

**La lógica de los monstruos. ¿Hay alternativas a la naturaleza tal como la conocemos?**

*Ricard Solé*

Barcelona, Tusquets, 2016 256 pp. 18 €

---

## **La lógica de lo posible**

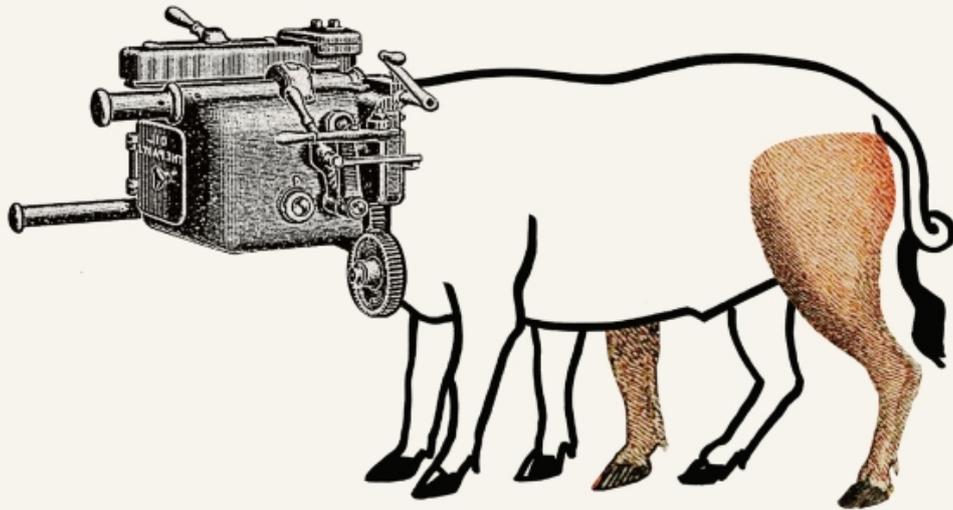
Miguel Ángel Toro Ibáñez

30 diciembre, 2017

# Ricard Solé

# La lógica de los monstruos

¿Hay alternativas a la naturaleza tal como la conocemos?



TUSQUETS  
EDITORES

Ricard Solé, físico y biólogo, es profesor investigador ICREA asociado a la Universidad Pompeu Fabra, en la que dirige el Laboratorio de Sistemas Complejos y enseña Biomatemáticas y Biocomputación. Es también profesor externo en el Instituto de Santa Fe (Estados Unidos). Su campo de investigación se centra en el estudio de los patrones de organización que surgen en los sistemas complejos, incluyendo desde replicadores prebióticos, virus, cáncer, ecosistemas o lenguas, hasta objetos artificiales evolucionados. Sus libros de divulgación *Redes complejas*, *Vidas sintéticas* y *La lógica de los monstruos* versan sobre diversos aspectos de lo complejo y han sido publicados por la editorial Tusquets. En todos ellos, Solé muestra tanto la profundidad de sus conocimientos científicos como su amplia cultura que, en algunos campos, es realmente llamativa, como, por ejemplo, en lo relativo a la literatura de ciencia ficción.

Un investigador cuyo tema de trabajo es la complejidad no ha podido menos de interesarse por la evolución darwiniana. La versión más o menos ortodoxa de la teoría evolutiva, que recogen con maestría los libros divulgativos de Richard Dawkins, pone el énfasis en el papel de la selección natural como mecanismo responsable de la adaptación de los organismos a su entorno. La selección trabaja sobre una variabilidad genética preexistente que surge como consecuencia de errores aleatorios en la replicación del ADN y que, por tanto, no tienen propósito. La sensación de finalidad, teleonómica, en palabras del premio Nobel francés Jacques Monod, inherente a las adaptaciones, la proporciona la selección, favoreciendo unas pocas modificaciones, dejando fluctuar otras y eliminando el resto. La concepción de Solé sobre la evolución biológica es más próxima a la de sus colegas del Instituto de Santa Fe, quienes consideran que la selección natural, aunque desempeña un papel principal como motor de la evolución, no es la responsable última de las estructuras que surgen a lo largo del proceso evolutivo. Su tesis es que existen limitaciones estructurales y patrones de generación de complejidad que permiten tan solo un conjunto limitado de formas, de manera que la importancia creativa de la selección natural se atenúa. En otras palabras, las modificaciones estructurales que se producen son sólo un subconjunto de todas las que podríamos imaginar. Existiría algo así como una lógica restrictiva de lo posible.

