



# red.escubre

Boletín de noticias científicas y culturales

Publicación Quincenal  
Del 9 al 23 de febrero de 2015

n° 43

## ¿Puede la consciencia ser simulada en un ordenador?

Desde que hace ya 400 años Descartes formulara su célebre *Cogito ergo sum* –pienso, luego soy- sabemos que la prueba de la certeza de nuestra existencia reside en la mente. Los seres humanos coexistimos con otros objetos que nos rodean y todos pertenecemos a un mundo que sin entrar en otras consideraciones es real. Sin embargo, solo los seres humanos somos conscientes tanto de lo que nos rodea como de nuestra propia existencia. Al menos eso creíamos hasta ahora porque un equipo de investigadores entre los que se encuentra **Rafael Lahoz-Beltrá**, de la **Facultad de Biológicas** de la Universidad **Complutense**, han demostrado que al menos uno de los mecanismos responsables de la consciencia puede ser simulado en un ordenador.



Foto: courtesy of Massachusetts General Hospital and Draper Labs

## Contenido

### Ciencias

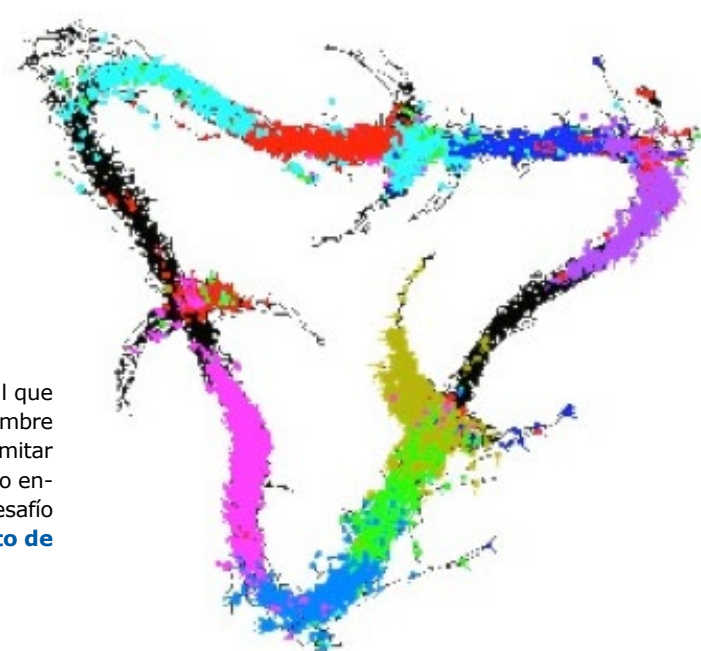
¿Puede la consciencia ser simulada en un ordenador?	2
El GPS dinámico del cerebro nos acerca al diseño de robots inteligentes	5
El oxígeno singlete, una molécula con múltiples aplicaciones	9

### Astrofísica

“sigma Orionis”, mucho más que una estrella	12
---------------------------------------------	----

### Cultura

Exposición: “La Biblia con B... de Brocar”	15
-----------------------------------------------	----



## El GPS dinámico del cerebro nos acerca al diseño de robots inteligentes

Enseñar a un robot a jugar al ajedrez es incomparablemente más fácil que conseguir que sea capaz de jugar al fútbol o moverse entre la muchedumbre de una céntrica calle de Madrid. Diseñar un robot inteligente, capaz de imitar nuestras habilidades sensoriales y motoras, pasa por comprender cómo entiende el cerebro nuestra realidad, tan cambiante y compleja. En este desafío trabajan un grupo de científicos liderado por **V. Makarov** del **Instituto de Matemática Interdisciplinar** de la Universidad **Complutense**.

### ¿Puede la consciencia ser simulada en un ordenador?

Desde que hace ya 400 años **Descartes** formulara su célebre *Cogito ergo sum* –pienso, luego soy– sabemos que la prueba de la certeza de nuestra existencia reside en la mente. Los seres humanos coexistimos con otros objetos que nos rodean y todos pertenecemos a un mundo que sin entrar en otras consideraciones, es *real*. Sin embargo, solo los seres humanos somos conscientes tanto de lo que nos rodea como de nuestra propia existencia. Al menos eso creíamos hasta ahora porque un equipo de investigadores entre los que se encuentra **Rafael Lahoz-Beltrá**, de la **Facultad de Biológicas** de la Universidad **Complutense**, han demostrado que al menos uno de los mecanismos responsables de la consciencia puede ser simulado en un ordenador.

