

ENTREVISTA A RICARD V. SOLÉ

por Francisco Llaveró Bernal* & José Luis Zugaza Gurruchaga#

*Estudiante predoctoral. Departamento de Genética, Fisiología Animal y Antropología Física. Facultad de Ciencia y Tecnología. Laboratorio de Genética F1.P0.16. Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Barrio Sarriena s/n 48940 Leioa. Bizkaia. Tlfn. 946 015 516. Fax. 946 013 145. E-mails: francisco.llaveró@ehu.es #Profesor de investigación de la Fundación para la ciencia IKERBASQUE

Ricard V. Solé es Doctor en Física por la UPC y Licenciado en Biología por la Universidad de Barcelona, investigador y profesor de la Universidad Pompeu Fabra (UPF), donde dirige el Laboratorio de Sistemas Complejos. Sus investigaciones en este campo abarcan desde la ecología teórica hasta el estudio de las redes sociales, del lenguaje y de sistemas tan complejos como el tráfico o Internet. Es profesor externo del Santa Fe Institute, miembro Senior del Center of Astrobiology, asociado a la NASA y consejero de la European Complex Systems Society. En 2003, sus investigaciones en colaboración con Ramón Ferrer le valieron el premio Ciutat de Barcelona de Investigación Científica. Es autor, entre otros títulos, de los libros "Orden y caos en sistemas complejos" (con Susanna C. Manrubia, 1996), "Signs of Life: How Complexity Persuades Biology" (con Brian Goodwin, 2001), "Self-Organization in Complex Ecosystems" (con Jordi Bascompte), "Evolving Webs" (con Sergi Valverde, José Montoya y Bernat Corominas) y "Redes complejas" (2009).

Los diversos temas objetos de investigación en el Laboratorio de Sistemas Complejos de la UPF dirigido por el Dr. Solé pueden resumirse como sigue:

Estudio de la dinámica evolutiva de los virus.

Se estudia la dinámica evolutiva de los virus utilizando modelos *in silico* de su ciclo de vida, las propiedades de ensamblaje y la complejidad del genoma, junto con los datos experimentales.

Modelos de arquitectura tisular.

Los tejidos pueden ser entendidos como sistemas colectivamente organizados susceptibles de ser descritos en términos de las interacciones entre las células conectadas. La arquitectura tisular refleja las presiones evolutivas y las restricciones globales. Se exploran posibles modelos de tejidos, sus orígenes evolutivos y cómo pueden ser diseñados artificialmente.

Redes neuronales.

El grupo está desarrollando nuevos enfoques para redes cerebrales obtenidas a partir de la exploración de resonancia magnética (fMRI), que permiten descubrir la organización dinámica de las conexiones corticales.

Redes ecológicas.

Se estudia la arquitectura de las redes ecológicas en diferentes escalas y en diferentes contextos. En estos momentos, el grupo estudia estas redes y su fragilidad bajo la luz del cambio climático y la fragmentación del hábitat.

Biología sintética.

En el laboratorio "húmedo" del grupo se utilizan enfoques de biología sintética para explorar las cuestiones relacionadas con la computación celular, multicelularidad y evolución. Mediante ingeniería de células de *E. coli* pretenden abordar varias cuestiones relativas al surgimiento de la complejidad en la evolución.

Por otra parte, están desarrollando modelos teóricos y computacionales con el objetivo de crear una *protocélula artificial* capaz de replicarse y evolucionar.

Computación celular.

El grupo está explorando cómo crear una nueva tecnología inspirada en las redes celulares



y cómo construir una computadora biológica de propósito general. Por la evolución del *hardware* y *software*, también la búsqueda de soluciones robustas a problemas complejos.

Modelos teóricos de crecimiento cancerígeno.

La mayoría de los tumores muestran altos niveles de inestabilidad genética, lo que ayuda al progreso del cáncer, pero también puede limitar su propagación. El grupo está desarrollando modelos teóricos de crecimiento del cáncer relacionados con la inestabilidad genómica y las células madre del cáncer.

Orígenes de la innovación evolutiva.

El grupo está estudiando cómo el reuso de componentes previos en nuevos contextos crea complejidad e innovación tanto en la evolución biológica como en la evolución tecnológica. Aquí se incluye el apasionante tema de la emergencia de la multicelularidad en la evolución.

Redes lingüísticas.

El grupo también está interesado en la emergencia y la arquitectura del lenguaje, tanto en humanos como en robots, tratando de encontrar propiedades universales en sus patrones de escala, organización en red, desarrollo y decadencia.

Biología de sistemas de células madres.

El grupo está explorando modelos de evolución tisular y pequeñas redes reguladoras que puedan proporcionar revelaciones útiles acerca de la lógica de la dinámica de las células madres.

