

LA BIOSFERA QUE VIENE

FRANCISCO GARCÍA NOVO *

* Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Valverde 22, 28004 Madrid.

*Lento pero viene
el futuro real
el mismo que inventamos,
nosotros y el azar*

Mario Benedetti, 1986
Preguntas al azar

LA BIOSFERA QUE VIENE

El Planeta Tierra posee un rasgo inédito en el sistema Solar y (por ahora) desconocido también fuera de él: la biosfera.

La biosfera es una tenue capa donde el agua toma vida. Sirve a las macromoléculas de medio, de receptor y donador de electrones, de vehículo de difusión de iones y moléculas, de almacén para todo tipo de sustancias. Sistema circulatorio de los materiales planetarios y vehículo de la energía ha sido la cuna y el sostén de los seres vivos. El agua es una de las condiciones de la biosfera. Cuando se pierde, como ha sucedido en Marte, queda una superficie seca, rojiza, todavía marcada de cauces y cuencas, pero la vida se ha desvanecido.

La Tierra, desde el espacio es un planeta azulado y brillante. Al aproximarse descubre manchas blancas de nubes y hielos sobre un fondo azul de océanos, interrumpidos por la gama verde y ocre de los continentes.

Un observador situado en la Luna habría identificado a lo largo de la historia geológica de nuestro planeta colores muy diferentes en la superficie a medida que la biosfera se constituía y evolucionaba

con la vida sobre un intervalo cercano a los 4000 Maños. Nubes y hielos blancos, océanos azules y continentes de tonos oscuros cuando la vida era solo microscópica y marina. Atmósfera más transparente y continentes con tonos rojizos cuando los tapetes de organismos fotosintéticos dieron al aire carácter oxidante. Humedales continentales, de tonos verdosos, cuando la ozonosfera filtró la radiación ultravioleta permitiendo la expansión continental de la vida. Y una rápida extensión de las plantas vasculares ocupando climas progresivamente más áridos y fríos, avanzando y retrocediendo con hielos y desiertos en alternancias que han marcado el devenir planetario.

Los animales no serían visibles pero sus efectos en la biosfera quedarían patentes por la apertura de grandes extensiones de pastizales y matorrales en sustitución de bosques y, observando a menor distancia, por el colorido de las flores, antenas vegetales para atraer a los insectos. Los arrecifes y el litoral rocoso muestran otra proliferación animal de sorprendente riqueza de formas y colores tapizando las rocas. Las aguas continentales y las oceánicas poseen formas vivas muy distintas, líneas evolutivas viejas apenas representadas y otras pujantes en plena expansión. Los animales más grandes son los cetáceos que han superado en tamaño y masa a los mayores reptiles mesozoicos. En tierra sin embargo se encuentran los

más grandes seres vivos: algunos pies de baobab, eucalipto o secoya, son colosales monumentos, hitos vivientes de la biosfera.

La biosfera oceánica presenta mayor biomasa pero menos especies que la biosfera continental que reúne el 60% de las formas vivientes. Dominadas por los insectos, diversificadas en unas 800.000 especies suponen casi la mitad de las 1.800.000 descritas. Otros artrópodos terrestres (quelicerados) suman otras 125,000 y las plantas vasculares unas 280.000 especies a las que se añaden más grupos. Una diversidad abrumadora.

Sobre la diversidad de una comunidad operan varios mecanismos. Por una parte la disponibilidad de energía (que depende comúnmente de la radiación y la temperatura media) y favorece a las zonas tropicales con abundante agua disponible. Por otra parte depende la diversidad de la extensión del área y su conexión antigua con otras, permitiendo la migración de especies. Ambiente favorable y conexiones explican los núcleos diversos. Condiciones rigurosas y el aislamiento o el pequeño tamaño del área implican diversidades bajas. Las alternancias geológicas de períodos secos y húmedos, fríos y cálidos, de ascenso y descenso del nivel marino han jugado con los continentes recortándolos en islas o enlazándolos en amplias masas terrestres, conectando cuencas fluviales y cambiando el curso de las aguas o cerrándolos en cuencas pequeñas de emisarios hacia una depresión. La dinámica de las placas continentales ha tenido efectos multiplicadores desplazando masas de una latitud a otra y cambiando profundamente el clima. Haciendo colisionar masas aisladas y permitiendo la difusión de organismos o fragmentándolas causando su aislamiento. Colisionando y elevando cadenas montañosas o haciendo desparecer mares interiores y rehaciendo las redes de drenaje.

Como una fuerza incoercible, la evolución de cada *phylum*, de cada grupo y cada estirpe ha reaccionado a los cambios geológicos y a los restantes organismos que compartían la comunidad, coevolucionando con ellos y amplificando los efectos geológicos con los procesos ecológicos. Animales y plantas, predadores y presas, parásitos y hospedadores han mantenido un diálogo extendido por cientos de miles de generaciones remodelándose sin cesar. Los supervivientes,

aproximadamente dos millones especies, están confinadas en océanos y mares, en tierras, ríos y lagos, especializadas selectivamente en algunos recursos. Mantienen sin embargo suficientes grados de libertad para incorporar los cambios que se suceden en la inquieta biosfera: clima, desplazamientos de las placas e incluso las crisis globales causadas por el impacto de un meteorito.

El tributo al cambio ha sido la extinción y su rédito la evolución acelerada, ensayando en las comunidades combinaciones inéditas de organismos. Este proceso de prueba incesante que Francois Jakob denominaba “tinkering”, es distinto a nuestro ensayo por prueba y error. Los ensayos ecológicos son ciegos, aleatorios, sin plan. Los fallos se pierden en el desorden pero los éxitos asientan el futuro, consolidando una línea evolutiva o una asociación de organismos. Articulando la organización de la vida y de algún modo persistiendo como “memoria” en los organismos. Paso a paso emergió una especie perturbadora de la biosfera.

EL ANTROPOIDE ASTUTO

Desde antecesores relativamente pequeños, los primates representan un grupo arborícola especializado, con unos brazos singulares que pueden desplazar su mano prensil casi en una semiesfera en tono al hombro. Buena vista, visión espacial, discriminación fina del color verde. Grupos sociales y comunicación. Inteligencia despierta.

