

Puntos de interés

Descripción breve y sencilla de iniciativas docentes en nuestros colegios e institutos que han de ser resaltadas, de investigaciones relevantes de autores españoles o de extranjeros en instituciones españolas, y de otros hechos interesantes sobre ciencia y enseñanza, políticas educativa y científica y sus actores¹

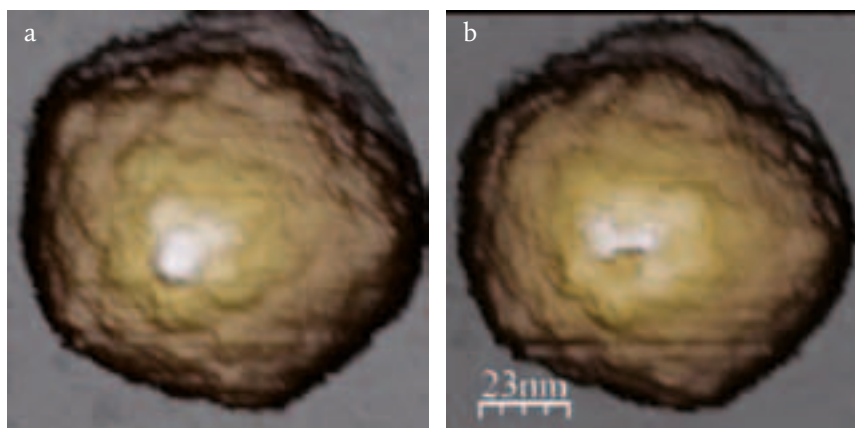
FÍSICA DE LOS VIRUS

El ciclo vital de un virus requiere a veces que su estructura sea muy estable, por ejemplo cuando transportan el genoma viral de célula en célula; o una resistencia estructural muy pequeña, por ejemplo, cuando empaqueta su genoma durante su formación, o lo libera durante la infección en la célula huésped. El proceso que convierte un virus inestable en estable se llama **maduración**. Este proceso conlleva **cambios estructurales en la cápsula viral encaminados a hacerla más resistente**. En algunos virus la maduración requiere el ensamblaje de proteínas ajenas al virus en diferentes sitios de su pared externa, denominadas **proteínas decorativas o cemento**. Entender y cuantificar el

(DOI: 10.1038/ncomms5520) medir y cuantificar el refuerzo mecánico de un virus inducido por sus proteínas cemento. Para ello se ha utilizado como modelo el virus *bacteriófago lambda*, cuyo estadio final de maduración requiere el ensamblaje de proteínas cemento. En este trabajo se ha estudiado **la resistencia mecánica de virus individuales con y sin proteínas cemento, utilizando el microscopio de fuerzas atómicas**. Por un lado se ha estudiado la dureza y fuerza de rotura de cada virus frente a deformaciones puntuales individuales a alta fuerza (nanonewtons), encontrándose que las proteínas cemento incrementan estos parámetros mecánicos en un factor tres. Sin embargo, más que deformaciones puntuales, los virus se encuentran sometidos a impactos mole-



virus que ya ha sufrido impactos. Estos experimentos han mostrado que las proteínas cemento aumentan la resistencia de los virus a impactos moleculares en un factor 10, dando una explicación física a la estabilidad exhibida por los virus en el exterior de la bacteria.



papel estabilizador de estas proteínas es fundamental no sólo para entender su función biológica, sino también para usar los virus como contenedores nanométricos artificiales.

Un equipo multidisciplinar formado por los **físicos** Mercedes Hernando-Pérez y Pedro José de Pablo de la UAM y **biólogos** de la Universidad de Washington (Seattle) ha conseguido

culares provenientes del entorno donde evolucionan. En el caso del bacteriófago lambda, que infecta la **bacteria E. coli** (que se encuentra, entre otros sitios, en nuestro intestino), estos impactos son más abundantes en el exterior de la bacteria, donde se encuentran los virus maduros con proteínas cemento, que en el interior de la bacteria, donde los virus inmaduros no tienen proteínas cemento. Con esto en mente se ha sometido a cada virus a ciclos de fatiga mecánica a baja fuerza (piconewtons) que imitan los impactos moleculares anteriormente descritos. La figura muestra un virus intacto en el panel a y, en el panel b, un

RELACIONES ENTRE AMIGOS

BitTorrent, el protocolo más popular para compartir ficheros entre amigos, de igual a igual (*peer-to-peer*, **P2P**), es responsable de hasta una cuarta parte del tráfico total en internet. Y la **importancia socio-económica de las redes P2P** es cada vez mayor, como muestran los fallidos intentos en UE y EE.UU de crear leyes que regulen su funcionamiento. Es por tanto necesario entender el comportamiento de los usuarios de esas redes, pero uno se enfrenta con el problema de que solo cada usuario sabe exactamente lo que hace, a diferencia de Facebook, Twitter y otras plataformas, donde toda la información está en servidores centralizados.

