

Antonio Machado



La psicofera.
¿Necesitamos una nueva Ecología?

The Psychosphere.
Do we need a new Ecology?

Die Psychosphäre.
Brauchen wir eine neue Ökologie?



FUNDACIÓN

CÉSAR

MANRIQUE

La psicosfera.
¿Necesitamos una nueva Ecología?

The Psychosphere.
Do we need a new Ecology?

Die Psychosphäre.
Brauchen wir eine neue Ökologie?



CUADERNAS

ANTONIO MACHADO

**La psicofera.
¿Necesitamos una nueva Ecología?**

**The Psychosphere.
Do we need a new Ecology?**

**Die Psychosphäre.
Brauchen wir eine neue Ökologie?**



Diseño de la colección
Alberto Corazón

© del texto
Antonio Machado Carrillo

© de la presente edición
Fundación César Manrique. Servicio de Publicaciones
Lanzarote 35507. Islas Canarias

Traducción
Margaret Clark (inglés)
Beatrice Jung (alemán)

ISBN: 84-86550-70-7
Depósito Legal: M-43735-2006

Imprime: Cromoimagen S.L. Gregorio Benitez 16 - 28043 Madrid

Impreso en España, en papel reciclado.

Antonio Machado

LA PSICOSFERA

¿NECESITAMOS UNA NUEVA ECOLOGÍA?

Dedicado a la memoria de Ramón Margalef (1919-2004)

“Para ver una cosa hay que comprenderla. El sillón presupone
el cuerpo humano, sus articulaciones y partes;
las tijeras, el acto de cortar.”

Jorge Luis Borges

Los cambios de paradigma en la ciencia, en el sentido de Thomas S. Kuhn, consisten básicamente en ver las mismas cosas de manera diferente, y así los científicos se aproximan cada vez más a la realidad. El avance de nuestro conocimiento está, sin duda, jalonado por grandes cambios de paradigma: el modelo heliocéntrico del sistema solar, la teoría de la evolución biológica, o la teoría de la relatividad, por citar sólo tres ejemplos evidentes. Ahora bien, si uno busca qué hay de común en estos saltos cualitativos a partir de la concepción previa de los fenómenos naturales, encontrará que no es otra cosa que la progresiva superación del antropocentrismo. Protágoras decía que “El hombre es la medida de todas las cosas”, pero la ciencia nos ha enseñado que el instrumento de medir condiciona sensiblemente el conocimiento adquirido. Y a nuestra especie, que es una especie presumida, le cuesta superar su propia condición y escala. Abordamos la naturaleza limitados por las ventanas perceptivas de nuestros sentidos, y partimos de una escala

macroscópica —nuestra estatura— que es cuanto menos anormal. La vida es y ha sido básicamente microscópica, bacteriana. Nosotros y los demás seres pluricelulares resultamos gigantescos, y somos, ciertamente, la excepción. El hombre se jactó de ser la primera especie en llegar a la Luna, pero olvidó los millones de organismos que hicieron el viaje con él, en su boca, en el estómago o sobre su piel. Visto con otros ojos, incluso no somos esa individualidad que la consciencia nos reafirma a diario. Al menos, desde el punto de vista biológico, somos una suerte de consorcio, pues sin los organismos simbioses de nuestro aparato digestivo, por ejemplo, seríamos incapaces de vivir.

Sirva esta reflexión para introducir un tema tal vez novedoso para muchos, y que parece augurar un cambio de paradigma. Por lo pronto, en mí ha provocado una pequeña revolución intelectual, y de cómo ha sucedido es de lo que quiero hablarles.

La historia que voy a contarles comenzó en 1997, cuando Francisco Sánchez, director del Instituto de Astrofísica de Canarias, me invitó a participar en un seminario de la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo, en Santander, titulado “Planetas en otras estrellas”. Los astrofísicos se reunían para hablar de la existencia de planetas externos a nuestro sistema solar y, obviamente, surgiría el tema de la posible presencia de vida en esos mundos. Alguien debería explicarles algo aparentemente simple: qué es la vida. Yo, como biólogo, acepté el reto sin saber realmente dónde me metía. Los biólogos, ciertamente, estudiamos la vida en toda su complejidad y múltiples formas, pero la demanda de Francisco Sánchez implicaba algo más que explicar lo que es la vida; también interesaba el *por qué* la vida. Al percatarme —*a posteriori*— de este matiz, me sentí absolutamente perdido, cegado por mi propia biofilia y visión ombliguista de bió-

logo. Para abordar la razón de ser de la vida —si es que la hay— debía echarme fuera de sus límites y analizar el fenómeno en el contexto en que se da: el universo. Sí, la vida es un fenómeno cósmico, como ya planteó Huygens en su *Cosmotheoros* (1869), y yo necesitaba un terreno más firme que la simple Biología para poder entenderla en todas sus dimensiones: la Física, sin lugar a dudas. De manera que, cambiando de perspectiva, intenté mirar con ojos de físico lo que me era tan afín y querido.

La materia viva

Entre la multitud de obras que empecé a devorar, redescubrí a Vladimir Vernadsky, científico ruso dedicado al estudio de la circulación de los minerales en la Tierra, y fundador de la Geoquímica. Al toparse con los seres vivos, empleó el sugerente término de “materia viva”, en contraposición a la “materia inerte” del mundo mineral. La materia viva —decía— es algo muy distinto por la elevada complejidad de su composición química y, sobre todo, por su altísima dinámica y comportamiento. A Vernadsky debemos también la divulgación del concepto de “biosfera” acuñado por Lamarck; esa capa de nuestro planeta en la que medra la vida. De ahí pasé a otros autores como Schrödinger, Margulis y Sagan, Bertalanffy, Gell-Mann o Kauffman, en su mayoría físicos, y acabé convencido de que la mejor manera de analizar objetivamente los fenómenos de cualquier tipo es adoptando el enfoque sistémico (ver Umbach, 2000). Es decir, delimitar el sistema, reconocer sus elementos y ver las relaciones que existen entre ellos y con su entorno; para saber cómo funciona, buscar los subsistemas operativos que contiene; y para comprender su razón de ser, indagar en el super-sistema en el que se integra nuestro objeto de estudio.

Bajo esta óptica, y para empezar, la vida se nos presenta como un sistema autopoyético, o sea, que se autoconstruye y mantiene a sí mismo. El organismo, como unidad de sistema, permanece en el tiempo aunque se incorporen, almacenen, destruyan, recompongan o eliminen sus elementos constitutivos. Tiene una endiablada dinámica química. Esto es lo realmente distintivo de la vida y no el reproducirse, cosa que, desde el punto de vista físico, también hacen los cristales. Recuerdo, por cierto, la consternación que causé en un astrofísico —a su vez médico—, cuando afirmé que los virus no son vida. Los virus necesitan de la “maquinaria” de la célula viva que infectan, para poder funcionar. No son autopoyéticos.

La estructura organizativa y funcional de la materia viva se mantiene gracias a un flujo permanente de energía que la atraviesa, y a cuenta de ello se emiten muchos gases y calor, aumentando la entropía tanto como para calmar cualquier sospecha de contradecir la segunda ley de la termodinámica. Este principio fundamental de la Física trata de la entropía, una medida (descriptor) de la energía que no se puede recuperar a su forma original después de cualquier interacción materia-energía. Con la misma energía que se rompe un jarrón, no se puede volver a recomponerlo. El aumento de entropía expresa, en cierto modo, el derecho de irreversibilidad que se reserva la naturaleza; o dicho del modo más conocido: todo tiende al desorden. Sin embargo, la vida parece ir contracorriente, y es verdad que en la autoorganización de los seres vivos se crea mucho orden, pero a base de generar mucho más desorden en el entorno. En este sentido, la vida es un sistema disipativo abierto lejos del equilibrio termodinámico, lo mismo que la llama de una vela. Si el flujo de energía cesa, la vida se apaga.

Por otra parte, la materia viva es también un sistema mnemónico, palabra que viene a significar que tiene “memoria”, que almacena historia,

como un registro notarial o nuestros modernos ordenadores. La complejidad de cualquier organismo no se puede explicar a partir de él mismo. Su autoorganización obedece a la información con la que inicia su existencia. Hoy sabemos que dicha información reside básicamente en el ADN que aportan los gametos. Ellos albergan el complejo *software* genético que conformará el nuevo ser orgánico, y que se copia de materia viva a materia viva, de generación en generación, arrastrando así toda la historia de la vida consigo. En nuestro genoma se encuentran genes de la primera humilde bacteria que fue, así como todas las novedades evolutivas que luego se añadieron a lo largo de nuestra filogenia. Un óvulo, un espermatozoide, ahí está todo compactado, como en un CD miniaturizado. Una simple semilla es un formidable archivo de historia.

Vista así, en perspectiva, la materia viva es un sistema harto peculiar que se proyecta en el tiempo a la vez que cambia y se expande. Como diría Ramón Folch, la vida tiene alma de gas. Una vez prende, continúa, y si la dejan tiende a ocupar todo el espacio posible. Algunos ven en este incuestionable empuje un “principio vital”, mientras que para otros —como Andy Pross (2002)— la flecha de la vida es mera consecuencia de las reacciones químicas autocatalíticas que subyacen en el proceso. Encima, con el transcurso del tiempo, la materia viva se organiza y complica cada vez más, acumulando una mayor información. Esta complejidad progresiva —o evolución— obedece a otra característica de la vida, propia de los llamados sistemas complejos adaptativos, como nuestro lenguaje o el sistema inmunológico de los mamíferos. Son sistemas cibernéticos que tienen la capacidad de “aprender”. Interactúan con su medio ensayando nuevas alternativas (mutaciones), escogen las que mejor funcionan (selección), y las incorporan a su “memoria” (genoma) para afrontar el futuro. Ésta es la forma sistémica de entender la evolu-

ción biológica por selección natural. La vida se adapta, aprende y progresa, en el sentido de que los organismos logran una mayor independencia de las vicisitudes del medio.

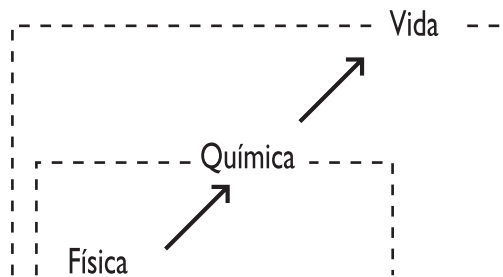


Figura 1. La vida como sistema emergente

El surgimiento de la vida fue precedido por una dilatada evolución química, idea sobre la que hay consenso, pero sobre sus detalles y posibles escenarios circulan varias hipótesis: en la “sopa primigenia” de Oparin, entre las arcillas de charcos someros, sobre la fina película de agua que rodea el hielo, o incluso fuera de nuestro planeta, como postulaba la panspermia de Arrhenius. Comentarlas ahora, excede los propósitos de este ensayo, pero sea cual fuere su cuna concreta, lo que sí parece claro —al menos para los varios físicos que se han ocupado del tema— es que la vida es un sistema emergente. Se llaman propiedades emergentes a aquellas que surgen a partir de determinados componentes y que son nuevas, es decir, que no existían en ninguno de ellos por separado. De ahí el viejo adagio de que el conjunto es más que la suma de sus partes. Las moléculas de agua líquida tienen propiedades como el punto de ebullición, de las que no participan los átomos sueltos de hidrógeno y oxígeno.

Pues bien, al igual que las propiedades químicas de la materia emergen de sus propiedades físicas, la vida emerge de la materia inerte, con cuyas restricciones químicas y físicas habrá de cumplir (figura 1). Su comportamiento, sin embargo, es bien distinto y va más allá, superando todo lo anteriormente conocido.

Y llegados a este punto, cabe plantearse el *quid* de la cuestión. ¿Es esa emergencia que llamamos vida fruto del azar, o es, por el contrario, consecuencia de la evolución normal de la materia? Los primeros fósiles conocidos de seres vivos son bacterias y datan de hace 3.550 millones de años, aunque hay indicios más antiguos, de hace 3.860 millones de años, edad muy próxima a cuando nuestro planeta se consolidó y se hizo habitable (3.900 millones de años). Unos autores ven en estas cifras argumento suficiente para aceptar el determinismo, si bien para otros, el tiempo que medió entre la consolidación de la Tierra y la aparición de la vida es tan corto (figura 2), que dudan que la vida se haya originado en nuestro planeta; creen que debió infectarse a partir de otro —tal vez Marte— que adquirió habitabilidad antes que el nuestro (vuelve la idea de la panspermia). No obstante, también está el hecho de que la Tierra ocupa una posición marginal, casi de frontera, dentro de la ventana de habitabilidad que existe en nuestro sistema solar definida por Casting y colaboradores (1993), es decir, donde la temperatura es la adecuada y el planeta tiene suficiente gravedad para permitir la presencia de agua líquida (la química de la vida no es posible sin agua). Y según la Teoría del caos, sabemos que la novedad y creatividad se establecen en los sistemas no lineales en las fronteras, donde la criticidad es alta. Así que la vida también puede ser fruto del caos.

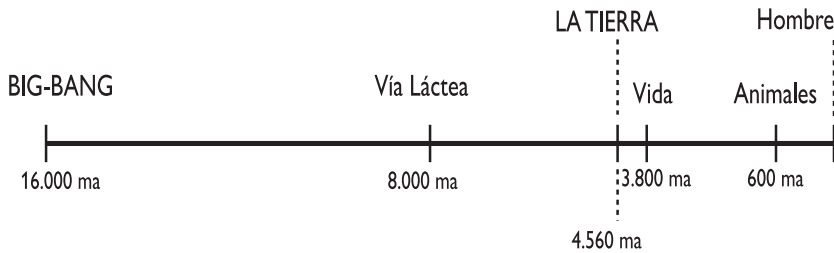


Figura 2. Historia del universo hasta el hombre en millones de años

Con todo, provenga la vida del caos o de la evolución espontánea de la materia, sería presuntuoso pensar que dicha emergencia ha ocurrido sólo una vez, y en nuestro planeta. La probabilidad de repetición en el vasto universo —o incluso en la propia Tierra— es tan alta como para no aceptarla como razonable, por muy fastidioso que resulte al ego del hombre. Por cierto, que bien mirado, nuestro planeta con cuatro quintas partes de océano debería haberse llamado la Mar, y no la Tierra; eso pasa porque no vivimos bajo el agua.

Éstas son, básicamente, las ideas que compartí con los astrofísicos en Santander. Pero aquí no acabó la historia.

La materia pensante

La novedosa —al menos para mí— visión física de la vida, acabó por llevarme hacia otros derroteros. ¿Y el hombre?

Lo que diferencia cualitativamente a la especie humana de otros organismos vivos no es precisamente su anatomía o biología. Somos unos primates recientes, bípedos, de poco pelo, buena vista, olfato pobre y sexualidad extendida. La mente humana —la *psyche*— es la gran nove-

dad, y Julian Huxley lo intuyó bien al proponer un reino separado —Psychozoa— para albergar a nuestra especie; sin éxito, por cierto.

Ahora bien, ¿qué es la mente? Puede resultar atrevido plantear esta cuestión precisamente en la década en la que, gracias a las nuevas tecnologías, las ciencias neurológicas y la Psicología cognitiva están desvelando muchos de los misterios de su funcionamiento. Hay indicios arqueológicos que hacen suponer que la mente pudo surgir —y con ella, el ser humano— en algún momento no precisamente lejano, unos 40.000-50.000 años, cuando nuestra especie biológica, *Homo sapiens*, llevaba ya unos 145.000 años deambulando por el continente africano. La conciencia, la empatía y la capacidad de pensar de forma simbólica, que son las características más representativas de la mente, tal vez se desarrollaran independientemente en los neandertales, en los humanos o en el controvertido hombre de Flores, recientemente descubierto en el archipiélago de Java, o puede que surgieran en un antepasado común. El hecho es que hoy somos la única especie superviviente del género *Homo*, la única “materia pensante” que conocemos.

Empleo el término de materia pensante a propósito, pues está claro que también es un fenómeno cósmico, distinto a la materia inerte y la materia viva, y se comporta de manera muy diferente a estas dos. También cabe aceptar —al margen de cualquier interpretación religiosa— que la mente es una emergencia de la materia viva, como ésta lo fue de la materia inerte (figura 3). Ello implica que la mente ha de cumplir con todas las restricciones físicas, químicas y biológicas de los sistemas que la sustentan, pero su comportamiento va más allá en virtud de las propiedades emergentes que la definen. Éste es un planteamiento interesante pues, para empezar, debemos concluir que la mente no es vida, como la vida no es mineral.

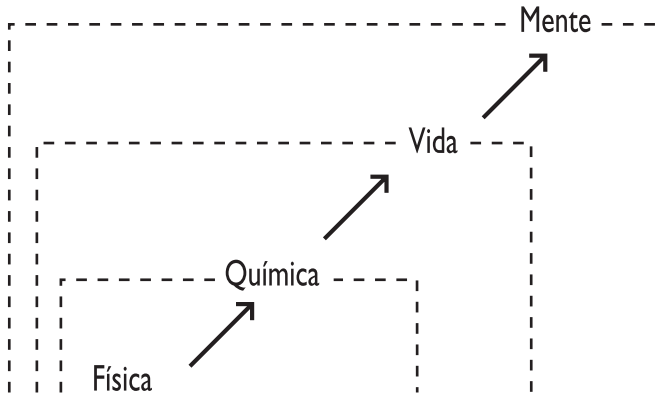


Figura 3. La mente como sistema emergente

El separar la materia viva de la materia pensante tiene variadas implicaciones. Deberíamos aceptar que el ser humano arranca realmente con la emergencia de la mente, cuando el mamífero de la especie *Homo sapiens*, el hombre moderno, toma conciencia de sí mismo y desarrolla las habilidades mentales: *cogito ergo sum*. En tal caso y aunque sea anecdótico, el epíteto específico de *sapiens* resultaría inapropiado en su larga historia previa. Mas no podemos adentrarnos en todas las implicaciones filosóficas, teológicas, sociológicas o políticas, que indudablemente tiene. Me limitaré a abordar sólo dos aspectos que me han afectado de modo más inmediato, precisamente en el ámbito de la Conservación de la Naturaleza y de la Ecología, actividades a las que he dedicado buena parte de mi vida. Pero antes, es preciso reflexionar un poco más sobre la esencia de la mente.