El gran biólogo teórico y del desarrollo Pere Alberch puso de manifiesto estas restricciones con su análisis de las malformaciones en los embriones humanos. Las formas teratológicas que aparecen en los fetos con malformaciones configuran un limitado repertorio de las que podríamos conjeturar: hay alteraciones de la simetría corporal que se producen de manera dominante y otras que nunca surgen. Esta circunstancia fue denominada por Alberch «la lógica de los monstruos»; Solé utiliza esta frase para dar título al libro que comentamos como muestra de cariño y reconocimiento hacia su figura. Estas ideas sobre lo posible configuran un campo de investigación en auge, intelectualmente atractivo, y han sido desarrolladas extensamente por autores como Stuart A. Kauffman en su libro *The Origins of Order*. Sin embargo, en nuestra opinión, hasta el momento no se ha logrado elaborar un marco teórico en el ámbito evolutivo lo bastante concreto para ser susceptible de contrastación empírica.

Solé utiliza, a lo largo de los siete capítulos del libro, la contraposición entre lo imaginable y lo real, entre la ciencia ficción y la ciencia normal, para explorar los límites entre lo posible y lo imposible. Destaca el papel imprescindible de la selección natural en el proceso de evolución, pero abre un interrogante sobre cuál es el conjunto de mecanismos y leyes que rigen y configuran la materia viva

sobre la que actúa la selección. La teoría evolutiva acepta, en líneas generales, que el proceso de cambio evolutivo es gradual, basado en pequeñas modificaciones de la información genética. Sin embargo, es un hecho que durante la evolución ha habido varias transiciones cualitativas en el grado de complejidad de la materia viva: dichas transiciones han originado las primeras células, el código genético, los organismos eucariotas, los seres pluricelulares y el lenguaje y la conciencia humana. Todas estas cuestiones son objeto de investigación por la ciencia de hoy y existen explicaciones para las mismas dentro de la ortodoxia neodarwinista, pero las respuestas distan de ser lo bastante convincentes como para generar consensos unánimes<sup>1</sup>.

Las transiciones han sido, sin duda, fruto de momentos singulares, pero, ¿hasta qué punto podrían ser, en cierto modo, predecibles? Buena parte de los expertos piensan, por ejemplo, que la vida debe ser lo bastante probable para que se haya producido en otros muchos planetas de características similares al nuestro. Resulta razonable asumir que la capacidad de autoorganización de la materia permitiría predecir la formación de vida en determinadas condiciones. Como lo es también asumir que, en nuestro planeta, todas las formas de vida existentes provienen de una estructura protobiotica que tuvo el éxito reproductivo suficiente para ser seleccionada frente a otras que hayan podido existir.

Los seres vivos almacenan y procesan información utilizando el ADN. La molécula de ADN es icónica porque el descubrimiento por parte de James Watson y Francis Crick, en 1953, de su estructura formada por una doble cadena helicoidal de nucleótidos complementarios entre sí, supuso, de manera intuitiva e inmediata, la comprensión tanto de su mecanismo de replicación como del sistema de almacenamiento de la información genética. Ese mismo año, Stanley Miller demostró que puede surgir espontáneamente materia orgánica a partir de inorgánica en condiciones abióticas y, en concreto, aminoácidos (las piezas de que están construidas las proteínas) y otras moléculas imprescindibles para la vida. El código genético permite fabricar proteínas, uniendo los aminoácidos de manera no arbitraria, siguiendo la información contenida en la secuencia de nucleótidos del ADN. Curiosamente, la vida, tal y como la conocemos, está basada en sólo veinte aminoácidos de los muchos existentes, y el código genético es compartido por todos los seres vivos. Todo parece indicar que la selección natural pudo tener un papel relevante, premiando a aquellos primeros organismos que fabricaban proteínas con esos veinte aminoácidos y a los que utilizaban el código genético que ha prevalecido en lugar de otros. Análisis recientes muestran que este código resulta ser un óptimo, entre los múltiples códigos que podrían elaborarse, en el sentido de que minimiza las consecuencias de las mutaciones en el ADN.

