

Universo y vida: un punto de vista energético

Juan Tomé Escribano

casa@amonaria.com

Universo y vida: un punto de vista energético

Juan Tomé Escribano casa@amonaria.com

Presentación

En este universo, al menos en este planeta, en el entorno de una estrella típica, han prosperado complejos sistemas materiales en desequilibrio capaces de reproducirse. En este planeta hay vivos.

Los vivos de la Tierra son sistemas complejos que consiguen mantenerse aprovechando flujos de energía cuyo origen les es ajeno. El flujo de energía procedente del Sol es el más importante para el mantenimiento de la vida en la Tierra en la actualidad. Y la causa de que exista ese flujo es que las estrellas son objetos muy calientes en un universo muy frío. Universo y vida quedan así conectados desde el punto de vista energético.

El objetivo de este trabajo es proponer ideas clave para que esa conexión pueda ser entendida. Lo esencial de esas ideas se expone a continuación. Los comentarios para completarlas se notan al final del trabajo para que su lectura tenga continuidad.

Idea clave 1:

Nuestro universo está en desequilibrio termodinámico

El Sol, esto se ve cualquier día, es un objeto luminoso. El universo, esto se ve cualquier noche, es un lugar oscuro salpicado de puntos brillantes, las estrellas. Nos bastan los ojos, nuestros detectores de fotones, para observar todo eso.¹

Los objetos calientes (bombillas o velas encendidas, estrellas) son mejores emisores de "luz", más luminosos que los fríos (bombillas o velas apagadas, planetas, el universo mismo).²

Nuestro universo fue caliente al principio pero, desde entonces, su *expansión*, el estiramiento de su espacio, no ha dejado de enfriarlo. Ahora el universo es oscuro porque es muy frío. Pero está salpicado de estrellas y otros potentes emisores de radiación, muy calientes.³

Cuando un sistema tiene unas partes a una temperatura y otras a otra se dice que está en *desequilibrio termodinámico*. Ese es el estado actual de nuestro universo. Esto se ve todas las noches, aunque no todas las noches caemos en la

cuenta. El desequilibrio termodinámico es necesario para que haya flujos de energía, que irán de las partes calientes a las partes frías. Los flujos de energía pueden poner en marcha distintos procesos, generar cambio, hacer que "pasen cosas". Los sistemas en equilibrio termodinámico han alcanzado uniformidad por todas partes, han llegado a un estado estable en el que no puede pasar nada. Son sistemas "muertos". Nuestro universo no es así. Todavía está en desequilibrio, está "vivo".

De día miramos hacia el Sol, nuestra estrella cercana, el objeto caliente que inunda de fotones la atmósfera haciendo luminoso el ambiente. De noche miramos hacia el universo y lo vemos oscuro, frío. La sucesión de días y noches en nuestro planeta hace evidente el desequilibrio termodinámico del universo.

Día y noche, señas de desequilibrio, son el caldo de cultivo para el cambio, para la complejidad, para la vida.

Idea clave 2:

El planeta Tierra es un sistema en desequilibrio

Las estrellas vierten al universo enormes cantidades de energía. El Sol es una estrella de tamaño medio pero, aún así, su potencia (la energía que vierte cada segundo) es descomunal.⁴

La temperatura de superficie del Sol es 5800 K . La temperatura del universo es 2,7 K . Este desequilibrio térmico es la razón de que el Sol sea un emisor de energía, de que la energía fluya desde el Sol hacia su entorno.⁵ El Sol vierte energía en todas direcciones, en forma de radiación. La mayor parte se dispersa en el universo, el recipiente que la recibe, sin sufrir transformaciones, sin interaccionar con materia alguna, porque el universo es transparente⁶. Pero no toda la energía va del Sol al universo por un camino tan ausente de sucesos, tan simple. La Tierra, por ejemplo, intercepta una pequeña parte de la energía emitida por el Sol, que aún así es mucha energía, y la aparta del cauce principal. Circulará por el planeta y volverá de nuevo al cauce. La Tierra es un remanso en el fluir de la energía desde el Sol al universo. En el entorno del Sol, hay remansos parecidos, los de otros planetas o los de sus satélites. En los entornos de otras estrellas con sistemas planetarios pasará lo mismo.⁷

Pero el remanso de la Tierra es singular porque es muy complejo. Los movimientos astronómicos de la Tierra relativos al Sol y a la Luna, la composición y propiedades de su atmósfera, de su hidrosfera, de su litosfera, de su estructura profunda, producen desequilibrios internos locales, diarios o estacionales que multiplican los cauces para los flujos de energía y materia. Hay desequilibrios termodinámicos (*gradientes*) de radiación, de temperatura, de presión, químicos. Los caminos de la energía y de la materia en el remanso Tierra son tortuosos, tienen infinidad de ramificaciones, se arremolinan, recorren bucles, conforman una red de carácter físico-químico muy bien entretejida.⁸ Dondequiera que haya un desequilibrio en el remanso, un desnivel termodinámico, un gradiente, se pondrá en marcha un proceso de transformación de energía, una caída por el desnivel. Todos esos procesos

conservarán la cantidad de energía pero, a la vez, todos rebajarán su calidad, su capacidad de producir más procesos. Los desequilibrios termodinámicos no son desniveles de cantidad, son desniveles de calidad, y los procesos que originan no consumen energía, la degradan. Dondequiera que haya un desequilibrio, procesos nacidos de él se mantendrán a costa de reducirlo, hasta anularlo. Pero si un flujo de energía de calidad alimenta continuamente el remanso, sus desequilibrios y los procesos de transformación se mantendrán.⁹