Arnau Gavalda-Miralles, Jordi Duch y Roger Guimerà de la Universitat Rovira i Virgili, colaborando con investigadores de la Northwestern University, han estudiado (DOI: 10.1073/pnas.1309389111) por primera vez el comportamiento detallado de miles de **usuarios de BitTorrent** usando datos (hechos anónimos) sobre su actividad. Del análisis del tipo de ficheros que comparten, concluyen que se

¹ Animamos al lector a que proponga contribuciones para ser consideradas en esta sección y, en su caso, a debatir temas que aquí se presentan enviando sus comentarios para la sección "Pulsos e impulsos".

comportan generalmente como especialistas, esto es, tienden a concentrarse en uno o unos pocos tipos de contenidos (música, series, películas, etc.) en lugar de compartir ficheros de todo tipo. Además, todavía más interesante, el comportamiento de estos usuarios está **correlacionado con factores socio-económicos y/o tecnológicos**. Por ejemplo, se observa que en cada país hay usuarios de todos los tipos, pero la proporción de usuarios de



cada tipo es diferente, lo que hace pensar que hay condicionantes externos que afectan a nuestro comportamiento en las redes P2P. En particular, y en contra de lo que se pudiera esperar, países más ricos tienen una sobrerrepresentación de usuarios que comparten ficheros pequeños (música, libros, etc.) mientras que países más pobres tienen sobrerrepresentados a los usuarios que comparten ficheros mas grandes (películas).

Los patrones de comportamiento observados tienen **consecuencias** potencialmente importantes: por ejemplo, si uno tiende a compartir siempre los mismos tipos de ficheros, acabará conectándose solo con un subconjunto de todos los usuarios de la red (los que comparten ficheros parecidos). Dicho de otra manera, la red de BitTorrent estará compartimentalizada, cosa que puede ser positiva a la hora de diseñar **protocolos más eficientes**. Pero la especialización también tiene consecuencias para la privacidad de los usuarios, porque **los especialistas son predecibles**:

con observar unas pocas descargas de un usuario especialista resulta relativamente sencillo (usando algoritmos de inferencia estadística) saber de qué tipo de usuario se trata o qué tipo de fichero será el próximo que descargue.

EXPLOSIONES CÓSMICAS QUE DESTRUYEN VIDA EN EL UNIVERSO

Los avances en astronomía observacional de la última década y, en particular, el satélite Kepler de la NASA, que ha descubierto varios de miles de planetas, nos han mostrado que, básicamente, **cada estrella tiene asociado un planeta** o un sistema planetario. En consecuencia, no es descabellado pensar que **la vida es abundante** pues, habiendo tantos planetas, muchos podrían tener condiciones adecuadas para albergar vida multicelular compleja como la que conocemos en la Tierra.

Pero **el Universo parece ser más hostil de lo que podríamos pensar**. Una reciente colaboración (DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.231102) de Raúl Jiménez de la UB con la Universidad Hebrea de Jerusalén se pregunta por el papel de las explosiones cósmicas en la destrucción de vida. Interesan las explosiones más energéticas, debidas al colapso gravitatorio de **estrellas muy masivas** (entre 30 y 200 veces la masa solar) **que tienen en su centro un agujero negro**. Si éste gira rápidamente, va expulsando en forma de chorro el material que cae en él. Cuando este chorro interacciona con las capas externas del remanente de la estrella, **se forman**