La posibilidad de que ciertos animales sean capaces de efectuar aparentemente algún pensamiento de tipo abstracto o reconocerse en un espejo para nada ayuda a resolver si la consciencia es un fenómeno exclusivo o no de nuestra especie. Más aún, supóngase que fuéramos capaces de aislar el cerebro de una persona permaneciendo “vivo” en una cubeta de disección en presencia de un líquido con todo lo necesario para mantenerlo vivo, y que estuviera conectado a un ordenador que recreara la realidad. Bajos tales circunstancias ¿se “daría cuenta” el cerebro de que ya no está alojado en el cuerpo original? En otras palabras ¿puede simularse la consciencia en un ordenador? Recientemente un equipo de investigadores entre los que

se encuentra **Rafael Lahoz-Beltrá**, de la **Facultad de Biológicas** de la Universidad **Complutense**, han demostrado que uno de los mecanismos candidatos a nivel neuronal, responsables de la consciencia, sí puede ser simulado en un ordenador. A finales de los años 90 un médico estadounidense de la Universidad de Arizona en Tucson, **Stuart Hameroff**, junto con el físico británico **Richard Penrose**, propusieron el llamado modelo “Orch OR” según el cual la consciencia humana podría ser el resultado de ciertos fenómenos cuánticos acaecidos

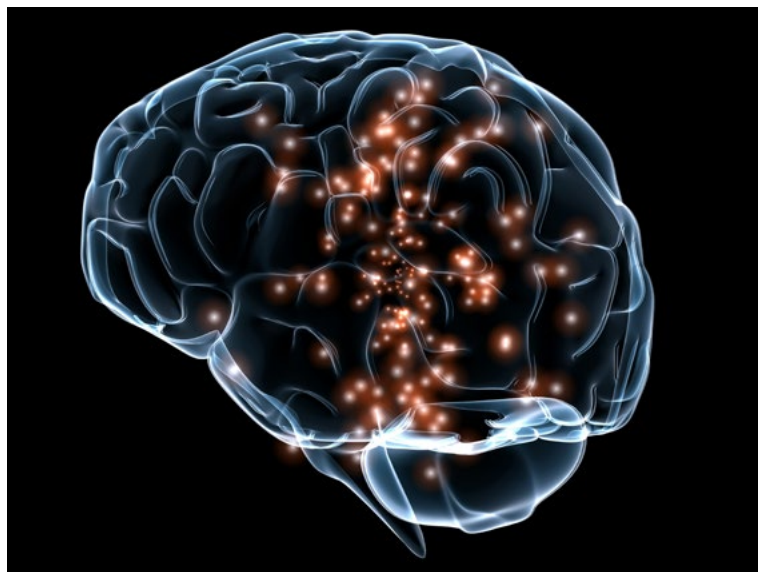


Foto: courtesy of Massachusetts General Hospital and Draper Labs

**Desde la última década del siglo XX son varios los investigadores que sostienen que la consciencia humana no puede ser explicada a partir de los principios de la física clásica o Newtoniana. Se trataría de un fenómeno consecuencia de algunos mecanismos cuánticos en las neuronas, produciéndose momentos o destellos que llamamos consciencia**

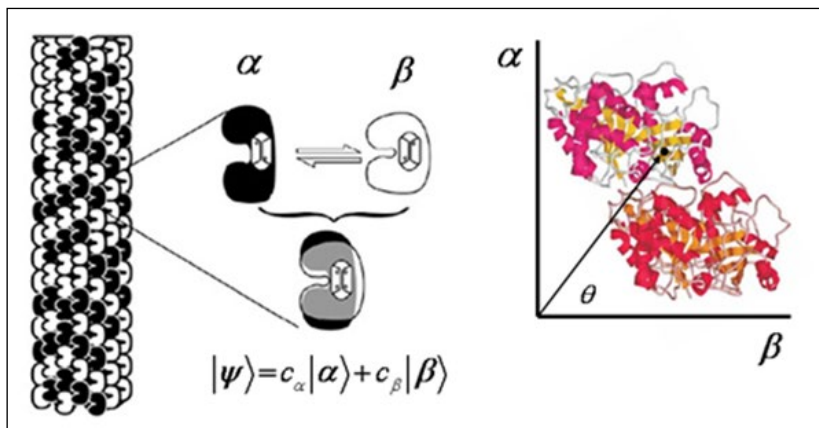
en unas estructuras filamentosas llamadas microtúbulos. Los microtúbulos son polímeros cilíndricos formados por unidades de una proteína, la tubulina; estando presentes en unas estructuras conocidas como citoesqueleto, un ensamblaje de filamentos