Ecología, economía y derechos humanos.

No es una línea de investigación propiamente sino un posicionamiento ético. A Ricard Solé le gusta repetir que como científicos y miembros de nuestra sociedad, todos tenemos que asumir nuestra porción de responsabilidades dentro de un mundo cambiante.

(1) Primera parte de la entrevista: Acerca de las *redes*

¿Cómo se podría definir una red compleja?

Una red compleja es un conjunto de elementos de cualquier naturaleza conectados entre sí. Definir una red compleja es algo complicado. El consenso es que una red compleja es una red heterogénea; es decir, una red en la que hay una diversidad en el espectro de conexiones.

¿Cuánto hace que estudian las redes complejas de la vida?

Las redes complejas se vienen estudiando desde hace una década, o incluso un poco más, sobre unos 12 años.

¿Qué implicaciones políticas y ambientales conlleva desarrollar estos trabajos en una zona con las limitaciones que impone un Tratado Internacional?

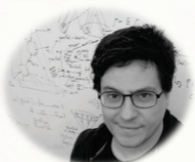
Esta es una buena pregunta; a decir verdad, es una pregunta muy complicada. Esta ha sido la línea de investigación de mi grupo porque las redes complejas ofrecen una oportunidad muy buena para estudiarlas, siempre que uno sea lo bastante hábil para interrogarlas, para saber cuál es su origen. Es decir, qué mecanismos de la evolución han estado implicados en crearlas. Si tienes la suerte de que la duplicación o el bricolaje evolutivo han sido los responsables de crear esas estructuras, automáticamente ello te lleva a decir cosas causales sobre lo que ha pasado. Si la selección ha tenido un papel importante o no o si existen otros tipos de fenómenos asociados a otro tipo de organización tienen un papel clave. En ese sentido es la arquitectura de la red la que, si eres hábil, te puede dar la huella dactilar que ha marcado la evolución.

¿La red es sustrato de la evolución, o la evolución es sustrato de la red?

Hay una coevolución de la red. A medida que se organiza la red van surgiendo restricciones. Cuando un elemento de la red llega a estar muy conectado es posible que ese elemento ya no puedas tocarlo demasiado, induciendo restricciones. Existe una coevolución entre los mecanismos generativos y la arquitectura de la red.

¿Cómo aparecen las propiedades emergentes de una red compleja?

Es una de las cosas que nosotros descubrimos y se trata de un fenómeno muy bonito: Por un proceso de bricolaje en el que forzosamente reutilizas partes del sistema y, por tanto, lo copias. Eso lo hacemos los informáticos al diseñar el software. Sin que haya ningún tipo de selección en esa dirección,



se obtienen redes que son mundos pequeños y, por tanto, esa propiedad deseable de que todo esté conectado fácilmente es gratis. Otra parte del “orden gratis” es que las redes suelen ser heterogéneas y, por tanto, la gran mayoría de elementos suelen tener pocas conexiones. Si existen fallos en esos elementos poco conectados dan lugar a fallos de los que el sistema apenas se va a resentir porque el daño va a ser débil; de aquí se deriva también una propiedad de robustez gratis.

En la naturaleza hay un orden oculto bajo las redes complejas. El orden y el desorden son algo relativo dependiendo de cuánto se conozcan esa red y sus propiedades. ¿Es posible conocer todas las propiedades que tiene un sistema?

Sobre la posibilidad de conocer todas las propiedades, a mi juicio nos vamos a enfrentar a un reto futuro porque, aunque nos gustaría que las redes fueran sistemas separables y modulares, ello no es posible. Es un mito porque existe una tendencia a modularizar junto con una tendencia a integrar y el híbrido de ello tiene implicaciones muy interesantes como, por ejemplo, que la forma de computar y de resistir a los errores no se basa en redundancia, quedando propiedades que no entendemos totalmente. Habrá que ver si ello, tanto del punto de vista de la intuición como de hacer una teoría, es accesible. Yo, sinceramente, tengo mis dudas sobre eso.

¿Qué pasa si estas redes complejas fallan o tienen algún tipo de errores?

Ya sabes que la respuesta es DEPENDE (jajajá). Por una parte, está el papel que juega la diversidad de los elementos que es una cosa que no se quiso tener en cuenta en el análisis topológico. Pero claro cuando esos elementos funcionalmente juegan un papel clave para garantizar la replicación en un sistema multicelular, los fallos tienen un precio y hay que tener bien monitorizado eso para eliminar ese elemento del sistema. Por otra parte, hay ejemplos como los knock-out en los que se eliminan un elemento del sistema y el impacto fenotípico es mínimo o imposible de detectar. Entonces está claro que esas redes incorporan mecanismos de redundancia o de robustez distribuida, aunque no sé cómo traduciría eso.

