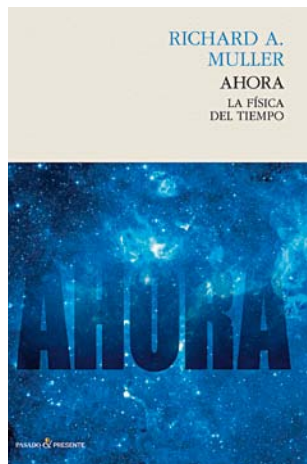


**TIME TRAVEL  
A HISTORY**

James Gleick  
Pantheon, 2016



**AHORA  
LA FÍSICA DEL TIEMPO**

Richard A. Muller  
Pasado & Presente, 2016

## Encontrar el tiempo

*Dos libros sobre el espinoso concepto de lo temporal*

¿Qué es el tiempo? Para quienes nos dedicamos a la física, el tiempo es una cantidad en nuestras ecuaciones,  $t$ . Se trata de la variable que usamos para representar una de las cuatro dimensiones de la variedad del espaciotiempo, término acuñado por el matemático Hermann Minkowski después de que las teorías de la relatividad de Albert Einstein comenzaran a mostrar que el tiempo y el espacio eran intercambiables. Y, sin embargo, podemos movernos libremente hacia delante y hacia atrás en el espacio, pero no en el tiempo. ¿Por qué?

En *Time travel*, el escritor científico James Gleick examina esta y otras cuestiones centrándose, principalmente, en la ciencia ficción de los viajes en el tiempo. Comienza con *La máquina del tiempo*, de H. G. Wells, libro al que vuelve a menudo y que precede en más de una década a la teoría especial de la relatividad de Einstein, formulada en 1905. La obra nos ofrece un agradable recorrido por la cuarta dimensión y la elegante maquinaria victoriana de Wells; los autores de la «edad de oro» de la ciencia ficción, como Isaac Asimov, quienes sentaron las bases para los tratamientos modernos de los viajes en el tiempo; y la serie *Doctor Who*. Gleick explora también las propuestas más intelectuales de escritores como David Foster Wallace y Jorge Luis Borges, que imaginaba el tiempo como un «jardín de senderos que se bifurcan», o el cineasta Chris Marker, cuyo corto de

ciencia ficción *La jetée* (1962) inspiró la película de cine negro sobre viajes en el tiempo *Doce monos* (1995).

No puede decirse que Gleick tenga reparos en hacer alarde de sus conocimientos; de hecho, introduce abundante información, sobre todo en las discusiones sobre física. La teoría general de la relatividad de Einstein, formulada en 1915, parece permitir la existencia de «curvas temporales cerradas»: caminos que empiezan en un lugar y momento dados y acaban exactamente en el mismo lugar y el mismo momento [véase «Una breve historia de los viajes en el tiempo», por Tim Folger; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2015]. Por desgracia, puede que crear un espaciotiempo con curvas de este tipo (es decir, una máquina del tiempo) sea imposible. Esta idea queda plasmada en la «conjetura de la protección de la cronología» de Stephen Hawking, según la cual el universo conspiraría para evitar la construcción de cualquier máquina del tiempo, pues ello requeriría disponer de estados de la materia imposibles físicamente, o podría generar un agujero negro alrededor de la máquina, lo que impediría acceder a ella.

Pero incluso el paso del tiempo tal y como lo percibimos normalmente, en un solo sentido, resulta misterioso. La mayoría de las ecuaciones microscópicas de la física poseen una simetría fundamental: no pueden distinguir si el tiempo avanza

o retrocede (matemáticamente, permanecen idénticas si sustituimos  $t$  por  $-t$ ). Sin embargo, no es así como experimentamos el tiempo. Nos movemos inexorablemente del pasado al futuro; recordamos el pasado y no tenemos conocimiento directo del futuro [véase «La flecha del tiempo», por Paul Davies; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2002]. Una excepción a la simetría por inversión temporal es la termodinámica, cuya segunda ley establece que la entropía siempre aumenta con el tiempo. El astrónomo Arthur Eddington opinaba que este hecho es, por sí solo, responsable de la «flecha del tiempo». El problema radica en que la segunda ley no habla realmente de física, sino de probabilidad y, por tanto, de conocimiento. Cuanto más elevada sea la entropía de un sistema, menos sabremos sobre sus detalles y más difícil resultará obtener trabajo útil.