de proteínas entre cuyas funciones está el ser el soporte responsable de la forma de las células, por ejemplo las neuronas, la movilidad celular y el transporte de materiales dentro de las células. A su vez las tubulinas están formadas por dos subunidades, una  $\alpha$  y otra  $\beta$ , con un electrón deslocalizado que estaría desplazado en unas ocasiones hacia la subunidad  $\alpha$  y en otras hacia  $\beta$ ; afectando allí dónde estuviera al estado conformacional de la tubulina, esto es a la forma funcional 3D de dicha proteína. Durante los años 80 del siglo XX **Hameroff** y colaboradores construyeron un modelo según el cual una unidad de tubulina sólo podría estar

en dos estados de conformación  $\alpha/\beta$  o 0/1, es decir almacenar 1 bit de información, comportándose un microtúbulo como si fuera un ordenador clásico o

lo que también se conoce como de **von Neumann**, en honor al célebre científico **John von Neumann** que en 1945 definió qué es un ordenador tal y como hoy se concibe. Es en la década de los 90 cuando este investigador estadounidense plantea la posibilidad de que además de estar en alguno de estos dos estados una unidad de tubulina pueda también existir en una superposición de ambos (almacenando un bit cuántico o qubit), es decir 0, 1 o un estado intermedio, llamado de superposición, entre 0 y 1. En esta versión a nivel celular del famoso "gato de Schrödinger" los microtúbulos del citoesqueleto serían capaces de realizar operaciones a nivel cuántico. Ahora bien ¿qué tiene que ver esto con la consciencia? Es en esta década cuando varios investigadores, **J. Eccles**, **T. Triffet**, **R. Penrose** y **A. Scott**, entre otros, conjeturan que algunas funciones cerebrales superiores tal vez requieran de la mecánica cuántica para poder completarse con éxito. De hecho el cerebro humano es capaz de probar ciertas cuestiones relacionadas con

*Uno de los mecanismos candidatos a nivel neuronal, responsables de la consciencia, sí puede ser simulado en un ordenador*



**Microtúbulo del citoesqueleto neuronal mostrando una unidad de tubulina como un qubit, es decir en los estados  $\alpha$ ,  $\beta$  y en un estado de superposición entre ambos estados. A la derecha representación vectorial de la tubulina.**

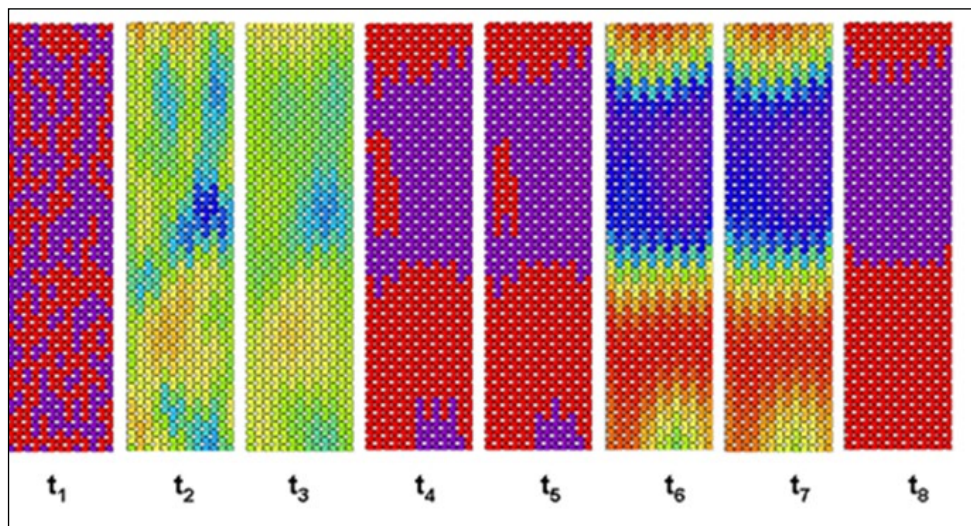
los números que serían imposibles de probar con un ordenador. Por ejemplo, una persona es capaz de comprobar rápidamente que es imposible que la suma de dos números pares cualesquiera dé como resultado uno impar. Se trata de lo que se conoce como "problema no computable" ya que un ordenador sería incapaz de probar este hecho que para una persona es trivial. En 1990, un filósofo de la física, **Itamar Pitowsky**, propuso que el principio de superposición, tal y como se ha modelado en los microtúbulos de las neuronas, permitiría a la mecánica cuántica resolver problemas que son no computables, y por tanto no tratables con un ordenador convencional. De hecho en la actualidad, la biología cuántica, una especialidad emergente, ha descrito