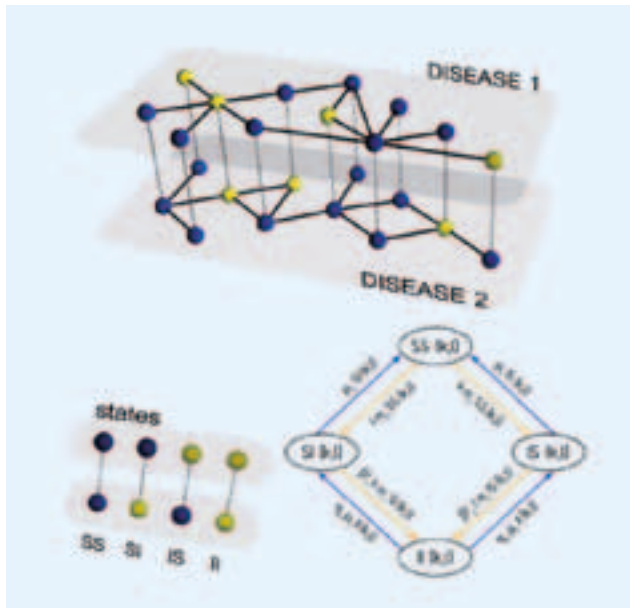


rayos gamma por efecto Compton inverso con energías superiores a 100keV que escapan al medio interestelar. Al llegar estos rayos a la atmósfera de un planeta, pueden **destruir su capa de ozono**. La radiación ultravioleta reci-

da de la estrella en torno a la que gira este planeta aumenta entonces exponencialmente, y puede **alterar el ADN de criaturas vivientes** con consecuencias catastróficas. El estudio concluye así que las explosiones de rayos gamma son suficientes para dañar la vida y, sorprendentemente, que habrían tenido un efecto devastador en el centro de nuestra propia galaxia, aniquilando la vida en la mayoría de los planetas próximos a ese centro. La **figura ilustra la probabilidad de que un planeta no se haya visto afectado en función de su posición en la galaxia**. Estas explosiones habrían tenido un **efecto casi catastrófico en el caso de la Tierra**, donde estuvieron cerca de destruir la vida durante la extinción del Ordovícico. Los investigadores también argumentan que la vida en el Universo se vio especialmente afectada, incluso parcialmente extinguida, por exposición a las explosiones de rayos gamma cuando era joven, con unos 6 millardos de años. Parece que **la vida sólo está protegida de ese efecto en zonas de baja densidad en suburbios del Universo** como nuestra Vía Láctea. Quizá esas explosiones cósmicas **explican la paradoja de Fermi**, ¿por qué no nos han colonizado?

LOS MALES NUNCA VIENEN SOLOS

¿De qué depende el impacto de una enfermedad infecciosa sobre una población? Probablemente es la pregunta más importante que hoy se plantea la **epidemiología matemática**, esa rama del conocimiento con casi 90 años de historia empeñada en describir cuantitativamente, mediante modelos matemáticos, la **propagación de enfermedades infecciosas**. Desde su nacimiento, esta disciplina nos ha ido permitiendo describir diferentes **epidemias reales** con notable precisión, desde el brote de peste que asoló la Europa medieval a la pandemia de gripe A-H1N1 en 2009. Sin embargo, hay aspectos todavía hoy poco estudiados, como las **interacciones entre enfermedades que se propagan simultáneamente** sobre una misma población. En los modelos clásicos, cada enfermedad es descrita



por separado, pese a que, en la realidad, multitud de patógenos se propagan simultáneamente entre nosotros, interactuando entre ellos de un modo que resulta en ocasiones fundamental para comprender su impacto global. Tal es el caso, por ejemplo, del **efecto potenciador que el VIH ejerce sobre la propagación de la tuberculosis**, que en determinadas áreas geográficas —especialmente en el África subsahariana— representa un problema de salud pública de primera magnitud. Pero los mecanismos de interacción entre enfermedades pueden ser muy variados y, en ocasiones, un tipo de patógeno atenúa la propagación de otro. Es lo que se observa en la **competición entre diferentes cepas de gripe** cada año.

La interacción entre los procesos de propagación tiene **a veces un origen socio-sanitario**, en lugar de estrictamente inmunológico. Un dramático ejemplo está teniendo lugar actualmente en los países africanos más azotados por el ébola, en los que los que el diagnóstico de la enfermedad y su posterior contención se ve dificultado por los elevados índices de malaria, causante de síntomas similares. Otros aspectos que influyen en el desarrollo y en el alcance de las interacciones entre enfermedades son la **arquitectura de las redes de propagación** y las **características específicas de cada proceso infeccioso involucrado**. De este modo, importantes diferencias dinámicas emergen dependiendo de si las enfermedades estudiadas se transmiten sexualmente o por vía aérea, o de si los individuos ganan inmunidad tras una primera infección.