La importancia de la selección lleva a Solé a especular con lo que el físico Lee Smolin ha denominado el principio de selección natural cosmológico. Esta teoría sugiere que los universos son capaces, al igual que si fuesen seres vivos, de reproducirse a través de los agujeros negros en un espacio llamado multiverso. Si las leyes físicas de los universos hijos poseen las mismas características del universo progenitor salvo pequeñas modificaciones, entonces podría hablarse de una evolución darwiniana de universos y de las leyes que los rigen como consecuencia de la reproducción diferencial de los mismos, en función del número de agujeros negros que sus propias leyes y constantes cosmológicas les permiten originar. La aparición de universos con muchos agujeros negros y las características del nuestro, compatibles con la vida y con la aparición de la autoconciencia

humana, pasaría a ser un suceso en cierto modo esperable.

El capítulo titulado «Mentes posibles» es quizás el más ambicioso. Comienza repasando las ideas de Noam Chomsky sobre las bases del lenguaje. La capacidad de aprender una lengua sería innata, con una base neurológica que da soporte a una gramática universal que define el conjunto de reglas subyacentes para generar frases con una correcta organización. Esto explicaría, en parte, la facilidad que tienen los niños a partir de tan solo dos años para adquirir el lenguaje y manejarlo con soltura, a pesar de la complejidad que entraña dicho aprendizaje, algo de lo que somos plenamente conscientes cuando tratamos de asimilar una lengua nueva ya de adultos. O por qué todas las lenguas existentes tienen un nivel similar de riqueza sintáctica con independencia del grado de desarrollo tecnológico y cultural de las sociedades que las hablan. Ricard Solé llama la atención sobre un aspecto de las lenguas naturales: la presencia de un cierto grado de ambigüedad. Una palabra puede poseer varios significados alternativos o, por el contrario, varias palabras pueden estar asociadas al mismo concepto. Esto trata de evitarse en las lenguas artificiales, ya que puede introducir errores. Solé ha sugerido que la ambigüedad en las lenguas naturales puede estar favorecida por la selección natural en un intento de minimizar el esfuerzo de la comunicación. Para el hablante, lo menos costoso sería emplear pocas palabras, aunque fueran ambiguas, mientras que para el que escucha lo ideal sería que cada palabra tuviera un único significado. Puesto que la comunicación es cosa de dos, los modelos matemáticos muestran que la solución óptima se alcanza manteniendo un cierto grado de ambigüedad.

La especie humana es singular por su inteligencia, por su capacidad de modificar el medio, por su lenguaje complejo, pero, sobre todo, por su capacidad de cooperación, que permite convertir las interacciones humanas en un juego de suma no cero, en el que todos los que interaccionan pueden salir beneficiados. El autor sugiere, con acierto, que la cooperación se benefició del desarrollo del cerebro humano como un órgano moral, capaz de percibir las acciones propias y ajenas en clave de correctas o incorrectas y de actuar en consonancia con esa categorización. Solé destaca que la tendencia innata a actuar de forma moral se ve facilitada por las denominadas neuronas espejo. Éstas son un tipo particular de neuronas que se activan en un individuo tanto si lleva a cabo una determinada acción como si la observa realizada por otro individuo. De este modo, uno puede comprender qué supone una acción para otra persona, pues tiene en su cerebro una copia para la misma basada en sus experiencias de tales movimientos. En otras palabras, cualquiera puede saber cómo se siente un individuo cuando actúa de una manera específica, porque de manera literal puede llegar a sentir lo mismo que está sintiendo el otro. Esto facilita la empatía, la capacidad de ponernos en lugar del otro, y permite sintonizar con sus emociones.

