

Puntos de interés

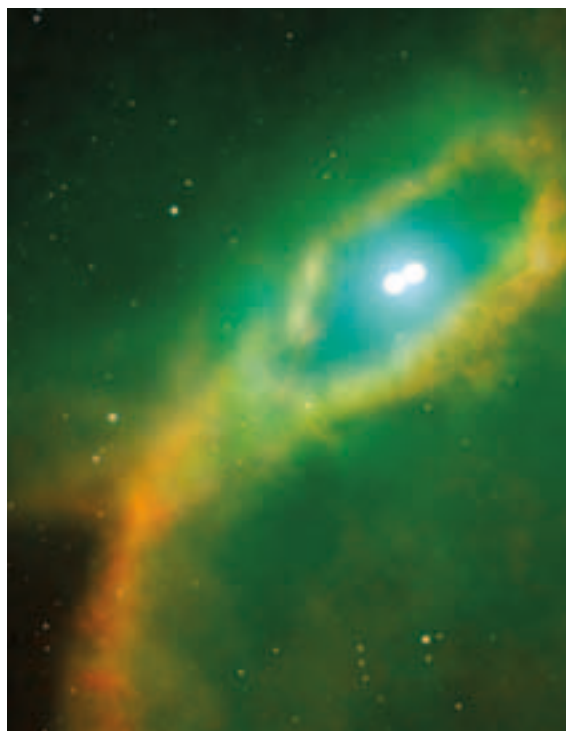
Descripción breve y sencilla de iniciativas docentes en nuestros colegios e institutos que han de ser resaltadas, de investigaciones relevantes de autores españoles o de extranjeros en instituciones españolas, y de otros hechos interesantes sobre ciencia y enseñanza, políticas educativa y científica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

LAS ESTRELLAS TAMBIÉN MUEREN

Al apagarse la fusión nuclear en su interior, nada equilibra su tendencia al colapso gravitacional y **nueve de cada diez estrellas terminan como nebulosa planetaria**, expulsando su corteza en forma de nube de gas. El núcleo desnudo es una **enana blanca**, estabilizada gracias a la presión de degeneración de sus electrones debida al principio de exclusión de Pauli. Esto configura un objeto tan denso que una cucharadita de enana blanca pesaría 15 toneladas. **Algunas enanas blancas mueren por segunda vez, explotando como supernovas tipo Ia**. Su brillo intrínseco es regular, y resultan muy útiles en astrofísica como “lámparas” para medir con precisión distancias a galaxias lejanas, lo que llevó al descubrimiento de la energía oscura.

Para aclarar cuántas de estas supernovas pueden esperarse, lo que tiene implicaciones en esas aplicaciones, **han de aclararse los detalles de su formación**. La teoría establece dos caminos. El primero, observado experimentalmente, ocurre cuando **la enana blanca tiene una estrella compañera orbitando suficientemente cerca** como para donarle gas. Si éste se acumula en la superficie rápidamente, puede hacer que la masa sobrepase el *límite de Chandrasekhar* (1.4 masas solares). Ni siquiera la presión de los electrones es suficiente para detener entonces el colapso, y explota como supernova.

El otro camino posible involucra **una pareja de enanas blancas**. La emisión de ondas gravitacionales que predice la



Relatividad General hace que sus órbitas pierdan energía, y pueden llegar a colisionar. Si, al hacerlo, la suma de sus masas supera el límite de Chandrasekhar, tendremos una supernova Ia. Hasta ahora, sin embargo, **no había evidencia observacional** suficiente de esta vía.

Miguel Santander-García, del ICMM del CSIC y en el Observatorio Astronómico Nacional, con Pablo Rodríguez-Gil, R. L. M. Corradi y D. Jones, del Instituto de Astrofísica de Canarias, y María del Mar Rubio-Díez, del Centro de Astrobiología CSIC-INTA, en una colaboración con investigadores en Sudáfrica y Chile (DOI: 10.1038/nature 14124) **han confirmado la existencia de semejante pareja de enanas blancas**. Buscaban comprobar la hipótesis de que el momento angular de una estrella compañera puede ayudar a moldear una nebulosa planetaria. Pero su estudio de la **nebulosa planetaria Henize 2-428** —cuya región central es interpretada artísticamente, sin conservar escala, por Ga-