El remanso Tierra es un sistema abierto y complejo, que se mantiene en desequilibrio porque está alimentado por dos fuentes de energía de calidad: el Sol y su núcleo caliente.¹⁰ La radiación solar que la Tierra intercepta es radiación de 5800 K. La temperatura de su núcleo está entre 4000 y 6000 K. La Tierra no acumula energía, emite al espacio tanta como alimenta sus flujos internos. Pero la energía que la Tierra devuelve al espacio, después de remansarla y multiplicar sus cauces, es radiación de 280 K, energía usada, más fría, degradada a causa de los procesos que pone en marcha. La Tierra es, desde este punto de vista una enorme y eficaz máquina de reducción del gradiente entre la radiación emitida por el Sol y la que llena el universo.¹¹ Cuando el Sol se apague y el núcleo del planeta se enfríe, todo desnivel termodinámico en la Tierra se acabará, todo escalón de calidad de energía se allanará, todos los procesos se pararán, se alcanzará la uniformidad, el equilibrio. Pero hasta entonces, el remanso Tierra mantendrá sus diferencias, su complejidad, bullirá de animación.

Idea clave 3:

Los vivos son sistemas en desequilibrio, autoorganizados, autorreplicantes, evolutivos

Los vivos son sistemas complejos que se mantienen en desequilibrio, que lo consiguen aprovechando flujos de energía de calidad cuyo origen les es ajeno; que tienen unidad, que pueden considerarse entidades separadas del medio que habitan; que son autónomos en su funcionamiento, pero dependientes del medio con el que intercambian la materia y la energía que necesitan para organizarse, crecer y reproducirse, que así se mantienen vivos; que poseen moldes internos para copiar sus componentes y sus procesos, que así se multiplican; que por estar en permanente cambio, por estar vivos, acumulan defectos, desórdenes, y se deterioran hasta desaparecer como unidades de estructura y función, hasta que mueren; que interaccionan con el medio y entre sí, que por esa interacción evolucionan.¹²

Los vivos actuales son sistemas *bioquímicos* que realizan procesos autónomos de *metabolismo* (los procesos necesarios para obtener la materia y la energía necesarias para su funcionamiento, crecimiento y mantenimiento) y *replicación* (los procesos necesarios para producir copias de sí mismos). Metabolismo y replicación están inextricablemente unidos. La replicación necesita materia y energía que aportan los procesos metabólicos. El metabolismo necesita moléculas complejas que el sistema de replicación produce. Los vivos no son cosas, son procesos. Procesos altamente organizados. Y autónomos, esto es, *autoorganizados*. O si se prefiere, *alterorganizados*, organizados por un

gradiente externo a ellos que aprovechan para organizarse, funcionar y replicarse.¹³

La capacidad de autoorganizarse de un sistema complejo no es exclusiva de los vivos. Hay sistemas no biológicos bien estudiados en los que la organización interna surge de un estado anterior no organizado. Son sistemas puramente físicos o químicos abiertos, en desequilibrio y *disipativos*, como los vivos. La autoorganización surge cuando se coloca al sistema en medio de un desequilibrio termodinámico mantenido que puede degradar.¹⁴ En el sistema se ponen en marcha procesos que ordenan sus componentes hasta alcanzar un estado improbable y mantenerse en él mientras persistan los gradientes externos y las *ligaduras* que provocan ese comportamiento. Los sistemas complejos abiertos, en desequilibrio, disipativos y autoorganizados tienen en común que sus estados organizados aprovechan más, degradan más completamente la energía que fluye a su través antes de devolverla a su entorno. Todos parecen respuestas a la necesidad de "comerse" el gradiente de la manera más completa posible. La autoorganización destruye gradientes con más eficacia y se mantiene con el fin de seguir destruyéndolo.¹⁵

Idea clave 4:

Los vivos cumplen la Segunda Ley de la Termodinámica

La Segunda Ley de la Termodinámica, la ley de crecimiento de la *entropía* es la que regula la evolución de los sistemas físicos *aislados*. Según ella, todo sistema que no interactúe con otro cambia de manera que un estado posterior es siempre de mayor entropía que el anterior. Esto quiere decir que es más probable, de mayor desorden, que es menos capaz de cambiar que el anterior, que tiene que tener menos desequilibrios internos.

