleta o alguien que desarrolle una labor física importante. El uso de energía exosomática es mucho mayor que la alimentaria en las diferentes sociedades humanas, aunque con gran varianza entre éstas.

La contaminación generada por buena parte de estas fuentes de energía es muy considerable, tiene claro protagonismo en el ciclo del carbono en la Tierra (Pineda 2000, entre otros) y en la seria afección al clima que viene ocurriendo progresivamente en las últimas décadas. Particularmente la Unión Europea se encuentra cada vez más comprometida para paliar el problema derivado del consumo de esas fuentes. En estos días hay perspectivas y realidades optimistas para la obtención de hidrógeno verde. España se encuentra entre los países con liderazgo en esta estrategia. Ocurre que, siendo el hidrógeno el elemento químico más abundante encontrado hasta hoy en el universo, en la superficie de la Tierra es escaso aunque, como hidrógeno molecular, forme parte de emanaciones volcánicas y se encuentre en la propia molécula de agua. Su papel en la fotosíntesis y la producción primaria es esencial en la trama de relaciones de la vida y los ecosistemas. Actualmente, diferentes industrias se unen a la producción de hidrógeno verde usado ya en varias empresas de fertilizantes y siderurgia, así como en transportes de mercancías a grandes distancias.

El dinero aparece como una variable con fuerte relación con todo esto, particularmente respecto al origen y la producción de estas formas de energía, su transporte y el tratamiento de residuos. Además, considerando la aptitud que proporciona a la humanidad la disponibilidad energética, la eficacia del transporte pareciera superar al propio funcionamiento de la ecosfera respecto a la velocidad y la cantidad de materia transportable hoy a distancias enormes entre unos lugares y otros. Relacionado con esto, el dinero está asociado también a transportes de información antes no existentes. Así, entre otros ejemplos curiosos de la realidad humana actual, millones de usuarios de Internet almacenan en sus computadoras y teléfonos móviles multitud de datos que suponen un gasto energético muy considerable, tanto relacionados con información numérica como con el archivo de imágenes fotográficas casi nunca usadas.

La atmósfera, por su lado, rara vez había mostrado antes comportamientos meteorológicos como los que ahora revela. Una de las actuales preocupaciones sobre el cambio climático, tiene su mayor fundamento en la producción y consumo de energía exosomática. También lo tiene en la percepción social y el registro de las extrañas situaciones meteorológicas que hoy advertimos, la frecuencia e intensidad con que ocurren, el claro incremento de las muertes por golpes de calor y, entre otras circunstancias meteorológicas, su particular repercusión en los muy frecuentes incendios forestales. En agosto de 2022, junto al incremento de esas muertes, más del 70% de la superficie europea estuvo en alerta por sequía. Poco después pudieron verse deshielos antes desconocidos de glaciares en los Alpes. Los ríos alcanzaron caudales bajos como nunca antes fueron registrados: algunos de ellos han mostrado una espectacular sequía, como el Rin en Alemania, o los principales ríos españoles, donde los bajos niveles de los embalses establecidos en importantes cuencas no se habían registrado con anterioridad. Tampoco incendios tan extensos como los ocurridos últimamente en España o Francia, habían sucedido antes. Más de 240 000 ha quemadas en España suponen el valor más alto de este siglo. Estos comportamientos muestran una rápida expansión debida sobre todo al ambiente ofrecido por las altas temperaturas y el escenario de un mundo rural muy despoblado e inmerso en un proceso de abandono sensiblemente superior al que se daba a pocas décadas atrás.

El clima resultante será tan diferente del que caracterizaba al pasado reciente –incluyéndose altibajos ya registrados en la historia– como condicione o propicie, entre otros factores influyentes, la disponibilidad de energía. Por su parte, la radiación solar viene captándose eficazmente mediante paneles solares con células de silicio, hoy también basadas en compuestos como la perovskita –tríoxido de titanio y calcio, de escasa abundancia en la corteza terrestre–, un mineral capaz de absorber esa radiación y generar electricidad. Este permite además una alta flexibilidad en esos paneles y facilita la creación de sistemas eficaces en la captación, producción y transporte de electricidad, que también empieza a uti-

lizarse en sistemas de transmisión de datos aumentando la ya elevada velocidad de ésta. La humanidad contaba ya con la posibilidad de captar la propia energía eólica desde la antigüedad, gracias a lo cual posibilitó un eficaz transporte marítimo y, hoy mediante aerogeneradores, reconducirla o transportarla y usarla como otras formas de energía mecánica en sistemas tecnológicos de nueva generación.