La materia pensante está íntimamente acoplada a la materia viva, de la que emergió y de cuyo funcionamiento depende. La estructura viva que sustenta los pensamientos es el cerebro, bien empaquetado a temperatura constante en una caja craneal de unos 1.400 cm³, pero el sistema unitario y autónomo de materia pensante lo constituye el individuo

completo. Puede que algún día se consiga una mente funcional sobre soporte no vivo, pero al menos hasta el presente, mente y vida comparten destino. Ello implica que, en sus inicios, las nuevas capacidades emergentes estaban sometidas a la misma selección natural que actúa sobre todas las especies biológicas, y si la mente prosperó es porque permitía sobrevivir mejor al nuevo conjunto, el ser humano. Cuando emergió la mente, el cerebro ya se ocupaba de un montón de cosas. Edward O. Wilson hace bien en resaltar que el cerebro no está ensamblado para comprenderse a sí mismo, sino para sobrevivir. Si se hubiese “diseñado” originariamente para pensar y comprender, seguramente su “cableado” sería muy distinto al nuestro. Pero ello no quita que pueda hacerlo, y supuestamente bien, porque no disponemos de otro patrón con el que comparar.

La materia pensante es un sistema consciente con capacidad para la abstracción. En un sentido metafísico puede considerarse un sistema cerrado, pues se piensa a sí mismo, pero físicamente sigue siendo un sistema disipativo abierto. Los pensamientos tienen base material y consumen energía; de hecho, el cerebro acapara el 20% de la energía metabólica del cuerpo; es un órgano muy costoso.

La materia pensante también funciona como un sistema complejo adaptativo, pero de modo bastante distinto a la vida. Lo que una mente ha “aprendido” y emplea para operar mejor, desaparece con la muerte del cuerpo biológico. Sin embargo, dada su enorme capacidad para adquirir, procesar, almacenar y proyectar información, los logros de una mente —las ideas, los “memes” en el sentido de Richard Dawkins (1976)— puedan ser transferidos directamente a otra mente o a depósitos externos como libros o registros sonoros, de donde luego son recuperables. Los libros son semi-

llas culturales, si se me permite la metáfora. Estos mecanismos nada tienen que ver con la lenta transmisión por vía genética, de generación en generación, característica de la evolución darwiniana. La transmisión cultural es tremendamente más rápida y, si se quiere, instantánea, a distancia o múltiple.

La mente parte de la capacidad procesal del cerebro y está por ella condicionada, pero se equipa de información y conocimiento por la vía cultural, donde el lenguaje —que es su principal instrumento— tiene un papel esencial. Y esto ocurre en concurrencia con el instinto, compuesto por las llamadas pautas fijas de comportamiento, que sí son heredables. Obviamente, instinto y mente interactúan y participan en la operatividad final.

Entendamos que la transmisión cultural no es algo privativo del hombre; se han registrados numerosos casos en otros animales, sobre todo en aquéllos con vida social. El acto de meter un palito para pescar termitas en un termitero, es algo que un mono aprende al verlo hacer a otro. Esto es transmisión cultural, por emulación. Lo que no hará el mono es guardarse el palito para usarlo la próxima vez que le haga falta. La capacidad de proyección de los propios actos (anticipación, planificación, etc.) sí es propia de la materia pensante, y es lo que ha propiciado el desarrollo de la tecnología.

La psicóloga Susan Blackmore (1999) desarrolló la idea del *mem*. Cuando se imita una técnica, se adopta la instrucción para un determinado comportamiento. El *mem*, o meme, es una suerte de programa intelectual al que Blackmore le atribuye la misma tendencia de querer propagarse que Dawkins, en su famoso libro *El gen egoísta*, atribuye a su homólogo, el gen.

De acuerdo o no con el planteamiento memetista —que cada vez adquiere más adeptos— a nadie escapa que la evolución cultural asociada al hombre va a un ritmo vertiginoso y más acelerado que la evolución biológica. Hay quienes afirman que el ser humano se ha descabalgado de la selección natural, y así parece ser. La selección cultural está tomando el relevo; nuestra descendencia ya no depende tanto de los avatares de la naturaleza.

Ya comentamos con anterioridad que la vida prendió una vez y, desde entonces, se ha venido transmitiendo por línea directa hasta el presente. Cierto es que conocemos una sola modalidad de vida; si hubo otras, se extinguieron, posiblemente por presión competitiva. ¿Y la mente? ¿Hubo una única emergencia hace 50.000 años y se viene transmitiendo vía genética ligada a la materia viva? o, por el contrario, ¿emerge una mente en cada cerebro a medida que alcanza su “sazón” neurológica durante el desarrollo del individuo? A mí me parece que ocurre así, una emergencia por persona, pero no me atrevo a afirmarlo. Aún sabemos demasiado poco, a pesar de que se avanza a pasos agigantados en el conocimiento de su funcionamiento y estructura, o mejor dicho, la del cerebro que la sustenta. Por otra parte, si queremos resultados objetivos, la Psicología tendrá que despojarse de la tremenda carga antropocéntrica que, por pura lógica, la impregna. La mente no es el cerebro, es otra cosa nada fácil de entender y conocida más por sus efectos que por su esencia. Y me temo que será difícil, si no imposible, explicar el sentido de la mente desde la propia mente. Sería como enfrentar un espejo a otro espejo. Desde un sistema dado no se puede explicar el supersistema en el que se integra. Éste le supera y, en el caso de la mente, no tenemos ni idea de cuál es. Un duro revés para la ciencia.

Biosfera y psicofera

Quisiera ahora ampliar la escala del tema que venimos tratando a su entorno global, es decir, a todo el planeta. La Tierra se formó hace unos 4.560 mil millones de años, y en esos inicios sólo había materia inerte: sólidos, líquidos y gases. Al irse agregando y enfriando su corteza, se conformaron los tres envoltorios que conocemos por litosfera, hidrosfera y atmósfera. Los días duraban 18 horas, el sol brillaba menos, el cielo era blanco, y en la atmósfera había mucho dióxido de carbono, nitrógeno, metano, sulfuro de hidrógeno y otros gases; pero nada de oxígeno. En esas condiciones emergió la primera materia viva que, al principio, no debió alterar mucho el aspecto de las cosas.

Pero el sistema complejo adaptativo que es la vida, fue ensayando nuevas opciones bioquímicas para prosperar. Evidentemente, conocemos sólo las que tuvieron éxito, mas el repertorio metabólico que nos ha llegado a través de las bacterias es digno de admiración: las hay que viven del azufre, del amoníaco, del hierro, dentro de los hielos, de las rocas, en las fuentes termales o en solfataras volcánicas, ambientes que hoy calificamos de “extremos”, pero que entonces eran lo más normal. En las bacterias del azufre se desarrolló la capacidad de emplear la energía lumínica para romper la molécula de agua y aprovechar su hidrógeno, elemento necesario en la construcción de materia viva. Como subproducto de este novedoso proceso —la fotosíntesis— comenzó a liberarse oxígeno, una sustancia tremendamente reactiva y tóxica para muchas formas de vida. La gran mayoría debió perecer, aunque al poco surgieron nuevas formas —las bacterias precursoras de nuestras mitocondrias— que supieron aprovecharlo en sus procesos de combustión biológica (la respiración). Una innovación que tuvo éxito.

La irrupción del oxígeno libre en la hidrosfera supuso, sin duda, la primera gran extinción que registró el planeta. Por otra parte, el oxígeno empezó a combinarse con todo lo imaginable; a oxidar el hierro, por ejemplo, generando enormes depósitos sedimentarios ferralíticos, que hoy conocemos como rocas bandeadas. Una vez oxidado en los mares todo lo oxidable, hará unos 2.500 millones de años, el oxígeno fue acumulándose en la atmósfera durante 500 millones de años más, hasta llegar al 22% de la actualidad. Los cielos se hicieron azules. Además, en la alta atmósfera el oxígeno se combinaba en forma trimolecular, con lo que, de rebote, el planeta se dotó de una capa protectora frente a la radiación ultravioleta del sol, que es biocida. Hasta entonces, las tierras emergidas eran un ambiente inhóspito, barrido por la radiación ultravioleta. Con la formación de la capa de ozono, se abrieron las puertas hacia su colonización.

Esta pincelada del inicio de la vida en nuestro planeta viene a cuento para destacar que la materia viva interactúa con su entorno. Indudablemente, se ve afectada por él, pero también lo modifica, incluso a gran escala. La atmósfera terrestre está absolutamente fuera de equilibrio químico y mantiene su composición actual gracias al funcionamiento de la materia viva. Así ha sido a lo largo de la evolución: ¡puro cambio! Las alteraciones del medio físico —a veces bruscas, otras más lentas (pensemos en la deriva de los continentes, la caída de grandes meteoritos, o en las últimas glaciaciones)— propiciaban la extinción de una formas de vida, mientras que favorecían otras. Y las propias innovaciones de la materia viva, podían traer consecuencias semejantes. La evolución de dientes, por ejemplo, dio lugar a los primeros depredadores y fue nefasto para la biota marina del Ediacara, compuesta por seres totalmente desguarnecidos. Según el registro paleontológico, se acepta

que han ocurrido al menos nueve grandes extinciones masivas. Por ejemplo, en el Pérmico, hace 245 millones de años, parece que hubo un enfriamiento global del planeta por causa cósmica, que arrasó con el 95-98% de todas las formas vivas existentes. Sin embargo, a pesar de estas aparentes catástrofes, la vida sigue y vuelve a ocupar el espacio disponible. Desde el punto de vista sistémico, las extinciones vienen a representar una “pérdida de memoria”, algo necesario para que un sistema complejo adaptativo pueda evolucionar e innovar. No hay problema. Prosperan nuevas formas a costa de otras, y en su conjunto, la vida progresa, se complica y proyecta hacia el futuro.

En la Tierra coexisten, pues, materia inerte y materia viva. Hablamos de la biosfera para referirnos a ese envoltorio que funciona de forma distinta y en contraste a lo que serían la atmósfera, hidrosfera y litosfera, si sólo existiese en ellas materia inerte.

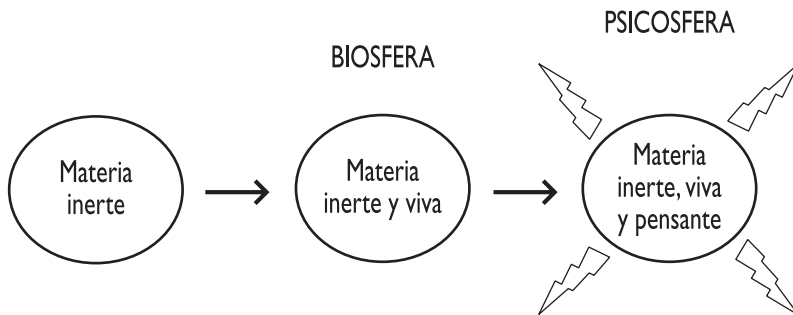


Figura 4. Evolución del planeta Tierra

Ahora bien, si la materia viva emergió en determinado momento en nuestro planeta y lo cambió sensiblemente, tras la emergencia de la materia pensante con sus nuevas cualidades, sería absurdo no esperar un cambio equivalente o incluso mayor. El planeta es ahora otro planeta:

cuenta con materia inerte, materia viva y materia pensante, y las tres tienen no sólo diferente comportamiento, sino también capacidades de inducir cambio bien distintas.

Ya comentamos sobre la mente como sistema especializado en manejar información; información que sirve primero para controlar a la materia viva que la sustenta, y con ella intentar controlar mejor el medio. La mente abrió el acceso definitivo de la materia viva a la manipulación de las energías exosomáticas en beneficio propio. Del músculo desnudo a la palanca, al caballo, al velero, al barco de vapor, a la turbina hidráulica, al motor de explosión, al reactor nuclear, etc. El hombre controla cada vez más energía externa, construye “organismos simbiotes” —las máquinas— y con ello multiplica la escala de su influencia sobre el entorno, como hasta ahora no lo había logrado ninguna otra especie; al menos, en un lapso de tiempo tan breve (dicho esto por respeto a las bacterias). Los efectos de la tecnología ya han alcanzado la escala del planeta. Las causas antrópicas del presente cambio climático puede que sigan siendo debatidas, pero nuestras estructuras se ven ya desde el espacio exterior; no sólo la Gran Muralla china, sino particularmente las ciudades, por la noche. Y más importantes sean tal vez, aquellos productos de la mente que no percibimos, pero que pueden registrarse con los equipos adecuados. Me refiero a la ingente cantidad de información que preña todo el espacio en forma de radiación electromagnética estructurada. Las ondas de radio y televisión están ahí, omnipresentes, como testimonio inequívoco de la existencia de materia pensante activa. Esas ondas perforarán el universo y acabarán por rebasar los confines de nuestra galaxia (figura 4). La mente ha superado los límites de la Tierra, mientras que la vida sigue confinada en la biosfera.

A ese nuevo envoltorio del planeta que contiene materia inerte, materia viva y materia pensante y que, por tanto, ya no es sólo biosfera, es lo que he dado en llamar la “psicosfera” (Machado, 2001). Podría haber elegido el término de “noosfera”, de Teilhard de Chardin y defendido por Vernadsky, si no fuera descaradamente antropocéntrico, *naïf* y de orientación marxista: ¡El planeta armoniosamente dirigido por el espíritu del hombre! Mejores candidatos serían la “memesfera” tal como la cita Ganten (2004), o la “antroposfera” de Javier Peñuelas (1988), que es una clara sinonimia. Pero en el primer caso se destaca el meme, producto de la mente, y en el segundo, se le asignan los honores al hombre —una casualidad—, no a la mente. Recuerdo un interesante juego de simulación para ordenadores, *SimEarth*, donde la mente podía surgir en otras especies distintas al hombre. Los escenarios alternativos también serían psicosferas. Así, pues, siguiendo la inspiración fenomenológica física de este discurso, lo coherente es realzar la materia pensante, la *psyche*, como hiciera Huxley con su Psychozoa, o Le Conte (1823-1901), con la Era Psychozoica.

La psicosfera, un sistema en el que la información circula de manera muy distinta a como ocurría previamente, y donde uno de sus componentes, la materia pensante, es capaz de planificar sus acciones, manejar las energías externas, manipular sus propios genes y clonar o crear especies, algo que hasta entonces era privativo de la evolución. Todo un tema sobre el que reflexionar. Y llegado a este punto, me encontré ante dos derivaciones un tanto inquietantes.

Ecologismo y Ecología

Como profesional de la Ecología, he dedicado unos cuantos años de mi vida a trabajar en la conservación de la naturaleza. Fui testigo de los momentos en que el ecologismo surgió espontáneamente para enfrentarse a los crecientes impactos negativos del hombre sobre las especies silvestres y los espacios naturales. No he militado en ningún grupo ecologista, pero siempre he mantenido una cierta simpatía por sus planteamientos. Creo que ambos compartimos un sincero apego por la naturaleza. Desde luego, las posturas más fundamentalistas que consideran al hombre un parásito del planeta casi a extirpar, las rechazo de plano; se aproximan demasiado al ecofascismo, una nueva aberración frente a la que la humanidad debería estar alerta. Pero sí recuerdo vibrar releendo el discurso ecologista del jefe indio Seattle. Es más, en algún arrebato de biofilia he llegado a ver con buenos ojos los planteamientos bastante radicales de Arne Naess, lo que se ha dado en llamar la “ecosofía” o ecologismo profundo. Postula los organismos como nodos de interrelación en el entramado de la biosfera, y reclama para todos ellos el igualitarismo biosférico. Todas las especies tienen un valor intrínseco y exige la preservación integral de la biodiversidad, la autonomía local y la descentralización del control. El hombre no tiene derechos sobre las demás especies, y todos los males del mundo actual, por supuesto, provienen del antropocentrismo que nos conducirá irrevocablemente al desastre ecológico.

Estos planteamientos cargados de buena voluntad y romanticismo, estarían muy bien si no estuvieran desencaminados: el hombre, un igual en la biosfera. ¡Pues no! Ni el hombre (materia pensante) es equiparable a las demás especies (materia viva), ni vivimos ya en una biosfera. El hogar de todos es la psicofera.

Si uno rebusca en las raíces profundas de la alarma por la extinción de especies y destrucción de la naturaleza, comprenderá que hay un mucho de resistencia o rechazo sentimental a que la biosfera cambie. Tenemos algún cliché “roussonian” implantado en nuestros basamentos; probablemente en el instinto animal. Como cualquier especie biológica, nos espanta el cambio; la seguridad se asocia a la estabilidad, a la continuidad. Sin embargo, todo es cambio.

Las transformaciones del entorno y la presente extinción masiva de especies —la sexta para Leakey y Lewin (1997)— ocurren, según parece, a un ritmo muy superior al de cualquier época anterior. ¿Pero debe ello preocupar? Nuestro patrón de medir sigue siendo la biosfera, y puede que para ella resulten ritmos extraordinarios. Empero, es muy probable que este ritmo acelerado y, seguramente, otros más rápidos por venir, sea lo “normal” en la psicosfera. Seguimos soñando con un modelo biosférico sin aceptar la psicosfera de la que somos protagonistas objetivamente indiscutibles. Recuerdo el titular de un semanario prestigioso con motivo de la celebración de la Cumbre de Río: “La Tierra en peligro”. No, el planeta no está en peligro; a lo sumo, nuestra especie. Tan antropocéntricos por una parte, y todavía no acabamos de asumir nuestra esencia física real: somos mente y vida, pero somos, operativamente, más mente que vida.

El desasosiego intelectual que antes me provocaba el creciente deterioro de la Naturaleza —una suerte de disparate global— hoy lo acepto con otro talante; lo contemplo con tranquila curiosidad científica. Me puede más la intriga del cambio, que el dolor que de hecho siento por la pérdida de algo que amo. La psicosfera se construye a partir y a costa de la biosfera; pretender que esta última se mantenga intacta, no es realista. Aunque da pena; mucha pena.

Esta nueva visión de las cosas no me ha impedido seguir trabajando en temas de conservación, pero los motivos son más bien personales y prosaicos. Me gusta la naturaleza, disfruto de ella y prefiero que dure cuanto más mejor, sobre todo en mi entorno inmediato. Ya se sabe que razón y sentimientos no siempre van de la mano.

Por otra parte, pienso que el hombre, sin tener que retrotraerse hacia modelos biosféricos, puede optar por una psicofera más o menos agradable en función de sus propias acciones. El planteamiento de orientar la civilización hacia modelos de desarrollo menos despilfarradores, más eficientes, justos y, en definitiva, más sostenibles, es una opción bien encaminada. Sin embargo, también aquí tropezamos con otro inconveniente vinculado al presente discurso.