Los procesos internos de los vivos generan orden. También lo hacen sus interacciones, entre ellos y con el medio, orden ecológico. El incremento de orden que produce la actividad de los vivos supone disminución de la entropía interna. Esto no viola la Segunda Ley porque los vivos no son sistemas aislados. Necesitan interactuar con el medio que habitan para mantener sus procesos vitales aprovechando desequilibrios termodinámicos, degradando energía, aumentando la entropía en el medio exterior. El balance total de entropía es positivo, como requiere la Segunda Ley al considerar el conjunto vivo-medio como sistema aislado. Lo que disminuye la entropía interna de los sistemas vivos es menos de lo que aumenta la externa. Los vivos cumplen la Segunda Ley en su provecho.¹⁶ Se puede pensar incluso que es la tendencia natural a la anulación de desequilibrios termodinámicos en sistemas aislados, que la Segunda Ley impone, la que les permite ser y mantenerse vivos.¹⁷

Pero los vivos son sistemas en permanente cambio. Ser cambiante es condición esencial de los vivos. Los vivos medran en el desequilibrio y ellos mismos son sistemas en desequilibrio. Y la Segunda Ley es inexorable en su empeño por anularlos. Impone que haya desórdenes, que se produzcan errores en el funcionamiento de los vivos, que se pierda alguna batalla en la guerra del vivo por mantener sus desequilibrios internos, por mantenerse vivo. Algunos

desórdenes se irán acumulando y el vivo dejará de funcionar, morirá. Cumplen los vivos en su provecho la Segunda Ley para mantenerse vivos, pero por cumplirla, mueren.

Idea clave 5:

El universo cumple la Segunda Ley de la Termodinámica

El estado más antiguo del universo del que se tienen noticia observacional es el del momento en que se formaron los primeros átomos. En aquel momento, sólo 300000 años después del estado Big bang, cuando la expansión enfrió el universo lo suficiente, núcleos y electrones pudieron ligarse y formar átomos de hidrógeno, helio y litio, estructuras neutras. Además, también a causa de la expansión, bajó la densidad de materia y los fotones pudieron empezar a viajar libremente, sin estorbos, sin sobresaltos. El universo se hizo transparente y ya no ha dejado de serlo. Aquellos fotones, por primera vez libres de interacción con la materia, que llenaban el universo en aquel momento, lo siguen llenando ahora y se detectan en cualquier dirección. La *radiación cósmica de fondo* (CBR en sus siglas inglesas) es, según el modelo *Big bang*, el conjunto de aquellos primeros fotones libres. La CBR es un auténtico fósil, una huella del estado observable más antiguo del universo.¹⁸

La radiación de fondo es una radiación electromagnética como otra cualquiera. Los fotones que la componen son normales. Por ahí no hay nada de especial. Pero la mezcla, el conjunto de fotones de la radiación de fondo tiene unas propiedades singulares, unas propiedades de importancia cosmológica porque de ellas se obtienen datos sobre como era nuestro universo en el pasado.

La radiación de fondo es un inmenso conjunto de fotones que viajan por el universo sin origen ni destino específico. Se encuentran por doquier, de forma que se podrían detectar en cualquier lugar apuntando a cualquier sitio. Esta es la primera propiedad singular de la radiación de fondo: no procede de fuentes puntuales, nos llega de todas partes y es *isótropa*, esto es, sus propiedades no dependen de la dirección en que se estudian. Todo esto se resume diciendo que la radiación de fondo llena el universo y lo llena uniformemente. Esta es la primera propiedad importante.¹⁹

La segunda es la siguiente: la radiación de fondo es como la de un *cuerpo negro* de temperatura 2'7 K. Un cuerpo negro es un sistema físico en el que la radiación está en equilibrio con la materia. Esto quiere decir que, en ese sistema, cualquier objeto emite tanta radiación como recibe. También quiere decir que en un cuerpo negro la temperatura es la misma en todas partes, que el cuerpo negro es un sistema en equilibrio termodinámico.

Así pues, la CBR nos está diciendo que hubo un estado primitivo del universo de distribución homogénea de materia y radiación en equilibrio termodinámico. La CBR prueba que aquel estado era muy uniforme, muy simple, con la misma temperatura por todas partes, un estado de cuerpo negro al que corresponde entropía máxima.²⁰

¿Cómo puede ser que de un estado así se pase a otro dotado de estructuras, un estado con galaxias, estrellas, planetas con los desequilibrios suficientes para desarrollar vida, con seres vivos, con seres capaces de pensar sobre todo esto?

¿Cómo puede crecer la entropía global de un sistema aislado que arranca en un estado que parece de entropía máxima? ¿Cómo pudo el universo evolucionar sin violar la Segunda Ley?

La respuesta está en dos propiedades de nuestro universo: que está en expansión y que en él existe la *interacción gravitatoria*. El balance de entropía debe incluir la de carácter gravitatorio.