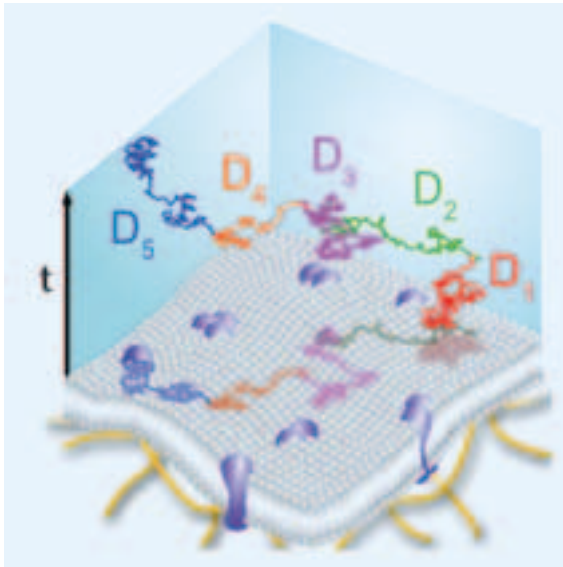


briel Pérez, SMM, IAC, en la ilustración adjunta— no solo apoyó esta hipótesis, sino que ha sorprendido, pues el análisis fotométrico y espectral de ese sistema binario revela que se trata de una **pareja de enanas blancas gemelas**. Su masa combinada es 1.8 veces la del Sol y tiene un periodo orbital de tan sólo 4.2 horas, suficiente como para que **se fundan en 700 millones de años y produciendo una supernova tan brillante que será visible desde la Tierra a la luz del día**.

RUPTURA DE ERGODICIDAD EN LA DIFUSIÓN DE PROTEÍNAS

La membrana que delimita una célula contiene una mezcla fluida donde las **interacciones entre una miríada de proteínas en movimiento** dan lugar a señales bioquímicas que **controlan las diferentes funciones celulares**. El movimiento es generalmente por difusión, y puede caracterizarse el desplazamiento cuadrático medio (DCM) de la proteína en cada instante de tiempo. En casos gaussianos, como en la difusión ideal browniana de una gota de tinta en agua, se espera crecimiento lineal con el tiempo pero, muchas proteínas en la membrana celular, debido a la complejidad de ésta, **muestran sub-difusión**, es decir, el DCM crece menos que linealmente, $\sim t^\beta$ con $\beta < 1$. Por otra parte, la **hipótesis ergódica** establece en este contexto que el promedio a lo largo del

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”.



tiempo de una magnitud física tal como el DCM referido a una de esas proteínas es igual al valor que obtendríamos al promediar el DCM de muchas proteínas semejantes para un mismo instante de tiempo.

Carlo Manzo, Juan Torreno-Pina, Pietro Massignan, John Lapeyre, Maciej Lewenstein y María García Parajo, todos del *Institut de Ciències Fotòniques* (ICFO) de Barcelona, usando **técnicas ópticas de seguimiento dinámico de moléculas individuales**, han demostrado (DOI: 10.1103/PhysRevX.5.011021) que una cierta **proteína de membrana, particularmente importante** por estar involucrada en el reconocimiento de agentes patógenos, **difunde de manera sub-difusiva y no-ergódica**. Una ruptura semejante de ergodicidad ya ha sido observada en otras ocasiones, como en el movimiento de cargas eléctricas en semiconductores y en la emisión de luz de los puntos cuánticos. En estos casos, la ruptura de ergodicidad se ha interpretado suponiendo que la partícula, de vez en cuando, queda inmóvil y espera un tiempo antes de volver a moverse. Eventualmente, este tiempo puede ser muy largo, pues la distribución de probabilidad de esas pausas no tiene promedio finito. Sin embargo, **la desviación de la ergodicidad en las proteínas ahora estudiadas parece debida a un proceso distinto**. Estas proteínas no son inmovilizadas de modo transitorio, sino que **cambian su difusión de manera casual y desordenada**, tal como ilustra la figura, donde una proteína cambia de difusión 5 veces. Sorprendentemente, se

ha descubierto que **la desviación de la ergodicidad está directamente asociada con la capacidad de las proteínas para capturar e internalizar patógenos**, es decir, asociada a **su función biológica**. Esto se ha demostrado haciendo medidas en una mutación de la proteína que afecta su función, en cuyo caso la difusión que se observa resulta ser ordinaria y ergódica. Puede concluirse que **el desorden característico de sistemas complejos tales como las membranas celulares estudiadas puede ser parte de una estrategia evolutiva para controlar y regular la función celular**.