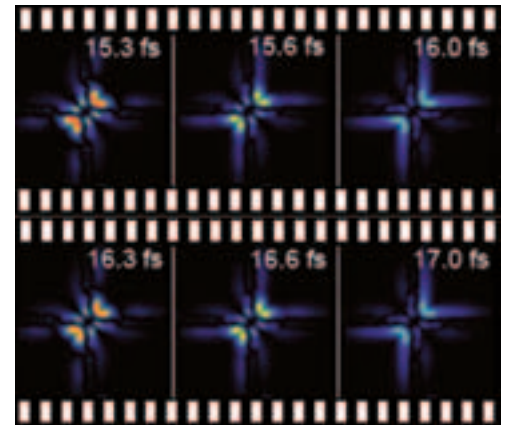
En un trabajo reciente (DOI: 10.1103/PhysRevX.4.041005), Joaquín Sanz, Sandro Meloni y Yamir Moreno del BIFI en UNIZAR, en una colaboración con la República Popular China, proponen y estudian un modelo para la propagación de dos enfermedades dinámicamente co-dependientes bajo la influencia de todos esos factores. Se trata de llegar a comprender situaciones en las que **la evolución de**

una enfermedad no puede explicarse sin comprender su relación con otras.

COREOGRAFÍA DE UN PAR DE ELECTRONES

En el modelo de Böhr, el electrón del átomo de hidrógeno se mueve en una órbita circular alrededor del núcleo atómico en 152 attosegundos. El attosegundo, trillonésima parte de un segundo ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$), es la escala de tiempo natural para el movimiento de electrones en cualquier átomo o molécula. Es un movimiento tan rápido que no pudo ser directamente observado hasta principios de siglo, cuando **la tecnología láser pudo producir destellos de luz suficientemente cortos (del orden de unos cuantos attosegundos) para que las fotografías del electrón no resultaran “movidas”**. En átomos con más electrones, éstos minimizan su repulsión mutua evitándose los unos a los otros, lo que da lugar a un movimiento “correlacionado”, o “concertado”, en el que cada electrón condiciona el comportamiento de los demás.

Los físicos teóricos Luca Argenti y Fernando Martín de la UAM, en colaboración con grupos experimentales en Heidelberg y Garching, acaban de informar (DOI: 10.1038/nature14026) de que han sido capaces de reconstruir y **controlar por primera vez el movimiento correlacionado de los dos electrones del átomo de helio**. Para ello han utilizado una **combinación de pulsos de luz visible y ultravioleta con**

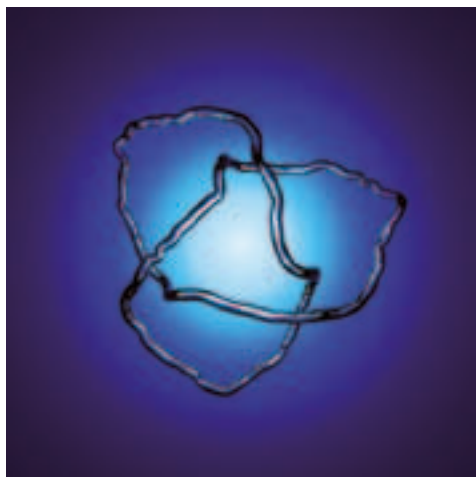


una duración de tan sólo unos pocos cientos de attosegundos. Dado que la mayor parte de los enlaces que mantienen unidos los átomos en las moléculas se forman a partir del apareamiento de dos electrones, el método desarrollado abre la puerta a controlar las propiedades de estos enlaces y, por tanto, a producir compuestos que no pueden ser obtenidos utilizando los procedimientos habituales de la química.

La figura muestra una película obtenida por esos investigadores del **movimiento de un par de electrones en el átomo de helio**. Al cabo de 15,3 femtosegundos (10^{-15} s) de iniciado el reloj, los dos electrones están cerca del núcleo (zona de color rojo cercana al centro de la imagen), y luego se alejan de él. El color indica la probabilidad de encontrar uno de los electrones en la posición A (eje vertical) y el segundo en la posición B (eje horizontal) en una línea trazada a través del átomo (a lo largo de la dirección de polarización del láser). Un femtosegundo más tarde, es decir, 16,3 femtosegundos después de haber iniciado el reloj, vuelven a su posición original.