Los estados de distribución uniforme de materia son gravitatoriamente inestables. Sólo pueden mantenerse si la agitación térmica impide la formación de grumos por atracción gravitatoria. Si el universo no estuviera en expansión, el estado que originó la CBR se habría mantenido, el universo permanecería en aquel estado de equilibrio inestable muerto. Pero al expandirse se enfrió y la interacción gravitatoria pudo actuar, pudo amontonar átomos, pudo formar nubes de gas, formar galaxias, encender estrellas, producir desequilibrio.²¹

El estado de distribución uniforme de materia y radiación en equilibrio era de entropía máxima en cuanto cuerpo negro. Pero era también de máximo potencial de cambio por interacción gravitatoria, de mínima entropía respecto de esta interacción. Al producirse acumulaciones de materia su entropía aumentó, compensando con creces la disminución de entropía asignada a la formación de estructuras complejas. La interacción gravitatoria aportó el capital de entropía necesario para pasar de un estado primitivo de equilibrio termodinámico al estado actual de desequilibrio termodinámico que sostiene estructuras complejas a nivel local. La interacción gravitatoria nos ha hecho posibles.²²

Idea clave 6:

La vida, un episodio de la evolución del universo

El estado más primitivo del universo del que se han medido propiedades era un estado simple, uniforme, de equilibrio entre materia y radiación. Era un estado de cuerpo negro cuya huella fósil, la CBR, la que permite estudiarlo, llena el universo todavía.

Precisamente por el carácter uniforme de la distribución de materia de aquel estado, su potencial gravitatorio era máximo y su entropía gravitatoria mínima.

Como a causa de la expansión el universo se enfriaba, se rompió el equilibrio inestable de aquella distribución uniforme de materia y se empezaron a formar grumos que, andando el tiempo, maduraron en estructuras gravitatorias de distinto nivel: estrellas, cúmulos de estrellas, galaxias, cúmulos y supercúmulos de galaxias. Aumentó la entropía global y aparecieron estructuras a nivel local.

La presión gravitatoria encendió las estrellas mientras la expansión enfrió el universo. Unas son las luminarias calientes que se ven cada noche, el otro la

oscuridad fría que las contiene. Este universo está, ahora, en desequilibrio termodinámico.

Como otras muchas estrellas, a causa de ese desequilibrio, el Sol vierte al espacio enormes cantidades de energía de calidad. El planeta Tierra, como muchos otros, con el Sol caliente por un lado y el frío universo por otro, intercepta una pequeña parte de la energía emitida por el Sol y se aplica a la tarea de reducir el gradiente térmico entre el Sol y el universo, al dictado de la Segunda Ley de la Termodinámica. Devuelve al universo la misma cantidad de energía que recibe, después de aprovecharla, después de degradarla.

A menos en la Tierra, algunos sistemas se instalaron en el desequilibrio, aprovechando gradientes a la vez que los reducían. Se autoorganizaron y alcanzaron la capacidad de replicarse. La vida se desarrolló, y se mantiene, cumpliendo la Segunda Ley en su provecho.

En el futuro, el universo seguirá expandiéndose y cumpliendo la Segunda Ley, su entropía total seguirá creciendo. Alcanzará un equilibrio termodinámico muy frío y muy oscuro donde la vida no tendrá gradientes en los que medrar. Desde el punto de vista de la física, la vida habrá sido un episodio en la historia del universo, un episodio de la evolución de un sistema aislado con ligaduras internas.²³

Notas

¹ La oscuridad de la noche es una evidencia. Pero la pregunta "¿por qué es oscura la noche?" no tiene una respuesta evidente. Digges (1576), Kepler (1610), Cheseaux (1744), Olbers (1823) reflexionaron sobre esa pregunta en distintos contextos históricos. Sus textos pueden verse en Koyré, *Del mundo cerrado al universo infinito*; Harrison, *Darkness at night*; Dickson, *La bóveda de la noche*. En el siglo XX, Bondi, *Cosmología*, llamó "Paradoja de Olbers" a las reflexiones sobre esa cuestión. Desde entonces la "Paradoja de Olbers" es un tema frecuente en trabajos de cosmología de muy distintos niveles. Longair, *La evolución de nuestro universo*, considera que la oscuridad de la noche es una propiedad de este universo que debe ser explicada por cualquier modelo cosmológico. Aquí se trata la oscuridad de la noche como evidencia del desequilibrio termodinámico del universo. Para más detalles, ver Tomé, *La paradoja de Olbers*.

² La luz es un tipo de radiación electromagnética, una forma de energía que, liberada por sistemas materiales, se propaga como una onda electromagnética, una onda un poco más desconocida que otras pero onda al fin y al cabo. Todas las radiaciones electromagnéticas tienen propiedades similares. Pero unas son visibles y otras no. La luz es la radiación electromagnética visible, esto es, la que el ojo es capaz de detectar. Hay muchos objetos que emiten radiaciones electromagnéticas que el ojo humano no puede detectar, "luz" no visible que puede ser detectada mediante instrumentos apropiados. En estos párrafos, luz (sin entrecomillar) significa radiación electromagnética visible. Y el entrecomillado "luz" se refiere la "luz visible y no visible" o, más propiamente, a la radiación electromagnética de cualquier tipo.