Redes sociales como facebook, linkedin, twitter; ¿son también redes complejas y redes que a medida que pasa el tiempo evolucionan?

Algunas propiedades como la de mundo pequeño son casi inevitables. Pero desde el punto de vista de la arquitectura de la red hay un grado de heterogeneidad y modularidad en el que las diferencias son muy importantes.

A veces hay diferencias interesantes, como por ejemplo las redes de programadores de software libre, que son redes autorganizadas porque existen personas que deciden aportar cosas a la comunidad. Cuando miras la red, está libre de escala; pero dentro hay un “core” que surge espontáneamente pero es autorganizado porque hay programadores que toman el control del sistema. Ese “core” es fluido (hay gente que entra y que sale) y el código siempre va avanzado. En esos sistemas el problema de la jerarquía y la autorganización toma un giro interesante.

(2) Segunda parte de la entrevista: Inteligencia artificial

La inteligencia artificial aún parece estar lejos. Cuando se den “ciertas” condiciones básicas, ¿podrían surgir espontáneamente propiedades emergentes iguales o semejantes a la conciencia?

La respuesta es evidentemente intuición. Filosóficamente hablando me sorprendería que no. La gran pregunta es: ¿Qué requisitos necesitamos? Los últimos años de investigación en neurociencias han abierto la puerta a una serie de preguntas inesperadas. Para diseñar un sistema consciente (pues la gente piensa en diseñar un cerebro) sin el cuerpo, la experiencia consciente no está claro que sea sostenible. Ello abre preguntas nuevas. Nada desde el punto de vista de la lógica o de la matemática impide que eso sea posible, así que espero que sí que pase.

(3) Tercera parte de la entrevista: Miscelánea

¿El bosón de Higgs es realmente la partícula de Dios?

Es realmente muy importante como predicción teórica fundamental en el sistema estándar porque hay un campo en el que se explicarían cosas fundamentales, y también porque completa una parte de



la teoría que tiene como resultado final muchas consecuencias porque si sigues estirando esa teoría tienes el vacío cuántico, la conjetura de que no se puede surgir de la nada. Es una pieza importante, pero queda todavía un recorrido grande que hacer. Yo suelo decir que el bosón de Higgs va a ser la partícula que matará a Dios.

¿Cómo ves la ciencia en la actualmente? ¿Cómo ves la ciencia que se hace en el estado español con respecto al que se hace en otros países, por ejemplo los países donde investigan los distintos grupos de investigación con los que cooperáis?

Bueno, la ciencia vive ahora un momento apasionante de romper fronteras en neurociencias, física, biología... y de descubrir cosas inesperadas. Estamos en el momento de redefinir el concepto de organismo, qué es un organismo. Porque ¿nosotros qué somos, un organismos o un ecosistema? Y así hasta cuestiones muy básicas acerca de la naturaleza de la percepción.

Sobre la ciencia en España, también éste es un momento apasionante porque mucha gente de nuestro país ha aportado y está aportando. Quizá el problema que tenemos en España (aunque no en toda España) es que se falla un poco en tener iniciativas un poco más enriquecedoras. ICREA por ejemplo es un experimento clarísimo de reclutar a gente de cualquier parte del mundo con criterios de excelencia, facilitarles la vida y meterlos en un contexto donde haya masa crítica. Eso es un buen negocio, porque los ICREA traemos mucho dinero, se empiezan a patentar cosas, se da una visibilidad enorme. Ello ha favorecido la transversalidad: muchos ICREA son gente que ha sido escogida porque hacen biología conectado con informática, o hacen física conectada con la biología, y ello es algo que hay que apoyar. Tenemos profesionales muy cualificados, y si no se apoya a dichos profesionales con inversión es como si no se riega la planta, el resultado final es que la planta se muere.

Por otra parte hay que tener visión y los políticos no tienen visión.

¿Qué opinas de lo que dicen científicos del CNIO (Lolo *et al.*, 2012) acerca de que la selección natural se da en las células?

En el sentido en el que ellos lo discuten está claro que sí, que hay un proceso de selección natural que parece consistente con otros procesos en los que se ha observado la detección de células poco viables y creo que corresponde al caso general de mecanismos de eliminación de células potencialmente problemáticas, si bien en este caso tiene lugar dentro del desarrollo con mecanismos de competencia.

Referencia bibliográfica citada:

Lolo FN, Casas-Tintó S, Moreno E. Cell Competition Time Line: Winners Kill Losers, which Are Extruded and Engulfed by Hemocytes. *Cell Rep.* 2012 Sep 27;2(3):526-39)