*La consciencia serían "destellos" en los que nos daríamos cuenta de nuestra propia existencia*

funciones biológicas que se sustentan en algún momento en tareas no computables, siendo resueltas por mecanismos cuánticos. Por ejemplo, la fotosíntesis de las plantas recibe "ayuda" del principio de superposición, el sentido de orientación de las aves es posible gracias al llamado entrelazamiento cuántico, mientras que el sentido del olfato, lo que nos permite deleitarnos con un perfume, se debe en gran parte al conocido efecto túnel.

En el trabajo publicado por los investigadores **Manuel Alfonso** y **Alfonso Ortega** del Departamento de Ingeniería Informática de la Universidad Autónoma de Madrid, **Marina de la Cruz** del Departamento de Energía del CIEMAT de Madrid, y el propio **Stuart Hameroff** de la Universidad de Arizona (Tucson, EE UU), junto con **Rafael Lahoz-Beltrá** de la Universidad Complutense, se simuló en un ordenador convencional el modelo de consciencia Orch OR de **Penrose-Hameroff**. Los resultados obtenidos mostraron, tal y como conjetura el mo-

delo Orch OR, la alternancia en un microtúbulo de dos fases. En unas etapas, la computación sería equivalente a la de un ordenador clásico o de **von Neumann**, sin ir más lejos a la de *una tablet* o *un Smartphone*, pudiendo estar las tubulinas únicamente en uno de dos posibles estados (tiempos  $t_1$ ,  $t_4$ ,  $t_5$  y  $t_8$  de la simulación); mientras que en otras etapas las tubulinas estarían en un estado de superposición cuántica (tiempos  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_6$  y  $t_7$  de la simulación). Según la hipótesis de **Hameroff** y **Penrose** la consciencia emergería como un fenómeno natural en el paso o transición desde un estado cuántico a otro estado clásico o de von Neumann, por ejemplo en el paso del estado en el tiempo  $t_7$  al estado en el tiempo  $t_8$  de la simulación. Por consiguiente, la consciencia



**Estados de superposición, y por tanto, de computación cuántica (tiempos  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_6$  y  $t_7$  de la simulación) y estados de computación clásica o de von Neumann (tiempos  $t_1$ ,  $t_4$ ,  $t_5$  y  $t_8$  de la simulación) en un microtúbulo. De acuerdo con el modelo "Orch OR" de Hameroff-Penrose la consciencia emergería como un "destello" en la transición desde un estado cuántico a otro estado clásico, por ejemplo en el paso de los estados en  $t_7$  a  $t_8$  de la simulación.**

serían "destellos" en los que nos daríamos cuenta de nuestra propia existencia o en los que habríamos llegado, dado un cierto problema, a un resultado o conclusión. Sin embargo, la polémica está abierta. Según **Penrose** la consciencia es un fenómeno no computable, y por ello no simulable en un ordenador convencional. Entonces cabe preguntarse ¿podría ser la consciencia un fenómeno no simulable pero sí el mecanismo que conduce a ella? Si esto es así ¿podrá algún día simularse la consciencia en un ordenador?

**Rafael Lahoz-Beltrá**

Departamento de Matemática Aplicada  
(Biomatemática), **Facultad de Biología**,  
Universidad **Complutense**