El final del capítulo es una reflexión sobre si es posible que surja la inteligencia natural en estructuras que carezcan de una base neuronal. A título de ejemplo, Solé describe cómo los hongos unicelulares del género *Physarium* pueden resolver laberintos e, incluso, un problema clásico de programación lineal: encontrar el mejor modo de comunicar por carretera varias ciudades de modo que el coste sea mínimo. Para ello, basta con reproducir a escala en una placa de cultivo la situación de las ciudades y colocar una pequeña cantidad de alimento en cada una: pronto observamos cómo los hongos terminan conectando los puntos de la manera más eficiente. ¿Podría ser el mecanismo responsable de este comportamiento la base de un cerebro alternativo?

En todo caso, el autor sugiere que las células de glía que rodean, alimentan y protegen a las neuronas constituyen lo más parecido a un segundo cerebro, ya que son capaces de participar activamente en el procesamiento de la información y en el almacenamiento de recuerdos, mientras que su disfunción puede causar el desarrollo de algunas enfermedades neurodegenerativas. Solé sugiere que el sistema inmunitario puede considerarse, asimismo, un tercer cerebro. Cuando las células del sistema inmune detectan un agente extraño, bien sea un patógeno, un contaminante o un producto del propio organismo (una célula cancerosa, por ejemplo), se produce una multiplicación rápida y selectiva de sólo aquellas células capaces de proteger al organismo contra ese agente concreto. Esta población se reduce cuando la amenaza ha pasado, pero deja una especie de memoria inmunitaria que hará que la respuesta sea más rápida cuando el mismo agente dañino vuelva a presentarse.

Por último, un cuarto cerebro lo constituiría el microbioma. Se trata del conjunto de microbios que viven en el cuerpo humano. Tenemos aproximadamente tantas bacterias viviendo sobre nuestro cuerpo como células tiene el organismo ( $3 \times 10^{13}$ ). Muchos de estos microorganismos no son gérmenes que puedan ponernos enfermos, sino agentes beneficiosos sin los cuales el cuerpo no funciona bien y tiende a enfermar con más frecuencia. ¿De dónde procede nuestro microbioma? Cuando el bebé nace, se ve cubierto por los microorganismos de su madre al atravesar el canal del parto que, combinados con las bacterias de la leche materna y otros microbios que adquiere del medio en las primeras etapas de la vida extrauterina, van dando lugar a su particular microbioma. Este es el motivo por el cual muchos científicos opinan que una disminución de la variabilidad del microbioma, debido al exceso de cesáreas programadas y a los períodos cortos de lactancia, junto con un uso excesivo de antibióticos y la obsesión por la higiene, están implicados en el incremento del asma infantil y las alergias.

Con todo, el mayor y más importante ecosistema microbiano está en el intestino. Es el más complejo, el más diverso y, en buena medida, el que regula el metabolismo. Tradicionalmente, el microbioma se estudiaba aislando y cultivando las bacterias por las técnicas tradicionales. Pero, desde el lanzamiento en 2008 del proyecto del microbioma humano, lo que se intenta es extraer todo el ADN del microbioma y secuenciarlo en masa, de forma que puedan descubrirse enzimas y rutas metabólicas microbianas que puedan resultar importantes para los humanos. De este modo, se ha conseguido relacionar desórdenes en el microbioma con enfermedades como el cáncer de colon, la colitis, e incluso la diabetes y la obesidad. Más intrigante es la relación encontrada entre el microbioma y el desarrollo del cerebro o con la aparición de desórdenes neurológicos tales como la ansiedad, la depresión y el autismo. Algunos científicos opinan que la razón de que muchas enfermedades estén creciendo es que hemos perdido ciertos microbios intestinales clave. Los microbiomas de las personas en los países desarrollados son mucho menos diversos en comparación con los de las generaciones previas y con los de los países más pobres o en vías de desarrollo.