La Ecología debe ser a la gestión ambiental, lo que la Física es a la Ingeniería o la Arquitectura. Enseño Ecología en la Universidad de La Laguna y en mi casa hay una librería tapizada con libros de texto sobre esta materia, pero me temo que sirven para bien poco.

Al tratar de la materia viva y de la materia pensante, hay un elemento recurrente al que no hemos prestado la debida atención. Se trata de la información. Para empezar, tenemos un concepto muy sesgado y limitado de lo que es información, vinculándola casi siempre a nuestro lenguaje, a la Teoría de la comunicación. El concepto es mucho más extenso. Desde el punto de vista físico, la información es un atributo de la materia, la llamada "información estructural". Un átomo está informado; una roca, un cromosoma, también. Todo lo material contiene o es información; una cualidad que sólo se destruye con el calor (a veces, necesariamente muy alto). Existe luego la llamada "información de control", en el sentido de Corning.

Es información que emite o recibe, voluntaria o involuntariamente un sistema, y que influye en el comportamiento de otro u otros sistemas, precisamente en función de su información estructural. Valga el símil de un ordenador que recibe unos datos vía teclado. Lo mucho o poco que haga con esa información dependerá del *hardware* y *software* que posea (información estructural) el receptor. Una roca de cantos afilados no influye para nada en otra roca adyacente, pero sí en el comportamiento de un animal que la ve y se desplaza entre ellas.

La información de control tiene asimismo base material, sean los cuantos lumínicos que permite la visión, las moléculas que provocan el olor, los gritos de alarma, o las ondas de radio. Además, cuando dos cuerpos intercambian información, siempre gana más el que previamente tenía más información (principio de San Mateo), una relación ciertamente novedosa en los intercambios de materia-energía. Toda la ciencia cibernética se fundamenta en la circulación de información de control, y es una disciplina en creciente auge. Sin embargo, la termodinámica sólo se ha ocupado tradicionalmente de los intercambios entre materia y energía, con particular atención al calor ingerido o expulsado que determina el coste de irreversibilidad de esos procesos: la famosa entropía. Pero ahí está la información, un tercer componente olvidado que en estos cambios también se altera y, en cierto modo, con signo contrario a la entropía. No es momento de profundizar en este novedoso campo del saber, pero sí de tomar conciencia de que la información es la gran ausente en prácticamente todos los modelos físicos y ecológicos al uso. Un taburete con solo dos patas: materia y energía. Y visto que la psicósfera se caracteriza precisamente por la cantidad, cualidad y velocidad de tránsito de la información, mal servicio nos prestarán estas ciencias si aspiramos a conocer su funcionamiento. Ya lo decía Jordi Flos (1984) en

su libro *Ecología, entre la magia y el tópico*: “No tenemos una teoría ecológica que explique íntegramente lo que ocurre en la naturaleza. Algún principio físico básico se nos escapa; probablemente sea la información”.

En resumen: la Ecología de que disponemos es una ciencia de modelos biosféricos y patológica, y no sirve para describir ni predecir lo que acontece en la psicósfera. Consecuentemente, estamos bastante mal equipados para diseñar esquemas de desarrollo más sostenibles, si ni siquiera podemos comprender bien los problemas a los que nos enfrentamos (el hombre, no el planeta).

Hace falta una nueva Ecología que incorpore a sus fundamentos los intercambios de información, tanto como los intercambios de materia y energía. Y bien mirado, lo que probablemente haga falta primero, es toda una nueva teoría de Física de la Información. Así, con la información como fundamento común, se podrían enlazar la Ecología, la Sociología y la Economía entre sí, probablemente la única vía para poder comprender nuestra psicósfera de manera integral.

Llegar a esta desconcertante revelación, sobre todo para un profesor de Ecología, me hizo lanzarme de cabeza a la madre de todas las fuentes: Internet. En aquellas fechas encontré muy poco sobre el tema, prácticamente nada que añadir a lo ya escrito por Ramón Margalef en su libro *La biosfera entre la termodinámica y el juego* (1980). En él, Margalef, genial como siempre, aborda la información como atributo de la materia, y la introduce discretamente en una fórmula a pie de página (ver cuadro de texto), pero renunció a su desarrollo. Lamentablemente, ya nos ha abandonado.

FÓRMULAS DE MARGALEF (1980)

$$\Delta G = \Delta H - (T / I) \Delta S$$

ΔG = energía libre o usable, ΔH = Entalpía o energía disponible *a priori*,
T = Temperatura absoluta, I = Información, ΔS = Entropía.

La velocidad de los procesos que se desarrollan en sistemas complejos podría ser proporcional a:

$$V e^{-(k \cdot I / T)}$$

V = la velocidad máxima, k = una constante de ajuste

Sin embargo, sólo ocho años después del seminario de Santander, el panorama es bien distinto. Existe un creciente núcleo de científicos que cuentan con el tiempo y presupuestos suficientes para dedicarlo a estos temas. Susan Omayá, en la City University de Nueva York, se viene ocupando de la información, pero centrada en el comportamiento de los organismos vivos y el hombre. Peter A. Corning, director del Instituto de Estudios de Sistemas Complejos, en Palo Alto, es probablemente el autor más prolífico y entregado, aunque, a mi modo de ver, se pierda un poco en explorar las aplicaciones y derivaciones de estas ideas, sin realmente haberse consolidado los fundamentos teóricos. Quizás sea Richard L. Coren, de la Universidad de Drexel, en Filadelfia, el autor que mejor ha comprendido el alcance de la información en la fenomenología universal, y en la evolución en particular. Tras su último libro (traduzco) *La trayectoria evolutiva. El aumento de información en la historia y futuro de la Tierra*, intenta aportar pruebas empíricas para defender la tesis de que en la cinética de la información se puede hallar el principio variacional que direcciona los cambios en el universo; una sospecha que ya me asaltó en Santander. Hay, pues, esperanza, aunque los primeros pasos están todavía muy impregnados del sempiterno sesgo antropocéntrico, incluido el enfoque comunicacional con el que se aborda el

tema de la información en la mayoría de los casos. Habría que abandonar el tejado y comenzar por estudiar la cinética de la información a nivel de partículas subatómicas, y luego, de ahí para arriba.

Cierro aquí esta presentación recordando “el deber de ser optimistas” de Karl Popper, e invitándoles a participar con plena conciencia en una psicofera que empieza a desparramarse por el cosmos. Antes del hombre, todos los fenómenos naturales obedecían al simple devenir de las cosas, sin determinismo. Pero con la presencia de materia pensante en nuestro planeta se produce un cambio cualitativo importante. La mente es capaz de proyectar sus acciones y, por tanto, capaz de planificar y diseñar eventos. Este trascendental cambio, fruto de la evolución cultural, sitúa al planeta en un nuevo plano, donde pueden ocurrir fenómenos que son consecuencia de la voluntad de la mente. Con la psicofera y por primera vez, se incorpora determinismo en el sistema. Éste es un hecho objetivamente cierto y algunos autores, como Allenby (2005), ven en ello una singular oportunidad para nuestra especie, y la razón última para mirar hacia delante con optimismo y abandonar los planteamientos retrógrados o nostálgicos. Al fin y al cabo, los seres humanos somos inigualables en la búsqueda de regularidades, en la extracción de inferencias y en plantear cuestiones nuevas. Paul Valery no iba desencaminado cuando dijo que el futuro ya no es lo que era. Para bien o para mal.

Bibliografía

- ALLENBY, B. 2005. *Reconstructing Earth. Technology and environment in the age of humans*. Island Press, Washington D.C.
- BERTALANFFY, L.V. 1976. *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica, México.
- BLACKMORE, S. 1999. *The meme machine*. Oxford University Press, Oxford.
- COREN, R.L. 1998. *The evolutionary trajectory. The growth of information in the history and future of the Earth*. Gordon and Breach Publishers, Amsterdam.
- COREN, R.L. 2001. Empirical evidence for a law of information growth. *Entropy*, 3: 259-272.
- CORNING, P.A. & KLINE, S. J. 1998. Thermodynamics, information and life revisited. Part I: To be or entropy. *Systems Research and Behavioral Science*, 15: 273-295. Thermodynamics, information and life revisited. Part II: Thermoeconomics and control information. *Ibidem*: 453-485.
- CORNING, P.A. 2001. Control information: the missing element in Norbert Wiener's cybernetic paradigm?. *Kybernetes*, 30 (9/10): 1272-1288.
- DAWKINS, R. 1976. *The selfish gene*. Oxford University Press, Oxford.
- EDELMAN, G.M. & TONONI, G. 2002. *El universo de la conciencia: cómo la materia se convierte en imaginación*. Editorial Crítica, Barcelona.
- FLOS, J. 1984. *Ecología, entre la magia y el tópico*. Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- FOLCH, R. 2000. *El vicio de mirar*. Editorial Planeta, Barcelona
- GANTEN, D., DEICHMANN, T. & SPAHL, T. 2004. *Vida, naturaleza y ciencia. Todo lo que hay que saber*. Santillana Ediciones Generales, Madrid.
- GELL-MANN, M. 1995. *El quark y el jaguar*. Tusquets Editores, Barcelona.
- GLEICK, J. 1998. *Caos*. Editorial Seix y Barral, Barcelona.
- GUNDERSON, L. H. & HOLLING, C. S. 2002. *Panarchy. Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington DC.
- HUYGENS, CH. 1698. *Cosmotheoros*. Adrian Moetjens, La Haya.

- KASTING, F., WHITMORE, D. M. & REYNOLDS, R. T. 1993. Habitable zones around main sequence stars. *Icarus* 101: 108-128.
- KLEIN, R. G. & BLAKE, E. 2002. *The Dawn of Human Culture*. John Wiley and Sons.
- KUHN, T.S. 1962. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica de España, Madrid.
- LEAKEY, R. & LEWIN, R. 1997. *La sexta extinción. El futuro de la vida y de la humanidad*. Tusquets Editores, Barcelona.
- MACHADO, A. 1999. La vida en perspectiva, pp. 9-37, en: J.M. Fernández-Palacios et al. (eds.) *Ecología y cultura en Canarias*. Museo de la Ciencia y el Cosmos, La Laguna.
- MACHADO, A. 2001. De la biosfera a la psicofera, pp. 21-50, en: C. Marcos et al. (eds.) *Gestión y ordenación del medio ambiente natural*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia.
- MARGALEF, R. 1980. *La biosfera entre la termodinámica y el juego*. Ediciones Omega, Barcelona.
- MARGULIS, L. & SAGAN, D. 1996. *¿Qué es la vida?* Tusquets Editores, Barcelona.
- NAESS, A. 1995. The deep ecological movement, pp. 64-84, en G. Sessions (ed.) *Deep ecology for the 21st century: Readings on the philosophy and practice of the new environmentalism*. Shambhala, Boston.
- OYAMA, S. 2000. *The ontogeny of information. Developmental systems and evolution*. Duke University Press, Londres.
- PEÑUELAS, J. 1988. *De la biosfera a la antroposfera. Una introducción a la Ecología*. Barcanova, Temas Universitarios, Barcelona.
- PROSS, A. 2003. The driving force for life's emergence: kinetic and thermodynamic considerations. *Journal of theoretical Biology*, 220: 393-406.
- SMITH, J.M. & SZATHMÁRY, E. 1999. *The origins of life. From the birth of life to the origin of language*. Oxford University Press, Oxford.
- SCHNEIDER, E. D. & KAY, J.J. 1994. Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and computer modelling*, 19 (6-8): 25-48.
- SCHRÖDINGER, E. 1946. *What is life? The physical aspect of the living cell*. The MacMillan Company, Nueva York.

- VANANDEL, T. H. 1994. *New views on an old planet: a history of global change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VERNADSKY, V. I. 1945. La biosfera y la noosfera [traducción de *American Scientist* 1] pp. 205-218, en: Vernadsky, V. 1997. *La Biosfera*. Fundación Argentaria, Madrid.
- WEBER, B. H., DEPEW, D. J. & SMITH, J. D. (eds.) 1998. *Entropy, information, and evolution. New perspectives on physical and biological evolution*. The MIT Press, Cambridge.
- WILSON, E. O. 1999. *Consilience. La unidad del conocimiento*. Galaxia Gutenberg, Barcelona.
- WONG, K. 2005. El hombre de Flores. *Investigación y Ciencia*, Abril: 22-31.
- WONG, K. 2005. La aparición de la mente moderna. *Investigación y Ciencia*, Agosto: 76-85.

Antonio Machado

THE PSYCHOSPHERE

DO WE NEED A NEW ECOLOGY?

Dedicated to the memory of Ramón Margalef (1919-2004)

“To see a thing one has to comprehend it. An armchair presupposes the human body, its joints and limbs; a pair of scissors, the act of cutting.”
Jorge Luis Borges

Changing paradigms in science, in Thomas S. Kuhn’s meaning of the word, consists essentially in seeing the same things differently, a process that brings scientists closer and closer to reality. The furtherance of our knowledge is marked by major paradigmatic change: the heliocentric model for the solar system, the theory of biological evolution or the theory of relativity, to cite three obvious examples. Analyzing all such qualitative leaps, we find that what they have in common is a progressive move away from anthropocentrism. Protagoras said that “Man is the measure of all things” but science has shown that the yardstick significantly conditions the knowledge acquired. And our species, in its extreme vanity, finds it difficult to disregard its own condition and scale. We broach nature with the limitations imposed by the perceptive windows of our senses and the macroscopic scale that we take for granted – our own height –, which is abnormal at best. Life is and has been essentially microscopic, bacterial, and from that perspective humans and all other multi-cellular beings are

oversized and indisputably exceptional. Even today humanity believes it was the first species to reach the moon, with utter disregard for the millions of other organisms that made the journey as well, in the mouths and stomachs and on the skin of the astronauts. Seen from a different vantage, we're not even the individual being that our self-awareness reasserts on a daily basis. From the biological standpoint, at least, we're a sort of consortium that wouldn't be able to survive without the symbiotic organisms in our digestive tract, for instance.

These reflections are meant by way of introduction to a subject that may be new to many and which appears to augur a change of paradigm. To me, at least, it meant a minor intellectual revolution, and I'd like to describe just how it came about.

The story began in 1997, when Francisco Sánchez, Director of the Canary Island Astrophysics Institute, invited me to participate in a seminar at the Menéndez y Pelayo International University in Santander, titled "The planets of other stars". Astrophysicists were gathering to talk about the existence of planets outside our solar system and, obviously, the subject of the possibility of life in those worlds would also arise. And someone would have to answer the deceptively simple question: what is life? I, as a biologist, accepted the challenge without fully realizing what I was getting myself into. Biologists, of course, study life in all its complexity and multiple forms, but Francisco Sanchez's request entailed more than just explaining what life is; he also wanted to know *why* it is. When I – belatedly – discovered that nuance, I felt absolutely lost, blinded by my own biophilia and my biologist's navel-centric vision. To broach life's *raison d'être* – if there is one – I would have to step outside its bounds and analyze the phenomenon in the context in which it appears: the universe. Yes, life is a

cosmic phenomenon, as Huygens theorized in *Cosmotheoros* (1698) and I needed a sounder foundation than mere biology to understand it in all its dimensions: and that foundation, unquestionably, would be physics. And so, changing my perspective, I set out to view what was so familiar to me with a physicists' eyes.

Living matter

In the many pages of erudition that I began to devour, I rediscovered Vladimir Vernadsky, a Russian scientist engaging in the study of the circulation of Earth minerals and the founder of Geochemistry. When he ran into living beings, he used the suggestive term “living matter” as opposed to the “inert matter” of the mineral world. Living matter – he said – is very different due to the extreme complexity of its chemical composition and, above all, its dynamics and behaviour. We also owe to Vernadsky the popularization of a concept coined by Lamarck, the biosphere: the layer of our planet where life thrives. Subsequent readings by authors such as Schrödinger, Margulis and Sagan, Bertalanffy, Gell-Mann and Kauffman, most of them physicists, led me to conclude that the best way to analyze phenomena objectively was by adopting the systemic approach (see Umbach 2000). This involves delimiting the system, recognizing its elements, their interrelations and their interaction with the environment; seeking its operational subsystems to understand how it works; and exploring the larger system of which the system forms a part to understand its *raison d'être*.

From this vantage, life is first of all an autopoietic system: that is, it is self-constructing and maintaining. An organism, as a unit within the

system, endures even when constituent elements are added, stored, destroyed, recomposed or removed. Its chemical dynamics are diabolically complex. This is what truly distinguishes life, and not its reproducibility, which physicists will contend is a property it shares with crystals. Indeed, I remember the dismay I caused an astrophysicist – and medical doctor – when I asserted that viruses are not life. A virus needs the “machinery” of a living cell to be able to operate. It isn’t autopoietic.

The energy that constantly flows through living matter maintains its organizational and functional structure and is responsible for the emission of gases and heat, with a concomitant increase in entropy that is of sufficient magnitude to belie any suspected contravention of the second law of thermodynamics. This fundamental principle of physics deals with entropy, a measure (descriptor) of the energy that cannot recover its initial form after matter and energy interact. The same energy that it takes to break a vase cannot be used to put it back together. In a way, the increase in entropy expresses the right of irreversibility reserved to nature; or in its more common formulation: everything tends toward disorder. However, life appears to be swimming upstream and the truth is that the self-organization of living beings entails the creation of a good deal of order, albeit at the expense of creating much more disorder in the environment. From this standpoint, life, like a candle flame, is an open dispersive system nowhere near thermodynamic equilibrium. If the flow of energy is detained, life comes to an end.

Living matter is also a mnemonic system: i.e., one that stores history, like a records office or our modern computers. An organism’s complexity cannot be explained on the grounds of the being itself. Its self-organization depends on the information existing at the outset. Today we know that

such information lies essentially in the DNA carried in the gametes. These cells store the complex genetic software that not only gives the new being its shape, but is copied from living matter to living matter, from generation to generation, with the entire history of life in tow. Our genome contains the genes of the first humble bacterium, along with all the evolutionary novelties that were added throughout our phylogeny. That entire history is compacted into an egg or a spermatozoid, like in a miniature CD. A seed, in its modesty, is a wondrous historic archive.