Nada destacable, o no más que otros grupos de mamíferos; quizás la temprana aparición de un pie con talón, sorprendente en arborícolas, permitió una marcha bípeda eficiente y condicionó otros cambios (postura erecta, cadera estrecha) dejando libres a las manos en los desplazamientos. El uso de herramientas no es exclusivo de los primates pero es muy raro en otros mamíferos o en las aves. Se ha señalado repetidamente que las hachas y raederas, o los palos aguzados permiten explotar mejor los recursos, como si se tratara de especializaciones anatómicas intercambiables de la mano. Además permiten recolectar y preparar el alimento, potenciando al grupo.

Homo aparece asociado a utensilios que sugieren grupos con tradiciones culturales, un lenguaje

avanzado, un almacén de conocimiento que resultará la herramienta tecnológica por excelencia. La transferencia horizontal de información es habitual en la biosfera, pero muy limitada. Adquiere en los humanos la capacidad de hacerse abstracta, recombinarse en una elaboración personal que regresa al grupo, ampliada.

La información transmisible soportada por el lenguaje permitió a los *Homo* la expansión desde África, probablemente especie a especie. El éxito en ambientes diferentes a su cuna: bajo otro clima, frente nuevas especies, revela la flexibilidad del lenguaje para incorporar continuamente cambios. La expansión ocupa los confines de Europa por occidente y los de Asia, alcanzando Australia por el S y penetrando en Alaska por América para ocuparla hasta los canales fueguinos.

En cada entorno, la presencia humana como recolector y cazador o pescador impulsó reacciones de la biosfera. La recolección de semillas, o frutos comestibles y su transporte hasta el campamento, por ejemplo, dispersaron las especies. Se comportaba el hombre como un animal mutualista de la planta, cuyos frutos y semillas habían evolucionado precisamente para atraer dispersores. La abundancia de nuevos pies frutales ofrece más recursos al grupo humano y, con frecuencia, atrae a otros animales comensales que pueden ser cazados. Para Fernando González Bernáldez la presencia de muchos árboles y arbustos de fruto en el bosque mediterráneo (acebuche, encina, píruétano, piñonero, argán, datilera, algarrobo, majuelo, rosal, zarzamora, parrón, pistacho), reflejaba una milenaria actividad humana de recolección y transporte.

Las condiciones locales filtraron las especies seleccionando las más resistentes y la población humana a las más productivas, creando las variedades en un proceso de divergencia indefinida. Más adelante la agricultura neolítica persigue la producción en una carrera contra la hambruna seleccionando híbridos, poliploides o estirpes con cualidades excepcionales. Esta tarea de ingeniería genética sobre la naturaleza ha tenido resultados muy intensos: la selección del pequeño teosinte hasta el maíz y de este a múltiples variedades; la selección del arroz, una planta perenne acuática hasta convertirla en anual de menor porte y gran productividad; la creación del tomate desde

numerosas especies parentales; la selección de patatas grandes y sin toxinas desde varias especies silvestres; la creación de razas de cereales y legumbres. Los cultivares son jalones de la historia humana en cada continente incorporando información a la naturaleza, para recrearla. Los éxitos locales se difundieron más allá de las barreras ecológicas y siguieron a las migraciones humanas de un continente a otro, ampliando el rango de distribución inicial de las especies.

Los animales ofrecen la posibilidad de selección de estirpes de manejo más fácil que las silvestres. En aves y mamíferos la selección puede llegar muy lejos mediante el aprendizaje, una forma peculiar de insertar información en el animal, permitiendo el control humano. Caballos, vacas, llamas u ovejas, resultado de la domesticación, se han diversificado en razas que difieren no sólo en tamaño y morfología sino en comportamiento. El perro, quizás el primer organismo tecnológico, muestra el alcance del proceso, combinando en las razas rasgos físicos y de inteligencia.

La naturaleza que rodea los asentamientos humanos responde a su actividad, siente sus acciones como cambios de abundancia de grupos ecológicos, modificaciones del balance de nutrientes, perturbaciones en suelos o cubierta vegetal. Los paisajes con presencia humana llevan su impronta, que puede ser definitiva.

La selección de ganados, con rebaños de herbívoros grandes, suponía una presión intensa en la vegetación y aceleración del ciclo de nutrientes, favoreciendo a las especies de crecimiento rápido. Semillas y frutos encontraban en el pelo de los animales un vehículo de dispersión convirtiéndose los rebaños en transportes de simiente. Los paisajes de dehesas de la península ibérica, tiene este origen ganadero. Cuando los rebaños andaluces y extremeños fueron llevados a América, el heno que los alimentaba en la travesía y su propio pelo trasladaron al nuevo continente la biodiversidad vegetal europea. Y con los arreos de ganado las gramíneas, leguminosas o compuestas ibéricas se han extendido por el continente americano. En algunos pastizales, como los de California, la mayor parte de las especies actuales son de origen peninsular.

El incremento en la diversidad biológica regional causado por la presencia humana, sus cultivares y

razas de ganado y las especies asociadas ha marcado el despegue agrícola y ganadero que marca la implantación neolítica hacia el comienzo del Holoceno. Gordon Childe se refería a la “revolución neolítica”, que se ha extendido a la cultura a las sociedades y también a la biosfera.

Las islas son pequeños microcosmos aislados donde las especies con frecuencia han evolucionado de modo singular de acuerdo con los recursos disponibles, y la presencia de competidores o predadores. No es raro encontrar enanismo y gigantismo en islas: roedores gigantes, especies diminutas de paquidermos o aves que no pueden volar.

Los navegantes han encontrado a veces en las islas auténticos “tesoros” biológicos: presas comestibles, inermes, que no se habían enfrentado en la evolución a predadores tan agresivos. Aves que no volaban, ricas en grasa, como el dodo de la Isla de Juan Fernández, elefantes y rinocerontes enanos de Malta, Creta y otras islas mediterráneas, tortugas terrestres gigantes. El bóvido *Myotragus balearicus* de Mallorca había seguido un proceso evolutivo que se ha denominado de “reptilización” (Köhler y Moyà, 2010), reduciendo su crecimiento, haciendo más lenta su reproducción, simplificando la musculatura y desplazándose lentamente para sobrevivir en su isla de vegetación modesta y períodos largos de sequía. La adaptación lo convirtió en fácil presa humana. Elefantes pigmeos, *Myotragus* y muchas aves y mamíferos insulares desaparecieron con los primeros navegantes, hace más de cuatro milenios. El dodo se extinguío en el S XVII.