APRENDIENDO SOBRE ATASCOS DE LAS OVEJAS

Un atasco, como los que se observan a menudo en los saleros, se produce cuando hay cuerpos sólidos que obstruyen conductos u orificios. A fin de deshacerlo, se requiere una perturbación que transmita suficiente energía para romper las estructuras mecánicamente estables allí formadas. Se viene observando que **la formación de atascos es con frecuencia un proceso de Poisson**, en el sentido de que la probabilidad de que se produzca un tapón en un momento dado es independiente del tiempo. En consecuencia, el número de granos que salen por un orificio entre atasco y atasco responde a una distribución exponencial. Sin embargo, el proceso de desatasco es esencialmente distinto. Esto es, **la distribución del tiempo que tarda en deshacerse un atasco sometido a una perturbación, tal como una vibración ejercida desde el exterior, muestra una cola potencial con un exponente que depende de las particularidades del sistema**. En algunos casos, dependiendo del valor de este exponente, la media puede no converger,

y se habla de *estadística anómala* (DOI: 10.1038/srep07324).

Ángel Garcimartín, Iker Zuriguel, Martín Pastor y César Martín Gómez, en la Universidad de Navarra, colaborando con Luis Miguel Ferrer y Juan José Ramos, en la Universidad de Zaragoza, recientemente han extendido (DOI: 10.1103/PhysRevE. 91.022808) estas consideraciones a medios compuestos de **“partículas autopropulsadas”** —que incluye el caso de seres vivos— usando datos recogidos durante años referidos a **rebaños de ovejas** (que se ilustran en parte en las fotografías adjuntas). Éstas entran a diario a comer en un establo, produciéndose una aglomeración. Una cámara mide entonces el **intervalo temporal entre el paso de dos animales consecutivos**, y se comprueba que estos lapsos de tiempo siguen una **distribución con una cola potencial**. Por el contrario, las oleadas de ovejas entre atasco y atasco **siguen una distribución exponencial**. La similitud con los medios inertes es clara, salvo que ahora **la perturbación no es externa** sino que proviene de la misma agitación individual de las ovejas. Los investigadores han mostrado cómo describir los atascos mediante el exponente de la ley potencial en la distribución de intervalos temporales. **Cambios de estrategia producen cambios en el exponente relevante**; por ejemplo, agrandar la puerta, lo que se traduce en que hay menos atascos de



larga duración. También **se determinan así alternativas beneficiosas que son menos intuitivas**. Por ejemplo, colocar un obstáculo delante de la entrada apenas modifica el tiempo medio que tarda el rebaño en pasar por la puerta, pero reduce la duración de los atascos más largos. El vídeo en <https://www.youtube.com/watch?v=mkqhYhdgvGg> describe este fenómeno.

LA REPUTACIÓN DETERMINA LA COOPERACIÓN

La cooperación entre humanos es una cuestión fundamental para llegar a comprender las sociedades cuyo papel estamos todavía lejos de entender. **La física, con sus potentes herramientas para estudiar sistemas de muchos**

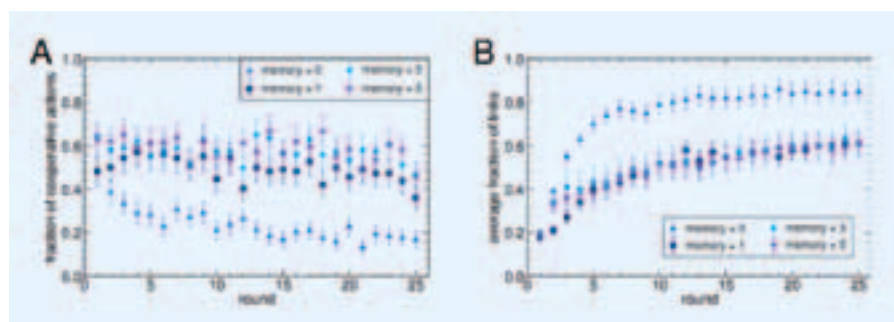
este tema (doi: 10.1038/srep07843) mediante **nuevos experimentos** en los que los jugadores interactuaban entre sí a través del “**Dilema del Prisionero**”, un juego que abstrae matemáticamente el problema de la cooperación enfrentando a dos jugadores que disponen de dos acciones posibles: **cooperar o traicionar**. Si ambos cooperan, el beneficio mutuo es mayor, pero si uno coopera y el otro traiciona, este último se aprovecha del cooperador obteniendo un mayor beneficio individual en detrimento de aquél. En el estudio de Cuesta y colaboradores, **varios grupos de jugadores interactúan** entre sí 25 rondas sucesivas siguiendo este protocolo. En cada ronda los jugadores no sólo elegían sus acciones, sino que también **podían modificar sus vecinos** para rondas sucesivas, rompiendo cualquiera de sus