³ La historia del universo es la historia de una expansión y del enfriamiento consiguiente. Desde el principio, el espacio no ha dejado de estirarse (de cambiar la escala del retículo de coordenadas) y la temperatura ha ido bajando sin descanso. Se trata de la temperatura media del universo, la que mide el nivel medio de energía en el universo en conjunto. Localmente, por ejemplo en el interior de una estrella, la temperatura puede haber crecido durante cierto tiempo.

Para que un sistema se enfríe debe disminuir su nivel de energía. Sólo puede hacerse de dos formas. La primera, cediendo energía a otro sistema más frío. De esta forma, su nivel de energía (y su temperatura) disminuye. La segunda, expandiéndose, aumentando su tamaño sin recibir ni ceder energía. De este modo, la cantidad de energía del sistema se mantiene pero su nivel (su temperatura) baja. Es como si una piscina se estirara: mantendría la misma cantidad de agua pero el nivel del agua descendería porque se repartiría por más superficie.

Para el universo, sistema aislado por excelencia, intercambiar energía con otro sistema es imposible. Por principio, no existe sistema material alguno aparte de él. El universo es todo lo que existe. No puede, por tanto, enfriarse cediendo energía a otro sistema. Para el universo no hay alternativa, la única vía posible de enfriamiento es la expansión.

⁴ El Sol vierte el universo $3'85 \cdot 10^{26}$ Julios de energía cada segundo. Equivale a la potencia de 2000 billones de centrales nucleares. El Sol emite en un segundo casi un millón de veces la energía "consumida" en el mundo en un año, más energía que la "consumida" por la humanidad en toda su historia.

Esta energía tiene origen en los procesos nucleares que se producen en su interior. La cantidad de energía liberada equivale a la masa perdida durante el proceso. La equivalencia viene dada por la ecuación de Einstein $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ donde ΔE es la energía liberada, Δm la masa perdida y c la velocidad de la luz, $3 \cdot 10^8$ m/s. Pues bien, para liberar esos $3'85 \cdot 10^{26}$ Julios cada segundo, el Sol pierde más de 4 millones de toneladas

de masa cada segundo, al transformarse hidrógeno en helio. Conociendo este dato, la masa del Sol, y otros sobre el tipo de reacciones nucleares que ocurren en su interior, se puede estimar un límite superior para el tiempo que le queda de "vida". (Ver Altschuler p 37; Puig y Corominas; 163-166 Smil, Energías, pp 25-30)

⁵ Nuestro universo es muy frío. Está tan solo a 2 grados y siete décimas por encima del cero absoluto, es decir a $-270,3$ grados centígrados. Eso quiere decir que cualquier objeto, situado en cualquier lugar del universo alejado de todo emisor de energía, se iría enfriando (si su temperatura fuera mayor que $2,7$ K) o calentando (si su temperatura fuera menor de $2,7$ K) hasta llegar a esa temperatura. Más técnicamente, $2,7$ K es la temperatura de un cuerpo negro cuyo espectro es el mismo que el de la radiación que llena el universo, la llamada radiación cósmica de fondo (CBR en sus siglas inglesas) (Ver Idea clave 5).

El universo es un recipiente muy grande que, además está en expansión. Sus dimensiones y su ritmo de expansión son tales ni todas las estrellas juntas vertiendo energía, durante toda su vida, conseguirán aumentar su temperatura. El universo continuará en desequilibrio termodinámico y los torrentes de energía estrellas-universo no perderán desnivel. Como señala Bondi, Cosmología, p 27, la debilidad de la radiación "ambiente" es tan grande en nuestro universo, que "la energía radiada la consideramos en muchos aspectos como energía perdida [...]. El calentamiento de una estrella por la radiación que pueda alcanzarla en su viaje por el espacio es tan despreciable que ni siquiera se menciona."

⁶ Nuestro universo es transparente a la radiación electromagnética. Por eso la luz nos puede llegar desde lugares inconcebiblemente lejanos sin alteraciones. En nuestro universo los fotones viajan "como Perico por su casa", sin impedimentos ni frenos, sin oposición. Más claro: que cuando se ve una estrella cualquier noche es porque algún fotón que se emitió allí ha viajado hasta el ojo sin problemas y ha sido capturado y analizado por él; que ver la estrella es posible porque el cristalino que enfoca el fotón hacia la retina es la primera materia que el fotón encuentra en su viaje por el universo después de haber sido lanzado desde la estrella a ciegas, en una dirección cualquiera. Y si el fotón no se hubiera topado con ese ojo, no hubiera sufrido ese accidente, habría seguido su camino normal, mucho más largo, como el de muchos de sus compañeros emitidos en la estrella a la vez que él, que todavía no habrán acertado con ningún estorbo con el que relacionarse, con el que interaccionar.