La impronta humana en la biosfera se hizo pronto evidente en latitudes medias. En altas latitudes el clima riguroso frena la presencia humana. En latitudes bajas y climas húmedos, la diversidad y producción natural son muy elevadas y más allá de sus asentamientos la huella de los hombres ha tardado en percibirse, pero con la revolución industrial que se generaliza desde el S XVII, toda la superficie planetaria, mares, continentes y banquisas sienten la presión humana.

LA ENERGÍA EXOSOMÁTICA

El movimiento con ruedas hidráulicas, molinos de viento o tracción de sangre es muy costoso y ofrece

potencias modestas, de 1 o 2 KW. Las máquinas de vapor de James Watt y E Boulton que perfeccionaron desde 1769 a 1782 ofrecían 4-8 KW. El vapor impulsó la minería, industria, transporte y agricultura. Las potencias crecientes permitieron hacer realidad tareas ciclópeas y acometer transformaciones en gran escala: excavación, drenaje, irrigación. Los ferrocarriles y los buques de vapor facilitaron el transporte de mercancías y las migraciones humanas. La siderurgia tradujo al hierro lo que se hacía de loza o madera, desde vajillas a vigas y columnas, de vehículos a cascos de buque.

La minería del carbón, facilitada con maquinaria de vapor, ofreció un combustible superior para la producción de energía. Y con este paso se inició un camino sin retorno al incrementar el contenido de CO₂ atmosférico desplazando el equilibrio secular entre atmósfera/ océano/ continentes.

Los efectos en la biosfera serán desde entonces patentes: urbes industriales, de atmósferas contaminadas. Las chimeneas y sus oscuros penachos, pasan a percibirse como símbolos del progreso. Los ríos y estuarios junto a las urbes industriales sufren una radical degradación de sus aguas que dejan de ser potables y con frecuencia ven desparecer su pesca.

La población rural emigra a suburbios industriales o mineros donde se hacina en condiciones durísimas de trabajo y difícil supervivencia. Una versión industrial de la esclavitud que lentamente dará paso a otra sociedad más humana. La tecnología extiende las fuentes de movimiento desde las naves industriales a las viviendas y en los transportes desde el ferrocarril al automóvil. Pronto se desarrollará la industria química fabricando productos que existían en la naturaleza y saltando pronto a crear otros inéditos. La directiva europea REACH para controlar la fabricación de productos químicos ha publicado en 2010 un inventario de 140.000 moléculas sintetizadas actualmente en la UE.

Los esclavos mecánicos se impondrán al final en los hogares realizando las tareas que exigen mayor esfuerzo físico. Sustituirán a la tracción de sangre en el transporte de personas y mercancías que se expandirá conectando fuentes de materias primas, industrias y mercados. Durante los siglos XIX y XX la iluminación, calefacción, refrigeración y la comunicación, mediante aplicaciones innovadoras de la energía, ele-

varán el nivel de vida y mejorarán las condiciones de trabajo en el Primer mundo hasta niveles inéditos. La brecha entre los grupos humanos se profundizará con la tecnología: al final del proceso, hacia el año 2000 un cuarto de la humanidad, el Primer Mundo, gozaba de elevado bienestar, salud, confort, recursos. En el extremo opuesto, el Tercer Mundo, que sumaba otra cuarto de población, se debatía en la penuria rayana con la hambruna, la enfermedad y la elevada mortalidad infantil. Entre ambos extremos las restantes comunidades humanas con diferente grado de escasez periódica, falta de infraestructuras y servicios, con gobiernos débiles o corruptos, ensayaban (y ensayan) vías de convergencia con el Primer Mundo.

La tecnología ha servido para multiplicar la capacidad del ser humano y extender su vida 3 ó 4 veces más allá de sus límites como gran antropomorfo recolector, y multiplicar su número. Desde el 1900 al 2000 la población humana se ha multiplicado por 3,6 alcanzando 6.000 millones, que en 2011 llegaran a los 6.800. Agricultura e industria se han expandido por las llanuras interiores y el litoral. Se produce una migración desde regiones densamente habitadas, como la europea, a otras poco pobladas como América y África. Progresivamente cambiarán durante la centuria las direcciones de los flujos migratorios. En su segunda mitad tratarán de acercarse a los países de mayor desarrollo económico y abandonar las zonas de hambruna y conflicto originando bolsas de marginación en las grandes ciudades y millones de refugiados.

Movida por la energía, la mano humana ha escudriñado el planeta convirtiendo en recursos a los elementos naturales y será durante el siglo XX cuando la Biosfera sentirá con intensidad la presión de un nuevo gestor. La potencia energética individual disponible en la población rural tradicional era de unos 0,2kW y no ha sufrido cambio significativo hasta la implantación de máquinas térmicas. En la actualidad, los países más pobres mantienen potencias personales semejantes, de algunos centenares de vatios, en tanto que los industriales se sitúan en el rango 4-10kW. Los mayores consumidores (USA, Suecia, Luxemburgo) exceden 10kW por habitante. El consumo mundial actual se sitúa en torno a los 16TW con un incremento del 2% anual desde mediados de los años 90. En 2007 debido a la recesión económica descendió, situándose actual-

mente en torno al 1,2% anual. USA-Canadá, Europa y lejano Oriente son los grandes consumidores de energía primaria, sumando el resto del mundo el 25% restante.

La demanda es satisfecha primariamente por los combustibles fósiles que han multiplicado su consumo por 20 durante el siglo pasado, gracias primeramente al carbón y desde mediados de siglo XX al petróleo y posteriormente al gas natural. Actualmente el petróleo aporta hacia el 36% de la demanda energética primaria seguido del carbón, 26% y el gas, 25%. Pese a los esfuerzos las restantes fuentes energéticas ofrecen una aportación modesta a nivel mundial: la nuclear supone un 6% y las renovables (hidroeléctrica, eólica, solar, biomasa) otro 7%. Los combustibles fósiles presentan un consumo creciente y las fuentes sustitutorias no serán capaces de contener este incremento hasta pasada, al menos una década, quizás dos.

