

Inevitable vida

En algún pasillo de alguna Facultad de Bioquímica de alguna universidad resuena irónica la pregunta: “¿Ahora los físicos también creen que pueden explicar la vida?” ¿El motivo? La noticia de que un joven investigador se adjudica el descubrimiento de “una nueva teoría sobre el origen de la vida” basada en la famosa ley física de la entropía. Sin embargo, las ideas sobre la relación entre la vida y las leyes fundamentales de la física tienen varias décadas de discusión. Aquí la historia.

Guillermo Mattei | gmattei@df.uba.ar

La segunda ley de la termodinámica ha fascinado a todo tipo de pensadores más allá de sus implicancias específicas en la descripción que de la naturaleza hace la física (Ver *EXACTAMENTE* #28, “Sobre esas presuntivas aguas del tiempo”). Nietzsche, Borges, Engels, entre otros, especularon sobre sus presuntas generalizaciones. En particular, una clásica e ineludible relación es la que se da entre la entropía y los mecanismos conocidos de los seres vivos. Ahora, la especulación se extiende al mismísimo origen de la vida.

Jeremy England, un joven profesor e investigador del *Massachusetts Institute of Technology*, en Estados Unidos, ha movido recientemente el ambiente científico al proponer una cuantificación de las diferencias de capacidad que tienen los simples agregados de carbono y los organismos vivos al capturar energía del ambiente y devolverla en forma de calor. Si

bien los últimos son muchísimo más eficientes que los primeros, el formalismo físicoquímico de England mostraría que, cuando un grupo de átomos está estimulado por una fuerza externa, como el Sol o un combustible químico, y rodeado por un entorno a una cierta temperatura, como el océano o la atmósfera, probablemente se reestructurará para ir disipando gradualmente cada vez más energía y, bajo ciertas condiciones, inexorablemente adquirirá la característica emblemática de la vida. “Si partimos de un agregado de átomos y los iluminamos lo suficiente, no sería sorprendente que obtuviéramos una planta”, es una de las osadas hipótesis de England.

En síntesis, no solo el origen sino la subsecuente evolución de la vida serían una inevitable consecuencia de una de las leyes más básicas y establecidas de la física. England redobla la apuesta: “Desde la perspectiva de la física, podemos decir que la evolución darwiniana es un caso particular de un fenómeno más general.” Por supuesto que las repercusiones y controversias en los medios

científicos se viralizaron con la celeridad de los tiempos actuales. Más allá de que importantes fundaciones e instituciones suelen plantar estas semillas de información en las redes, la temática disparada es apasionante.

La segunda

En el corazón de las ideas de England subyace la segunda ley de la termodinámica, ley del aumento de entropía o de la flecha del tiempo. La energía tiende a dispersarse con el transcurso del tiempo y la entropía es la medida de ese efecto. Desde un punto de vista probabilístico, lo que ocurre es que hay muchas más maneras en las que la energía puede esparcirse que en las que puede concentrarse. Las temperaturas de una taza de café y del aire de la habitación en la que se encuentra se igualarán irreversiblemente. El café nunca se calienta espontáneamente de nuevo porque las probabilidades están abrumadoramente alineadas en su contra para que gran parte de la energía del ambiente se centre al azar en sus átomos.

$$S = k \cdot \log W$$

έντροπία

έντροπία

$$S = k \cdot \log W$$

Έντροπία

$$S = k \cdot \log W$$

$$S = k \cdot \log W$$

έντροπία

$$S = k \cdot \log W$$

De todas maneras, uno de los padres de la mecánica cuántica, Erwin Schrödinger, acuñó a mediados del siglo XX el concepto de *neguentropía* para describir la capacidad de aquellos sistemas que pueden intercambiar materia, energía e información con sus entornos y bajar así su entropía sin violar la segunda ley. A mediados de la década del setenta, el belga Illya Prigogine recibió el Premio Nóbel de Química por extender esta noción a sistemas termodinámicamente desequilibrados, tales como los seres vivos.

Por su parte, a fines del segundo milenio, el físico polaco Christopher Jarzynski demostró que la entropía producida en un proceso termodinámico, tal como el enfriamiento de una taza de café, corresponde a una sencilla relación entre los valores de la probabilidad de que los átomos sigan por ese camino y de que lo hagan por el camino inverso; es decir, interactuando de manera tal que el café espontáneamente se caliente. Este resultado, de formulación muy simple, tuvo gran

poder predictivo en todo tipo de situaciones termodinámicas, tanto las estáticamente equilibradas como las muy alejadas de un escenario de equilibrio absoluto.

La llamada *autorreplicación celular* es, justamente, un proceso de disipación de energía a lo largo del tiempo. “Una buena manera de disipar más es hacer más copias de uno mismo”, grafica England en referencia a sus trabajos acerca de la cantidad mínima de disipación que puede ocurrir en la autorreplicación del ARN. La autorreplicación no es patrimonio exclusivo de los seres vivos. Muchos procesos naturales como los vórtices que se producen en fluidos turbulentos o no naturales (como los virus informáticos) son autorreplicantes. England postula que si la autorreplicación obedeciera a leyes generales los biólogos podrían evitarse buscar explicaciones darwinianas para cada proceso adaptativo y pensar más generalmente en términos de organización motorizada por la disipación.