Viewed from this perspective, living matter is a highly peculiar system that extends into time as it changes and expands. As Ramón Folch would say, life has a gaseous soul. Once it takes root, it continues to grow and if unhindered, tends to fill all the existing space. Some see a “vital principle” in this indisputable thrust whereas for others – such as Andy Pross (2002) – the arrow of life is more a consequence of underlying self-catalyzing chemical reactions. Not only that, but with time living matter grows more organized and complex, accumulating more information. This progressive complexity – or evolution – is the result of another feature of life, characteristic of so-called adaptive complex systems, such as language or the mammalian immunological system: the cybernetic nature of these systems, which are able to “learn”. They interact with the environment, trying out new alternatives (mutations), choosing the ones that work best (selection) and including them in their “memory” (genome) to confront the future. This is the systemic approach to biological evolution based on natural selection. Life adapts, learns and progresses in the sense that organisms acquire greater independence from the medium’s vicissitudes.

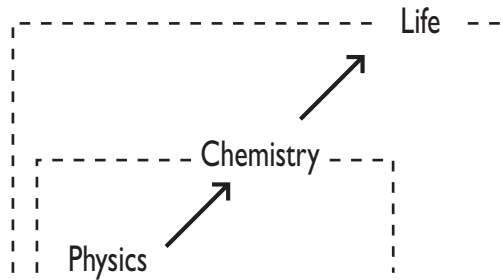


Figure 1. Life as an emergent system

While it is generally agreed that the advent of life was preceded by a lengthy chemical evolution, a number of different hypotheses have been advanced about the possible details and scenarios of that process: Oparin’s “primitive soup”, amidst the clay in shallow pools, over the thin film of water that covers ice or even outside our planet, as advocated by Arrhenius’ panspermia. Any discussion of these theories exceeds the intentions of this essay, but regardless of what life’s specific cradle may have been like, what does seem to be clear – at least for the various physicists who have studied the question – is that life is an emergent system. Emergent properties are new properties appearing when a series of components combines, i.e., that didn’t formerly exist in any of the individual constituents. Hence the old adage that the whole is more than the sum of its parts. The molecules of liquid water have properties, such as the boiling point, not to be found in either hydrogen or oxygen atoms.

Now then, just as the chemical properties of matter emerge from their physical properties, life emerges from inert matter, to whose chemical and physical restraints it is subject (Figure 1). Its behaviour, however, is distinctly different and unequalled by anything previously known.

And having reached this point, it's time to address the crux of the question. Is that emergence that we call life a product of chance or, on the contrary, of the normal evolution of matter? The earliest known fossils of living beings, bacteria, date back 3,550 billion years, although there are indications that life existed 3,860 billion years ago, at approximately the same time that our planet consolidated and became habitable (3,900 billion years ago). Some authors see in these facts sufficient grounds for accepting determinism, whilst for others the time between consolidation of the Earth and the appearance of life is so short (Figure 2) that they doubt that life originated on Earth, which they believe must have been infected by beings from another planet – perhaps Mars – that became habitable before ours (returning to the idea of panspermia). Nonetheless, the fact is that Earth is peripheral, almost on the boundary of our solar system's window of habitability as defined by Casting *et al.* (1993); *i.e.*, where temperature and planetary gravity are such that liquid water can exist (water is requisite to the chemistry of life). And according to the theory of chaos, we know that novelty and creativity appear in non-linear, borderline systems, where criticality is high. Therefore, life may also be an outcome of chaos.

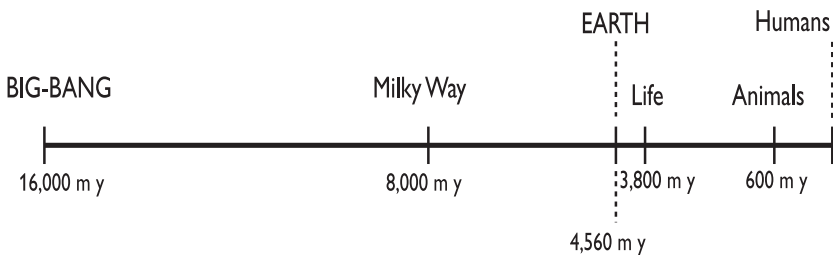


Figure 2. History of the universe up to the appearance of humanity, in million years.

In any event, whether life arose out of chaos or as the spontaneous

evolution of matter, it would be presumptuous to think that it happened only once, precisely on our planet. The likelihood of repetition in the vast universe – or even on Earth itself – is high enough to be accepted as reasonable, no matter how offensive that may be for the human ego. And by the way, with the oceans accounting for four fifths of our planet, it should have been named Sea, not Earth. The fact that it wasn't has much to do with the fact that we live on dry land, not underwater.

These were essentially the ideas that I shared with the astrophysicists in Santander. But the story didn't end there

Thinking matter

This novel approach to life – novel for me, at least – from the standpoint of physics eventually opened new windows. And humanity?

The qualitative difference between the human species and other living beings is certainly not our anatomy or biology. We're latter-day, bipedal, essentially hairless primates with good vision, a poor sense of smell and extended sexuality. The human mind, the *psyche*, is the new development, as Julian Huxley intuitively acknowledged when he proposed a separate kingdom – Psychozoa – for our species.

But what is the mind? It may seem bold to pose this question in a decade when neurological science and cognitive psychology, drawing from new technologies, are revealing many of the mysteries of how it works. The archaeological evidence indicates that it appeared – and with it, human beings – at some comparatively recent time, around 40,000-50,000

years ago, about 145,000 years after our biological species, *Homo sapiens*, started to roam across the African continent. Conscience, empathy and the ability to think symbolically, the most representative characteristics of the mind, may have developed independently in Neanderthals, humans or controversial *Homo floresiensis* (whose fossils were recently discovered on the Java archipelago), or they may have arisen in a common ancestor. But in any event today we're the only surviving species of the genus *Homo*, the only “thinking matter” that we know.

I'm deliberately using the term thinking matter, since it is obviously also a cosmic phenomenon, different from inert and living matter, and behaves very differently from both. It might also be agreed – outside any religious interpretation – that the mind derived from living matter just as living matter emerged from inert matter (Figure 3). The inference is that the mind is subject to all the physical, chemical and biological restraints imposed by the systems that support it, but that its behaviour differs in keeping with its emergent properties. This is an intriguing approach, since the first conclusion to be drawn is that the mind is not life any more than life is mineral.

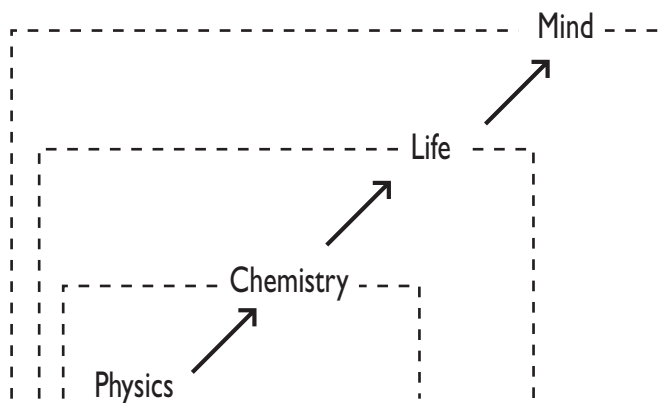


Figure 3. The mind as an emergent system

The implications of separating living and thinking matter are several. We should acknowledge that the human being didn't actually appear until the mind emerged, until the mammalian species *Homo sapiens*, modern humanity, became self aware and developed its mental abilities: *cogito ergo sum*. In that case and in passing, the name *sapiens* would be inappropriate throughout the species' long history prior to that development. But we can't address all the philosophical, theological, sociological and political implications that this indisputably involves. I'll restrict my discussion to the two aspects that affect me most immediately, precisely the areas of the conservation of nature and ecology, activities to which I have devoted much of my life. But let's come back to the essence of the mind, which calls for further reflection.

Thinking matter is closely attached to the living matter from which it emerged and on whose operation it depends. The living structure that supports thought is the brain, conveniently packaged into a 1400-cm³ skull where it is kept at constant temperature, but the unitary and autonomous system constituting thinking matter is the individual as a whole. A functional mind on a non-living medium may one day be devised, but to date at least, mind and life share a single destiny. This implies that initially, the new emergent capacities were subject to the same natural selection that affects all biological species, and that if the mind prospered it was because it afforded the new whole, the human being, a higher survival rate. When the mind emerged, the brain was already handling a lot of other things. Edward O. Wilson is right in stressing that the brain is not set up to understand itself, but to survive. Had it been initially "designed" to think and understand, the "wiring" would very likely have been different from what we find in our own brains. But that doesn't mean it can't think, and even supposedly do a good job of it, inasmuch as we have nothing to compare it to.

Thinking matter is a conscious system capable of abstraction. Metaphysically speaking, it may be regarded to be a closed system, since it thinks about itself, but physically it's still an open dispersive system. Thoughts have a material base and consume energy: sucking up 20% of the body's metabolic energy, the brain is a costly organ indeed.

Thinking matter also works like a complex adaptive system, but in a way that differs substantially from life. What one mind has "learnt" and uses to operate more efficiently, disappears with the death of the biological body. Nonetheless, given the mind's enormous capacity to acquire, process, store and communicate information, its achievements in any one individual – the ideas, the "memes" to use Richard Dawkins' (1976) term – can be directly transferred to another mind or external deposits such as books or sound recordings, from which they may be retrieved. Books are cultural seeds, if I may use that metaphor. These mechanisms have nothing to do with the slow genetic transmission from generation to generation characteristic of Darwinian evolution. Cultural learning can be transmitted much more quickly, even instantaneously, as well as remotely or simultaneously to many learners.

The mind originates in and is conditioned by the brain's processing capacity, but it acquires information and knowledge culturally, with language – its primary tool – playing an essential role. And this happens concurrently with instinct, comprising so-called fixed behaviour patterns, which are inherited. Obviously, mind and instinct interact and participate in the final operational machinery.

Be it said that cultural transmission is not restricted to human beings; cases have also been recorded in other animals, particularly

those with social structures. Sticking a twig down a termite hole to catch termites is something one monkey can learn from another. That is cultural transmission, by mimicry. What a monkey won't do is keep the twig to use it the next time it's needed. The ability to envision one's own actions in advance (anticipation, planning and so forth) characteristic of thinking matter is what has fuelled technological development.

Psychologist Susan Blackmore (1999) introduced the *mem*. When a technique is imitated, learning is adopted for a given behaviour. The *mem* is a sort of intellectual programme to which Blackmore attributes the same tendency to propagate that Dawkins, in his famous book *The selfish gene*, attributes to its analogue, the gene.

Pursuant or otherwise to the memetist approach – which is gaining followers – human-inspired cultural evolution is plainly moving onward much more quickly than biological evolution. Some sustain that the human being has escaped from natural selection, and that appears to be true. Cultural selection is taking over: our descendants will no longer depend so heavily on nature's ups and downs.

We mentioned earlier that life took root once and has been transmitted down an uninterrupted line ever since. It's true that we're aware of only one type of life; if ever there were others, today they're extinct, possibly as a result of competitive pressure. And the mind? Did it emerge only once 50,000 years ago, to be transmitted genetically in conjunction with living matter? Or on the contrary, does a mind emerge in each brain as it "ripens" neurologically during individual development? I believe that the latter, one emergence per person, is more likely, but I dare not assert that as fact. We still know too little, despite the enormous

progress made in the understanding of mental – or more accurately cerebral – operation and structure. Moreover, if we want objective results, psychology will have to rid itself of the enormous anthropocentric bias with which it is logically imbued. The mind is not the brain; it's something else not at all readily understood and known more for its effects than its essence. And I fear that it will be difficult, not to say impossible, to explain the meaning of the mind on the grounds of the mind itself. It's like placing one mirror opposite another. A system is an inappropriate context for explaining the larger system to which it belongs. And in the case of the mind, we don't even have a clue as to what that larger system might be: quite a stumbling block for science.

Biosphere and psychosphere

Allow me now to enlarge the scale of the issue we've been discussing to the global environment, to the entire planet. The Earth was formed some 4,560 billion years ago, and at first it consisted of inert matter only: solids, liquids and gases. The three layers we call lithosphere, hydrosphere and atmosphere slowly formed as the crust cooled and consolidated. The days lasted 18 hours, the sun shone less brightly, the sky was white and the atmosphere contained carbon dioxide, nitrogen, methane, hydrogen sulphide and other gases, but no oxygen. The first living matter that emerged under these conditions must not have changed things very much, at least initially.

But life, that complex adaptive system, constantly tried out new biochemical options to thrive on. We obviously only know of the ones that succeeded, but the metabolic repertoire even of today's bacteria is

admirable: they live on sulphur, ammonia, iron, in ice, on rock, in hot springs and volcanic solfataras, environments today regarded to be “extreme”, but which were perfectly normal when life was dawning. Sulphur bacteria developed the ability to use luminous energy to break down water molecules for the hydrogen they contain, using that indispensable element to build more living matter. The by-product released in this novel process – known as photosynthesis – was oxygen, a tremendously reactive and highly toxic element for many life forms. The vast majority must have perished, although new forms – the bacteria that were the precursors to our mitochondria – soon developed being able to use it in biological combustion (respiration). That was a very successful innovation.

The emission of free oxygen into the hydrosphere indisputably prompted the first mass extinction that took place on our planet. Moreover, oxygen began to combine with everything imaginable; for instance, it began to oxidize iron, generating the vast ferralitic sedimentary deposits that today we know as banded iron formations. Once everything oxidizable in the sea had been oxidized, around 2,500 billion years ago, oxygen started to accumulate in the atmosphere and continued to accumulate for another 500 million years when it reached the same 22% that prevails today. The sky turned blue. Moreover, in the upper atmosphere oxygen adopted a triatomic form, providing the planet with a protective layer against the sun’s biocidal ultraviolet radiation. Until then, the emerging dry land was an inhospitable medium exposed to such lethal radiation. The formation of the ozone layer paved the way for its colonization.

What I’ve meant to stress in this sketchy description of the beginning of life on our planet is that living matter interacts with the

environment. It is indisputably affected by and at the same time modifies the environment, on a very large scale in fact. The terrestrial atmosphere, which is nowhere near chemical equilibrium, maintains its present composition thanks to living matter. This is what characterizes evolution: pure change! Alterations of the physical environment – abrupt at times and more gradual (continental drift, the collision of huge meteorites, the last glaciers) at others – favoured the extinction of certain life forms and the survival of others. And some of the innovations generated by living matter itself had similar consequences. The development of teeth, for instance, that gave rise to the first predators, was deadly for unshielded soft-bodied Ediacaran fauna. It is generally accepted, based on the fossil record, that there have been at least nine mass extinctions. In the Permian Period, for instance, 245 million years ago, global cooling due to a cosmic event appears to have done away with 95-98% of all the life forms existing at the time. Nonetheless, despite these apparent catastrophes, life goes on and moves into the vacant space. From the systemic standpoint, extinctions constitute a “memory loss”, which is necessary for a complex adaptive system to evolve and innovate. It’s not a problem. Certain forms prosper at the expense of others and life as a whole advances, grows more complex and projects into the future.

In a nutshell, inert and living matter co-exist on Earth. By biosphere we mean the layer that behaves differently from and contrasts with what the atmosphere, hydrosphere and lithosphere would be if they only contained inert matter.

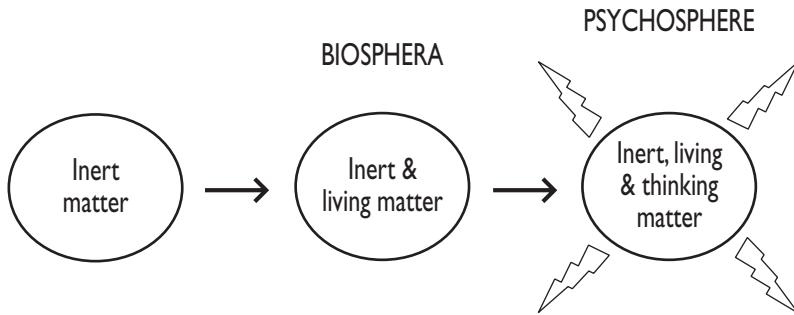


Figure 4. Evolutionary scheme - Earth

Now then, given that living matter changed our planet significantly when it emerged, it would be absurd not to expect an equivalent or even greater change with the emergence of thinking matter and its new properties. Primitive Earth is now another planet: it has inert, living and thinking matter, and the three not only behave differently, but have very different capacities to induce change.

Earlier we said that the mind is a system specializing in handling information; information that serves to control the living matter on which it relies for support and which it uses to better control the environment. The mind enabled living matter to handle exosomatic energies to its own benefit: from bare muscle to the lever, the horse, the sail, the steam boat, the hydraulic turbine, the combustion engine, the nuclear reactor and so on. Humanity controls more and more external energy, builds “symbiotic organisms” – machines – and thereby multiplies its impact on the environment to a degree never achieved by any other species; at least, in such a brief time span (we must add out of respect for bacteria). The effects of technology have reached a planetary scale. The anthropological origin of the present climate change may continue to be a question of debate, but our structures are now visible from outer space: not only the Chinese wall, but our cities, particularly at night; and perhaps more importantly, the

products of the mind that we cannot perceive, but that can be recorded with appropriate equipment. By this I mean the enormous amount of information that invades space in the form of structured electromagnetic radiation. Radio and television waves constitute ubiquitous and unequivocal proof of the existence of active thinking matter. These waves will perforate the universe and will ultimately extend beyond the confines of our galaxy (Figure 4). The mind has escaped earthly limits, while life continues to be confined to the biosphere.

This new layer of the planet, containing inert, living and thinking matter that is therefore no longer merely the biosphere, is what I have come to call the “psychosphere” (Machado, 2001). I could have chosen Teilhard’s “noosphere”, advocated by Vernadsky, if it weren’t so conspicuously anthropocentric, naïve and Marxist-oriented: the planet harmoniously guided by the spirit of humanity! Other better candidates would be Ganten’s (2004) “memosphere” or Javier Peñuelas’ (1988) clearly synonymous “anthroposphere”. But the former stresses the meme, a product of the mind, and the latter attributes the honours to humans rather than to the mind – just a casualty. This reminds me of an interesting computer simulation game, *SimEarth*, in which minds can appear in species other than human beings. The alternative scenarios in this game would also be psychospheres. In keeping, then, with the physical phenomenology that inspires this conference, the importance of thinking matter, the *psyche*, should be highlighted, much as Huxley did with his Psychozoa or Le Conte (1823-1901) with his Psychozoic Era.

The psychosphere is a system where information flows differently than it had previously and where one of its components, thinking matter, is able to plan its actions, manage external energy and even manipulate its

own genes to clone or create new species, areas that were formerly reserved to evolution. This is certainly something to reflect on. And after reaching this point, I was faced with two rather disturbing derived issues.