sadas mostradas). El gráfico B muestra la evolución del número medio de enlaces, sobre el total posible. Sin reputación (triángulos), la gente coopera menos (izda.) y se conecta más (dcha.).

CAMPOS MAGNÉTICOS EN AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS

Los agujeros negros supermasivos encierran buena parte de los principales misterios que hoy tiene planteados la astrofísica. Por ejemplo, seguimos sin saber **cómo pudieron adquirir miles de millones de veces la masa solar en tan poco tiempo**, cientos de millones de años, después del Big Bang. La presión de la radiación emitida en un ritmo de acrecimiento de material tan rápido tendría que haber frenado el proceso. Además, el acrecimiento suele venir acompañado de **eyección en forma de chorros relativistas de parte del material**. (La figura ilustra las inmediaciones de un agujero negro, con el disco de acrecimiento, el nacimiento del chorro relativista y las líneas de campo magnético que unen a ambos; crédito ESO/L Calçada). El modelo más aceptado para explicar la producción de estos chorros, que se mantienen extraordinariamente enfocados hasta distancias extragalácticas, es el llamado **proceso de Blandford-Znajek** que, si bien se entiende a nivel energético, no concreta la dinámica. Según este modelo, intensos campos magnéticos en la parte más interna del disco de acrecimiento extraerían energía rotacional del agujero negro y la transformarían en energía cinética para los chorros relativistas.

Completar la teoría requiere estudiar estos fascinantes astros a través de

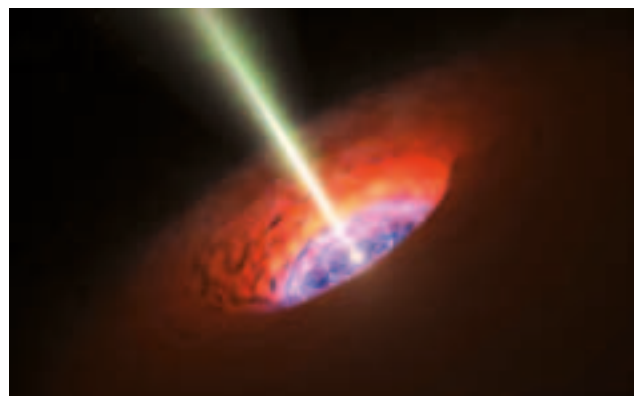


cuerpos, aporta una perspectiva objetiva en este problema y, en general, **en el estudio de sistemas sociales constituidos por muchos individuos**. En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios teóricos para profundizar en el papel de la **cooperación humana** apoyándose en los nuevos conocimientos sobre la estructura de la red de contactos. No obstante, al intentar validar experimentalmente esos mecanismos, se ha encontrado que la estructura de red no favorece la cooperación humana en general y, si lo hace, es en condiciones muy restringidas. Como alternativa, nuevos experimentos sugieren que el **que las personas puedan seleccionar sus contactos resulta clave para explicar la conducta cooperativa del grupo**.

José Cuesta, Carlos Gracia, Alfredo Ferrer, Yamir Moreno y Angel Sánchez, investigadores de la Universidad Carlos III de Madrid y del Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos de Zaragoza, han arrojado luz sobre

enlaces y proponiendo hasta cinco nuevos, en base a una información (que variaba de un experimento a otro) sobre las acciones pasadas del resto de jugadores. Los resultados muestran mayores niveles de cooperación en los experimentos con información, evidenciando que **la reputación es el factor clave tanto para la cooperación como para la formación de contactos** pues, cuando ésta se tiene en cuenta, los cooperadores tienen más y más duraderos contactos. Además, el estudio demuestra que la reputación puede ser cuantificada como una media ponderada de la última acción realizada y la cooperación promedio en el historial del contrario.