Pero la capacidad de producción energética humana es hoy desmesurada, así como su consecuente liberación. Se ha registrado recientemente un descenso importante del propio albedo de la Tierra atribuyéndose al calentamiento del océano y descenso de la nubosidad (Goode et al. 2021). La ecosfera no funcionará en lo sucesivo como cuando la gestión de las manifestaciones de la energía exosomática aún no se llevaban a cabo como ahora. Margalef señalaba que había que tender a internalizar los costos en el uso de la energía, con lo cual la competencia puede orientarse mejor en el sentido de la conservación de la naturaleza. Esta consiste realmente en la ‘administración ambiental sensata de los recursos naturales: materia, energía y espacio’. El dinero, obviamente, está implicado también en esto.

La tendencia a generar y acumular residuos es hoy apreciable en todas partes y muy llamativa en algunos medios acuáticos continentales y marinos. La dinámica de cuencas en los continentes y, en mares y lagos, el viento, las corrientes y las mareas pueden contribuir a amontonarlos en cantidades considerables bien visibles en las costas y menos perceptibles en los fondos. Los residuos responden a procesos de transporte de personas, materiales diversos, alimentos y energía llevados a cabo a lo largo de la historia y progresivamente acumulados en la actualidad. Ciudades, pueblos, áreas metropolitanas, asentamientos humanos permanentes o no, diferentes tipos de instalaciones industriales y sus alrededores, son habitualmente objeto de contaminación o polución. Entre otros ejemplos cercanos, causan problemas sin solución eficaz por el momento la presencia de metales pesados procedentes de mineras ancestrales como, entre otros tantos ejemplos, en la provincia de Huelva, así como sus más recientes balsas de fosfoyesos cercanas a la costa y próximas a playas muy pobladas de turistas cada temporada.

Las cunetas de muchas carreteras y márgenes de ferrocarriles de numerosos y variados países contienen grandes cantidades de desperdicios y envases vacíos, sobre todo de bebidas. El espectáculo es desagradable. También la mera observación de contenedores de basuras domésticas colocados al efecto en ciudades, pueblos y otras concentraciones humanas de todos los continentes, resulta sorprendente y detestable. Permite apreciar el desagradable problema de la contaminación y quizá sorprendernos de la estupidez humana: residuos domésticos de todo tipo –orgánicos, incluidos plásticos no biodegradables, vidrios, metales, etc.– aparecen, con excesiva frecuencia, mezclados en uno cualquiera de esos tipos de contenedores y suponen también un espectáculo repelente. Es algo sólo aparentemente irresoluble por las administraciones regionales y locales. Sin embargo, el reciclaje de algunos desechos, por ejemplo, de prendas de algodón o de otros tejidos, metales y algunos plásticos y sobre todo vidrios, tiende a ser cada vez más rentable económicamente, de manera que el dinero, otra vez esta característica exclusiva de la humanidad, sobre la que volveremos enseguida, aparece aquí como reóstato o regulador que puede ayudar a paliar o tal vez eliminar alguna vez el problema. Casi todas las personas pueden entender estos procesos y ayudar a cambiar el panorama. Además, el reciclaje a gran escala resulta muy rentable.

La presencia en la atmósfera de gases de efecto invernadero, desechos del uso de energía exosomática basada en combustibles fósiles, facilita la interpretación del cambio climático como consecuencia inmediata, aunque no exclusiva, de estos comportamientos. Hoy las diferentes administraciones se refieren a la ‘transición ecológica’ con expectativas fundadas reconociendo la importancia de las ‘energías renovables’ frente al consumo de combustibles fósiles. Quizá un final posible por la vía del optimismo. En este sen-

tido, también Margalef recuerda que hasta recientemente este comportamiento se debe a que los humanos no queremos pagar el precio del retorno de tales residuos. Buena parte de éstos son dañinos para la mayoría de las especies, incluida la humana, y beneficiosos para otras, pero realmente constituye una grave amenaza global en continuo aumento.