Ecologism and Ecology

As an ecology professional, I have devoted a number of years of my life to conserving nature. I witnessed the rise of ecologism in response to humanity's increasingly adverse impact on wild species and their habitats. I haven't joined any environmental group, but I've always sympathized with their ideas. I believe that we share a sincere devotion to nature. Naturally, however, I flatly reject fundamentalist attitudes that regard humanity to be a parasite to be eradicated from the planet; they're too close to ecofascism, a new aberration of which the human race should beware. But I do remember being moved as I re-read Chief Seattle's ecological speech. And more than that, in an acute attack of biophilia I've even approved of Arne Naess' fairly radical approach, known as "ecosophy" or deep ecologism. In this model organisms are likened to interrelated nodes in the biosphere network and biospheric egalitarianism is demanded for all. According to this school of thought, the intrinsic value of all species is the rationale for the comprehensive conservation of biodiversity, local autonomy and decentralized control. Humanity has no right over other species and all the evils of today's world can, of course, be attributed to our anthropocentrism, which will inevitably lead us to ecological disaster.

Such approaches, laden with good will and romanticism, would be fine if they weren't so misguided: humanity, a peer in the biosphere.

Frankly, no! Humanity (thinking matter) is neither comparable to other species (living matter), nor do we any longer live in the biosphere. Our home is the psychosphere.

Exploring the deeper roots of the alarm about the extinction of species and destruction of nature, we find that it contains a good dose of sentimental resistance to or rejection of biospheric change. We have a “Rousseaunian” cliché or two lodged in our inner selves; probably in our animal instinct. Like any biological species, we are horrified by change; security is associated with stability, continuity. And yet, everything is change.

Environmental transformation and the present mass extinction of species – the sixth for Leakey and Lewin (1997) – are taking place, apparently, much more quickly than in any other age. But should that be a cause for concern? We continue to regard the biosphere to be an absolute standard and from that vantage we may indeed be moving along at an exceptional stride. Nonetheless, this heady pace and surely other speedier change to come may be “normal” in the psychosphere. We continue to idealize the biospheric model without acknowledging the existence of the psychosphere where we are, objectively, the indisputable protagonists. I remember that the headline of a prestigious weekly reporting on the Rio Summit read “Earth endangered”. No, the planet is not endangered; although our species may be. Whereas we’re extraordinarily anthropocentric on the one hand, on the other we still haven’t assumed our actual physical essence: we’re mind and life, but operationally speaking, we’re more mind than life.

Today, I can adopt a calmer attitude towards the intellectual anxiety

that the increasing deterioration of nature – a sort of global asininity – used to provoke in me; I view it with serene scientific curiosity. My fascination with the intrigue of change is greater than my sorrow for the loss of something I love. The psychosphere is built over and at the expense of the biosphere; any attempt to keep the latter intact is not realistic. And yet it's painful, very painful.

This new vision of things hasn't prevented me from working on conservation issues, but for more personal and prosaic reasons. I like and enjoy nature and want it to last the longer the better, especially in my immediate surroundings. Sense and sensibility don't always go hand-in-hand.

And besides, I believe that humanity, with no need to retreat into biospheric models, can nonetheless opt for a more or less pleasant psychosphere, depending on its own conduct. The approach that advocates steering civilization towards less wasteful, more efficient, fair and, in short, sustainable development models is a sensible option. But here also we run into another drawback related to the present line of thought.

Ecology should be to environmental management what physics is to engineering or architecture. I teach ecology in the University of La Laguna and there are bookcases in my home lined with text books on this subject, but I'm afraid their impact is minimal.

In the discussion on living and thinking matter, there's a recurrent element to which we haven't lent sufficient attention. And that is information. To begin with, we have a very biased and limited idea of what

information is, almost always associating it with our language, the theory of communication. But the concept is much broader. From the physical standpoint, information is an attribute of matter, so-called “structural information”. An atom is in-formed; as is a rock or a chromosome. All things material contain or are information, a property that is only destroyed by heat (sometimes necessarily extreme heat). Then there is so-called “control information”. Introduced by Corning, this is information voluntarily or involuntarily emitted or received by a system that affects the behaviour of another or several other systems depending, precisely, on their structural information. An example might be data keyed into a computer. What the computer does with that information depends on its hardware and software (structural information). A sharp-edged rock has absolutely no effect on an adjacent rock, but it does affect the behaviour of an animal that sees it and walks around it.

Control information also has a material base, be it the luminous quanta needed for sight, the molecules that generate odour, cries of alarm or radio waves. Moreover, when two bodies exchange information, the one that had more information to begin with always has more (to gain the Saint Matthew’s Principle), a novel relationship: to say the least, in matter-energy exchanges. All of cybernetic science, a discipline that is certainly on the rise, is based on the circulation of control information. And yet thermodynamics has traditionally only addressed exchanges between matter and energy, with particular attention to the heat absorbed or released, which determines the irreversibility cost of such processes: entropy, in a word. But information, a third and forgotten component, is also altered in these changes. Moreover, it and entropy bear opposite signs, so to speak. This is no time to explore such a novel field of knowledge in depth, but it is important to be aware that information is

missing in nearly all the physical and ecological models in use today. Like a stool with only two legs – matter and energy –, these disciplines will be of little help in acquiring an understanding of how the psychosphere works, characterized as it is by the amount, quality and speed of transmission of information. Jordi Flos (1984) pointed out in his book *Ecología, entre la magia y el tópico* (Ecology, from magic to commonplace): “We have no ecological theory that provides a comprehensive explanation of what happens in nature. Some basic physical principle is missing, very likely information.”

Summarizing: the ecology available today is a lame science based on biospheric models and is of no use to describe or predict what goes on in the psychosphere. Consequently, we’re poorly equipped to design more sustainable development schemes, if we can’t even thoroughly understand the problems facing us (humanity, not the planet).

We need a new ecology whose fundamentals include information exchanges as well as the interaction between matter and energy. And taking a closer look, what may very probably be needed first is a whole new theory of information physics. With information as the common base, ecology, sociology and economics could be interlinked – and this may well be the only way to fully understand our psychosphere.

Coming to such a troubling revelation, especially for a professor of ecology, prompted me to delve into the mother of all sources: Internet. At the time I found very little on the subject, practically nothing beyond what Ramon Margalef had written in his book *La biosfera entre la termodinámica y el juego* (The biosphere, from thermodynamics to game, 1980). In it, Margalef, brilliant as always, addressed information as an

attribute of matter, and discreetly introduced it into a formula in a footnote (see text box), which he failed to develop. And unfortunately, he's no longer with us.

MARGALEF'S FORMULAS (1980)

$$\Delta G = \Delta H - (T / I) \Delta S$$

ΔG = free or usable energy, ΔH = Enthalpy or energy available a priori,
T = Absolute temperature, I = Information, ΔS = Entropy.

The rate of processes taking place in complex systems could be proportional to:

$$V e^{-(k \cdot I / T)}$$

V = maximum velocity, k = an adjustment constant

However, only eight years after the Santander seminar, the outlook is very different. There is a growing core of scientists with sufficient time and budgets to engage in these subjects. Susan Omayá at the City University of New York has been dealing with information, but focused on the behaviour of living organisms and human beings. Peter A. Corning, Director of the Institute for the Study of Complex Systems at Palo Alto, is probably the most prolific and dedicated author, although in my view he spends too much time on the applications and issues deriving from these ideas before having really consolidated the theoretical fundamentals. Richard L. Coren of Drexel University in Philadelphia may be the author who has best understood the importance of information in universal phenomenology in general and in evolution in particular. After his latest book, *The evolutionary trajectory. The growth of information in the history and future of Earth*, he has attempted to provide empirical proof with which to defend the hypothesis that the variational principle that steers change in

the universe can be found in information kinetics; something that I suspected at the Santander encounter. There is, then, room for hope, although the first steps are still deeply impregnated with our perpetual anthropocentric bias, even respecting the communicational approach with which information is addressed in most cases. We need to climb down off the roof and begin to study information kinetics at the subatomic particle level, and build from there.

I'll end this presentation by citing Karl Popper who reminded us that "It is our duty to be optimistic" and inviting you to participate, in a state of full awareness, in a psychosphere that has begun to spread across the cosmos. Before humanity made its appearance, all natural phenomena were the result of the mere course of events, free of determinism. But the presence of thinking matter on our planet brought an important qualitative change. The mind can project actions and is therefore able to plan and design events. This breakthrough, fruit of cultural evolution, placed the planet on a new plane, where the mind can will phenomena to take place. The psychosphere introduces determinism into the system. This is an objective truth in which certain authors, such as Allenby (2005), see a singular opportunity for our species and the ultimate reason to look ahead with optimism, to forgo reactionary or nostalgic attitudes. After all, human beings are unrivalled pursuers of regularities, drawers of inference and posers of new questions. Paul Valéry was not all wrong when he said that the future isn't what it used to be. For better or for worse.

References

- ALLENBY, B. 2005. *Reconstructing Earth. Technology and environment in the age of humans*. Island Press, Washington D.C.
- BERTALANFFY, LV. 1976. *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica, México.
- BLACKMORE, S. 1999. *The meme machine*. Oxford University Press, Oxford.
- COREN, R.L. 1998. *The evolutionary trajectory. The growth of information in the history and future of the Earth*. Gordon and Breach Publishers, Amsterdam.
- COREN, R.L. 2001. Empirical evidence for a law of information growth. *Entropy*, 3: 259-272.
- CORNING, PA & KLINE, S. J. 1998. Thermodynamics, information and life revisited. Part I: To be or entropy. *Systems Research and Behavioral Science*, 15: 273-295. Thermodynamics, information and life revisited. Part II: Thermoeconomics and control information. *Ibidem*: 453-485.
- CORNING, PA. 2001. Control information: the missing element in Norbert Wiener's cybernetic paradigm?. *Kybernetes*, 30 (9/10): 1272-1288.
- DAWKINS, R. 1976. *The selfish gene*. Oxford University Press, Oxford.
- EDELMAN, G.M. & TONONI, G. 2002. *El universo de la conciencia: cómo la materia se convierte en imaginación*. Editorial Crítica, Barcelona.
- FLOS, J. 1984. *Ecología, entre la magia y el tópico*. Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- FOLCH, R. 2000. *El vicio de mirar*. Editorial Planeta, Barcelona
- GANTEN, D., DEICHMANN, T. & SPAHL, T. 2004. *Vida, naturaleza y ciencia. Todo lo que hay que saber*. Santillana Ediciones Generales, Madrid.
- GELL-MANN, M. 1995. *El quark y el jaguar*. Tusquets Editores, Barcelona.
- GLEICK, J. 1998. *Caos*. Editorial Seix y Barral, Barcelona.
- GUNDERSON, L. H. & HOLLING, C. S. 2002. *Panarchy. Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington DC.
- HUYGENS, CH. 1698. *Cosmotheoros*. Adrian Moetjens, La Haya.

- KASTING, F., WHITMORE, D. M. & REYNOLDS, R. T. 1993. Habitable zones around main sequence stars. *Icarus* 101: 108-128.
- KLEIN, R. G. & BLAKE, E. 2002. *The Dawn of Human Culture*. John Wiley and Sons.
- KUHN, T.S. 1962. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica de España, Madrid.
- LEAKEY, R. & LEWIN, R. 1997. *La sexta extinción. El futuro de la vida y de la humanidad*. Tusquets Editores, Barcelona.
- MACHADO, A. 1999. La vida en perspectiva, pp. 9-37, en: J.M. Fernández-Palacios et al. (eds.) *Ecología y cultura en Canarias*. Museo de la Ciencia y el Cosmos, La Laguna.
- MACHADO, A. 2001. De la biosfera a la psicofera, pp. 21-50, en: C. Marcos et al. (eds.) *Gestión y ordenación del medio ambiente natural*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia.
- MARGALEF, R. 1980. *La biosfera entre la termodinámica y el juego*. Ediciones Omega, Barcelona.
- MARGULIS, L. & SAGAN, D. 1996. *¿Qué es la vida?* Tusquets Editores, Barcelona.
- NAESS, A. 1995. The deep ecological movement, pp. 64-84, en G. Sessions (ed.) *Deep ecology for the 21st century: Readings on the philosophy and practice of the new environmentalism*. Shambhala, Boston.
- OYAMA, S. 2000. *The ontogeny of information. Developmental systems and evolution*. Duke University Press, London.
- PEÑUELAS, J. 1988. *De la biosfera a la antroposfera. Una introducción a la Ecología*. Barcanova, Temas Universitarios, Barcelona.
- PROSS, A. 2003. The driving force for life's emergence: kinetic and thermodynamic considerations. *Journal of theoretical Biology*, 220: 393-406.
- SMITH, J.M. & SZATHMÁRY, E. 1999. *The origins of life. From the birth of life to the origin of language*. Oxford University Press, Oxford.
- SCHNEIDER, E. D. & KAY, J.J. 1994. Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and computer modelling*, 19 (6-8): 25-48.
- SCHRÖDINGER, E. 1946. *What is life? The physical aspect of the living cell*. The MacMillan Company, New York.

- VAN ANDEL, T. H. 1994. *New views on an old planet: a history of global change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VERNADSKY, V. I. 1945. La biosfera y la noosfera [traducción de *American Scientist* 1] pp. 205-218, en: Vernadsky, V. 1997. *La Biosfera*. Fundación Argentaria, Madrid.
- WEBER, B. H., DEPEW, D. J. & SMITH, J. D. (eds.) 1998. *Entropy, information, and evolution. New perspectives on physical and biological evolution*. The MIT Press, Cambridge.
- WILSON, E. O. 1999. *Consilience. La unidad del conocimiento*. Galaxia Gutenberg, Barcelona.
- WONG, K. 2005. El hombre de Flores. *Investigación y Ciencia*, Abril: 22-31.
- WONG, K. 2005. La aparición de la mente moderna. *Investigación y Ciencia*, Agosto: 76-85.

Antonio Machado

***DIE PSYCHOSPHERE
BRAUCHEN WIR EINE NEUE ÖKOLOGIE?***

Zu dem Andenken von Ramón Margalef (1919-2004) gewidmet

„Um etwas zu sehen, muss man es verstehen. Der Sessel setzt den menschlichen Körper voraus, seine Gelenke und seine Gliedmaße; die Schere die Tätigkeit des Schneidens.“
Jorge Luis Borges

Die Paradigmenwechsel in der Wissenschaft im Sinne von Thomas S. Kuhn bestehen hauptsächlich darin, dieselben Dinge anders zu sehen. So nähern sich die Wissenschaftler immer mehr der Realität. Der Fortschritt unseres Wissens ist zweifellos von großen Paradigmenwechseln gesäumt: das heliozentrische Modell des Sonnensystems, die Theorie der biologischen Evolution oder die Relativitätstheorie, um nur drei offensichtliche Beispiele zu nennen. Wenn man also von der vorherrschenden Auffassung der Naturphänomene ausgehend analysiert, was diese qualitativen Sprünge gemein haben, so wird man herausfinden, dass es nichts anderes ist als die progressive Überwindung des Anthropozentrismus. Protagoras sagte „Der Mensch ist das Maß aller Dinge“, die Wissenschaft hat uns jedoch gelehrt, dass das Messinstrument das erworbene Wissen stark bedingt. Und unserer Spezies, die ja eine eingebildete Spezies ist, fällt es schwer, sich selbst und ihren eigenen Maßstab zu überwinden. Wir sehen die Natur durch das eingeschränkte

Wahrnehmungsfenster unserer Sinne und gehen von einem makroskopischen Maßstab aus – unsere Größe – die auf jeden Fall anormal ist. Das Leben ist und war hauptsächlich mikroskopisch und bakteriell. Aus dieser Perspektive sind wir und die anderen Vielzeller riesengroß und sicherlich die Ausnahme. Der Mensch rühmt sich, die erste Spezies zu sein, die den Mond betrat, vergisst aber dabei die Millionen von Organismen, die die Reise mit ihm antraten, in seinem Mund, Magen oder auf seiner Haut. In anderen Worten: Wir sind noch nicht einmal die Individuen, die uns unser Bewusstsein täglich vor Augen führt. Zumindest in biologischer Hinsicht sind wir eine Art Zusammenschluss, denn ohne die Organismen, die in Symbiose in unserem Verdauungsapparat leben, wären wir überhaupt nicht lebensfähig.

Diese Überlegung soll als Einführung zu einem vielleicht für viele neuen Thema dienen, das einen Paradigmenwechsel anzukündigen scheint. Zumindest hat es in mir eine kleine intellektuelle Revolution ausgelöst, und ich möchte hier berichten, wie es dazu kam.

Die Geschichte, die ich erzählen werde, begann 1997, als Francisco Sánchez, der Leiter des Astrophysischen Instituts der Kanarischen Inseln, mich einlud, an einem Seminar mit dem Titel „Planeten anderer Sterne“ teilzunehmen, das in der Internationalen Universität Menéndez y Pelayo in Santander stattfand. Hier trafen sich Astrophysiker, um von der Existenz von Planeten zu sprechen, die außerhalb unseres Sonnensystems liegen, und natürlich kam das Thema auf, ob es in diesen Welten möglicherweise Leben gibt. Irgend jemand musste ihnen die Antwort auf eine scheinbar einfache Fragen geben: Was ist das Leben? Ich, als Biologe, nahm die Herausforderung an, ohne mir jedoch darüber im Klaren zu sein, worauf ich mich eingelassen hatte. Gewiss studieren wir Biologen das Leben in seiner ganzen

Komplexität und vielfältigen Formen, aber die Bitte von Francisco Sánchez bedeutete etwas mehr, als eine Erklärung zu liefern, was das Leben ist, sondern auch *warum* es Leben gibt. Als ich mir – im nachhinein – dieser Nuance bewusst wurde, fühlte ich mich vollkommen verloren, geblendet von meiner eigenen Biophilie und der einseitigen Sicht eines Biologen. Um den Grund für die Existenz des Lebens zu suchen – sollte es einen geben – musste ich seine Grenzen überschreiten und das Phänomen in seinem bestehenden Kontext – dem Universum – analysieren. Ja, das Leben ist ein kosmisches Phänomen, wie schon Huygens in seinem *Cosmotheorica* (1698) aufgezeigt hat, und ich brauchte eine solidere Grundlage als die bloße Biologie, um es in all seinen Dimensionen zu verstehen: zweifellos die Physik. So versuchte ich von einer anderen Perspektive aus mit den Augen eines Physikers, das zu betrachten, was mir so nahe stand und mir so vertraut war.