En el último capítulo se plantea una reflexión sobre la creatividad, ya se trate de una teoría científica, un texto literario o una pintura. ¿Hay similitudes entre los procesos creativos seguidos por Einstein y por Picasso? ¿Es un accidente único o son las condiciones socioeconómicas las que proporcionaron el marco para que surgiera el cubismo y la relatividad? ¿Estamos cerca o lejos de fabricar una máquina con capacidad artística? Debemos ser escépticos y cautelosos. Solé señala como un hito importante la victoria, en 1997, del supercomputador Deep Blue sobre el entonces campeón mundial de ajedrez

Garri Kaspárov. Desde hace años, expertos en inteligencia artificial han diseñado programas de ordenador capaces de crear *obras de arte*; por ejemplo, en 2013 se presentó una exposición de las obras generadas por el programa informático The Painting Fool en la galería Oberkampf de París. Probablemente, al autor le hubiera divertido comentar la noticia, aparecida el pasado julio, de que Facebook había desconectado dos ordenadores bautizados como Bob y Alice tras descubrir que habían desarrollado un lenguaje propio, incomprensible para los seres humanos.

Suele decirse que todos disponemos de un enorme potencial de creatividad que permanece oculto en nuestro cerebro. En el libro se describen varios casos que parecen apoyar esta idea, como el de algunas personas afectadas por ciertos tipos de demencia que, aunque nunca habían sentido interés por el arte, acabaron ganando premios, o el caso del vendedor de muebles Jason Padgett, quien, tras recibir un golpe en una pelea de bar, desarrolló una pasión por el álgebra que le llevó a convertirse en matemático. O el de Francisco de Goya, quien, tras una época de realizar retratos de la realeza y temas costumbristas, tuvo un segundo período con temas oscuros: peleas, ejecuciones o escenas de guerra. La transformación de su estilo pictórico parece estar relacionada con una grave enfermedad provocada por una intoxicación con el plomo que empleaba en sus pinturas. El último caso que comenta Solé es el de Srinivasa Ramanujan, un matemático autodidacta indio que, con una mínima educación académica en matemáticas, a los trece años empezó a demostrar sus propios teoremas. Aunque tuvo un cierto reconocimiento entre los matemáticos indios, su fama no se incrementó hasta que, a los veinticinco años, sus hallazgos llegaron a manos del más famoso matemático inglés del momento, G. H. Hardy, quien lo invitó a Cambridge y le consiguió trabajo como matemático hasta su temprana muerte a los treinta y tres años. Según Hardy, sus demostraciones «llegaban a través de un proceso de argumentación, mezclada con intuición y inducción, de la que era enteramente incapaz de dar ninguna explicación coherente». No podemos sino terminar esta reseña de la misma forma en que termina el libro, aunque la pasmosa anécdota se haya repetido cientos de veces. En una ocasión en la que Ramanujan estaba enfermo en un hospital, acudió a visitarlo Hardy y le comentó que había tomado un taxi con un número en su matrícula muy *aburrido*, 1729. Inmediatamente, Ramanujan comentó que, por el contrario, era una cifra muy interesante, ya que es el número entero más pequeño que puede expresarse de dos formas distintas como la suma de dos enteros elevados al cubo ( $10^3+9^3$  o  $12^3+1^3$ ), mostrando así su extraordinaria capacidad para la percepción de los números. La generalización de esta idea es lo que hoy se conoce en matemáticas como números *taxicab*.

En conclusión, el libro de Ricard Solé es un magnífico ejemplo de la buena divulgación, a veces un tanto heterodoxo, pero siempre estimulante, bien escrito y, por ello, muy recomendable.

**Laureano Castro Nogueira** es catedrático de Bachillerato y profesor-tutor de la UNED. Es coautor, junto con Luis y Miguel Ángel Castro Nogueira, del libro *¿Quién teme a la naturaleza humana?* (Madrid, Tecnos, 2016, 2ª ed. revisada).

**Miguel Ángel Toro** es catedrático de Producción Animal en la Universidad Politécnica de Madrid. Es coautor, con Carlos López Fanjul y Laureano Castro, de *A la sombra de Darwin. Las aproximaciones evolucionistas al comportamiento humano* (Madrid, Siglo XXI, 2003).

---

<sup>1</sup>. El libro *The Major Transitions in Evolution*, de John Maynard Smith y Eörs Szathmáry, se ocupa de manera brillante de este problema. El lector interesado puede ver también nuestro comentario «La cuestión vital: ¿cómo surgió y por qué la vida es como es?» para una reflexión sobre el origen de la vida y de las células eucariotas.