RESUELTA UNA CONJETURA DE KELVIN SOBRE LA MECÁNICA DE LOS FLUIDOS

El escocés **William Thomson** fue un célebre físico del siglo XIX. Entre sus logros científicos, por los que recibió el título de Lord Kelvin, destaca el descubrimiento y cálculo del **cero absoluto**, que le llevó a introducir la escala de temperaturas que lleva su nombre, y la predicción teórica y descubrimiento experimental del “**efecto Thomson**”, que relaciona calor y electricidad. También tuvo un papel relevante en estudios industriales y es célebre su



argumento para calcular la edad de la Tierra (que conducía a una estimación errónea por no tener en cuenta la energía nuclear, entonces desconocida). En 1875, motivado por sus investigaciones sobre la estructura de la materia, Kelvin planteó un problema apasionante sobre **las estructuras geométricas que pueden aparecer en un fluido en equilibrio**. Conjeturó que las ecuaciones de Euler para un fluido incompresible, $\partial_t \mathbf{u} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla P$, $\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$, que relacionan el campo de velocidades \mathbf{u} con la presión P en cada punto del fluido, tenían soluciones estacionarias \mathbf{u} como *tubos de vorticidad* finos arbitrariamente complejos, esto es, vórtices con formas toroidales posiblemente anudadas, mostrando una complicada topología, tales que la vorticidad del fluido o rotacional $\nabla \times \mathbf{u}$ es tangente a sus fronteras.

Alberto Enciso y Daniel Peralta del Instituto de Ciencias Matemáticas y del CSIC han confirmado esta conjetura (arXiv:1210.6271, por aparecer en *Acta Mathematica*). Su demostración ha suscitado una considerable atención pues, aparte de esperada, combina una admirable intuición física con técnicas de ecuaciones en derivadas parciales, sistemas dinámicos y geometría diferencial desarrolladas por los mismos autores. Es notable que este trabajo involucra ideas que subyacen en problemas de la electrostática, y relacionadas con los toros invariantes de Poincaré que desempeñan un papel clave en mecánica celeste. Además, los tubos de vorticidad anudados intervienen en la teoría lagrangiana de la turbulencia, y la conjetura de Kelvin ha impulsado el desarrollo de la teoría de nudos.

Kelvin propuso explicar los átomos como tubos de vorticidad en el éter con distintas topologías y tipos de nudos.

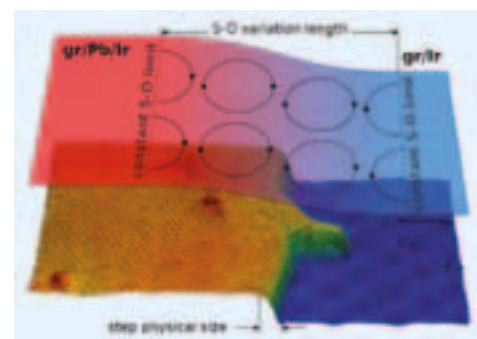
Esta teoría atómica fue pronto desterrada pero la conjetura siguió respetándose pues se basaba en el transporte de la vorticidad probado por Helmholtz y en observaciones experimentales de ondas de agua y anillos de humo, las primeras de las cuales se remontan a Maxwell. Experimentos recientes, mucho más precisos, en el laboratorio Irvine de la Universidad de Chicago han conseguido reproducir aquellas estructuras complejas en fluidos, confirmando experimentalmente el trabajo de Enciso y Peralta. La figura muestra una imagen producida por ordenador de un tubo de vorticidad (cortesía de William Irvine).

UNA FUERTE INTERACCIÓN ESPÍN-ÓRBITA EVITA COLISIONES EN GRAFENO

El diseño de dispositivos electrónicos viene sacando buen provecho de la carga del electrón pero las nuevas tecnologías han empezado a usar con ventaja su espín, esa especie de imán intrínseco capaz de dos orientaciones que simula perfectamente el bit binario. Así, mientras la electrónica clásica codifica información mediante corrientes de carga (donde los espines van orientados al azar), **la llamada “espintrónica” puede usar corrientes de espín** consiguiendo un almacenamiento más sencillo y directo. Los primeros dispositivos espintrónicos aprovechaban la interacción entre campos magnéticos intrínsecos del material y el espín de los electrones que circulaban por él, pero la segunda generación busca aprovechar efectos debidos, incluso en ausencia de campo externo, a la **interacción entre el espín de los electrones y su órbita**. Si esta interacción es grande, los electrones notan un campo magnético efectivo. La deseada **incorporación del grafeno a esta tecnología** —un objetivo del proyecto *Graphene Flagship* de la UE— choca con la dificultad de que la interacción espín-órbita es despreciable en el grafeno