El gráfico A muestra el nivel de cooperación por ronda para los distintos valores de la memoria (número de rondas pa-



nuevas ventanas observacionales (mayores sensibilidades y resoluciones). Gran parte de la información disponible sobre las inmediaciones del agujero negro proviene de simulaciones y de extrapolaciones a partir de regiones muy distantes. Por ejemplo, **los campos magnéticos se habían medido en los chorros a grandes distancias** (varios años-luz) del agujero negro pues, cerca de éste, el chorro absorbe completamente su propia radioemisión. Iván Martí-Vidal, en el Observatorio Espacial Onsala de la *Chalmers University of Technology*, y otros colegas en este centro acaban de informar (DOI: 10.1126/science.aaa1784) que han conseguido detectar **señales del campo magnético desde la base misma del chorro, observando para ello radiofrecuencias muy altas, para las que esa zona deja de ser opaca**. Estudiando cómo depende el ángulo de polarización de la longitud de onda, los investigadores han detectado la *rotación de Faraday* debida al campo magnético en el punto donde nace el chorro relativista. Y esta rotación ha resultado ser cientos de veces mayor que la máxima jamás detectada en astronomía, revelando así la **enorme intensidad del campo magnético asociado al nacimiento del chorro relativista**.

En definitiva, Martí-Vidal y sus colegas en Suecia han obtenido, por primera vez de forma directa, una señal del campo magnético que habita precisamente en el lugar donde se ultima el *proceso de Blandford-Znajek*. Esto completa de modo importante el conocimiento que hasta ahora se tenía de estos exóticos objetos, que provenía de extrapolaciones dependientes del modelo. **Es un paso más para entender el papel fundamental que los agujeros negros han podido tener en la evolución del Universo**.

EL CONTACTO ENTRE LENGUAS SE ESTRUCTURA COMO LAS REDES ECOLÓGICAS

José A. Capitán y Susanna Manrubia, del Centro Nacional de Biotecnología (CSIC), en colaboración con la Universidad de Tel Aviv, acaban de publicar (DOI: 10.1098/rspb.2014.2947) el primer estudio sistemático de **biogeografía humana basado en redes de contacto entre lenguas**. Los investigadores demuestran que estas redes **tienen una estructura similar a las que relacionan depredadores y presas** en los ecosistemas naturales. El estudio también concluye que los grupos lingüísticos interaccionan a lo largo de direcciones espaciales específicas. Se observa **un patrón universal que se repite en diferentes regiones del mundo**. Es muy probable que los condicionantes geográficos del paisaje sean determinantes a la hora de explicar las propiedades estructurales de las redes, de forma que, por ejemplo, los valles y los ríos facilitarían la comunicación entre grupos mientras que las montañas supondrían una limitación.

Los autores han utilizado la base de datos *Ethnologue*, que contempla unas **6.900 lenguas** y proporciona información sobre la localización geográfica de cada una de ellas. Los patrones biogeográficos se han estudiado de manera global mediante una red de contactos entre grupos lingüísticos adyacentes. En la red, **los nodos representan las regiones donde se habla cada lengua**

(marcadas en escala de grises en la figura, que usa la isla de Nueva Guinea como ilustración) mientras que **los enlaces unen todas las lenguas que están en contacto**. Así, **dos lenguas están enlazadas si las regiones en las que se hablan comparten fronteras, o bien si en las cercanías de la frontera se encuentran hablantes de ambas lenguas**. Las propiedades matemáticas que muestran las redes de contacto



permiten deducir propiedades de la distribución geográfica de los grupos humanos.

Los resultados de este trabajo suponen una **nueva analogía** a añadir a las ya existentes entre grupos de especies en biología y grupos humanos caracterizados por compartir una misma lengua, como son la existencia de ancestros comunes o la mayor diversidad tanto biológica como lingüística en torno al Ecuador de nuestro planeta. Debido a que hasta ahora no se habían realizado estudios sobre diversidad lingüística a gran escala y con tanto nivel de detalle, y como consecuencia de la similitud entre evolución lingüística y biológica, los mismos patrones biogeográficos descritos para el ser humano podrían ser relevantes también para distintas especies biológicas observadas en la naturaleza.