La simetría temporal se rompe también en mecánica cuántica. Esta describe los sistemas físicos por medio de su función de onda y solo nos da probabilidades, no resultados seguros. Cuando efectuamos una medición cuántica, en ocasiones decimos que la función de onda «colapsa», un proceso que solo tiene lugar en un sentido. Pero también esto tiene que ver con el conocimiento según algunas formas modernas de entender la mecánica cuántica, como la interpretación de los muchos mundos, o la idea de que todos los resultados posibles se dan en alguna parte de un «multiverso». Cuando realizamos una medición, obtenemos información sobre el sistema.

Gleick dedica algunas páginas al «problema del ahora»: la cuestión de cómo las ecuaciones de la física parecen ofrecernos un universo en el que el tiempo no es simplemente una de las cuatro dimensiones del espaciotiempo. Muy al contrario, el tiempo es especial: ¿por qué vivimos siempre en un momento concreto, capaces de recordar solo el pasado y esperando a que llegue el futuro? Este problema incordia a numerosos físicos, entre los que me encuentro. En ocasiones, me veo convencido de que la cuestión sobre «el ahora» es un no-problema: toda vez que la mecánica cuántica y la termodinámica han conferido una dirección al tiempo, «ahora» ya no guarda relación con la física, sino con una combinación de la flecha del tiempo, la psicología y la fisiología. El pasado es lo que está codificado en nuestros recuerdos. Para una roca, un electrón o una galaxia, no hay un ahora. Con todo, en ocasiones me pregunto si esto es suficiente.

El físico Richard Muller también parece preocupado por este enigma, y su libro *Ahora* intenta proponer una solución. La obra comienza con una introducción divulgativa de la física necesaria: las teorías de la relatividad y la mecánica cuántica y los papeles que desempeñan la cosmología y la física de partículas en nuestro universo, como el bosón de Higgs y su campo capaz de conferir masa. Su introducción a la física moderna probablemente resulte demasiado técnica para la mayoría de los lectores legos, a pesar de que relega la mayor parte de las matemáticas más complejas a un conjunto de apéndices.

Por desgracia, tras dejar de lado la física, Muller se adentra en la filosofía, y lo hace con una discusión cuyo nivel apenas supera el de las cafeterías de la universidad. Por ejemplo, da por supuesto que el libre albedrío es incompatible con el determinismo: una idea que ha sido desmontada desde el punto de vista filosófico por, entre otros, Daniel Dennett, en su libro *La conciencia explicada* (Paidós Ibérica, 1995) o, el año pasado, por el físi-

co Sean Carroll en su obra *The big picture* (Dutton). Sin embargo, Muller opta por la idea, manifiestamente no científica, de un alma no física con poderes causales sobre la función de onda cuántica.

Lo anterior resulta extravagante, pero no deja de ser una nota al margen. La tesis principal de Muller es que la expansión del universo «está creando continuamente no solo nuevo espacio, sino también nuevo tiempo». Puede que como titular resulte muy llamativo, pero los cosmólogos dudan de si su punto de partida (la idea de crear nuevo espacio) tiene sentido. Tras escribir el libro, Muller ha desarrollado sus ideas de una manera más matemática y las ha aplicado a las observaciones de ondas gravitacionales efectuadas el año pasado. Es loable que haya propuesto una idea que tal vez pueda ponerse a prueba. Muy pocos libros de física divulgativos o profesionales se molestan en hacer argumentaciones, sino que suelen limitarse a resumir el estado de la cuestión. Sin embargo, no comulgo con los argumentos de Muller: con inde-

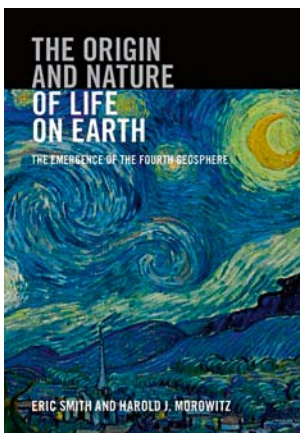
pendencia de si el «ahora» representa o no un problema, sus ideas no aportan una solución, al menos desde mi punto de vista.