La propagación de enfermedades es también una característica de la especie humana que, aunque no exclusivamente suya, es llevada a cabo con especial eficacia, dada la ya comentada capacidad humana de transporte, lo cual conlleva costes o perjuicios importantes. En la última epidemia hoy conocida, la COVID-19, fueron oficialmente registrados unos 6.3 millones de personas muertas, aunque los datos de dispersión de esta epidemia en diferentes países y continentes ofrecen dudas sobre la fiabilidad de las cifras comunicadas, dada la propia capacidad humana de trasladarse dentro y entre países y continentes y el interés político y socioeconómico que pueda influir en la comunicación de esas cifras. Esta circunstancia se suma a la apreciación de diferentes autores sobre la influencia mutua entre la dinámica de gérmenes patógenos y la propia historia de la humanidad, donde también consta la importancia que han tenido al respecto las numerosas guerras y batallas que han venido marcando etapas de la historia.

Respecto a la invención del dinero, la relación de problemas ambientales habidos a lo largo del tiempo y vinculados con comportamientos propios de la sociedad humana puede ser interminable. Algunos de esos problemas fueron resueltos gracias a aquella invención y otros resultan hoy imposibles de remediar a causa de ella. Todas las características hasta ahora señaladas son tendencias de variación o dimensiones propias de la especie humana que tienen una cualidad importante: no son independientes o perpendiculares entre sí. Cualquiera de ellas implica diferentes formas de conexión con las otras y todas suponen un efecto importante en la estructura y funcionamiento de la ecosfera, a cualquier escala que la analicemos. A lo largo de la historia, como alternativa al trueque, otra actividad propia de la humanidad, el dinero podría explicar la trastienda o cuarto trasero de buena parte de las características subyacentes en el comportamiento humano en su relación con la ecosfera. Puede percibirse como una de las entelequias propias de ese comportamiento. Actualmente es un indicador directo de la mayoría de los efectos de nuestra presencia en la Tierra.

Históricamente, a cambio de un pequeño trozo de metal, quizá de forma circular, con una imagen humana grabada en su anverso y algún otro símbolo en el reverso, una pequeña comunidad humana libre, no esclava, ha podido cultivar y almacenar gran cantidad de grano trabajando denodadamente durante un tiempo considerable. Además de la cosecha obtenida, quien le proporcionó aquel metal podrá recibir también de otras comunidades varios, o muchos, trozos parecidos del mismo metal con los que recibió, también a cambio, otras cantidades de grano. La secuencia supone una permuta y llega a ser una inversión respaldada por las monedas acumuladas. Esto ocurre de algún modo desde la antigüedad remota hasta hoy mismo y la sociedad de la que todos los humanos formamos parte viene apoyando este proceso repetido indefinidamente en todas las dimensiones de la cultura, incluidas las religiosas, aparentemente sin alternativas.

Pero el dinero también favorece la interacción entre personas y sociedades y facilita tanto el intercambio de información en circunstancias muy diversas como también el comercio de materia y energía, entre otros muchos procesos. La complejidad de las sociedades humanas, incluyendo sus razas, regiones que habita y condicionantes culturales y ambientales, no sería posible sin un hilo conductor de las características mencionadas que, ya apuntamos antes, no son perpendiculares o independientes entre sí.