Desde esta perspectiva, la única propiedad interesante del grafeno es la posibilidad de **transportar muy rápidamente electrones sin modificar sus espines en el trayecto**. Sería deseable que hiciera de filtro, controlando a voluntad el espín durante la transmisión. Pero, según se predijo hace unos años, manipular los

espines electrónicos en grafeno requiere una interacción espín-órbita grande. Investigadores en el IMDEA Nanociencia, el Instituto de Ciencia de Materiales del CSIC, la UAM y la UPV/EHU han encontrado (DOI: 10.1038/nphys3173) una manera práctica de **crear en grafeno una interacción espín-órbita un millón de veces más intensa que la intrínseca** intercalando una sola capa de átomos de plomo por debajo del grafeno. Los electrones en el material así modificado se comportan **como si estuvieran en presencia de un campo magnético del orden de 80 Teslas**, de modo que sus **estados cuánticos accesibles son discretos y su polarización de espín es controlable**. Técnicamente (figura) la variación espacial de la interacción espín-órbita (muy grande en grafeno intercalado con Pb y muy pequeña en grafeno sin intercalar) genera un pseudocampo magnético que confina los electrones del grafeno en niveles de Landau. Además, **ciertos estados electrónicos en estas condiciones** están “topológicamente protegidos”, esto es, **son inmunes a defectos, impurezas o perturbaciones geométricas**. Es como



si en el material espintrónico tradicional hubiera circulación por una carretera de un solo carril, ocurriendo así frecuentes colisiones, mientras que el material modificado dispusiera de un “control de tráfico” con dos carriles espacialmente separados haciendo más difíciles las colisiones.

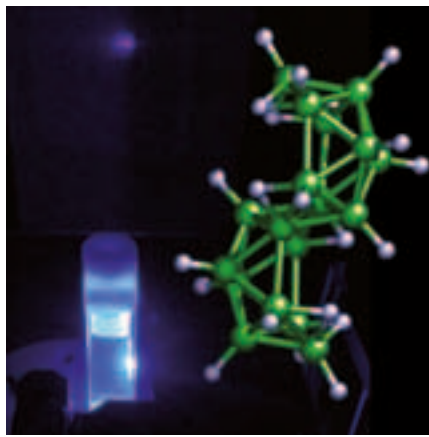
ESPERANZA DE NUEVOS MATERIALES PARA FABRICAR LÁSERES MÁS VERSÁTILES

Los láseres azules son imprescindibles en multitud de aplicaciones, desde espectroscopia y procesamiento de materiales,

hasta comunicaciones submarinas, biotecnología y medicina. Tras más de medio siglo de investigación y desarrollo, aún se buscan materiales generadores de luz láser azul sintonizable, eficiente y duradera, y, además, fáciles de producir y procesar y, sobre todo, baratos. Hasta hoy, tanto la investigación como la comercialización de estos materiales se ha centrado, principalmente, en compuestos orgánicos (colorantes láser, polímeros conjugados, cristales de moléculas pequeñas) o inorgánicos (puntos cuánticos coloidales, perovskitas halogenadas). Luis Cerdán, Inmaculada García-Moreno y Ángel Costela, del Instituto de Química-Física Rocasolano del CSIC, en colaboración con investigadores checos, han propuesto (DOI: 10.1038/ncomms6958) una radical alternativa a este tipo de materiales: los hidruros de boro o *boranos*.

Son moléculas inorgánicas de boro e hidrógeno con una ostensible deficiencia electrónica que les obliga a compartir densidad electrónica en una suerte de deslocalización cuasi-aromática, adquiriendo para ello **configuraciones poliédricas**. En este trabajo se ha recurrido a disoluciones de *anti-B₁₈H₂₂*, un complejo de 18 átomos de boro y 22 de hidrógeno con una **estructura que recuerda, como muestra la imagen, a un fullereno dividido por la mitad y unido por sus bordes**. Este compuesto ya fue sintetizado y descrito en los años 60, pero ha habido que esperar hasta 2012 a que un estudio fotofísico en profundidad revelase sus **excelentes propiedades de emisión**: un rendimiento cuántico de fluorescencia (eficiencia de conversión lumínica) del 97%.