Die lebende Materie

Unter den Unmengen von Werken, die ich zu verschlingen begann, entdeckte ich Vladimir Vernadsky neu, ein russischer Wissenschaftler, der sich dem Studium der Zirkulation der Mineralien in der Erde widmet und Begründer der Geochemie ist. Wenn er auf lebende Wesen stieß, benutzte er den suggestierenden Begriff „lebende Materie“, im Gegensatz zu der „inerten“ der Gesteinswelt. Laut Vernadsky ist die lebende Materie etwas ganz anderes aufgrund der hohen Komplexität ihrer chemischen Zusammensetzung und vor allen Dingen aufgrund ihrer starken Dynamik und ihres Verhaltens. Vernadsky haben wir auch die Verbreitung des Konzepts der „Biosphäre“ zu verdanken, das von Lamarck geprägt worden war: diese Schicht unseres Planeten, in dem das Leben gedeiht. Dann ging ich zu anderen Autoren über, wie Schrödinger, Margulis und Sagan,

Bertalanffy, Gell-Mann und Kauffman, fast alle Physiker, und gelangte zu der Überzeugung, dass der beste Weg, die Phänomene jeglicher Art objektiv zu analysieren, darin besteht, die systemische Methode anzuwenden (siehe Umbach, 2000). Das heißt, man muss zunächst das System eingrenzen, seine Elemente und die Beziehungen, die zwischen ihnen und zu ihrem Umfeld bestehen, erkennen. Um seine Funktionsweise und den Grund seiner Existenz zu verstehen, müssen die darin enthaltenen operationellen Subsysteme gesucht und das Übersystem, in dem unser Studienobjekt integriert ist, erforscht werden.

Von dieser Warte aus ist das Leben vor allen Dingen ein autopoietisches System, also ein System, das sich selbst konstruiert und erhält. Der Organismus bleibt als Einheit des Systems über die Zeit bestehen, obgleich seine konstitutiven Elemente eingegliedert, gelagert, zerstört, wieder zusammengesetzt oder eliminiert werden. Seine chemische Dynamik ist verteuftelt komplex. Das ist das wirkliche Unterscheidungsmerkmal des Lebens und nicht die Fortpflanzung, die physikalisch auch bei den Kristallen zu finden ist. Ich erinnere mich übrigens an die Bestürzung, die ich bei einem Astrophysiker hervorrief – der auch noch Arzt war –, als ich behauptete, dass die Viren kein Leben sind. Die Viren brauchen die „Maschinerie“ der lebenden Zelle, die sie infizieren, um funktionieren zu können. Sie sind nicht autopoietisch.

Die Energie, die permanent durch die lebende Materie fließt, erhält ihre organisatorische und funktionelle Struktur. Dabei werden viele Gase und Hitze abgegeben, wobei sich die Entropie so steigert, dass jeglicher Verdacht des Widerspruchs gegen das zweite Gesetz der Thermodynamik entfällt. Dieses fundamentale Prinzip der Physik handelt von der Entropie, ein Maß (Deskriptor) für die Energie, die nach jeglicher Interaktion von Materie und

Energie nicht wieder ihren Originalzustand annehmen kann. Mit derselben Energie, mit der ein Krug zerbrochen wird, kann er nicht wieder zusammengesetzt werden. Die Steigerung der Entropie drückt in gewisser Weise das Recht auf die Irreversibilität aus, die die Natur für sich in Anspruch nimmt; oder auf einfachere Art gesagt: alles tendiert zur Unordnung. Das Leben scheint jedoch gegen den Strom zu schwimmen, und es ist wahr, dass bei der Selbstorganisation der Lebewesen viel Ordnung geschaffen wird, wobei allerdings noch viel mehr Unordnung in der Umgebung angerichtet wird. In diesem Sinn ist das Leben ein offenes dissipatives System, das weit von dem thermodynamischen Gleichgewicht entfernt ist, so wie die Flamme einer Kerze. Wenn der Energiefluss aufhört, erlischt das Leben.

Andererseits ist die lebende Materie auch ein mnemonisches System (ein schwieriges Wort, das soviel heißt wie „Gedächtnis“ haben), das die Geschichte speichert, wie ein notarielles Register oder unsere modernen Computer. Die Komplexität eines Organismus kann nicht von ihm ausgehend erklärt werden. Seine Selbstorganisation hängt von der Information ab, mit der er seine Existenz beginnt. Heute wissen wir, dass sich diese Information hauptsächlich in der DNS befindet, die die Gameten beisteuern. Sie enthalten die komplexe genetische Software, die das neue organische Wesen bildet und von lebender Materie zu lebender Materie kopiert wird, von Generation zu Generation, und so die ganze Geschichte des Lebens mit sich schleppt. In unserem Genom finden sich Gene der ersten bescheidenen Bakterie, sowie alle evolutionären Neuigkeiten, die im Laufe unserer Phylogenie dazu kamen. Ein Ovulum, ein Spermatozoid, dort ist alles zusammengepackt, wie auf einer Miniatur-CD. Ein einziger Samen ist ein wunderbares Geschichtsarchiv.

So gesehen ist die lebende Materie ein sehr besonderes System, das

die Zeit überdauert und sich zugleich ändert und expandiert. Wie Ramón Folch sagte, das Leben hat eine Seele von Gas. Wenn es einmal zündet, brennt es weiter, und wenn man es lässt, füllt es den gesamten möglichen Raum aus. Manche sehen in diesem fraglosen Drang ein „vitailes Prinzip“, während für andere – wie Andy Pross (2002) – der Pfeil des Lebens eher eine Konsequenz der autokatalytischen chemischen Reaktionen ist, die dem Prozess zugrunde liegen. Hinzu kommt, dass sich die lebende Materie im Laufe der Zeit organisiert und immer komplizierter wird, wobei sie immer mehr Information anhäuft. Diese progressive Komplexität – oder Evolution – sind auf ein anderes Merkmal des Lebens zurückzuführen, das den sogenannten adaptativen komplexen Systemen eigen ist, wie unsere Sprache oder das immunologische System der Säugetiere. Es handelt sich um kybernetische Systeme, die die Fähigkeit haben zu „lernen“. Sie tauschen sich mit ihrer Umgebung aus und probieren neue Alternativen (Mutationen) aus, wählen diejenigen, die am besten funktionieren (Selektion) und gliedern sie in ihr „Gedächtnis“ ein (Genom), um sich der Zukunft zu stellen. Dies ist die systemische Art, die biologische Evolution durch natürliche Selektion zu verstehen. Das Leben passt sich an, lernt und macht Fortschritte, in dem Sinne, dass die Organismen eine höhere Unabhängigkeit von Wechselfällen der Umgebung erlangen.

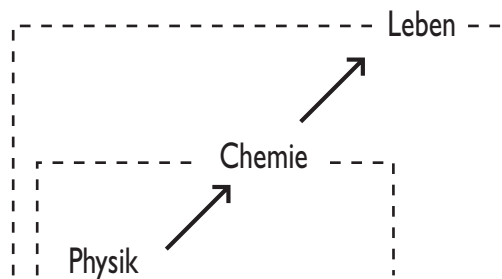


Abbildung 1. Das Leben als emergierendes System

Dem Entstehen des Lebens ging eine lange chemische Evolution voraus. Darüber ist man sich einig, aber über die Details und möglichen Szenarien existieren verschiedene Hypothesen: in der „primitiven Suppe“ von Oparin, zwischen dem Lehm von seichten Pfützen, auf dem feinen Wasserfilm, der das Eis umgibt, oder sogar außerhalb unseres Planeten, wie Arrhenius mit seiner Panspermientheorie behauptete. Diese hier zu kommentieren sprengt den Rahmen dieses Essays, egal jedoch welches die konkrete Wiege des Lebens ist, so scheint offensichtlich – zumindest für mehrere Physiker, die das Thema behandelt haben – dass das Leben ein emergierendes System ist. Emergierende Eigenschaften sind neue Eigenschaften, die aus der Kombination von bestimmten Komponenten entstehen, die in keinem von ihnen separat existierten. Daher das alte Sprichwort, dass die Gesamtheit mehr als die Summe ihrer Teile ist. Die Moleküle von flüssigem Wasser weisen Eigenschaften auf wie den Siedepunkt, die die losen Atome aus Wasserstoff und Sauerstoff nicht haben.

Genauso wie die chemischen Eigenschaften der Materie ihren physischen Eigenschaften entspringen, entspringt das Leben der inerten Materie, deren chemischen und physischen Einschränkungen es unterworfen ist (Abbildung 1). Sein Verhalten ist jedoch ganz anders, geht darüber hinaus und übertrifft alles zuvor Gekannte.

An diesem Punkt angekommen, sollte die Quintessenz der Frage aufgeworfen werden. Ist das entstandene Leben eine Frucht des Zufalls, oder ist es im Gegensatz dazu die Konsequenz der normalen Evolution der Materie? Die ersten bekannten Fossilien von lebenden Wesen sind die Bakterien und stammen von vor 3.550 Millionen Jahren, obwohl es Hinweise gibt, dass vor 3.860 Millionen Jahren Leben existierte, also

ungefähr zu dem Zeitpunkt, zu dem unser Planet sich herausbildete und bewohnbar wurde (3900 Millionen Jahre). Für manche Autoren sind diese Zahlen Argument genug, um an Determinismus zu glauben, während für andere die Zeit zwischen der Konsolidierung der Erde und dem Erscheinen von Leben so kurz ist (Abbildung 2), dass sie daran zweifeln, dass das Leben auf unserem Planeten entstanden ist. Sie glauben, dass er von Wesen von einem anderen Planeten infiziert wurde – vielleicht dem Mars – der noch vor der Erde bewohnbar wurde (um zur Idee der Panspermie zurückzukehren). Allerdings darf man nicht außer acht lassen, dass die Erde eine marginale Position einnimmt, fast eine Grenzlage innerhalb des Fensters der Bewohnbarkeit unseres Sonnensystems, wie es von Casting und seinen Mitarbeitern (1993) definiert wurde, das heißt, dort wo die Temperatur adäquat ist und der Planet genügend Schwerkraft besitzt damit flüssiges Wasser existieren kann (die Chemie des Lebens ist ohne Wasser nicht möglich). Und nach der Chaostheorie wissen wir, dass die Neuheit und Kreativität sich in nicht linearen Systemen an den Grenzen bilden, wo die Kritizität hoch ist. Somit kann das Leben eine Frucht des Chaos sein.

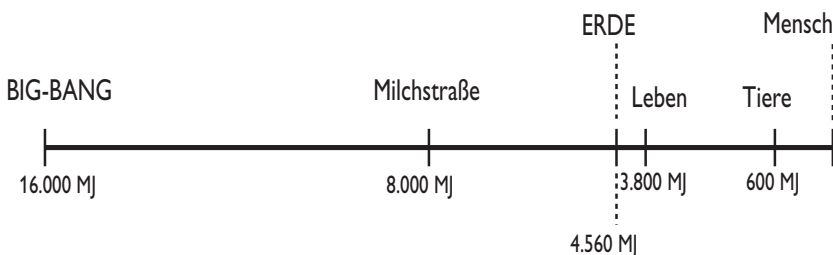


Abbildung 2. Geschichte des Universums bis zum Menschen in Millionen Jahren

Unabhängig davon, ob das Leben aus dem Chaos stammt oder von der spontanen Evolution der Materie, wäre es eitel zu denken, dass dies nur einmal geschah und gerade auf unserem Planeten. Die Wahrscheinlichkeit der Wiederholung in dem immensen Universum – oder sogar auf der Erde selbst – ist so hoch, dass man dies nicht als logisch akzeptieren kann, egal wie verletzend das für das Ego des Menschen ist. Im übrigen müsste unser Planet genau gesehen mit vier fünftel Ozean „Meer“ heißen und nicht „Erde“. Der Grund dafür ist, dass wir nicht unter Wasser leben.

Das sind hauptsächlich die Ideen, die ich den Astrophysikern in Santander unterbreitete. Aber die Geschichte endet hier noch nicht.

Die denkende Materie

Diese – zumindest für mich – neue physikalische Vision des Lebens brachte mich auf andere Wege. Und der Mensch?

Was die menschliche Spezies von anderen lebenden Organismen qualitativ differenziert, ist gewiss nicht ihre Anatomie oder Biologie. Wir sind kürzlich entstandene Primaten, Zweifüßler, mit wenig Haaren, guten Augen, schlechtem Geruchssinn und verbreiteter Sexualität. Der menschliche Geist – die Psyche – ist die große Neuheit, und Julian Huxley hatte die richtige Intuition, als er ein eigenes Reich – Psychozoa – für unsere Spezies forderte; allerdings ohne Erfolg.

Was ist also der Geist? Es kann gewagt sein, diese Frage gerade in einem Jahrzehnt zu stellen, in dem dank der neuen Technologien, den neurologischen Wissenschaften und der kognitiven Psychologie viele der

Geheimnisse seiner Funktionsweise enthüllt werden. Es gibt archäologische Anzeichen, die darauf schließen lassen, dass der Geist – und mit ihm das menschliche Wesen – vor nicht allzu langer Zeit entstand, vor ca. 40.000 – 50.000 Jahren, als unsere biologische Spezies, der *Homo sapiens*, schon etwa 145.000 Jahre durch den afrikanischen Kontinent gezogen war. Das Bewusstsein, die Empathie und die Fähigkeit, auf symbolische Art zu denken, die die repräsentativsten Merkmale des Geistes sind, entwickelten sich vielleicht unabhängig voneinander bei den Neandertalern, den Menschen oder dem umstrittenen Flores-Menschen, der kürzlich auf dem Javaarchipel entdeckt wurde, oder entstanden vielleicht bei einem gemeinsamen Vorfahren. Tatsache ist, dass wir heute die einzigen Überlebenden der Gattung *Homo* sind, die einzige „denkende Materie“, die wir kennen.

Ich benutze absichtlich den Ausdruck „denkende Materie“, denn es ist klar, dass es auch ein kosmisches Phänomen ist, anders als die inerte Materie und die lebende Materie, und sich auch ganz anders als diese beiden verhält. Man kann auch akzeptieren – neben jeglicher religiöser Interpretation – dass der Geist der lebenden Materie entsprungen ist, genau wie diese der inerten Materie (Abbildung 3). Das bedeutet, dass der Geist von allen physikalischen, chemischen und biologischen Einschränkungen der Systeme, die ihn stützen, abhängt, aber sein Verhalten geht weiter kraft der emergierenden Eigenschaften, die ihn definieren. Das ist eine interessante These, denn wir müssen anfangen davon auszugehen, dass der Geist nicht Leben ist, genauso wenig wie das Leben Gestein.

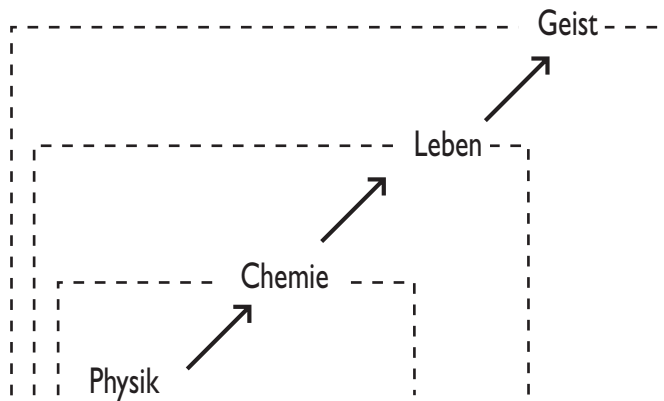


Abbildung 3. Der Geist als emergierendes System

Die Trennung der lebenden Materie von der denkenden Materie hat verschiedene Implikationen. Wir sollten akzeptieren, dass das menschliche Wesen erst mit dem Erscheinen des Geistes entsteht, als das Säugetier der Spezies *Homo sapiens*, der moderne Mensch, sich selbst bewusst wird und seine geistigen Fähigkeiten entwickelt: *cogito ergo sum*. In diesem Fall, wenn auch nur anekdotenhaft, wäre das spezifische Beiwort *sapiens* im Laufe der langen Vorgeschichte der Spezies nicht angemessen. Jedoch kann hier nicht auf alle philosophischen, theologischen, soziologischen oder politischen Aspekte eingegangen werden, die zweifellos existieren. Ich beschränke mich darauf, nur zwei Aspekte im Bereich der Erhaltung der Natur und Ökologie anzusprechen, die mich unmittelbarer betroffen haben, Aktivitäten, denen ich einen großen Teil meines Lebens gewidmet habe. Allerdings muss vorher noch kurz über die Essenz des Geistes nachgedacht werden.

Die denkende Materie hängt eng mit der lebenden Materie zusammen, aus der sie hervorging und von deren Funktion sie abhängt. Die lebende Struktur, die die Gedanken stützt, ist das Gehirn, ca. 1.400

cm³ groß und gut im Schädel eingepackt bei einer konstanten Temperatur, aber das einheitliche und autonome System der denkenden Materie ist das Individuum als Ganzes. Es ist möglich, dass es eines Tages gelingen wird, einen funktionellen Geist zu schaffen auf einer nicht lebenden Grundlage, aber zumindest bis zum heutigen Tag teilen der Geist und das Leben ihr Schicksal. Das bedeutet, dass in seinen Anfängen die neuen emergierenden Fähigkeiten der gleichen natürlichen Selektion unterlagen, wie die, die alle biologischen Spezies betraf, und wenn der Geist gedieh, so ist der Grund dafür, dass er es der Gesamtheit, dem menschlichen Wesen erlaubte, besser zu überleben. Als der Geist entstand kümmerte sich das Gehirn schon um eine Menge Dinge. Edward O. Wilson tat gut daran hervorzuheben, dass das Gehirn nicht zusammengesetzt ist, um sich selbst zu verstehen, sondern um zu überleben. Wenn es ursprünglich „gestaltet“ worden wäre, um zu denken und zu verstehen, wäre seine „Verkabelung“ sicher sehr anders als die unsere. Das schließt aber nicht aus, dass es das tun kann und vermutlich auch noch gut, denn wir verfügen über kein anderes Muster, das einen Vergleich erlauben würde.

Die denkende Materie ist ein bewusstes System mit der Fähigkeit zur Abstraktion. In einem metaphysischen Sinn kann sie als geschlossenes System angesehen werden, denn sie denkt über sich selbst nach, aber physikalisch ist sie weiterhin ein offenes dissipatives System. Die Gedanken haben eine materielle Basis und verbrauchen Energie. In der Tat verschlingt das Gehirn 20% der Stoffwechselenergie des Körpers und ist somit ein sehr kostspieliges Organ.