Las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión se asocian a las de origen agrícola causadas por la mineralización de la materia orgánica de los suelos y humedales, al incendio de suelos y bosques y a la emisión de otros gases de efecto invernadero, singularmente el metano, procedente de la ganadería y de los suelos y humedales.

Las cantidades fijadas en fotosíntesis y en la precipitación de carbonatos al fondo oceánico compensan a las emisiones debidas a la respiración y fermentación en los sistemas acuáticos y terrestres. Pequeños incrementos de la emisión, en torno al 3%, exceden la capacidad de fijación natural que retira aproximadamente el 57% del CO₂ emitido en las combustiones antropogénicas. El resto se acumula elevando la concentración atmosférica en torno a 2,1 ppm anuales. El valor actual medio es de 0,03903 % (390 ppm, mayo 2011), lo que supone un incremento del 37% desde el inicio de la era industrial.

El clima planetario no es uniforme y ha sufrido los efectos de tres agentes principales: cambios en el brillo solar, modificaciones en el reparto de la radiación sobre la superficie planetaria por movimientos de precesión y acumulaciones/reducciones de los gases con efecto invernadero. Los dos primeros son independientes pero suman o compensan sus efectos induciendo alternancia de períodos fríos y cálidos que han

desembocado, por ejemplo, en las glaciaciones cuaternarias y sus fases de avance y retroceso. La presencia de grandes casquetes de hielo en continentes y océanos incrementa el albedo terrestre y reduce la absorción de energía solar. Más intrigante es el mecanismo de las oscilaciones de gases atmosféricos que interactúan con los anteriores ya que los procesos biológicos que retirar o reponen el CO₂ atmosférico (OTOS y respiración) dependen de temperatura y radiación y del afloramiento/subsistencia de masas oceánicas controlado por el régimen de vientos y corrientes del océano. Las aguas profundas, ricas en nutrientes, cuando fertilizan la superficie aceleran la fotosíntesis que induce precipitación de carbonatos; las aguas frías superficiales disuelven más CO₂, que transportan en profundidad al hundirse: dos mecanismos que contribuyen a reducir el anhídrido carbónico atmosférico y amortiguar el efecto invernadero, favoreciendo el enfriamiento. Se discute si en el Eoceno, hace 49 millones de años, la proliferación de un pequeño helecho flotante del género *Azolla* fue causante del Evento Azolla, una reversión del efecto invernadero, enfriando el clima al retirar ingentes cantidades de CO₂ de la atmósfera.

La especie humana ha sufrido, con el resto de la biosfera, los cambios de clima. Los *sapiens* fueron testigos de la extinción en Gibraltar de los últimos *neandertales* hace unos 22.000 años, al final de la última glaciación (Wisconsin-Würm). Periodos cálidos y fríos, con niveles altos y bajos del nivel marino se han sucedido, enlazando la evidencia geológica con el registro histórico. En la Europa medieval un intervalo templado 600-1150 fue seguido de otro frío con frecuentes hambrunas que dura hasta el 1460. Sigue un siglo más cálido hasta 1560 cuando se instala la pequeña Edad glaciar, de inviernos fríos, extendiéndose hasta 1850. Durante este largo periodo no han existido temperaturas medias tan elevadas como la actual.

Los registros de climas pasados (con datos de CO₂ y estimas de temperatura de 600.000 años) no muestran un aumento tan rápido de la temperatura y el CO₂ atmosférico como el observado durante los últimos 30 años. Tampoco se dispone de una hipótesis que lo explique satisfactoriamente salvo el forzamiento atmosférico por la actividad humana. Ni se ha formulado ningún mecanismo capaz de hacer regresar

el sistema atmosférico a las condiciones de tres décadas atrás.

La biosfera se desenvuelve ahora en un marco inédito y está reaccionando para ajustarse a él. Hay cambios de clima con una temperatura media 0,64°C superior, concentración de CO₂ un 37% más alta, movilización de elementos y moléculas antes escasos o inexistentes, conectividad entre continentes atravesando las barreras oceánicas y una actividad incesante de la especie humana que ofrece (y niega) oportunidades al resto de la biodiversidad.

LA BIOSFERA QUE VIENE

El aumento del CO₂ atmosférico no tiene efecto sobre la fisiología de los animales terrestres, pero sí en las plantas. La fotosíntesis está limitada severamente por la baja concentración de anhídrido carbónico y su aumento se ha dejado sentir en los bosques que han incrementado su producción. En el océano la situación es más compleja porque la acidificación del agua al desplazarse el equilibrio por la mayor entrada de CO₂, implica otras modificaciones en el medio que resultan adversas para muchos organismos.

La mayor temperatura favorece el crecimiento vegetal en latitudes elevadas y se superpone a la disponibilidad de carbono atmosférico. Otros cambios tienen lugar, como la intensificación de la mineralización de materia orgánica y la actividad edáfica que aceleran la circulación de nutrientes y elevan la liberación de gases con efecto invernadero desde el suelo, como CO₂ y CH₄. En latitudes elevadas, los suelos helados, el permafrost de Canadá o Siberia, se deshiela de modo acelerado ofreciendo sustrato a las plantas. La alta montaña ve reducir sus casquetes helados y retroceder rápidamente a sus glaciares, cambiando el gris azulado del hielo por los tonos verdes de la vegetación.

Para la flora y la fauna las montañas se comportan como islas de clima frío rodeadas de un mar de climas más cálidos en la llanura. El ajustado equilibrio ecológico, excluía de las cumbres a las especies termófilas, pero el cambio climático les permite instalarse y, generalmente, expulsar a sus anteriores ocupantes. Las montañas del mundo son el hábitat de muchas especies

de plantas y animales que en los períodos de clima frío dominaban las llanuras y, se han refugiado en las alturas. En los aproximadamente 20.000 años transcurridos tras la última glaciación, las montañas aisladas han producido, con frecuencia, especies o variedades propias que se extinguirán a medida que se acentúe el cambio del clima.

