

Una formulación matemática permite predecir la evolución de redes complejas

► EL ESTUDIO, QUE RELACIONA SISTEMAS DINÁMICOS Y REDES COMPLEJAS ACABA DE APARECER PUBLICADO EN **SCIENTIFIC REPORTS**, DEL GRUPO **NATURE**. EL AUTOR PRINCIPAL DEL ESTUDIO ES **ANTONIO BRÚ**, PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE **MATEMÁTICA APLICADA** DE LA UCM

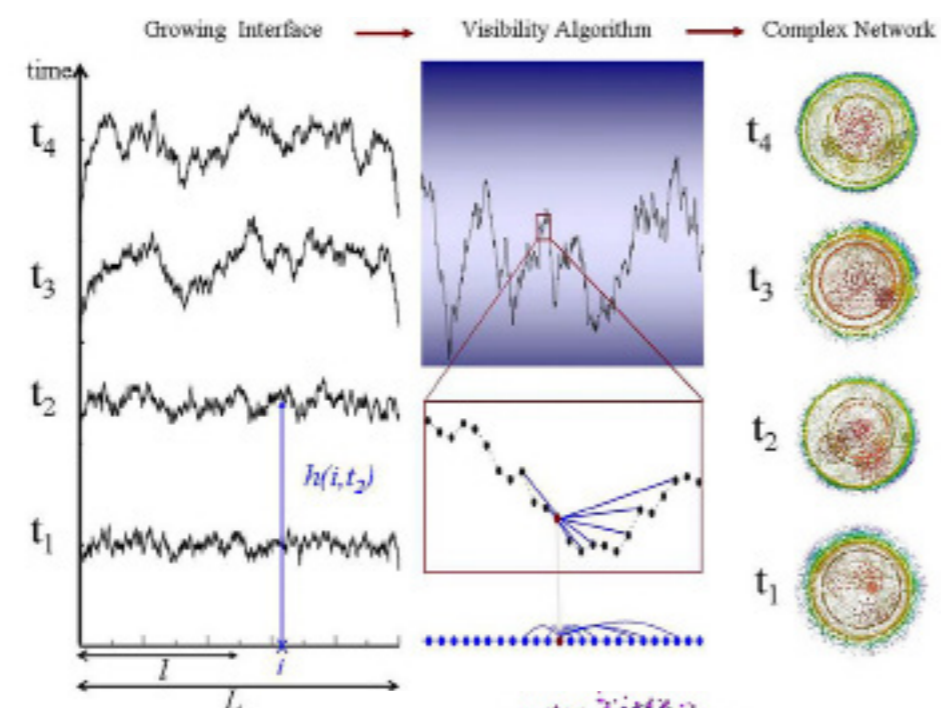
Todos vivimos rodeados, e incluso formamos parte, de redes complejas, pero ¿qué son? Una manera fácil de entenderlo es a través del título del libro publicado en 2009 por el físico y biólogo Ricard Soler: "Redes complejas. Del genoma a Internet". Es decir, una red compleja va desde lo más profundo de un ser vivo, como puede ser su genoma o su microbiota (los miles de millones de microbios que habitan en nuestros intestinos), hasta

VIVIMOS EN UN MUNDO DE REDES COMPLEJAS, DESDE NUESTRO PROPIO GENOMA A INTERNET, LOS ECOSISTEMAS, EL CEREBRO O EL CÁNCER

las redes sociales. Por supuesto, en medio estarían otras muchas como los ecosistemas, las redes eléctricas, el cerebro o el cáncer. El estudio de estas redes complejas se ha convertido en uno de los grandes objetivos científicos de este siglo XXI.

Hasta ahora la mayoría de estos sistemas complejos se estudiaban a partir de una imagen estática (como la que se puede ver a la derecha de estas líneas). Una fotografía de un momento dado de las múltiples conexiones y nodos existentes, y del estudio de cómo se establecen esas interrelaciones. A Antonio Brú, profesor del Departamento de Matemática Aplicada de la Complutense, se le ocurrió que se podría relacionar los sistemas dinámicos, que son aquellos que están en evolución, con las redes complejas, y con eso conocer sus mecanismos y su comportamiento.