Tanto Gleick como Muller quieren que nos percatemos de que el tiempo es algo fundamental para nuestra experiencia: que tener un ahora es, de hecho, lo que nos permite tener una experiencia. Incluso aunque viajar al pasado sea una fantasía, la física del tiempo engloba casi todo lo que estudiamos los físicos. Comprender la manera en que fluye el tiempo tal vez nos brinde una imagen más completa de nuestro cambiante universo.

—Andrew Jaffe  
Colegio Imperial de Londres

Artículo original publicado en *Nature* 537, página 616, 29 de septiembre de 2016.  
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2017

Con la colaboración de **nature**



## THE ORIGIN AND NATURE OF LIFE ON EARTH THE EMERGENCE OF THE FOURTH GEOSPHERE

Eric Smith y Harold J. Morowitz  
Cambridge University Press, 2016

## La vida como proceso planetario

*La emergencia de la biosfera*

Al abordar el origen de la vida nos enfrentamos a una de las cuestiones más importantes y espinosas que el hombre, en particular si es científico, se plantea. Otras afectan también a los orígenes: el del universo, el de la consciencia o el de la propia humanidad. Hasta hace no tanto, todos ellos fueron dominios reservados a la especulación filosófica, por más que hubiera incursiones más o menos anecdóticas de la ciencia. Esta comenzó a interesarse de una manera sistemática por el origen de la vida a mediados del siglo xx, tras el descubrimiento de la estructura helicoidal del ADN.

A medida que se ha ido avanzado en su solución, el problema se ha complicado cada vez más. Los científicos se percataron de que no era suficiente con crear la materia prima de la vida. Necesitaban explicar cómo se conjugaron esos componentes y cómo evolucionaron hasta formarse las primeras células. La vida no requería solo los ingredientes correctos, sino también las herramientas moleculares debidas. En las postrimerías de los años sesenta, Francis Crick, Carl Woese y Leslie Orgel propusieron, cada uno por su cuenta, que el ARN podría desempeñar ambas funciones. Lo que terminó por llamarse el «mundo de

ARN» es la hipótesis que sostiene que el ARN existió mucho antes que el ADN, catalizaba su propia reproducción y ayudó al advenimiento de la vida [véase «Origen de la vida sobre la Tierra», por Leslie E. Orgel; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 1994]. Otros le negaron ese privilegio al ARN y primaron diversos escenarios de síntesis de las biomoléculas fundamentales; presentaron un mundo peptídico, uno lipídico o el metabolismo para explicar el origen de la vida. A la postre, las opiniones convergen en dos corrientes principales: el mundo de ARN (o «genes primero»), que aportó la información genética y sirvió de catalizador enzimático; y el denominado «metabolismo primero», que apela a la existencia de catalizadores metálicos sencillos, hallados en los minerales y creadores de una sopa de bloques orgánicos de construcción que habrían dado origen a otras biomoléculas [véase «El origen de la vida», por Robert Shapiro, INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 2007; y «El origen de la vida», por Alonso Ricardo y Jack Szostak, INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2009].