Se calcula que, por término medio, un fotón emitido en cualquier punto de nuestro universo en una dirección al azar, tardará en interaccionar con algo de materia más tiempo que el que ha transcurrido desde el principio del universo. Se resume esto diciendo que "la vida media de un fotón en nuestro universo es mayor que la edad del universo". Esto quiere decir que, incluso los fotones que nos lleguen de los objetos más lejanos, los que necesitan más tiempo de viaje, tienen tiempo de llegar hasta nosotros antes de que, estadísticamente, se topen con cualquier materia. O, dicho de una forma equivalente, el camino libre medio, el camino medio sin sobresaltos de un fotón en nuestro universo, es mayor que la distancia que nos separa de los objetos más lejanos.

⁷ Se estima actualmente que la cuarta parte de las estrellas poseen sistemas planetarios. En los últimos 22 años se han descubierto más de 562 planetas extrasolares, sólo entre las estrellas próximas a nosotros. Este año, hasta Junio, se llevan descubiertos 42. Nuestra galaxia tiene mil millones de estrellas y se estima que hay mil millones de galaxias en el universo. (Ver catálogo de exoplanetas en <http://exoplanet.eu/catalog.php>)

Por otra parte, no todos los remansos interesantes tienen que ser planetas. En nuestro sistema solar, Europa, satélite de Júpiter, y Encélado, satélite de Saturno, tienen hielo

en superficie y, posiblemente, agua bajo él. Interceptan poca energía solar (están muy lejos del Sol) pero, en cambio, grandes fuerzas de marea, debidas a la gran masa de sus planetas, podrían calentar sus núcleos y generar gradientes térmicos que produjeran flujos de energía y movimientos de materia importantes bajo su superficie helada.

⁸ Se trata de los movimientos generales y locales del aire atmosférico, anticiclones, borrascas, ciclones, tornados; las corrientes oceánicas, mareas, oleaje; los ciclos del agua, nubes, precipitaciones, corrientes superficiales y subterráneas; ciclos de otras sustancias, del CO₂ por ejemplo. Todos ellos están basados en la existencia de desequilibrios alimentados por gradientes (gravitatorios, de radiación, térmicos, químicos), conllevan flujos de energía y transporte de materia, y generan pautas de orden mantenidas.

⁹ "La naturaleza aborrece los gradientes" (Schneider Sagan, La termodinámica de la vida, pp107-113)

¹⁰ La energía entrante en el sistema procedente del núcleo es muy pequeña en relación con la procedente del Sol. Pero es importante desde el punto de vista geológico. Por otro lado, sustenta ecosistemas que surgen alrededor de "fuentes termales" submarinas que surgen en las dorsales oceánicas, allí donde magmas ascendentes van solidificando al contacto con el agua fría. Algunas hipótesis sitúan en estos ambientes el origen de los vivos.

¹¹ Schneider Sagan, La termodinámica de la vida, p 178, p 209-211, 278-288.

¹² La vida en la Tierra es una, todos sus modos comparten los mismos "descubrimientos" evolutivos, todos proceden de un origen común. Todos los vivos actuales son sistemas separados del medio por membranas que permiten intercambiar con él materia y energía. Todos ellos requieren dos cosas esenciales para mantenerse vivos: CHON (carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) y energía. La vida ha "inventado" sólo dos estrategias para satisfacer esos requerimientos: *autotrofia*, la que practican las plantas (entre otros), y *heterotrofia*, la que practican los animales (entre otros). Las moléculas de ADN, inertes químicamente, son el molde que usan los vivos para copiarse a sí mismos. El procedimiento de copia es complicado pero fiable y de éxito: todos los vivos usan el mismo. (Duve, La vida en evolución, p 25; Schopf, La cuna de la vida, p 148-149)

¹³ El problema frontera de la biología no es tanto entender qué es ser y estar vivo, sino reconstruir su origen en un ambiente completamente distinto del actual, una Tierra con una corteza recién solidificada, volcánicamente muy activa, con una atmósfera sin oxígeno, que viajaba por un sistema solar lleno de restos de su formación y, por tanto, bombardeada sin cesar por fragmentos rocosos, algunos de gran tamaño. El ambiente en el que se originó la vida era, por definición, estéril y cuando aparecieron los vivos dejó de serlo por el mero hecho de esa aparición. El problema es reconstruir un proceso que tuvo que desaparecer necesariamente al aparecer los vivos. Un proceso que no pudo dejar huellas fósiles, un proceso cuyos únicos rastros hay que buscarlos en el interior de sus resultados, los vivos que originó (Schneider Sagan, La termodinámica de la vida, 132, 223), y en las alteraciones del medio que los vivos produjeron desde que empezaron a existir (Schopf, La cuna de la vida, 172-183).