Si un experto en marketing conoce cómo va a evolucionar una red social y además sabe qué mecanismos son los que producen esa evolución podrá



La imagen superior muestra cómo se selecciona un momento concreto de una red compleja. A ese momento se le aplica la nueva formulación matemática y de allí se obtiene qué tipo de sistema dinámico es, entre los seis posibles que existen. A la derecha, visión estática de una gran red compleja, una imagen que permite conocer muchos datos de la red, pero no sus mecanismos de evolución. En la página siguiente, Antonio Brú

modificarlos para conseguir un mayor rendimiento, pero también podrá utilizar esta formulación matemática aquel que quiera conocer cómo se va

a expandir la mancha de un vertido de petróleo en el mar o el que desea conocer el crecimiento de un tumor. Tanto uno como otro, al conocer el

TEXTO: JAIME FERNÁNDEZ / FOTOGRAFÍA: J. DE MIGUEL



utilizar las redes complejas para saber exactamente cómo crece". Se puede aplicar su ecuación de crecimiento para saber cuáles son los mecanismos que intervienen y que son los responsables de ese crecimiento. Según Brú, lo que han desarrollado son unas "ecuaciones estocásticas para cualquier tipo de crecimiento y que incluyen siempre un término de aleatoriedad, para todos y cada uno de los seis tipos de procesos dinámicos que existen".

Estas ecuaciones permiten conocer además qué factores pueden anular unos u otros procesos, con lo que la evolución del sistema se puede modificar, acelerar o detener. "La ecuación se extrae directamente de la red compleja, así que hay una para cada uno de los seis tipos de procesos dinámicos de esas redes, porque ya conocemos que cada proceso de cre-

GRACIAS A UNAS ECUACIONES SE PUEDE CONOCER LA EVOLUCIÓN DE TODOS LOS SISTEMAS DINÁMICOS QUE CUENTEN CON UN BORDE

cimiento se adscribe a alguno de esos seis tipos de dinámicas".

LOS TUMORES

Aunque en este artículo de *Scientific Reports* no se menciona el cáncer, ese es uno de los intereses de Antonio Brú. Reconoce que "cuando se conoce la dinámica de algo y los mecanismos que influyen en su evolución y crecimiento, sabes qué mecanismos debes tocar para intentar modificarlo, así que si yo sé cómo está creciendo algo y lo conozco muy bien, puedo actuar sobre los factores de crecimiento y, por ejemplo, detenerlos".

En el caso concreto de los tumores, a partir de la ecuación de su crecimiento, Brú dedujo que "lo que buscaban en ese crecimiento era espacio, así que si se quita el espacio se puede luchar contra ese tumor". Por el contrario, la lucha actual contra los tumores lo que busca es evitarles el acceso a los nutrientes, "algo que se hace con un éxito relativo". ■

► mecanismo, podrán enfrentarse a él y probablemente detenerlo.

EL TRABAJO

Explica Antonio Brú que ya llevaba cuatro años trabajando en la dinámica del borde tumoral con Elisa Alós, de la Pompeu Fabra. Al mismo tiempo, con Juan Carlos Nuño, de la Universidad Politécnica de Madrid, trabajaba en otro modelo, en el que también ha participado Rafael Lahoz de la Facultad de Biológicas de la UCM. Alós, Nuño y

Brú, junto a un alumno suyo de doctorado, se pusieron a trabajar en el tema del estudio de los sistemas dinámicos aplicados a las redes complejas como una forma para caracterizar cualquier sistema de este tipo.

De acuerdo con Brú, "cualquier sistema dinámico que exista, sin importar el tipo de dinámica que sea y por muy complejo que sea, por mucho que se trate de procesos aleatorios y estocásticos (sometidos al azar), siempre que tenga un borde se podrán