Mediado el pasado milenio y apenas en el comienzo del actual, ha tenido lugar un asombroso cambio de la dinámica de nuestra especie frente a las demás. El profesor Santiago Grisolia (Grisolia 2010) describía este hecho como un proceso de 'evolución exponencial' hasta la actualidad. En éste destacan sucesiva-

mente: 1) la *segunda revolución agrícola* (la primera ya ocurrió unos 4000 años a.C.) con la invención del arado y las primeras obras de regadío, con indicios casi un milenio antes; 2) la *revolución industrial*, con claro protagonismo del dinero e hitos como la invención de la máquina de vapor de Boulton y Watt y el inicio del ferrocarril, la teoría de los gérmenes patógenos, el desarrollo inicial de la electrificación y el teléfono; 3) el *desarrollo inicial del automóvil y seguidamente del aeroplano, el descubrimiento de la penicilina, el inicio de la lucha contra la malaria, el descubrimiento del ADN y la energía nuclear*; 4) la *construcción del primer ordenador rápido, la llegada a La Luna, la construcción del ordenador personal y el inicio del proyecto Genoma Humano*.

El protagonismo de la economía en este proceso debe remontarse a escuelas de pensamiento que iniciaron su desarrollo hace ahora unos tres siglos, según comenta el Profesor Ramón Tamames (Tamames y Trujillo 2007). Esto ocurre con las ideas más bien optimistas de Adam Smith sobre el dividendo nacional —el conjunto de bienes y servicios distribuido entre la población de la nación—. Este podría crecer mejor mediante la división del trabajo y un mercado mundial libre, sin trabas propias del comercio tanto nacional como internacional, según señala este autor en su obra *La Riqueza de las Naciones* (Smith 1776). También aparece otra idea, entonces nueva pero menos optimista, de su prácticamente coetáneo Thomas R. Malthus. Éste, en su *Ensayo sobre el principio de población* (Malthus 1798), advertía que el crecimiento demográfico de la población humana era exponencial, como el de casi todas las poblaciones biológicas, pero la producción alimentaria crecía de forma lineal, de manera que surgiría un serio problema al cruzarse ambas líneas: habría excesiva abundancia de trabajadores que se encontrarían por debajo del nivel de subsistencia. Esto podría llevar a la Humanidad a plantear seriamente hasta dónde se debe pensar y actuar en las estrategias de control de la natalidad —que ya algunos países han llegado a ensayar—. Tamames señala cómo el consecuente enfrentamiento entre capitalismo y comunismo vino a iniciarse en las fechas referidas. El capitalismo incluía ideas sobre la 'supervivencia de los más dotados', 'excesiva proliferación de humanos', etc., contempladas de alguna forma incluso en los entonces nuevos 'principios evolucionistas' de los biólogos y, en el caso del comunismo, incorporando reflexiones sobre los trabajadores aprisionados por actividades alienantes mientras no se cambie notablemente el sistema de producción.

En estos días en que la guerra en Ucrania viene afectando tan seriamente a las sociedades humanas, y no sólo de las áreas donde se centra el conflicto, los medios de comunicación han hecho ver cómo el transporte de mercancías revela que los pequeños productores agrícolas ganan con su trabajo una cantidad mínima del dinero que termina pagando el consumidor en la tienda o en los grandes almacenes. Una solución posible, pero poco aplicable al sistema implicado, pudiera ser acortar la cadena de transporte/distribución entre productor y último destino del producto. Pero en esa cadena trabajan también muchos empleados, intervienen bancos prestatarios, transportistas, los propios grandes almacenes, etc. A través de impuestos, aplicados según lo que cada uno de ellos gane, podría haber una vía quizá no de solución pero tal vez sí de mitigación del problema. Con esos impuestos las administraciones del Estado podrían lograr una más justa distribución de beneficios. Tras esto último pareciera haber sólo dos extremos: socialización y capitalismo. En los parlamentos de los países democráticos se decide el nivel de detalle con el que cada decisión se acerque más a uno que a otro e incluso el tiempo de duración de ese acercamiento.