En las fronteras climáticas se reproduce el mismo proceso que en las montañas y en las latitudes elevadas: el cambio desplaza los climas tropicales sobre los templados y a estos sobre los fríos. Con la trasgresión climática tiene lugar la migración de las especies, que se comienza a percibir. Situada en latitudes medias y clima templado, la península Ibérica está siendo colonizada por especies de aves y plantas tropicales que anteriormente no podían sobrevivir a los rigores invernales. Las cotorritas, loros y cacatúas de nuestros parques urbanos han llegado para quedarse y en algunos casos se extienden fuera de las ciudades por el medio rural. Proceden de aves traídas de otros continentes y que han escapado de sus jaulas. Esto siempre ha tenido lugar, por tratarse de especies atractivas. La diferencia estriba en que ahora sobreviven al periodo invernal, suave, y pueden iniciar la colonización del entorno. En la península especies africanas, migradoras, comienzan a reproducirse aquí estableciéndose en forma permanente. Más preocupantes son los mosquitos portadores de enfermedades infecciosas que desde África atraviesan el Mediterráneo para instalarse en Europa (Semeza y Menne 2009).

La actividad humana recrea sin cesar el entorno y abre medios que no existían en la biosfera. Las ciudades son un ejemplo donde la temperatura es más elevada (islas de calor), abunda la materia orgánica, el agua, una gran biomasa (personas, y animales domésticos, plantas) y ofrece un enorme número de superficies sólidas con cualquier orientación. Las ciudades han sido durante milenios, un medio favorable para aquellas especies que soportan la presencia humana. Una parte son autóctonas y han sido capaces de integrarse en viviendas e infraestructuras o residir en los parques. Otras se han desplazado lentamente desde su área biogeográfica sin aparente intervención humana, como las tortolas procedentes de Asia menor. Un grupo reciente ha sido introducido por el hombre; algunas especies desde hace siglos, como el rabilargo o la carpita, otras recientes, como las estríldas y coto-

rritas, los gansos del Nilo y tortugas de agua de Carolina en los parques, los bagres y la perca sol de nuestros ríos.

La jardinería es responsable de muchas incorporaciones tan familiares como los geranios y maravillas, las begonias, gazanias, tulipán, lantana, costilla de Adán, buganvilla, tecoma, viña virgen, bignonia, bambú, ficus, plátanos, bauhinia, jacaranda, castaño de Indias y tantos otros. En el césped se encuentran igualmente especies introducidas como la bella alfombra (*Phyla nodiflora*), *Dichondra repens* las gramíneas *Paspalum notatum*, *P vaginatum*, *Pennisetum clandestinum*, *Stenotaphrum americanum* y *S. secundatum*, *Zoysia japonica*, o malas hierbas de porte grande por ejemplo asteráceas de los géneros *Conyza* o *Aster*.

Especies asilvestradas forman parte de los paisajes rurales. La adelfa, procedente del N de África, ha ocupado los cauces discontinuos y sus márgenes, siendo incorporada a las medianas de las autopistas. Siguiendo un recorrido inverso, el penacho de la Pampa incorporado a la jardinería y en las medianas se ha introducido ampliamente por el NW peninsular llegando por el S hasta Extremadura. En el Guadiana, los canales de riego y el propio río se han visto invadidos en verano por grandes plantas acuáticas como el lirio de agua (*Eichornia*) y otras especies flotantes (*Pistia stratiotes*).

Las marismas del Parque Nacional de Doñana se cubren en amplias superficies de una especie americana, *Cotula coronopifolia*. Desde hace 10 años se lucha en ellas contra un agresivo helecho flotante, la *Azolla caroliniana* (*A. filiculoides*), existiendo otros, de origen tropical como *Salvinia natans*, que ya sobreviven el invierno y amplían cada primavera su área.

Las plantas acuáticas y las tortuguitas de Carolina han llegado con los acuarios o los cultivos de arroz (como *Azolla*). Otras invasoras se expanden por actividades indirectas como los vinagritos, especies de *Oxalis* de atractivas flores introducidas desde África del Sur en jardinería, de donde han escapado. Una estirpe de *Oxalis pes caprae* se ha extendido ampliamente por el entorno mediterráneo, y lo más destacable es que sus brillantes flores amarillas no producen semillas (androecia). La reproducción por bulbillos asociada al movimiento de tierras, jardinería y

construcción ha sido suficiente para mantener la expansión.

Otras introducciones en el medio rural han sido voluntarias, y la especie se ha expandido con éxito: la caña (*Arundo*), el ailanto, las piteras y chumberas, hoy son elementos comunes. De hecho, para viajeros, pintores y fotógrafos, las pitas con su gran inflorescencia o las palas con higos chumbos de las chumberas son una nota característica del paisaje mediterráneo.

UN DIÁLOGO MILENARIO

La trama de la vida, que cada instante se teje y se abandona, permite a la biosfera ajustarse a los cambios. La biología molecular y la ecología han permitido atisbar el proceso de remodelación, analizando ejemplos donde el hombre tiene papel protagonista. Una característica común es la existencia de familias de procesos encadenados que amplían los efectos iniciales en el espacio y el tiempo, renovando teselas del mosaico de la biosfera.

La domesticación del gusano de seda tuvo lugar aproximadamente hace unos 5000 años en el lejano oriente. La introducción de moreras y gusanos de seda en Europa no se afianzaría hasta el s XI en Italia y más tarde el levante peninsular. A la difusión de insecto sucedió la de sus enfermedades: hongos, bacterias, virus y otras cepas de virus que atacan a la morera. Para superar la crisis sedera en el siglo XIX se buscan otras fuentes de fibra ensayando el tussá, seda gruesa producida por larvas de la mariposa de seda del ailanto (*Philosamia cynthia*), originaria de Asia. El árbol *Ailanthus altissima* de origen chino, se introduce para su cría, pero abandonado el cultivo se naturaliza sobreviviendo también la mariposa. Un nuevo ensayo tiene lugar con el *Gomphocarpus fruticosus*, asclepiadácea de Suráfrica con frutos llenos de escamas sedosas que se cultivó como sustituto de la seda. Fracasa el intento pero *Gomphocarpus*, siguiendo los pasos del ailanto, se naturaliza en la península. Las mariposas monarca (danaidos) son grandes insectos americanos que a veces consiguen volar sobre el Atlántico y se han introducido en Madeira, Azores y Canarias. Desde allí alcanzan Andalucía pero al no existir asclepiadáceas, plantas nutricias de sus larvas, no llegaban a instalarse. La presencia de *Gomphocarpus* y posteriormente la

introducción de otra planta americana, la *Asclepias curassavica*, ha consolidado a *Danaus plexippus* como una especie europea. Sucesivas introducciones humanas de especies desembocaron en una introducción natural.