En un experimento realizado en 2014, Svatopluk Civiš, del Instituto de Química Física de Praga, y su equipo proyectaron un láser de un kilojulio sobre una solución de formamida que contenía también

arcilla. En esa solución se quería representar la sopa química de la superficie de la Tierra inicial. Los pulsos láser, de un tercio de nanosegundo de duración, generaban una presión intensa, con picos de temperatura de 4200 grados Celsius y una cascada de radiación que incluía el ultravioleta y los rayos X. Tales eran las condiciones que cabría esperar cuando un cuerpo celeste, como un cometa o un asteroide, impactase contra el planeta. Las reacciones desencadenadas en el experimento, además de producir sustancias como ácido cianhídrico, monóxido de carbono, amoníaco y metanol, crearon las cuatro nucleobases del ARN. Con anterioridad se había demostrado que algunas clases de meteoritos contenían ya nucleobases; en particular, adenina y guanina. Pero el experimento de Civiš mostró que, además de liberar nucleobases, los cuerpos celestes podían crearlas al chocar contra el planeta.

La investigación sobre el origen de la vida se ha centrado a menudo en la síntesis química, sin prestar la atención requerida al entorno. El análisis bioenergético de los organismos primitivos sugiere que la vida comenzó en volcanes submarinos y chimeneas hidrotermales. Las reacciones químicas liberadoras de energía se encuentran en el corazón de los procesos vivos de todos los organismos. Esas reacciones bioenergéticas tienen miríadas de sustratos y productos, pero su subpro-

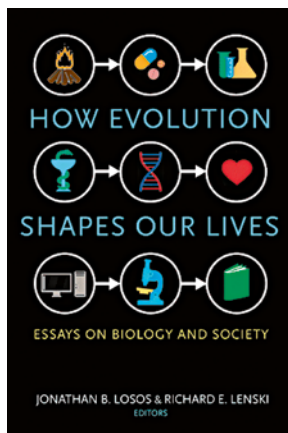
ducto capital es ahora el ATP (adenosín trifosfato), que es la principal moneda de energía metabólica. Las chimeneas hidrotermales revelan unos estrechísimos parámetros entre las reacciones geoquímicas liberadoras de energía y la fisiología de acetógenos y metanógenos. No es fácil desenredar el registro fósil de los primeros microorganismos, pero existe un acuerdo general en que la vida compleja emergió durante el Arcaico, hace entre 4000 y 2500 millones de años.

El origen de la vida continúa siendo un arcón de paradojas. Para que apareciera, hubo de darse una molécula genética (algo que se asemejara al ADN o al ARN) capaz de establecer las pautas de síntesis de proteínas, las moléculas funcionales de la vida. Pero las células modernas no pueden copiar ADN y ARN sin el concurso de las propias proteínas. Y lo que es peor, ninguna de estas moléculas puede acometer su tarea sin ácidos grasos, que aportan las membranas celulares necesarias para su confinamiento. En una complicación más del tipo de la del huevo y la gallina, las enzimas (codificadas por moléculas genéticas) son necesarias para sintetizar lípidos. Una aporía cuya solución se sugirió en 2015: de acuerdo con ella, un par de compuestos sencillos y que abundarían en la Tierra incipiente pudieron dar origen a una red de reacciones simples dotada de la facultad para producir las tres clases

de biomoléculas (ácidos nucleicos, aminoácidos y lípidos). Aquel trabajo, dirigido por John Sutherland, de la Universidad de Cambridge, y publicado en *Nature Chemistry*, no demostraba que así hubiera empezado la vida, pero sí ayudaba a explicar un misterio clave, al avanzar una forma en la que casi todos los bloques de construcción de la vida pudieron conjugar en un mismo episodio geológico.

Eric Smith y Harold J. Morowitz extienden el problema a un territorio no menos controvertido: ¿fue la vida un fenómeno inevitable? Dadas las condiciones singulares, físicas y químicas, requeridas para la aparición de la vida sobre la Tierra y los obstáculos inmensos que habría que vencer en aquel medio inhóspito, lo más que la comunidad científica se sentía dispuesta a aceptar era la concurrencia de un fenómeno azaroso, para no hablar de milagro. En cambio, en *The origin and nature of life on Earth* se sustituye el azar por la necesidad y se postula la inevitabilidad de la vida. La vida habría brotado del entorno, de la misma manera que los rayos liberan la acumulación de carga eléctrica en las nubes de tormentas. Y lo que emergió en la Tierra pudo haber sucedido en cualquier otro planeta similar [véase «El origen de la vida», por James Trefil, Harold J. Morowitz y Eric Smith; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2009].