Complejidad de la noosfera: paisajes actuales y futuros

Para concluir, cambiando la escala del análisis y centrándonos, bajo la inspiración de Fernando González Bernáldez, en algunos problemas concretos que muestran la aplicación de la ciencia ecológica a cuestiones de interés para la sociedad, podemos referir

brevemente algunas experiencias sobre valoración del paisaje y su aplicación basadas en trabajos iniciados hace décadas en las escuelas de Bernáldez en la Universidad de Sevilla (Sancho Royo 1974; González Bernáldez 1981, 1982) y de los profesores Antonio López Lillo y Ángel Ramos en la Politécnica de Madrid (López Lillo y Ramos 1969; Ramos et al. 1974), entre otras. Algunos de esos experimentos condujeron a cuantificar el valor del paisaje a partir de la percepción manifestada por personas encuestadas en diferentes lugares. Esto se hacía también mediante fotografías o dibujos, en ocasiones agrupados en parejas, que contenían escenas de paisajes rurales y metropolitanos. La circunstancia más destacable en los resultados de los primeros análisis fue la distinción entre grupos de paisajes preferidos por su apariencia silvestre frente a otros de fisonomía cultural. Algunos profesores hemos incluido en algunas clases de los cursos de ecología la valoración del paisaje a través de comparaciones de pares de imágenes. Entre otros ejemplos, en la comparación de pares de fotografías de una pradera de un mismo valle, una con una casa rural apenas visible a lo lejos y otra sin ella, la primera imagen era preferida con una notable mayor frecuencia. Si la primera mostraba además una vaca pastando, era elegida con frecuencia aún mayor. Si también se veía algo de humo en la chimenea de la casa, la frecuencia aumentaba sensiblemente. La bondad, belleza o fealdad del paisaje, a las que más arriba aludíamos citando a Margalef, no aparecen implicadas en experiencias como las citadas. Pero ensayos de este tipo se prestan a diferentes interpretaciones de interés académico y aplicado a la toma de decisiones. Por ejemplo en proyectos relacionados con la ordenación del territorio de comarcas extensas, así como en jardinería de espacios no tan amplios y para el diseño de senderos, comparando sendas con gran visibilidad en su trayectoria con otras con trazados curvados entre setos que dificultan la visibilidad, así como otros tipos de comparaciones.

En algunos países, como España, estas experiencias resultan estimulantes y aplicables tanto en planificación territorial como en proyectos sobre las variadas dimensiones del turismo, una industria económicamente relevante en este país, en sus perspectivas histórico-monumentales, paisajes de apariencia silvestre y cultural, problemática actual del abandono rural, dinámicas de áreas metropolitanas, entre otros. Comparar la percepción del paisaje por diferentes sociedades y culturas permite entender la apreciación social del funcionamiento de la noosfera actual y pueden ayudar también a solucionar o paliar los serios costes paisajísticos provocados por empresas de todo tipo (industrias, sobre todo contaminantes, urbanizaciones, instalaciones de transporte, etc., hoy tan variadas y frecuentes).

Nuestra sociedad conoce los rápidos cambios que vienen ocurriendo en los paisajes culturales y los de apariencia silvestre en un mundo que pareciera escapar de sus condicionantes ambientales naturales. La ecosfera depende hoy como nunca antes de los efectos de la actividad humana interpretada mediante características como las descritas. Los conocimientos físicos, biológicos y ecológicos actuales vienen a señalar que hay motivos para pensar que haya pocas esperanzas de evitar un cambio global en el que desaparezca una gran parte de las especies hoy conocidas, entre ellas la humana, aunque no la vida, pero con una estructura y funcionamiento distintos de los actuales.

Trabajos realizados en nuestro grupo de investigación en la Universidad Complutense se han orientado a descifrar la relación entre estructuras complejas de diferente carácter. Por ejemplo, a partir de una tabla o matriz de datos, $M \times L$, correspondiente a descriptores del paisaje, L_i , de conjuntos numerosos de municipios, M_j , y de otra tabla correspondiente a descriptores socioeconómicos, S_k , de esos mismos municipios, $M \times S$, puede cuantificarse la correspondencia entre ambas matrices mediante análisis numéricos que permitan conocer el grado y tipo de dependencia entre un conjunto de descriptores del otro, $L = f(S)$. Esto supone poder trabajar con tendencias de variación y dependencias en vez de comparaciones entre pares de variables, una a una, y tomar decisiones fundadas para actividades ligadas a una ordenación del territorio con altos

beneficios socioeconómicos y bajos costes ambientales, en este caso paisajísticos (Schmitz et al. 2003; De Aranzabal et al. 2008, 2009).