La expansión en Gran Bretaña del *Senecio squalidus* ilustra otro “diálogo” con la naturaleza. *S. squalidus* es un híbrido (natural) entre dos especies de Sicilia, *S. aethnensis* y *S. chrysanthemifolius*. Hacia 1690 fue plantado en el Jardín Botánico de Oxford de donde escapó a los alrededores de la ciudad, donde era abundante pero no se había extendido más. Su despliegue tuvo lugar con la implantación del ferrocarril en el siglo XIX colonizando el balasto de las líneas férreas y siendo en parte dispersado por el paso de convoyes, alcanzando Escocia y Gales. En su expansión por Gran Bretaña ha producido híbridos con especies nativas de *Senecio* como el *S. vulgaris* var. *hibernicus*, *S. subnebrodensis*, *S. eboracensis* y alloploidoides como *S. camrensis* (Abbot *et al.* 2000). Una introducción, apoyada en un cambio tecnológico, ha dado lugar a nuevas estirpes en el corto plazo de un siglo.

Un último ejemplo, más cercano (y molesto), ilustra la tensión de los sistemas naturales siguiendo las innovaciones humanas en la biosfera. Los piojos humanos corresponden a dos linajes: *Pediculus humanus capitidis*, que viven en la cabeza y *Pediculus humanus corporis* que pican el cuerpo pero viven en los vestidos. El análisis genético ha revelado que ambos linajes se han separado hace 72.000-42.000 años, con origen común africano y que los piojos del cuerpo han sufrido una gran expansión poblacional reciente. Existe un segundo linaje de piojos capilares exclusivo de las poblaciones americanas. Los autores del trabajo (Kitler, Kaiser y Stoneking 2003) interpretan la divergencia de las estirpes de cabeza y cuerpo como evidencia de la aparición del uso humano permanente de vestidos tras su salida de África (100-150,000 años atrás) a medida que se expandían hacia latitudes más elevadas y climas más fríos. *P.h. corporis* hace su puesta en la ropa y sus patas están mejor adaptadas a sujetarse en los tejidos que en los cabellos. Los cercanos chimpancés poseen una sola especie *Pediculus schaeffi*. Los humanos comparten una tercera especie, las ladillas, *Pthirus pubis*, con el gorila, sugiriendo una fascinante historia de evolución e intercambios de

parásitos entre los grandes antropomorfos de los que descendemos (Light *et al.* 2008). El actual gestor de la biosfera conserva muchos rastros de su pasado cuando estaba sometido a los avatares del mundo natural.

Comienzan a documentarse los mecanismos que remodelan la biosfera combinando acciones humanas directas e indirectas como el cambio de clima y la reacción natural de los ambientes y los organismos autóctonos. Como en una campaña militar la especie invasora encuentra resistencias del ambiente, también enemigos y aliados. Se apoya en algunas actividades humanas y se ve impedida por otras. La pequeña hormiga argentina, *Linepithema humile*, un invasor mundial de gran éxito, ha sido analizada en detalle comprendiendo su estrategia, basada en el transporte humano, el urbanismo y la agricultura, encontrando resistencias insuperables en especies de insectos en medios mejor conservados (Roura Pascual *et al.* 2011).

LA BURBUJA TECNOLÓGICA

Los paisajes poseen una doble autoría: los procesos y elementos naturales y las intervenciones y elementos humanos. Los paisajes rurales actuales, incluidos los Parques nacionales, Reservas, y otras figuras de protección, llevan la impronta humana. Es difícil encontrar territorios sin cambios perceptibles y en el área mediterránea se reducen a (pocas) cumbres montañosas y (excepcionales) tramos del litoral. Bosques, pastos, matorrales, ríos y playas son paisajes de autor.

El paisaje rural peninsular a mediados del siglo XX estaba profundamente intervenido con un 40% de superficie agrícola (unos 20M ha) y escasos bosques autóctonos conservados. Los núcleos rurales pequeños, poco tecnificados mantenían labores y ganadería primitivas, a veces casi medievales, ofreciendo como notas singulares la elevada diversidad biológica, la heterogeneidad de cultivos en el ruedo de los pueblos y la densidad cultural tradicional. Paradigmas de la conservación como las grandes rapaces, el lobo o el lince, eran relativamente comunes; los conejos y la caza menor, abundantes. La mayor parte de arroyos y ríos pequeños conservaban sus aguas poco contaminadas.

En los ruedos los vecinos diversificaba sus cultivos de primor al límite, en una autarquía que permitía al

núcleo familiar producir muchos de sus alimentos vegetales en un mosaico verde cercano al núcleo. Senderos, trochas, veredas y caminos, las cañadas y cordeles, ofrecían una red densa rica en topónimos, conservadora de itinerarios a veces milenarios, jalonados de huellas modestas pero expresivas, mostrando la implantación de la cultura sobre el territorio. Muros y cercas, pequeños puentes, canales y regueros, las huellas profundas de las ronderas de los carros o el paso del ganado, eras, chozas, refugios, seles, pozos, fuentes, abrevaderos, azudes, molinos o batanes. Los chopos, olmos y fresnos o las encinas y alcornoques, cuidadosamente podados, aprovechando la leña. La hierba segada, el matorral rozado. Las carreteras orladas de árboles, a veces los únicos que ocupaban el vuelo de un paisaje deforestado.