Die denkende Materie funktioniert auch wie ein adaptatives komplexes System, jedoch auf ganz andere Weise als das Leben. Was ein Geist „gelernt“ hat und anwendet, um besser zu funktionieren,

verschwindet mit dem Tod des biologischen Körpers. Aufgrund seiner enormen Kapazität, Information zu erwerben, zu verarbeiten, zu speichern und mitzuteilen, können die Erfolge eines Geistes jedoch – die Ideen, die „Memen“ im Sinn von Richard Dawkins (1976) – direkt auf einen anderen Geist oder auf externe Behälter wie Bücher oder Audioaufnahmen übertragen werden, von wo aus sie wiederum wiedererlangt werden können. Bücher sind kultureller Samen, wenn man mir diese Metapher gestattet. Diese Mechanismen haben mit der langsamen genetischen Übertragung von Generation zu Generation nichts zu tun, die charakteristisch für die Darwinsche Evolution ist. Die kulturelle Übertragung ist sehr viel schneller, sogar auf Entfernung und erreicht viele Adressaten.

Der Geist geht von der Verarbeitungsfähigkeit des Gehirns aus und ist deshalb durch diese bedingt, aber er deckt sich über die Kultur mit Information und Wissen ein, wobei die Sprache – die sein Hauptinstrument ist – eine wichtige Rolle spielt. Und das passiert zusammen mit dem Instinkt, der sich aus den sogenannten festen Verhaltensregeln, die sehr wohl vererbbar sind, zusammensetzt. Offensichtlich gibt es eine Interaktion zwischen dem Instinkt und dem Geist, die gemeinsam an der gesamten menschlichen Maschinerie teilnehmen.

Man bedenke, dass die kulturelle Übertragung nicht etwas ist, was nur dem Menschen vorbehalten ist. Es gibt zahlreiche Fälle von anderen Tieren, vor allen Dingen Tiere mit Gesellschaftsleben. Ein Stöckchen in ein Termitennest zu stecken, um Termiten zu fangen, ist etwas, was ein Affe von einem anderen lernt. Das ist kulturelle Übertragung durch Nachahmung. Der Affe wird das Stöckchen jedoch nicht aufheben, um es das nächste Mal zu benutzen, wenn er es braucht. Die Fähigkeit, die

eigenen Handlungen zu planen (Voraussicht etc.), ist der denkenden Materie eigen, und hat die Entwicklung der Technologie vorangetrieben.

Die Psychologin Susan Blackmore (1999) entwickelte die Idee des *Mem*. Wenn eine Technik imitiert wird, wird die Anleitung für ein bestimmtes Verhalten übernommen. Das *Mem* – oder Meme – ist eine Art intellektuelles Programm, dem Blackmore die gleiche Tendenz sich auszubreiten zuschreibt wie Dawkins dem analogen Gen in seinem berühmten Buch *Das egoistische Gen*.

Steht man nun im Einklang mit dem memetistischen Entwurf – der immer mehr Anhänger findet – oder auch nicht, so entgeht doch niemandem, dass die kulturelle Evolution im Zusammenhang mit dem Menschen in einem schwindelerregenden Rhythmus fortschreitet und zwar viel schneller als die biologische Evolution. Manche behaupten, dass das menschliche Wesen von der natürlichen Selektion abgesprungen ist, und es scheint, als wäre das tatsächlich so. Die kulturelle Selektion löst sie ab. Unsere Nachkommen hängen nicht mehr so sehr von den Wechselfällen der Natur ab.

Es wurde zuvor schon erwähnt, dass das Leben einmal entfacht und seitdem auf einer direkten Linie bis zur Gegenwart übertragen wurde. Gewiss kennen wir nur eine einzige Art des Lebens; wenn es andere gab, so starben diese aus, möglicherweise durch den Druck des Wettbewerbs. Und der Geist? Entstand er nur einmal vor 50.000 Jahren, um genetisch in Verbindung mit der lebenden Materie übertragen zu werden? Oder entsteht im Gegensatz dazu ein Geist in jedem Gehirn, wenn es während der Entwicklung des Individuums seine neurologische „Reife“ erreicht? Ich glaube, dass eher letzteres der Fall ist, dass sich in jeder Person Geist

entwickelt, aber ich wage es nicht, es zu bestätigen. Wir wissen noch zu wenig, obwohl wir in gigantischen Schritten im Wissen seiner Funktionsweise und Struktur fortschreiten, oder bessergesagt, der des Gehirns, das den Geist stützt. Andererseits muss die Psychologie sich der immensen anthropozentrischen Last, die sie logischerweise trägt, entledigen, wenn wir objektive Resultate wollen. Der Geist ist nicht das Gehirn, er ist etwas anderes, was nicht leicht zu verstehen und eher durch seine Effekte als durch seine Essenz bekannt ist. Und ich befürchte, dass es schwer oder sogar unmöglich sein wird, den Sinn des Geistes vom Geist selbst aus zu erklären. Es wäre, als würde man einem Spiegel einen anderen Spiegel gegenüberhalten. Von einem gegebenen System aus kann man nicht das Übersystem erklären, in das es integriert ist. Dieses übertrifft es, und im Fall des Geistes haben wir keine Ahnung, welches es ist. Das ist ein schwerer Rückschlag für die Wissenschaft.

Biosphäre und Psychosphäre

Im folgenden soll der Maßstab des hier behandelten Themas auf sein globales Umfeld erweitert werden, das heißt, auf den ganzen Planeten. Die Erde bildete sich vor ungefähr 4.560 Milliarden Jahren, und am Anfang gab es nur leblose Materie: feste Stoffe, flüssige Stoffe und Gase. Beim allmählichen Erkalten der Erdrinde bildeten sich die drei Hüllen, die wir als Lithosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre kennen. Die Tage dauerten 18 Stunden, die Sonne schien weniger, der Himmel war weiß, und in der Atmosphäre gab es viel Kohlendioxyd, Stickstoff, Methan, Schwefelwasserstoff und andere Gase, aber überhaupt keinen Sauerstoff. Unter diesen Bedingungen entstand die erste lebende Materie, die anfangs das Aussehen der Dinge wohl nicht viel veränderte.

Aber das Leben, dieses adaptative komplexe System, probierte ständig neue biochemische Optionen aus, um zu gedeihen. Offensichtlich kennen wir nur diejenigen, die Erfolg hatten, aber das metabolische Repertoire, das über die Bakterien bis zu uns gelangte, ist bewundernswert: sie leben auf Schwefel, Ammoniak, Eisen, im Eis, auf Felsen, in Thermalquellen oder in vulkanischen Solfataren, in Umgebungen, die wir heute als „extrem“, bezeichnen, die aber damals völlig normal waren. Die Schwefelbakterien entwickelten die Fähigkeit, die Lichtenergie zu verwenden, um Wassermoleküle zu spalten und den darin enthaltenen Wasserstoff zu nutzen, ein Element, das zum Bau der lebenden Materie notwendig ist. Als Nebenprodukte dieses neuartigen Prozesses – der Photosynthese – begann sich Sauerstoff freizusetzen, als eine äußerst reaktive Substanz, die für viele Lebensformen giftig war. Die Mehrheit starb sicherlich, obwohl kurz danach neue Formen entstanden – die Bakterien, Vorläufer unserer Mitochondrien – die ihn in ihren biologischen Verbrennungsprozessen nutzen konnten (die Atmung). Diese Tatsache stellte eine erfolgreiche Neuerung dar.

Die Emission des freien Sauerstoffs in die Hydrosphäre verursachte zweifellos das erste große vom Planeten erlebte Massensterben. Andererseits begann der Sauerstoff sich mit allem Vorstellbaren zu verbinden, zum Beispiel Eisen zu oxidieren, wobei enorme ferralitische Ablagerungen entstanden. Nachdem in den Meeren alles oxidiert worden war, was oxidierbar war, begann sich der Sauerstoff vor ungefähr 2.500 Millionen Jahren in der Atmosphäre zu sammeln, und diese Sauerstoffansammlung setzte sich dann noch 500 Millionen Jahre fort, bis die 22% erreicht wurde, die wir heute haben. Der Himmel wurde blau. Außerdem wurde der Sauerstoff in der oberen Atmosphäre trimolekular kombiniert, wodurch der Planet als Folge eine Schutzschicht vor der biozyden ultravioletten Strahlung der Sonne erhielt. Bis zu diesem

Zeitpunkt war das entstandene Land unwirtlich und einer tödlichen ultravioletten Strahlung ausgesetzt. Mit der Bildung dieser Ozonschicht öffneten sich die Türen zu seiner Kolonisierung.

Dieser kurze Abriss zum Beginn des Lebens auf unserem Planeten dient dazu, hervorzuheben, dass die lebende Materie mit ihrer Umwelt in Interaktion steht. Zweifellos wird sie von ihr betroffen, aber sie ändert sie auch, sogar in großem Maßstab. Die Erdatmosphäre befindet sich vollkommen außerhalb des chemischen Gleichgewichts und erhält ihre derzeitige Zusammensetzung dank der Funktion der lebenden Materie. So war es im Laufe der Evolution: reine Änderung! Die Veränderungen der physikalischen Umgebung – manchmal schnell, manchmal allmählich (man denke an das Treiben der Kontinente, das Herabfallen von große Meteoriten oder an die letzten Eiszeiten) – führte zum Aussterben von Lebensformen, und begünstigte wiederum andere. Und die Neuentwicklungen der lebenden Materie selbst konnten ähnliche Konsequenzen nach sich ziehen. Die Evolution der Zähne zum Beispiel ließ die ersten Raubtiere auftauchen und war unheilbringend für die vollkommen ungeschützte Meeresbiota der Ediacara. Allgemein wird aufgrund der gefundenen Fossilien angenommen, dass zumindest neun große Massensterben stattfanden. Zum Beispiel kam es in der Perm-Periode vor 245 Millionen Jahren zu einer globalen Erkaltung des Planeten aus kosmischen Gründen, die 95-98% aller existierenden lebenden Formen auslöschte. Trotz dieser offensichtlichen Katastrophen geht das Leben jedoch weiter und nimmt den verfügbaren Raum wieder ein. Von der systemischen Sicht aus gesehen ist das Aussterben ein „Verlust der Erinnerung“, etwas, was notwendig ist, damit sich ein adaptatives komplexes System entwickeln und erneuern kann. Es stellt kein Problem dar. Neue Formen gedeihen auf Kosten von anderen, und insgesamt macht das Leben Fortschritte, wird komplizierter und ebnet den Weg in die Zukunft.

Auf der Erde existieren die inerte Materie und die lebende Materie zusammen. Wir sprechen von der Biosphäre, um auf diese Hülle Bezug zu nehmen, die anders funktioniert und im Gegensatz dazu steht, was die Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre wären, wenn es nur in ihnen leblose Materie geben würde.

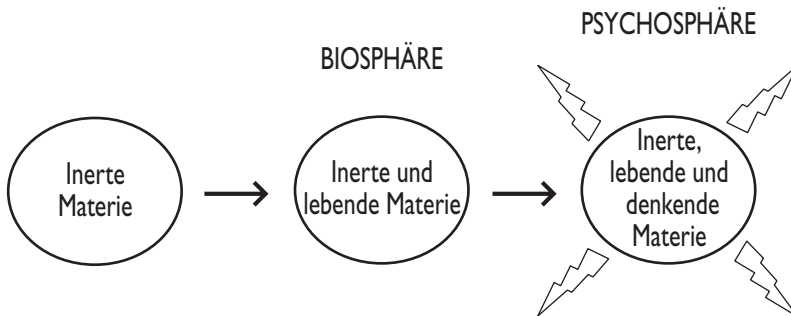


Abbildung 4. Evolution des Planeten Erde

Wenn also die lebende Materie zu einem bestimmten Zeitpunkt auf unserem Planeten entstand und ihn spürbar veränderte, wäre es absurd, nicht einen gleichwertigen oder sogar größeren Wechsel mit der Entstehung der denkenden Materie zu erwarten. Die ursprüngliche Erde ist jetzt ein anderer Planet: es gibt leblose Materie, lebende Materie und denkende Materie, und diese drei Materien zeigen nicht nur ein unterschiedliches Verhalten, sondern haben auch ganz verschiedene Fähigkeiten, Änderungen hervorzurufen.

Es wurde schon über den Geist gesagt, dass er ein auf die Handhabung von Information spezialisiertes System ist. Diese Information dient in erster Linie dazu, die ihn tragende lebende Materie und ihre Umgebung besser zu kontrollieren. Der Geist erlaubt es der lebenden Materie, exosomatische Energie zum eigenen Nutzen zu manipulieren. Vom bloßen Muskel zum

Hebel, Pferd, Segelschiff, Dampfschiff, Wasserturbine, Explosionsmotor, Atomreaktor etc. Der Mensch kontrolliert immer mehr externe Energie, baut „symbiotische Organismen“ – die Maschinen – und vervielfacht so seinen Einfluss auf die Umwelt, wie es bisher keine andere Spezies geschafft hatte; zumindest nicht in einer so kurzen Zeitspanne (das soll aus Respekt vor den Bakterien gesagt werden). Die Effekte der Technologie haben den Maßstab des Planeten erreicht. Es ist möglich, dass die anthropologischen Ursachen des derzeitigen Klimawechsels weiterhin diskutiert werden, aber unsere Strukturen sind schon vom äußeren Raum aus sichtbar; nicht nur die Große Mauer von China, sondern im besonderen auch die Städte in der Nacht. Und vielleicht sind die von Produkte des Geistes noch wichtiger, die wir zwar nicht wahrnehmen aber mit den richtigen Geräten aufzeichnen können. Damit ist die Unmenge von Information gemeint, die den ganzen Raum in Form von strukturierter elektromagnetischer Strahlung durchflutet. Die Funk- und Fernsehwellen sind da, allgegenwärtig als eindeutiger Beweis der Existenz der aktiven lebenden Materie. Diese Wellen sollen das Universum durchbohren und werden schließlich die Grenzen unserer Galaxie durchbrechen (Abbildung 4). Der Geist hat die Grenzen der Erde überschritten, während das Leben weiterhin auf die Biosphäre beschränkt bleibt.

Diese neue Hülle des Planeten, die leblose, lebende und denkende Materie enthält und somit nicht mehr nur Biosphäre ist, habe ich „Psychosphäre“ genannt (Machado, 2001). Ich hätte den Begriff „Noosphäre“ von Teilhard de Chardin nehmen können, der von Vernadsky verteidigt wurde, wenn er nicht so offensichtlich anthropozentrisch, naiv und marxistischer Ausrichtung wäre: Der Planet in Harmonie geleitet durch den Geist des Menschen! Bessere Kandidaten wären der Ausdruck „Memesphäre“ von Ganten (2004) oder das klare Synonym „Anthroposphäre“ von Javier Peñuelas

(1988). Im ersten Fall wird jedoch das Meme hervorgehoben, ein Produkt des Geistes, und im zweiten wird die Ehre dem Menschen – ein Zufall – und nicht dem Geist zugeschrieben. Ich erinnere mich an ein interessantes Simulationsspiel für Computer, *SimEarth*, in dem der Geist anderer Spezies als dem Menschen innewohnen konnte. Die alternativen Szenarien wären auch Psychosphären. Der physikalischen phänomenologischen Inspiration dieses Diskurses folgend ist es kohärent, die denkende Materie hervorzuheben, die *Psyche*, wie Huxley mit seiner *Psychozoa* oder Le Conte (1823-1901) mit seinem *Psychozoikum* es tun.

Die Psychosphäre ist ein System, in dem die Information auf eine ganz andere Art zirkuliert als vorher und in dem eine ihrer Komponenten, die denkende Materie, fähig ist, seine Handlungen zu planen, externe Energien zu handhaben, seine eigenen Gene zu manipulieren oder Spezies zu klonen oder zu schaffen, was bisher der Evolution vorbehalten war. Das ist gewiss eine Tatsache, die zum Nachdenken anregt. Und an diesem Punkt angelangt, stieß ich auf zwei etwas beunruhigende damit zusammenhängende Fragen.

Ökologismus und Ökologie

Da ich beruflich in der Ökologie tätig bin, habe ich viele Jahre meines Lebens dem Erhalt der Natur gewidmet. Ich war Zeuge des Aufkeimens des Ökologismus als Antwort auf die wachsenden negativen Auswirkungen des Menschen auf die wilden Spezies und ihre Lebensräume. Ich war zwar nicht Mitglied in einer ökologischen Gruppe, habe jedoch immer eine gewisse Sympathie mit ihren Forderungen gehegt. Ich glaube, dass wir einen ehrlichen Hang zur Natur teilen. Natürlich lehne ich die fundamentalistischeren Haltungen vollkommen ab, die den

Menschen als einen Parasiten des Planeten ansehen, den man praktisch ausrotten sollte. Sie nähern sich zu sehr dem Ökofaschismus, einer neuen Verirrung, vor der sich die Menschheit in acht nehmen sollte. Jedoch erinnere ich mich sehr wohl daran, dass ich sehr bewegt war, als ich die ökologische Rede des Indianerhäuptlings Seattle erneut las. In einem Anfall von Biophilie habe ich sogar die ziemlich radikalen Ansichten von Arne Naess gutgeheißen, „Ökosophie“ oder tiefer Ökologismus genannt. Diese Bewegung bezeichnet die Organismen als Knoten der Interrelation im Gewebe der Biosphäre und fordert für sie alle die biosphärische Gleichheit. Laut ihrer Auffassung ist der innewohnende Wert aller Spezies der Grund für die komplette Erhaltung der Biodiversität, die lokale Autonomie und die Dezentralisierung der Kontrolle. Der Mensch hat kein Recht über die restlichen Spezies, und alles Schlechte der heutigen Welt kommt natürlich vom Anthropozentrismus, der uns unweigerlich zur ökologischen Katastrophe führen wird.

Diese Gedanken, die voll von gutem Willen und Romantizismus sind, wären sehr treffend, wenn sie nicht fehlgeleitet wären: der Mensch, einer mehr in der Biosphäre. Weit gefehlt! Weder kann der Mensch (denkende Materie) mit den anderen Spezies gleichgesetzt werden (lebende Materie), noch leben wir weiterhin in einer Biosphäre. Unserer aller Heimat ist die Psychosphäre.