El matrimonio entre la física y la biología

Respecto a esta presunta tensión entre las leyes generales de la física y el conocimiento biológico, Ignacio Sánchez, investigador del CONICET en el laboratorio de Fisiología Proteica del Departamento de Química Biológica de Exactas-UBA, opina que si bien es muy encomiable la fascinación que le producen al biólogo las decenas de miles de proteínas diferentes que usualmente tiene para estudiar, la pregunta “¿cuál es la ley general que subyace detrás de toda esa diversidad?” es muy necesaria.

Más allá de la real trascendencia del trabajo de England, la idea que expresa que detrás de todo conocimiento biológico habría muchas leyes fundamentales de la física queda flotando de manera bien perceptible. Sánchez explica: “Algún biólogo podría llegar a decir: ‘la división celular de una bacteria es algo maravilloso que jamás lograremos comprender’ y el físico diría: ‘sin embargo, si consideramos la termodinámica de los procesos

irreversibles, esto debería ocurrir más o menos así, con estas restricciones”. Tanto Sánchez como Diego Ferreiro, investigador del CONICET en el mismo laboratorio, se autodefinen como *físicos biológicos*, lo cual, lejos de implicar reduccionismos lineales, encarna una puesta del conocimiento biológico en el marco de las restricciones que describe la física en niveles más básicos.

Para Sánchez, un aragonés graduado en la Universidad de Zaragoza y doctorado en la Universidad de Basilea (Suiza), esta historia puede contarse empezando por el vitalismo o la añeja doctrina por la cual los seres vivos estarían impulsados por una fuerza inmaterial que, sin necesidad de postularla como sobrenatural, se diferenciaría claramente de nociones físicas tales como la energía. Con la formalización creciente del conocimiento por medio de la matemática, el vitalismo fue perdiendo terreno en tanto la química y la física fueron delimitándolo. “Como hizo Pasteur con sus experimentos sobre la generación espontánea”, ejemplifica Sánchez y agrega: “Durante el siglo XIX y buena parte del XX han estado ocupados en demostrar que la química de los seres vivos no es extraordinaria. Una vez desarrollada la Termodinámica, que es como la ley de las cosas que pueden ocurrir, si algo puede ocurrir va a ocurrir conforme a ella. Y en eso la biología no puede salirse de la norma”. Se trata de una estrategia analítica que no se centra en las reacciones químicas o en el detalle molecular sino en el aumento o no de una

magnitud, algo más abstracta, como la entropía del sistema. Schrödinger empezó a considerar cómo es que un ser vivo podía mantenerse organizado dentro de un universo que, de forma global, se desorganiza. Sánchez señala: “Buena parte de la termodinámica que se desarrolló en el siglo XIX es de procesos que se encuentran en situaciones de equilibrio, pero uno cae rápidamente en la cuenta de que los seres vivos no están para nada equilibrados, sino que todo lo que hacen lo hacen en escenarios muy alejados de sossegados equilibrios. Ilya Prigogine desarrolló la termodinámica del *no equilibrio* que es la más relevante para el problema de la vida”.

El asombroso mecanismo de la división celular es un desvelo para biólogos pero ¿cómo podemos describirlo en el lenguaje de la Termodinámica? En opinión de Sánchez, lo novedoso del trabajo de England reside en tratar a la replicación celular con ecuaciones generales de la termodinámica y llegar a predicciones contrastables sobre el origen y velocidad de la replicación celular. “Puede funcionar o no pero, desde el punto de vista científico, es estimulante”, opina.

Paradójicamente, el creacionismo es muy útil para describir la relación entre la biología y la mecánica estadística. “Algunos creacionistas sustentan su postura en la supuesta imposibilidad de que las proteínas de los seres vivos sean producto de la evolución. Dicen que dado el hiper astronómico número de secuencias posibles

de una proteína, no es posible que la evolución haya encontrado aquella que permite al organismo seguir viviendo”, explica Sánchez. El argumento es que, sin intervención divina, sería imposible encontrar las secuencias que funcionan pero “nosotros decimos que de hecho ahí están, funcionando, y que la termodinámica estadística es la herramienta que ayuda a entender cuantitativamente la búsqueda de una secuencia viable.”, aclara el físico biológico. Particularmente, el grupo de investigación de Sánchez oscila entre el estudio de estas leyes generales y de los mecanismos particulares de ciertas proteínas de virus que producen cáncer.

En cuanto a la posibilidad de tratar a los sistemas sociales –muchos organismos vivos de la especie *Homo sapiens* con desarrollos culturales diversos– con un abordaje nuevo que pudiera incluir cantidades abstractas que emulen a la entropía física, Sánchez opina: “Para mí, los sociales son también sistemas complejos de muchos componentes, por lo que tomar conceptos tales como información o entropía para estudiarlos puede ser útil. Obviamente ninguna aproximación resuelve todo, pero yo creo que abordajes de este tipo pueden aportar nuevas formas de generar conocimiento”.