Imágenes perdidas de carros de hierba, grandes redes llenas de paja que tapaban carro y yunta, arados, trillós, aventadoras manuales, la tarea dura de la siega, la vendimia, el vareo de la aceituna, o la bellota, la recogida de las castañas, ofrecían los recursos de modo avaro, a costa de un esfuerzo tenaz, que se ha ido aliviando con la introducción de maquinaria. El deseado cambio de la vida rural llevó a sus habitantes a los grandes núcleos integrándose en la sociedad industrial y de servicios. Con los habitantes desparecieron los referentes culturales, los topónimos, los caminos, los ciclos de explotación. Desapareció el autor del paisaje, que en una labor sin fin mantenía los sistemas naturales obedientes a su diseño. Quedan miles de núcleos vacíos donde los senderos se han borrado y el matorral ha recuperado su lozanía y los árboles su perfil natural. Los pastizales están ocupados de matas y su productividad es mucho menor.

La alternativa al abandono es la intensificación que ha convertido las tierras calmas en sistemas agrícolas avanzados dominados por fitoquímicos con uso generalizado del plástico, poca mano de obra y mucha maquinaria. Los invernaderos de frutos tropicales, de hortalizas o de fresas, sólo contienen la especie cultivada. El resto es cuidadosamente suprimido y por tanto la diversidad en ellos es nula. La situación no es muy distinta fuera del invernadero ya que las prácticas de preparación de suelos, a veces de su esterilización y el energético tratamiento mantienen solamente la especie cultivada, con una producción alta combinando riego y nutrientes.

La tecnificación ha rehecho la agricultura extensiva de cereal, el viñedo o el olivar. Las lindes de piteras o chumberas, frecuentes en el sur, las cercas de piedra o los setos vivaces en el norte, servían de refugio a la diversidad biológica sosteniendo animales y plantas, pequeños vertebrados y muchos insectos. La maquinaria necesita despejar el terreno y trata de suprimirlos, junto al arbolado disperso; aterra los pequeños cauces y lagunas, elimina escarpes o asomos rocosos. La ganadería extensiva y la trashumante han decaído hasta casi desvanecerse y los animales se producen en naves enormes como los pollos o se estabulan, como el vacuno o el porcino. Su alimento se basa en piensos que absorben aproximadamente la mitad de la producción agrícola mundial. El viario se resuelve con hormigón cuya superficie tarda mucho en servir para la implantación de algas o líquenes. La trama ecológica se ha empobrecido.

Los paisajes intensificados muestran plásticos, naves, cancelas metálicas, alambradas. Son paisajes uniformes, monótonos, productivos, pero vacíos en lo cultural y pobres en lo biológico. El empleo intenso de fertilizantes y pesticidas, herbicidas y otras moléculas con efectos biológicos enriquece el suelo con estos productos que lentamente pasan a los acuíferos y alcanzan la red de drenaje. La mayor disponibilidad de nutrientes en las aguas continentales, la eutrofización, desencadena cambios profundos en el sistema acuático, generalmente ajustado a valores bajos de nutrientes disueltos.

Hay una correlación muy significativa y positiva entre diversidad biológica y diversidad de cultivos en un territorio. Inversamente, la simplificación agrícola hacia el cultivo único reduce la diversidad biológica (plantas y animales) a valores mínimos. Entre las principales causas de regresión de las 526 especies europeas de aves se encuentra el abandono de la agricultura tradicional y su intensificación.

La pérdida del patrimonio natural debido a la intensificación en las explotaciones y la expansión urbana alentó los primeros movimientos conservacionistas en los Estados Unidos de América que desembocaron en la creación de los Parques Nacionales de Yellowstone (1872) y Yosemite (1890, aunque estaba parcialmente protegido desde 1864). El largo camino recorrido ha declarado miles de parques, reservas y otras figuras de protección frenando el proceso de cambio y preser-

vando los paisajes y la biodiversidad y ha fomentado en la sociedad tecnológica el interés naturalista. No ha sido suficiente para contrarrestar la intensificación de la explotación ni para conservar una buena representación de los ecosistemas terrestres o acuáticos de la biosfera.

Estando interconectada la biosfera, sus modificaciones alcanzan lentamente a toda la superficie de modo que los espacios bajo protección están sometidos al cambio climático, son colonizados por especies invasoras y en sus aguas aparecen fertilizantes y fitoquímicos. La presión humana sobre los recursos (caza, pesca, madera), el cultivo de tierras y la introducción de ganados hace retroceder las fronteras del espacio protegido ante la expansión de la población local. A nivel mundial se ha constatado la reducción de algunas especies emblemáticas, antes muy abundantes, como el leopardo o el león en África, donde las mayores poblaciones rozan los 200 individuos (*New. Sci.* 13052004). Los elefantes reducen sus efectivos en el continente, pese a la prohibición de comercio del marfil y los rinocerontes siguen en situación crítica.

España ha protegido el 12% de su territorio mediante Parques Nacionales, Parques Naturales, Reservas y otras figuras. La Red Natura 2000 que incluye además explotaciones agrícolas y ganaderas tradicionales abandonadas eleva la cifra a 14M ha, 28% del territorio y el 36% de la línea de costa. El resultado ha mantenido enclaves muy valiosos como Ordesa, Picos de Europa, Sierra Nevada, Doñana, Garajonay, Isla de Cabrera o Islas Cíes, monumentos naturales como el Teide y la caldera de Taburiente y un número grande de tramos de río, lagunas y sectores costeros. En el lado negativo no ha impedido la edificación de la mayor parte del litoral, la desaparición del oso en el Pirineo, la reducción del lince a dos pequeños enclaves, el despilome de las poblaciones de rapaces y el descenso de las restantes aves estando amenazado el 40% de la avifauna. Las introducciones de especies de aves, peces, también de plantas terrestres y acuáticas, progresan sin control y en algunos casos con perjuicios evidentes como el mejillón cebra en el Ebro o el picudo rojo, coleóptero curculiónido que ataca a las palmeras en Levante y Andalucía. En el tramo bajo Guadalquivir la mayor parte de los peces son especies introducidas y en el estuario se han identificado 10 crustáceos alóctonos.