Terminamos el presente texto señalando, no desarrollando, dada la extensión que ocuparía, otras propiedades exclusivas de la especie humana que podemos añadir a las ya consideradas en la sección anterior. Entre ellas, *la eficaz modificación del paisaje; la capacidad de provocar incendios; la percepción social de la alteración del clima de la Tierra; la capacidad de construir armas y desencadenar guerras organizadas; la eficacia de la transmisión de propaganda; la capacidad de construir estructuras informáticas autointeligentes*. Estas características, como las referidas antes, mantienen también entre sí una cierta relación de dependencia, aunque su comentario y análisis exigiría de un espacio del que aquí no disponemos.

Finalmente, tal vez debamos terminar añadiendo una dimensión optimista: *la capacidad de la cultura para mirar al pasado generando esperanza y optimismo* (Vallejo 2022, entre otros). Esto supone alcanzar objetivos que, aunque complejos, paliarían o llegarían a detener la carrera absurda de la humanidad, una circunstancia rara en el planeta. Todo ello sin pensar demasiado en que nuestra presencia en la Tierra realmente ha llevado consigo un acumulo de 'sucesivas desgracias' para la ecosfera.

Contribución de los Autores

F.D. Pineda: Conceptualización, Redacción – Revisión y edición. M.F. Schmitz Conceptualización, Redacción – Revisión y edición.

Referencias

- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., et al., 2018. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8(11), 972-980.
- De Aranzabal, I., Schmitz, M.F., Aguilera, P., Pineda, F.D. 2008. Modelling of landscape change derived from the dynamics of socio-ecological systems. *Ecological Indicators* 8:672-685.
- De Aranzabal, I., Schmitz, M.F., Pineda, F.D. 2009. Integrating Landscape Analysis and Planning: A Multi-Scale Approach for Oriented Management of Tourist Recreation. *Environmental Management* 44:938-951.
- Escarre, A., García, C., Roda, F., Terradas, J. 1984. Ecología del bosque esclerófilo mediterráneo. *Investigación y Ciencia* 95, 69-78.
- Farinós Dasi, J. 2022. Relaciones entre geografía y planificación territorial: dudas, recelos y espacios de oportunidad. En: Asoc. Española de Geografía (ed.). *La geografía española actual. Estado de la cuestión*, pp. 49-72. Comité Español de la UGI, Madrid, España.
- González Bernáldez, F. 1981. *Ecología y paisaje*. Blume, Madrid, España.
- González Bernáldez, F. 1982. *Análisis ecosistémico de los recursos naturales*. CIFCA, Monografía 2. Madrid, España.
- González Bernáldez, F. 1985. *Invitación a la ecología humana*. Tecnos, Madrid, España.
- Goode, P. R., Pallé, E., Shoumko, A., Shoumko, S., Montañes-Rodriguez, P., Koonin, S.E. 2021. Earth's albedo 1998–2017 as measured from earthshine. *Geophysical Research Letters* 48 (17), e2021GL094888.
- Gosz, J., Holmes, R., Likens, G., Borman, F. 1978. El flujo de energía en un ecosistema de bosque. *Investigación y Ciencia* 20, 46-57.
- Grisolía, S. 2010. El proyecto Genoma Humano. En: Tamames, R. (ed.), *La difícil supervivencia de la especie humana*, pp. 105-118. Ediciones 2010, Madrid, España.
- Koenigswald, G.H.R. 1960. *Die Geschichte des Menschen*. Springer-Verlag, Berlin, Alemania.
- López Lillo, A., Ramos, A. 1969. *Valoración del paisaje natural*. Publs. ETS de Ingenieros de Montes, Madrid, España.
- López Linage, J., Arbex, J.C. 2005. *Instrucción sucinta que deberán observar las embarcaciones destinadas al descubrimiento de nuevos comederos, placeres, o bancos de pesca de altura en los mares de los dominios del Rey. 1702, 1775, 1787, 1788*. Consello da Cultura Galega, Santiago de Compostela y Museo do Mar de Galicia, Vigo, España.