Acerca de esos motores llamados células

Por su parte, el investigador del CONICET y profesor del Departamento de Física,

HUMOR por Daniel Paz



Esteban Calzetta es el autor del libro *Entropía*, sobre la entropía y la segunda ley de la termodinámica, conceptos que están involucrados, según sus palabras, en una polémica permanente.



Archivo Exactas Comunicación

Esteban Calzetta, opina sobre el trabajo de England: “Lo que está diciendo no está mal, pero es conocido desde hace un siglo y medio! Además vale solo para sistemas en estado estacionario, y si no están muy lejos del equilibrio, mejor. El problema es aplicarlo a sistemas tan complejos como una célula”.

Calzetta, que es autor del libro *Entropía* destinado a docentes de escuelas técnicas, sintetiza: “Si uno tiene un ser vivo, lo que le va a pasar con certeza, desde un punto de vista termodinámico, es que se va a morir, no que va a evolucionar”, y afirma: “No existe problema alguno en adoptar la hipótesis de que se pueden aplicar las leyes de la física al estudio de los seres vivos. La cosa es si esa hipótesis es o no de utilidad.”

Para leer más

Descargá gratis el libro *Entropía*, de Esteban Calzetta (2009), INET, Ministerio de Educación de la Nación

<http://www.inet.edu.ar/capacitacion-publicaciones/material-de-capacitacion/nueva-serie-de-libros/entropia/>

En la misma línea que la paradoja creacionista, Calzetta se pregunta en su libro: “¿Cuál es la probabilidad de que un plato de apfelstrudel se convierta espontáneamente en la Novena Sinfonía de Beethoven?” Esa conversión no viola la segunda ley siempre y cuando una cantidad suficiente de calor haya sido disipada al medio ambiente durante el proceso.

“En general, el punto de partida para analizar cualquier proceso biológico desde el punto de vista termodinámico es que los seres vivos son sistemas abiertos que funcionan extremadamente lejos del equilibrio, cosa que entusiasma a los físicos. Los sistemas biológicos viven al borde de un enorme precipicio; el peligro permanente de seguir el camino marcado por la termodinámica y caer en el equilibrio térmico”, se detalla en el capítulo “Entropía y vida”.

“La historia de un sistema biológico sigue el mismo patrón que el universo todo: cada proceso individual conlleva un aumento de entropía. El sistema consigue mantenerse estable reinicializándose continuamente mediante la absorción de energía con bajo contenido entrópico del medio ambiente. La fuente de energía con bajo contenido de entropía por excelencia es, como en el caso del universo en su conjunto, la radiación: en este caso la luz solar es absorbida por plantas verdes y reconvertida en azúcares. Gracias a la absorción de nutrientes, los seres vivos podemos compensar nuestra pérdida de energía al medio ambiente –ya sea que realicemos trabajo o, simplemente, disipemos calor– y mantener controlado el contenido de entropía de nuestro cuerpo, de manera de no salir disparados hacia el equilibrio térmico. Por supuesto, en el momento en que perdemos la capacidad de combatir eficientemente el aumento de la entropía, dejamos de ser seres vivos”, explica Calzetta.

Finalmente, el físico concluye: “En resumen, nada de lo que sabemos hoy en día sobre sistemas biológicos es realmente incompatible con nuestra hipótesis de trabajo de que se puede describir a un ser vivo en términos

físicos. La comprobación de que esta hipótesis es muy fértil reside en la explicación y comprensión de muchos procesos específicos que se llevan a cabo en la célula tales como la regulación de la tasa de mutaciones que controlan la transmisión de la información genética y el funcionamiento de máquinas moleculares, como la quinesina, que transporta material de un lado a otro”.

Biología: la nueva física de la matemática

Una mirada epistemológicamente bungeana acerca del maridaje entre la biología y la física podría afirmar que una de las claves del éxito en la creación de este tipo de conocimientos es la formalización. Matematizar siempre paga.

“La matemática es el nuevo microscopio de la biología. Es más, la biología es la nueva física de la matemática”, sintetiza el biólogo matemático Joel Cohen, profesor de la Universidad Rockefeller (Nueva York, Estados Unidos). Cohen, que ha realizado trabajos acerca de la transmisión del mal de Chagas en el noroeste argentino junto al profesor Ricardo Gürtler del laboratorio de Eco-Epidemiología del Departamento de Ecología, Genética y Evolución de Exactas-UBA, describe muy precisamente: “La matemática puede ayudar a los biólogos a comprender los problemas que de otro modo son demasiado grandes –la biosfera– o demasiado pequeños –estructura molecular–, o demasiado lentos –macroevolución–, o muy rápidos –fotosíntesis–, o demasiado lejanos en el tiempo –principios de extinciones–, o muy remotos en el espacio –vida en los extremos de la Tierra o en el espacio–, o demasiado complejos –el cerebro humano–, o demasiado peligrosos o lindantes con la ética –epidemiología de agentes infecciosos–”.

El bioquímico o el economista no deberían preocuparse, los físicos no pretenden permutar despreocupadamente células por resortes o individuos por átomos de hidrógeno; la formalización novedosa y creativa es lo que vale.