La conservación compensa en parte la intensificación y complementa el abandono, evitando la degradación del espacio. No detiene el tiempo ni conjura los cambios globales, pero permite a la población urbana disfrutar de un paisaje biológico rico y cercano a nuestras raíces culturales. Cumple también otras funciones: sirve de fuente de diversidad ya que muchas especies pueden reproducirse en allí y recolonizar otros espacios o al menos mantener sus poblaciones. Ayuda a mejorar la calidad del aire, actuando como un descontaminador natural y genera agua de calidad en los acuíferos que recarga y en la red de drenaje que alimenta.

La población vive mayoritariamente en el entorno urbano, que año tras año se aleja del rural. Un entorno progresivamente artificial, una burbuja tecnológica que implica mayor consumo de energía y se ocupa con nuevas actividades que la sociedad demanda. La ciudad, y su satélite de servicios, la industria, son el hábitat humano en la biosfera y la población mundial se siente atraída hacia este modo tecnificado de existencia. La biosfera urbana, dominada por seres humanos está acompañada de otras especies. Primero, los organismos que comparten nuestro cuerpo: bacterias, hongos, protozoos, y otros grupos presentes en la piel y en las mucosas, en el digestivo, seguidos por un largo etcétera de patógenos. Los animales de compañía (y sus parásitos), las "pestes" domésticas: cucarachas, hormigas, moscas y mosquitos, ratones, ratas y las plantas de las viviendas, jardines y parques y su fauna asociada. Otro nivel muy activo y mal percibido, ocupa los conductos subterráneos. Galerías, conducciones, túneles y especialmente el alcantarillado, son el dominio de los descomponedores, bacterias y hongos a los que se añaden filtradores. Las conducciones de agua sin depurar se ven ocupadas por moluscos, hidrozoos y bacterias en sorprendentes comunidades tecnológicas que han ocupado las instalaciones de la ciudad. Los equipos de aire acondicionado se convierten en quemostatos de cultivo de bacterias. Las legioneláceas son una familia bacteriana (48 especies descritas) descubierta en 1977 a partir de un episodio de neumonía epidémica sufrida en un hotel de Filadelfia.

La facilidad del transporte y la abundante información en los medios han impulsado la incorporación de nuevas especies a los acuarios y terrarios. Son centenares los peces a la venta acompañados de plantas

acuáticas que una vez y otra terminan alcanzando los medios naturales. Dando un paso más, ya se ofrece en las celebraciones (bodas, fiestas) la suelta de mariposas vivas entre los invitados, abriendo una nueva puerta a las introducciones. Aves, reptiles, peces, invertebrados, plantas... la lista es larga y ha supuesto en Europa la introducción de, al menos, 11.000 especies en los diferentes países (DAISIE 2008).

La biosfera que viene, en los países desarrollados, es distinta a la que conoció la generación precedente y muy diferente de medio siglo atrás. Un medio rural escindido entre intensificación y abandono/conservación con pérdida de especies autóctona y creciente incorporación de nuevos componentes en su diversidad.

Un medio urbano muy artificial, dominado por las infraestructuras y los edificios, con el espacio ocupado por los vehículos. La naturaleza refugiada en parques y jardines conserva elementos antiguos que la comparten con los introducidos. Las viviendas han sido ocupadas por esclavos tecnológicos, electrodomésticos que han cambiado el modo de vida. Puede quedar un rincón para macetas con plantas, un acuario o un terrario, pero la mayor parte del contacto natural se hace desde la televisión. Noticias, documentales, películas... mantienen un (tenue) hilo con la realidad de la biosfera. Los viajes pueden reforzarlo con la experiencia directa de paisajes naturales semejantes a los que modelaron nuestra especie durante milenarios.

La biosfera cambia continuamente, siendo este un rasgo distintivo. La presencia humana ha intensificado los cambios, que ahora se han hecho patentes y comienzan a preocupar a la sociedad. Sin embargo, el descubrimiento de las comodidades que ofrece la tecnología, es irrenunciable y condiciona el futuro modo de vida en el planeta. No se ha planteado en profundidad cómo hacer compatible este anhelo al bienestar con el mantenimiento de las estructuras fundamentales de la biosfera en océanos y continentes, en la composición atmosférica y la estabilidad del clima y en el acceso de la mayor parte de la humanidad a los servicios que ahora disfruta (disfrutamos) la tercera parte privilegiada.

El hombre sigue su intenso caminar, rehaciendo la biosfera sobre la alfombra mágica de la energía.

Igualmente, la biosfera sigue respondiendo a las iniciativas humanas con cambios sutiles de sus protagonistas. La negociación seguirá con nuevos interlocutores y pequeñas concesiones mutuas, en una convergencia asintótica secular que se extenderá tanto como la presencia humana.

REFERENCIAS

1. Abbot, RJ, James, JK y Irwin J, 2000 Origin of the Oxford Ragwort, *Senecio squalidus* L., *Watsonia* 23:123-138
2. DAISIE 2008 *Handbook of alien species in Europe*, Springer.
3. Kitler, R, Kayser M y Stoneking, M 2003 Molecular evolution of *Pediculus humanus* and the origin of clothing *Current Biology* 13:1414-1417
4. Köhler M. y Moyà, S, 2009 Physiological and life history strategies of a fossil large mammal in a resource-limited environment *PNAS*: 106:20354-20358
5. Light, JE., Allen JM, Long LM, Carter T, Barrow L, Suren G, Raoult D, y Reed D. L. 2008. Geographic distributions and origins of human head lice (*Pediculus humanus capititis*) based on mitochondrial data. *Journal of Parasitology* 94(6):1275-1281.
6. Roura-Pascual, N. Hui, C. Ikeda, G. Leday, G. Richardson, DM, Carpintero, S, Espadaler, X, Gómez, C, Guénard, B, Hartley, S., Krushelnnycky, P., Lester, PJ., McGeoch, MA., Menke, SB., Pedersen, GS, Pitt, JPW., Reyes, J, Sanders, NJ, Suarez, AV, Touyama, Y, Ward, D, Ward, PS y Worner SP, 2011 Relative roles of climatic suitability and anthropogenic influence in determining the pattern of spread in a global invader *PNAS* 108, (1):220-225
7. Semeza JC y Menne B, 2009 Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet infectious Diseases* 9:365-75