—Luis Alonso



**HOW EVOLUTION SHAPES OUR LIVES  
ESSAYS ON BIOLOGY AND SOCIETY**

Dirigido por Jonathan B. Losos y Richard E. Lenski  
Princeton University Press, 2016

**Repercusiones  
de la evolución**

*En nuestra vida individual y social*

No tenemos dificultad para pensar en la evolución como algo sucedido en el pasado, que ocurrió en la naturaleza y cuya repercusión en la sociedad resulta irrelevante desde la óptica temporal de una vida humana. Como algo perteneciente a un tiempo remoto, para ser recor-

rido en museos, donde se exponen los hitos principales a través de restos fósiles de faunas y floras que vivieron, por lo común, hace decenas o cientos de millones de años. La ciencia, sin dejar de encarar el pasado y el futuro, se mueve por otros derroteros y también nos da a conocer la

naturaleza real de la evolución en su nivel más determinante, el molecular.

El campo de la evolución molecular se ocupa de los cambios evolutivos que operan en los genes y genomas, así como de las fuerzas subyacentes que gobiernan esos cambios. Los estudios en curso sobre evolución molecular son, casi en exclusividad, retrospectivos, centrados en las mutaciones que se fijaron antaño. Ahora bien, puesto que solo ha quedado fijada una mínima fracción de todas las mutaciones que se han producido durante la evolución, se nos presenta un curso sesgado e incompleto del proceso evolutivo. Con el fin de obviar esa limitación, hay que abordar el panorama entero de adaptación de un gen y así comprender, prospectivamente, las oportunidades y las necesidades en la evolución. El efecto de una mutación sobre el fenotipo depende a menudo de la presencia de mutaciones adicionales. Este fenómeno, conocido como epistasia, explica las interacciones letales sintéticas,

en las que una combinación de dos mutaciones individualmente viables provoca la muerte, y las interacciones de compensación, en las que el coste en adaptación se reduce por una segunda mutación. La epistasis desempeña un papel principal en la evolución: determina la accesibilidad de vías mutacionales y, por consiguiente, influye en la tasa de adaptación, así como en la diversidad y robustez de las variantes genéticas. No obstante, se sabe muy poco sobre la distribución espacial de esas interacciones en el interior de los genes. El enorme espacio mutacional de un gen típico plantea un reto considerable a la caracterización de los panoramas de adaptación. Por ejemplo, hay un total de  $4^{100}$  (del orden de  $10^{60}$ ) variantes posibles de un gen de ARN de 100 nucleótidos, y un total de  $20^{100}$  (del orden de  $10^{130}$ ) para una proteína de 100 aminoácidos.

En este libro se exploran las implicaciones de esa realidad en la vida y en la sociedad humanas. Veintitrés ensayos que explican por qué comprender la evolución es crucial para abordar el cambio climático, asegurar el suministro de alimentos, proteger la salud y la supervivencia, conocer al hombre y su comportamiento ligado al lenguaje. Aborda la función de la evolución en el envejecimiento, la cognición, la cooperación, la religión, los medios, la ingeniería, la ciencia de la computación y otras muchas áreas. De la evolución humana a la evolución de la resistencia a los antibióticos, de la evolución cultural a la importancia cultural del pensamiento evolutivo. La tecnología, las instituciones y el lenguaje que conformaron las sociedades actuales reflejan procesos de evolución cultural que emergieron de su contrapartida natural gracias a la celeridad y flexibilidad de los sistemas culturales.

Cuando Charles Darwin publicó *The descent of man* en 1871, empleó el método de comparación para explicar el sentido de nuestra especie. Esto es, atendía a las semejanzas y diferencias en la aparición de la conducta de los humanos y de nuestros parientes próximos para indicar cómo llegamos a ser. En su tiempo se habían descubierto huesos de neandertales, pero no se conocían entonces restos fósiles de homínidos. Ahora contamos ya con un amplio muestrario de homínidos fósiles. Los seres humanos son los únicos representantes vivos de un linaje, los homínidos, que divergieron de otros primates hace entre seis y ocho millones de años. Los homínidos quedaron confinados en África durante unos dos tercios de su historia.