¹⁴ Si una lámina de líquido cubre un recipiente cuyo fondo está más caliente que el ambiente se pondrá en marcha un proceso que irá enfriando el fondo y calentando la

superficie del líquido y el ambiente hasta igualar las temperaturas. Mientras dure el proceso el líquido estará en desequilibrio, más caliente en el fondo y progresivamente más frío hasta la superficie. El estado final es líquido en equilibrio, a igual temperatura por todas partes. Si se mantiene el desequilibrio, calentando continuamente el fondo y enfriando continuamente la superficie (o al revés), el líquido se mantendrá en desequilibrio. Mantenido en ese estado, y según sean las propiedades del líquido y las condiciones de contorno (densidad, tensión superficial, viscosidad y conductividad del líquido, grosor de la lámina, tamaño y forma del recipiente, diferencia de temperatura entre fondo y superficie), esto es, las ligaduras del sistema, el líquido se organizará en un conjunto de células de convección que optimice el flujo de energía entre el fondo y la superficie. La geometría de las células (rectangulares, cuadradas, hexagonales o concéntricas) dependerá de las ligaduras. En todo caso, las pautas de autoorganización son sorprendentes, no pueden explicarse por coincidencia o suma de acciones mecánicas, dado el número de partículas que implica, sino como respuesta del conjunto ante una causa que actúa sobre el conjunto. "Los procesos complejos no surgen de la construcción mecánica, sino de la coherencia en el seno de un flujo de energía" (Schneider Sagan, "La termodinámica de la vida", p 232 o 142) (También Gribbin, Así de simple, pp167-170).

¹⁵ Schneider Sagan, La termodinámica de la vida, pp 153, 172, 234, 272.

¹⁶ Brown, La energía de la vida, pp 93-96.

¹⁷ El proceso de destrucción de gradientes genera estructura cuando hay ligaduras que cortan el camino directo al equilibrio. La Segunda Ley de la Termodinámica, la que impone el cambiar hacia el equilibrio, hacia el desorden final, es, a la vez, la que "obliga" al sistema con ligaduras a buscar caminos de cambio tortuosos de los que resulta orden efímero.

¹⁸ Los fotones de la CBR que detectamos ahora son los fotones más antiguos del universo. Llevan casi 13.700 millones de años (la edad del universo) viajando sin interaccionar con nada, hasta ese extremo es transparente nuestro universo. La primera materia con la que interaccionan es la de los aparatos con los que se detectan.

Todos los fotones emitidos por cualquier objeto del universo son posteriores. Éstos, además, son muy pocos en relación con los CBR. Los fotones CBR son la enorme mayoría de todos los fotones del universo.

A medida que el universo se expandía, que el espacio se estiraba, los fotones CBR se estiraban con él. En algún momento fueron azules, en alguno posterior fueron rojos. Ahora tienen longitudes propias de la banda de microondas del espectro electromagnético. Todos los fotones se estiran a medida que viajan por el universo, en la misma medida que se estira, se expande, el espacio. Por eso, los fotones que nos llegan de galaxias lejanas, llegan "corridos al rojo". Pero los fotones CBR son los más estirados de todos porque son los más antiguos, los que llevan más tiempo viajando, los que llevan más tiempo estirándose.

¹⁹ Normalmente, en Astrofísica, las fuentes de radiación son puntuales o de reducida extensión. Cuando se mira al cielo vemos estrellas en unos sitios y en otros no. Lo mismo pasa cuando se mira con telescopios, radiotelescopios (hay fuentes de radio en unos sitios sí y en otros no) o con telescopios de infrarrojos, de rayos X o de otro tipo. Para detectar una fuente de radiación hay que apuntar hacia ella. Otra forma de decir lo mismo es que, normalmente, las fuentes de radiación electromagnética en el universo están localizadas.

Por tanto, cuando se dirige un detector de radiación electromagnética a un punto del espacio donde no haya ninguna fuente, lo que se espera es que el detector marque cero, que desde aquel punto no nos llegue ningún fotón. La sorpresa es que al hacer eso con un detector de microondas no sucede así, independientemente de hacia donde se apunte. Desde cualquier dirección se recibe radiación, la misma radiación. Sus propiedades no dependen de la dirección en que se apunta el detector.

La isotropía de la radiación de fondo no es absoluta. Sus propiedades varían ligerísimamente de unas a otras direcciones del espacio. Estas ligerísimas variaciones reflejan inhomogeneidad en el estado que originó la CBR y corresponden con las irregularidades actuales de la distribución de materia. Se pueden ver detalles en la página oficial del satélite WMAP http://map.gsfc.nasa.gov/mission/sgoals_universe.html

²⁰ A medida que el universo se expandía, los fotones de la CBR se fueron estirando con el espacio y el universo se fue enfriando. En todo momento, el conjunto de fotones CBR fue correspondiendo a la distribución (espectro) de cuerpo negro correspondiente a la temperatura del universo en ese momento. La CBR nació con un espectro de cuerpo negro a una temperatura muy elevada (unos 3000 K) cuando el universo tenía unos 300000 años. A medida que el universo se ha expandido, el espectro ha seguido siendo de cuerpo negro pero la radiación se ha enfriado hasta 2,7 K. Es como si solo hubiera cambiado la escala del espectro en relación con el cambio de escala del universo (Ver Guth, El universo inflacionario, pp 100-101). La CBR conserva sus propiedades de radiación cuerpo negro porque no interactuó con la materia, por la transparencia del universo. Así CBR y materia evolucionan por separado. Una se mantuvo como huella del equilibrio térmico primitivo y la otra fue produciendo desequilibrios.