Wenn man nach den tiefen Wurzeln des Alarms aufgrund des Aussterbens von Spezies und der Zerstörung der Natur sucht, wird man verstehen, dass es viel Widerstand oder sentimentale Ablehnung gegen eine Änderung der Biosphäre gibt. Wir haben ein „Rousseausches“ Klischee in unserem Innern, wahrscheinlich in unserem tierischen Instinkt. Wie jede biologische Spezies erschreckt uns der Wechsel; die Sicherheit wird mit

Stabilität und Kontinuität in Verbindung gebracht. Jedoch ist alles Wechsel.

Die Veränderungen der Umgebung und das gegenwärtige massive Aussterben von Spezies – das sechste nach Leakey und Lewin (1997) – geschehen anscheinend viel schneller als in jeder anderen vergangenen Epoche. Sollte das aber ein Grund zur Besorgnis sein? Wir sehen die Biosphäre weiterhin als Maßstab an, und es gut möglich, dass wir in unglaublich schnellen Schritten vorwärts schreiten. Allerdings ist es sehr wahrscheinlich, dass dieser schnelle Rhythmus und sicherlich ein noch schnellerer Rhythmus in der Zukunft in der Psychosphäre „normal“ sein werden. Wir träumen weiter von einem biosphärischen Modell, ohne die Psychosphäre zu akzeptieren, von der wir die objektiv indiskutablen Hauptdarsteller sind. Ich erinnere mich an den Titel eines Berichts zum Gipfel von Río: „Die Erde in Gefahr“. Nein, die Erde ist nicht in Gefahr, sondern höchstens unsere Spezies. Obwohl wir einerseits so anthropozentrisch sind, haben wir immer noch nicht unsere reelle physikalische Essenz akzeptiert: wir sind Geist und Leben, aber wir sind, was unser Verhalten angeht, mehr Geist als Leben.

Die intellektuelle Unruhe, die die wachsende Zerstörung der Natur – eine Art globale Verrücktheit – früher in mir hervorrief, ist wissenschaftlicher Neugier gewichen. Die Faszination, die ich aufgrund des Wechsels verspüre, ist stärker als der Schmerz über den Verlust von etwas, was ich liebe. Die Psychosphäre wird auf Kosten der Biosphäre konstruiert; jeglicher Versuch, letztere intakt zu halten, ist nicht realistisch. Auch wenn es schmerzlich ist, sehr schmerzlich.

Diese neue Vision der Dinge hat mich nicht davon abgehalten, am Erhalt der Umwelt zu arbeiten, aber die Motive sind eher persönlich und

prosaisch. Ich mag die Natur, ich genieße sie, und mir ist es lieber, dass sie solange erhalten bleibt wie möglich, vor allen Dingen in meiner unmittelbaren Umgebung. Wie man weiß, gehen Vernunft und Gefühl nicht immer Hand in Hand.

Andererseits denke ich, dass der Mensch, ohne auf biosphärische Modelle zurückgreifen zu müssen, in Abhängigkeit von seinen eigenen Handlungen eine mehr oder weniger angenehme Psychosphäre wählen kann. Das Modell, die Zivilisation zu einer weniger verschwenderischen und wirksameren, gerechten und letztendlich nachträglicheren Entwicklung hinzuführen, ist eine Option, die den richtigen Weg geht. Aber auch hier stolpern wir über eine andere Schwierigkeit, die mit diesem Diskurs zusammenhängt.

Die Ökologie muss das Management der Umwelt sein, wie es die Physik für die Ingenieurwissenschaften oder die Architektur ist. Ich lehre Ökologie an der Universität La Laguna, und in meinem Haus gibt es ganze Regale mit Büchern über dieses Thema, aber ich befürchte, dass diese eher wenig nutzen.

Bei der Behandlung der lebenden Materie und der denkenden Materie gibt es ein immer wieder auftauchendes Element, dem wir nicht genügend Aufmerksamkeit gewidmet haben: die Information. Zum ersten haben wir ein sehr unklares und begrenztes Konzept davon, was die Information ist, und bringen sie fast immer mit unserer Sprache und der Theorie der Kommunikation in Verbindung. Aber das Konzept ist viel weiter gefasst. Vom physikalischen Standpunkt her ist die Information ein Attribut der Materie, die sogenannte „strukturelle Information“. Ein Atom ist in-formiert, genauso wie ein Fels oder ein Chromosom. Jedes Material

enthält oder ist Information; diese Eigenschaft wird nur durch die Hitze zerstört (die manchmal sehr hoch sein muss). Dann gibt es die „Kontrollinformation“ im Sinn von Corning. Es ist die freiwillig oder unfreiwillig von einem System ausgegebene oder empfangene Information, die auf das Verhalten von einem oder mehreren anderen davon abhängigen Systemen Einfluss nimmt, gerade in Bezug auf ihre strukturelle Information. Man kann es mit einem Computer vergleichen, der über die Tastatur Daten empfängt. Wie viel oder wie wenig er mit dieser Information macht, hängt von der Hardware und der Software ab, die er besitzt (strukturelle Information). Ein Fels mit scharfen Kanten hat überhaupt keinen Einfluss auf einen Fels daneben, aber wohl im Verhalten eines Tieres, das sie sieht und zwischen ihnen hindurch geht.

Die Kontrollinformation hat auch eine materielle Grundlage, seien es Lichtquanten, die das Sehen ermöglichen, die Moleküle, die den Geruch hervorrufen, Panikschreie oder Funkwellen. Wenn zwei Körper Information austauschen, gewinnt außerdem immer derjenige, der vorher mehr Information hatte (Prinzip von Sankt Mathäus), eine sicherlich neuartige Beziehung beim Austausch von Materie und Energie. Die gesamte kybernetische Wissenschaft basiert auf der Zirkulation von Kontrollinformation und ist sicher eine im Aufschwung begriffene Disziplin. Die Thermodynamik hat sich jedoch traditionell nur mit dem Austausch zwischen Materie und Energie beschäftigt und der aufgenommenen oder abgegebenen Hitze besondere Aufmerksamkeit gewidmet, die die Kosten der Irreversibilität dieser Prozesse bestimmt, in einem Wort, der Entropie. Dann gibt es aber noch die Information, eine dritte, vergessene Komponente, die sich bei diesen Wechseln auch ändert, und auf gewisse Weise mit entgegengesetztem Vorzeichen zu der Entropie. An dieser Stelle soll auf dieses neue Wissensgebiet nicht weiter eingegangen, jedoch bewusst

gemacht werden, dass diese Information in fast allen gebräuchlichen physikalischen und ökologischen Modellen fehlt. Ein Hocker mit nur zwei Füßen: Materie und Energie. Und da für die Psychosphäre gerade die Menge, Qualität und Geschwindigkeit der Informationsübertragung bezeichnend ist, werden uns diese Wissenschaften wenig nützen beim Verständnis ihrer Funktionsweise. Wie schon Jordi Flos (1984) in seinem Buch *Ecología, entre la magia y el tópico* (Ökologie, von der Magie zum Gemeinplatz) sagte: „Wir haben keine ökologische Theorie, die komplett erklärt, was in der Natur passiert. Irgendein grundlegendes physikalisches Prinzip wird übersehen, wahrscheinlich ist es die Information“.

In anderen Worten: die Ökologie, über die wir verfügen, ist eine Wissenschaft mit biosphärischen und hinkenden Modellen, und dient nicht dazu zu beschreiben oder vorherzusagen, was in der Psychosphäre vor sich geht. Folglich sind wir ziemlich schlecht ausgerüstet, um nachhaltige Entwicklungsmodelle zu erstellen, wenn wir noch nicht einmal die Probleme richtig verstehen, denen wir uns gegenüber sehen (der Mensch, nicht der Planet).

Wir brauchen eine neue Ökologie, die den Austausch von Information in ihre Grundlagen aufnimmt, genauso wie den Austausch zwischen Materie und Energie. Sieht man einmal näher hin, ist wahrscheinlich zuerst eine neue Theorie der Informationsphysik nötig. So könnten mit der Information als gemeinsame Grundlage die Ökologie, die Soziologie und die Ökonomie miteinander verbunden werden, was wohl der einzige Weg ist, um unsere Psychosphäre im Ganzen verstehen zu können.

Nachdem ich zu diesem vor allen Dingen für einen Dozenten der

Ökologie verwirrenden Schluss gekommen war, stürzte ich mich auf die Mutter aller Quellen: Internet. Zu diesem Zeitpunkt fand ich sehr wenig über das Thema, praktisch nichts, was die Ausführungen von Ramón Margalef in seinem Buch *La biosfera entre la termodinámica y el juego* (Die Biosphäre, zwischen der Thermodynamik und dem Spiel, 1980) ergänzen könnte. In diesem Buch behandelt Margalef, wie immer genial, die Information als Attribut der Materie, und gliederte sie diskret als Formel in einer Fußnote ein (siehe Textfeld), aber hat sie nicht weiter entwickelt. Leider weilt er nicht mehr unter uns.

MARGALEFS FORMELN (1980)

$$\Delta G = \Delta H - (T / I) \Delta S$$

ΔG = freie oder benutzbare Energie, ΔH = Enthalpie oder *a priori* verfügbare Energie,
 T = absolute Temperatur, I = Information, ΔS = Entropie.

Die Geschwindigkeit der Prozesse, die in komplexen Systemen stattfinden,
 könnte proportional sein zu:

$$V e^{-(k \cdot I / T)}$$

V = maximale Geschwindigkeit, k = eine Angleichungskonstante

Nur acht Jahre nach dem Seminar in Santander sieht alles jedoch ganz anders aus. Es gibt eine wachsende Gruppe von Wissenschaftlern, die genügend Zeit und Geld haben, um sich diesen Themen zu widmen. Susan Omayá, von der City University von New York, behandelt die Information, jedoch vorrangig bezogen auf das Verhalten der lebenden Organismen und des Menschen. Peter A. Corning, Leiter des Instituts für die Studie von komplexen Systemen in Palo Alto, ist wahrscheinlich der engagierteste Autor mit den meisten Schriften, obwohl er sich nach meiner Meinung etwas dabei verliert die Anwendungen und Ableitungen dieser Ideen zu

erforschen, ohne dass jedoch die theoretischen Grundlagen wirklich gefestigt sind. Vielleicht ist Richard L. Coren, von der Universität Drexel, in Filadelfia, derjenige Autor, der die Reichweite der Information in der universellen Phänomenologie im allgemeinen und in der Evolution im besonderen am besten begriffen hat. Nach seinem letzten Buch *The evolutionary trajectory. The growth of information in the history and future of Earth* (Der Verlauf der Evolution. Das Wachstum der Information in der Geschichte und Zukunft der Erde) hat er versucht, empirische Beweise zur Verteidigung der These zu erbringen, dass das variationelle Prinzip, das den Wechsel im Universum steuert, in der Kinetik der Information zu finden ist; ein Verdacht, der mich schon in Santander beschlichen hatte. Es gibt also Hoffnung, obwohl die ersten Schritte noch sehr von unserem ewigen Anthropozentrismus gefärbt sind, inbegriffen das kommunikative Vorurteil, mit dem das Thema der Information fast immer angegangen wird. Wir müssen vom Dach klettern und anfangen, die Kinetik der Information auf dem Niveau von subatomaren Partikeln zu studieren und dann darauf aufzubauen.

Ich schließe diesen Vortrag mit dem Zitat von Karl Popper ab „Es ist unsere Pflicht, optimistisch zu sein“ und rufe dazu auf, in vollem Bewusstsein an einer Psychosphäre teilzuhaben, die begonnen hat, sich über den Kosmos auszubreiten. Vor dem Menschen gab es keinen Determinismus, und alle Naturphänomene ergaben sich einfach aus dem Gang der Dinge. Mit der Gegenwart der denkenden Materie auf unserem Planeten vollzieht sich jedoch ein bedeutender qualitativer Wechsel. Der Geist ist fähig, seine Handlungen vorauszubestimmen und damit Ereignisse zu planen und zu entwerfen. Dieser transzendente Wechsel, der Frucht der kulturellen Evolution ist, verlagert den Planeten auf eine neue Ebene, wo Phänomene stattfinden können, die Konsequenz des geistigen Willens sind. Mit der

Psychosphäre gliedert sich zum ersten Mal der Determinismus in das System ein. Das ist eine objektiv wahre Tatsache, und einige Autoren, wie Allenby (2005), sehen darin eine einzigartige Gelegenheit für unsere Spezies und die Ultima Ratio, um optimistisch in die Zukunft zu schauen und rückschrittliche und nostalgische Betrachtungsweisen abzulegen. Letztendlich sind die menschlichen Wesen unerreichbar, wenn es darum geht, Gesetzmäßigkeiten zu suchen, Schlussfolgerungen zu ziehen und neue Fragen zu stellen. Paul Valéry lag nicht falsch, als er sagte, dass die Zukunft nicht mehr das ist, was sie einmal war. Im Guten wie im Schlechten.

Bibliographie

- ALLENBY, B. 2005. *Reconstructing Earth. Technology and environment in the age of humans.* Island Press, Washington D.C.
- BERTALANFFY, L.V. 1976. *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones.* Fondo de Cultura Económica, México.
- BLACKMORE, S. 1999. *The meme machine.* Oxford University Press, Oxford.
- COREN, R.L. 1998. *The evolutionary trajectory. The growth of information in the history and future of the Earth.* Gordon and Breach Publishers, Amsterdam.
- COREN, R.L. 2001. Empirical evidence for a law of information growth. *Entropy*, 3: 259-272.
- CORNING, PA. & KLINE, S. J. 1998. Thermodynamics, information and life revisited. Part I: To be or entropy. *Systems Research and Behavioral Science*, 15: 273-295. Thermodynamics, information and life revisited. Part II: Thermoconomics and control information. *Ibidem*: 453-485.
- CORNING, PA. 2001. Control information: the missing element in Norbert Wiener's cybernetic paradigm?. *Kybernetes*, 30 (9/10): 1272-1288.
- DAWKINS, R. 1976. *The selfish gene.* Oxford University Press, Oxford.
- EDELMAN, G.M. & TONONI, G. 2002. *El universo de la conciencia: cómo la materia se convierte en imaginación.* Editorial Crítica, Barcelona.
- FLOS, J. 1984. *Ecología, entre la magia y el tópico.* Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- FOLCH, R. 2000. *El vicio de mirar.* Editorial Planeta, Barcelona
- GANTEN, D., DEICHMANN, T. & SPAHL, T. 2004. *Vida, naturaleza y ciencia. Todo lo que hay que saber.* Santillana Ediciones Generales, Madrid.
- GELL-MANN, M. 1995. *El quark y el jaguar.* Tusquets Editores, Barcelona.
- GLEICK, J. 1998. *Caos.* Editorial Seix y Barral, Barcelona.
- GUNDERSON, L. H. & HOLLING, C. S. 2002. *Panarchy. Understanding transformations in human and natural systems.* Island Press, Washington DC.
- HUYGENS, CH. 1698. *Cosmotheoros.* Adrian Moetjens, La Haya.

- KASTING, F., WHITMORE, D. M. & REYNOLDS, R. T. 1993. Habitable zones around main sequence stars. *Icarus* 101: 108-128.
- KLEIN, R. G. & BLAKE, E. 2002. *The Dawn of Human Culture*. John Wiley and Sons.
- KUHN, T.S. 1962. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica de España, Madrid.
- LEAKEY, R. & LEWIN, R. 1997. *La sexta extinción. El futuro de la vida y de la humanidad*. Tusquets Editores, Barcelona.
- MACHADO, A. 1999. La vida en perspectiva, pp. 9-37, en: J.M. Fernández-Palacios et al. (eds.) *Ecología y cultura en Canarias*. Museo de la Ciencia y el Cosmos, La Laguna.
- MACHADO, A. 2001. De la biosfera a la psicofera, pp. 21-50, en: C. Marcos et al. (eds.) *Gestión y ordenación del medio ambiente natural*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia.
- MARGALEF, R. 1980. *La biosfera entre la termodinámica y el juego*. Ediciones Omega, Barcelona.
- MARGULIS, L. & SAGAN, D. 1996. *¿Qué es la vida?* Tusquets Editores, Barcelona.
- NAESS, A. 1995. The deep ecological movement, pp. 64-84, en G. Sessions (ed.) *Deep ecology for the 21st century. Readings on the philosophy and practice of the new environmentalism*. Shambhala, Boston.
- OYAMA, S. 2000. *The ontogeny of information. Developmental systems and evolution*. Duke University Press, London.
- PEÑUELAS, J. 1988. *De la biosfera a la antroposfera. Una introducción a la Ecología*. Barcanova, Temas Universitarios, Barcelona.
- PROSS, A. 2003. The driving force for life's emergence: kinetic and thermodynamic considerations. *Journal of theoretical Biology*, 220: 393-406.
- SMITH, J.M. & SZATHMÁRY, E. 1999. *The origins of life. From the birth of life to the origin of language*. Oxford University Press, Oxford.
- SCHNEIDER, E. D. & KAY, J.J. 1994. Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and computer modelling*, 19 (6-8): 25-48.
- SCHRÖDINGER, E. 1946. *What is life? The physical aspect of the living cell*. The MacMillan Company, New York.

- VAN ANDEL, T. H. 1994. *New views on an old planet: a history of global change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VERNADSKY, V. I. 1945. La biosfera y la noosfera [traducción de *American Scientist* 1] pp. 205-218, en: Vernadsky, V. 1997. *La Biosfera*. Fundación Argentaria, Madrid.
- WEBER, B. H., DEPEW, D. J. & SMITH, J. D. (eds.) 1998. *Entropy, information, and evolution. New perspectives on physical and biological evolution*. The MIT Press, Cambridge.
- WILSON, E. O. 1999. *Consilience. La unidad del conocimiento*. Galaxia Gutenberg, Barcelona.
- WONG, K. 2005. El hombre de Flores. *Investigación y Ciencia*, Abril: 22-31.
- WONG, K. 2005. La aparición de la mente moderna. *Investigación y Ciencia*, Agosto: 76-85.

Índice

La psicofera. ¿Necesitamos una nueva Ecología?	7
The psychosphere. Do we need a new Ecology?	37
Die Psychosphäre. Brauchen wir eine neue Ökologie?	67

La psicofera.
¿Necesitamos una nueva Ecología?,
de Antonio Machado Carrillo,
es el número 15 de la colección CUADERNAS,
editada por la Fundación César Manrique.
Se acabó de imprimir
el día 1 de octubre de 2006,
en los talleres de
Cromoimagen, S.L.,
en Madrid.