Con un cuerpo y un cerebro del tamaño de los de un chimpancé, los primeros homínidos se diversificaron en linajes diversos con distintas estrategias alimentarias. Uno de ellos siguió el camino que llevaba a la creación de la técnica, la compartición del alimento, la caza y la recolección; dio origen al género *Homo* hace entre dos y tres millones de años.

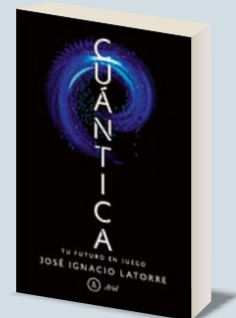
Conforme las poblaciones de *Homo* se dispersaron por el mundo, fundaron poblaciones regionales con sus propios rasgos anatómicos y genéticos distintivos. En el curso de los últimos 100.000 años, una dispersión masiva de humanos fuera de África absorbió y sustituyó a esas poblaciones preexistentes. Los humanos continuaron en su evolución. Pero comenzaron a domeñar el poder de esa evolución mediante la mejora selectiva de plantas y animales para su alimentación, materiales para su indumentaria y transporte. La emergencia de la agricultura cambió el entorno y guio la evolución consiguiente.

La evolución aplicada a la salud es un fenómeno bastante nuevo. Durante muchos años, la ciencia creyó que la evolución favorecía a parásitos y patógenos que fueran inocuos para sus huéspedes. Desde esa perspectiva, un parásito muy violento sería una aberración transitoria, indicativa de un patógeno que habría saltado a un nuevo huésped y que, con el decurso del tiempo, evolucionaría hacia una forma menos virulenta. Pero esa tesis ha sido puesta en cuestión. Los antibióticos que sistemáticamente han venido desarrollando investigadores y laboratorios farmacéuticos para tratar las infecciones bacterianas fueron aclamados como el triunfo de la técnica sobre la naturaleza. Hasta hace escasos decenios, no se vencieron las infecciones peligrosas en los países desarrollados. Esa situación pacífica se alteró en los ochenta del siglo pasado con la epidemia del sida. La sociedad asiste a la aparición de enfermedades emergentes y reemergentes, que amenazan a todos los países, incluidos los avanzados: virus SARS, virus H5N1 y cepas bacterianas resistentes a los fármacos.

¿Cómo hemos llegado los humanos a ser la especie dominante sobre la Tierra? La agricultura, la medicina y otras innovaciones tecnológicas son elementos innegables de esa historia. Pero el desarrollo de la técnica dependió de la emergencia de otros rasgos, incluidos el lenguaje y la cultura, que permiten la comunicación entre individuos y a través de generaciones.

—Luis Alonso

## NOVEDADES



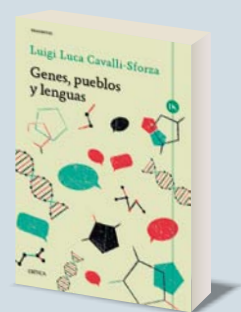
### CUÁNTICA TU FUTURO EN JUEGO

José Ignacio Latorre  
Ariel, 2017  
ISBN: 978-84-344-2539-2  
160 págs. (16,90 €)



### EMBRIOLOGÍA EN LA PERIFERIA LAS CIENCIAS DEL DESARROLLO EN LA ESPAÑA DE LA II REPÚBLICA Y EL FRANQUISMO

Raúl Velasco Morgado  
Editorial CSIC, 2016  
ISBN: 978-84-00-10162-6  
393 págs. (33,65 €)



### GENES, PUEBLOS Y LENGUAS

Luca Cavalli-Sforza  
Crítica, 2017  
ISBN: 978-84-16771-55-4  
240 págs. (16,90 €)