- Malthus, T.R. 1798. *An Essay on the Principle of Population*. John Murray, Londres, Reino Unido
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Omega, Barcelona, España.
- Margalef, R. 1983. La ciencia ecológica y los problemas ambientales, técnicos, sociales y humanos. En: Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales (ed.), *Diez años después de Estocolmo*, pp. 177-220. CIFCA, Madrid, España.
- Martínez de Pisón, E. 2004. El Paisaje. Concepto territorial y preservación. En: Fundación Biodiversidad (ed.), *La conservación del paisaje*, pp. 13-27. Fundación Biodiversidad, Madrid, España.
- Mata Olmo, R., López Estébanez, N. 2022. La geografía y la renovada agenda política del paisaje. En: Asoc. Española de Geografía (ed.), *La geografía española actual. Estado de la cuestión*, pp. 73-99. Comité Español de la UGI, Madrid, España.
- Millás, J.J., Arsuaga, J.L. 2020. *La vida contada por un sapiens a un neandertal*. Alfaguara, Madrid, España.
- Montserrat, P. 2009. *La cultura que hace el paisaje. Escritos de un naturalista sobre nuestros recursos de montaña*. La Fertilidad de la Tierra Ediciones, Navarra, España.
- Pineda, F. D., Escudero, J.C., Hiraldo, F., García-Novo, F., González-Bernáldez, F., Merino, J., et al. 1973. Terrestrial Ecosystems adjacent to Large Reservoirs. Ecological Survey and Impact Diagnosis. *Proceedings of the International Commission on Large Dams*. Madrid, España.
- Pineda, F. D. 2000. El ciclo del carbono en el globo. En: Bailarón, L., (ed.), *El cambio climático*. El campo de las Ciencias y las Artes Vol. 137, pp. 111-140. Servicio de Estudios BBVA, Madrid, España.
- Pineda, F.D. 2020. Enfoque ecosistémico. Servicios de los ecosistemas terrestres. En: Jiménez-Herrero, L., Pérez-Lagüela, E. (eds.), *Uso sostenible del patrimonio natural*, pp. 42-57. Monografías de la Fundación Banco Santander, 25, Madrid, España.
- Pinedo, X. 2021. Carlos Nobre: La Amazonía está cada vez más cerca del punto de inflexión. [En línea]. *Redacción de Periodismo Humano* 28-sep-2021. Recuperado de www.redaccion.com.ar/carlos-nobre-la-amazonia-esta-cada-vez-mas-cerca-del-punto-de-inflexion/
- Ramos, A., Domínguez, M.L., Gómez Orea, D., Soriano, C. 1974. El paisaje y el recreo. En: *Estudios básicos para una Ordenación Integral*, pp. 63-175. Monografía 1. ICONA. Servicio de Publicaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, Madrid, España.
- Sancho Royo, F. 1974. *Actitudes ante el paisaje. Estudio experimental*. Publs. Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Schmitz, M.F., De Aranzabal, I., Aguilera, P., Rescia, A., Pineda, F.D. 2003. Relationship between landscape typology and socioeconomic structure. Scenarios of change in Spanish cultural landscapes. *Ecological Modelling* 168: 343-356.
- Smith, A. 1776. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. W. Strahan & T. Cadell, Londres, Reino Unido.
- Tamames, R., Trujillo, J.R. (eds.) 2007. *La difícil supervivencia de la especie humana. Ecología y Globalización*. Ediciones 2010, Madrid, España.
- Vallejo, I. 2022. Ubicación exacta de la utopía. *El País Semanal* 2387:8. Disponible en: <https://elpais.com/eps/2022-06-25/ubicacion-exacta-de-la-utopia.html>
- WWF 2022. *Informe Planeta Vivo 2022. Hacia una sociedad con la naturaleza en positivo*. Almond, R.E.A, Grooten M., Juffe Bignoli, D., Petersen, T. (eds.). World Wildlife Fund, Gland, Suiza.