²¹ Las interacciones son el pegamento que necesitan las partes para enlazarse en estructuras cada vez más complejas. Las interacciones actúan frente al movimiento caótico de los componentes separados de un sistema amorfo, ligándolos de forma ordenada y estable. El movimiento caótico de las partículas componentes es la agitación térmica, medida por la temperatura. Para que una interacción pueda ligar dos partículas, su intensidad debe ser suficiente para detener la agitación caótica. Las interacciones forman estructuras si la agitación caótica no es demasiado grande o, en otros términos, si la temperatura es lo suficientemente baja.

Hay cuatro tipos de interacciones físicas, llamadas fuerte, débil, electromagnética y gravitatoria, por orden decreciente de intensidad. En la historia del universo actuaron por ese orden. La gravitación fue la última en actuar porque tuvo que esperar a que la temperatura fuera suficientemente baja. Pero actúa sobre toda materia, en toda situación, se dice de ella que es incansable o implacable. Su alcance es infinito y es la responsable de que se mantengan unidas las grandes acumulaciones celestes de masa: planetas y satélites, sistemas estelares, galaxias, cúmulos y supercúmulos de galaxias. La gravitación es responsable de la estructura del universo a gran escala. Más sobre tipos de interacciones y su papel cosmológico puede verse en: Greene, El universo elegante, pp 21-28; Mercader, ¿Qué sabemos del universo?, pp 15-18, 32-41.

²² Penrose, Ciclos del tiempo, pp 74, señala que es la hipótesis de homogeneidad e isotropía "la que implica la enorme supresión de grados de libertad gravitatorios en el estado inicial", la que conlleva "la entropía inicial extraordinariamente baja del universo". Y en las páginas 74-77, usa ejemplo cercano para hacer mostrar cómo el orden biológico es posible debido al aumento de entropía de carácter gravitatorio en el universo. Gribbin, Así de simple, pp 171-178 presenta también esta idea.

²³ El consenso actual en cosmología es que nuestro universo está en expansión acelerada. En este marco su futuro es la expansión sin fin, el enfriamiento incesante, la

oscuridad creciente y la disminución de la densidad sin retorno. En ese camino, desaparecerá toda interacción, se limarán todos los desequilibrios locales y cesará todo cambio. El universo alcanzará de nuevo el equilibrio, alcanzará, de nuevo, un estado muerto. Discusiones detalladas puede verse en Lozano, *El cosmos en la palma de la mano*, pp367-36; Mercader, *¿Qué sabemos del universo?*, pp 117-132; Penrose, *Ciclos en el tiempo*, 146-148; Rees, *Antes del principio*, pp 213-226.

Bibliografía citada

- Altschuler, D.R., 2001, *Hijos de las estrellas*, Cambridge University Press, Madrid, 2001
- Bondi, H., 1960, *Cosmología*, Ed Labor, Barcelona, 1972
- Brown, G., 1999, *La energía de la vida*, Ed Crítica, Barcelona, 2002
- Dickson, F. P. 1968, "La bóveda de la noche", Ed Fondo de Cultura Económica, México, 1975
- Duve, C., 2002, *La vida en evolución*, Ed Crítica, Barcelona, 2004
- Greene, B., 1999, *El universo elegante*, Ed Crítica, Barcelona, 2001
- Gribbin, J., 2004, *Así de simple*, Ed Crítica, Barcelona, 2006
- Guth, A., 1997, *El universo inflacionario*, Ed Debate, Madrid, 1999
- Harrison, E., 1987, "Darkness at night", Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts)
- <http://exoplanet.eu/catalog.php>)
- http://map.gsfc.nasa.gov/mission/sgoals_universe.html
- Koyré, A., 1957, "Del mundo cerrado al universo infinito", Ed Siglo XXI, Madrid, 1984
- Longair, M., 1996, *La evolución de nuestro universo*, Cambridge University Press, Madrid, 1998
- Lozano, M., 2002, *El cosmos en la palma de la mano*, Ed Mondadori, Barcelona
- Mercader, J., 1996, *¿Qué sabemos del universo?*, Ed Debate, Madrid
- Penrose, R., 2010, *Ciclos del tiempo*, Ed Mondadori, Barcelona, 2010
- Puig, J. y Corominas, J., 1990, *La ruta de la energía*, Ed Antrophos, Barcelona
- Rees, M., 1997, *Antes del principio*, Ed Tusquets, Barcelona, 1999
- Schopf, J., 1999, *La cuna de la vida*, Ed Crítica, Barcelona, 2001

Smil, V., 1999, *Energías*, Ed Crítica, Barcelona, 2000

Schneider. E. y Sagan, D., 2005, "La termodinámica de la vida", Ed Tusquets, Barcelona, 2008

Tomé, J, 2003, La paradoja de Olbers, Publicaciones de ApEA, Cuaderno nº 6