El nuevo estudio hispano-checo ha demostrado que las disoluciones de *anti-B₁₈H₂₂* pueden emitir pulsos de luz láser azul (406 nm) de una duración de 4 nanosegundos con una eficiencia (relación entre energía de emisión y energía de excitación) que alcanza el 10%. Además, ha mostrado que este nuevo compuesto láser presenta una resistencia a la degradación por irradiación láser mayor o comparable a la de los colorantes orgánicos comerciales en esta región espectral, lo que permitiría obtener emisión láser durante más tiempo sin necesidad de renovar el medio de ganancia, **abaratando así costes y reduciendo el impacto ambiental**. Si bien es cierto que la eficiencia obtenida



en este trabajo no es excelente, sí **hay margen de mejora**. Por ejemplo, los colorantes orgánicos, siendo lo más parecido a los boranos en cuanto a propiedades estructurales y de emisión, comenzaron su andanza láser hace 50 años con unas eficiencias del 4%, y a día de hoy se publican eficiencias del 70%.

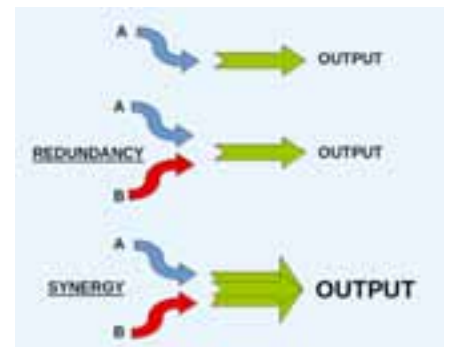
CAUSALIDAD, SINERGIA Y REDUNDANCIA EN REDES COMPLEJAS DINÁMICAS

Los organismos vivos típicamente formados por multitud de subsistemas semejantes, cada uno con su respectiva dinámica reguladora e interactuando entre ellos, **son paradigma de sistema complejo**. La estructura de las interacciones en estos sistemas viene siendo modelada en los últimos años **haciendo explícitas o suponiendo que existen mallas o redes** que los relacionan, y hoy se consideran desde redes neuronales hasta redes genéticas, pasando por redes de interacción de proteínas y metabólicas. Hace unas décadas se introdujo en econometría el concepto de **causalidad de Granger** para estudiar sistemas con interacciones dinámicas direccionales, “de A hacia B”, digamos. Si al estudiar una serie temporal, tratando de predecir su futuro, se consigue reducir el error incluyendo una segunda serie en el modelo de análisis, se dice que la segunda serie tiene influencia causal de tipo Granger en la primera.

En las **redes dinámicas**, cuyas interacciones cambian con el tiempo, interesa identificar los flujos de información, para lo que son relevantes los conceptos, intuitivos y elusivos al mismo tiempo, de **redundancia** y **sinergia**. La **sinergia**

es consecuencia de la cooperación: la información contenida en un conjunto de variables es mayor que la suma de la información de las variables. La **redundancia**, que propicia una menor información en el conjunto que la suma de las contribuciones individuales, se manifiesta como una elevada correlación entre variables, y puede ser consecuencia de la influencia de una variable externa.

Una reciente colaboración (DOI: 10.1088/1367-2630/16/10/105003) de los físicos Sebastiano Stramaglia y Jesús M. Cortes, en el Instituto Biocruces de Investigación Sanitaria de Bilbao, con las Universidades de Bari y Gante, trata de caracterizar estos conceptos en situaciones de interés práctico. Esto es, **se estudia la dinámica de sistemas complejos en el caso de un cerebro epiléptico**. Tomando como series temporales registros electro-cortico-gráficos (potenciales eléctricos registrados mediante sensores intracraneales) **se compara la actividad previa a una crisis epiléptica con la actividad en plena crisis**. De este modo, y analizando la causalidad de Granger entre pares de electrodos,



se ha observado cómo los electrodos asociados al área epileptógena (la que desencadena la crisis) operan sinérgicamente influyendo en el resto del sistema (conduciéndolo hacia la crisis). Si no se considerara el **efecto de la sinergia**, la acción de estos electrodos quedaría infravalorada.

En el mismo trabajo se informa acerca del estudio de datos de **expresión genética procedentes de 94 genes de un cultivo celular de carcinoma cervical** que viene manteniéndose vivo desde 1951 (HeLa). Aquí se observa que **sinergia y redundancia coexisten** en las redes, resaltando una complejidad en la interacción nunca antes observada en expresión simultánea de genes.