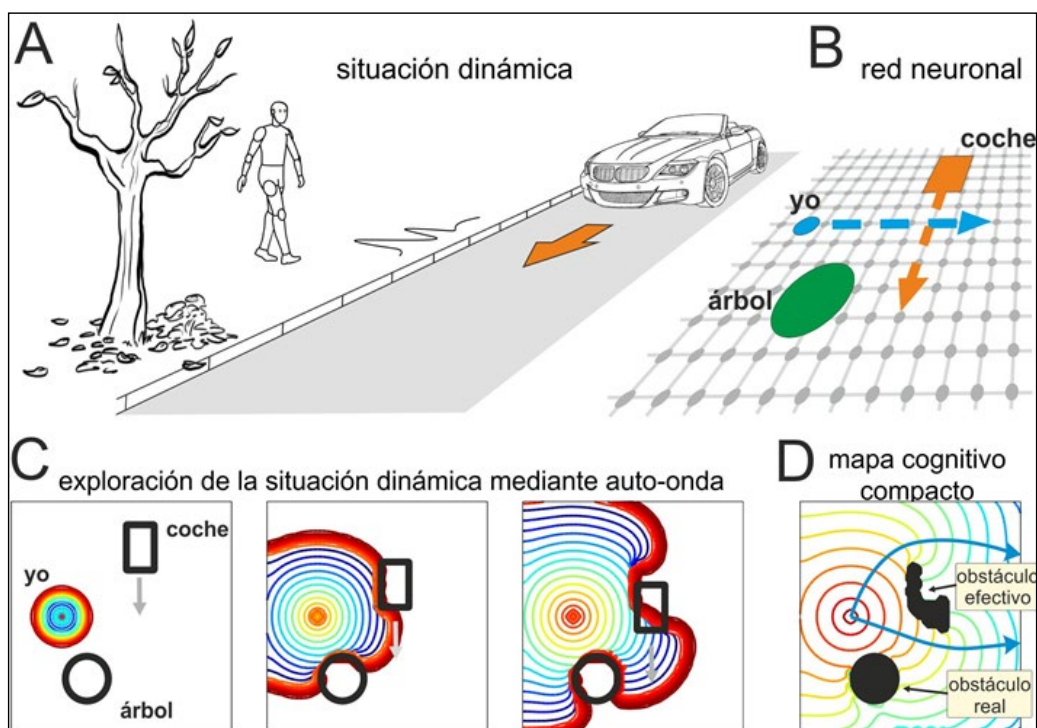
## El GPS dinámico del cerebro nos acerca al diseño de robots inteligentes

Desde que en la década de los ochenta del pasado siglo se descubriera que el pensamiento razonado requiere menos esfuerzos computacionales que las habilidades motoras, sabemos que enseñar a un robot a jugar al ajedrez es incomparablemente más fácil que conseguir que sea capaz de jugar al fútbol o moverse entre la muchedumbre de una céntrica calle de Madrid. Diseñar un robot inteligente, capaz de imitar nuestras habilidades sensoriales y motoras, pasa por comprender cómo entiende el cerebro nuestra realidad, tan cambiante y compleja. En este desafío trabajan un grupo de científicos liderado por **V. Makarov** del **Instituto de Matemática Interdisciplinar** de la Universidad **Complutense**. Una de las grandes dificultades en este camino se resume en una pregunta: "¿Cómo codifica nuestro cerebro el tiempo?". Ilustremos la magnitud de

este problema con un ejemplo. Nuestros ojos pueden percibir hasta 25 fotogramas por segundo, por lo que una película de una hora de duración constará de 90.000 fotogramas. De modo que si nuestro cerebro percibe una cantidad dada de información en una imagen estática, la información final que tiene que procesar durante el visionado de una simple película es noventa mil veces mayor del necesario para procesar una sola fotografía. Teniendo entonces en cuenta que nuestro mundo es una película continua,

el esfuerzo de procesamiento realizado por nuestro cerebro durante la actividad cotidiana lo saturaría de forma inmediata.

Obviamente esto no ocurre: a diario lidiamos con situaciones dinámicas muy complejas, como por ejemplo movernos entre la gente, conducir o hacer deporte, y nuestro cerebro las resuelve de forma inmediata y eficaz. Así pues el cerebro tiene que utilizar algún atajo y procesar la información sensorial de forma muchísimo más eficaz de lo que lo hacen los ordenadores actuales.



(A) El agente pretende cruzar una calle por la que se mueve un coche. Para hacerlo en la red neuronal (B) se crea un mapa cognitivo compacto mediante el proceso de propagación de una auto-onda (C). El mapa estático resultante (D) permite planificar trayectorias sin colisiones en la situación dinámica sirviéndose del GPS dinámico.

### Los mapas cognitivos: El GPS biológico nos permite navegar en entornos estáticos

En 1971 O'Keefe y Dostrovsky descubrieron en una región del cerebro llamada hipocampo un tipo especial de células que denominaron de "lugar" (*o place cells* en inglés) que tenían propiedades nunca antes descritas. Según su hallazgo la actividad eléctrica de estas células aumentaba significativamente cuando el animal pasaba por un lugar específico del espacio. Este descubrimiento dio lugar a una nueva época en

la investigación de los mecanismos neuronales que soportan las funciones cognitivas del cerebro. El impacto de este descubrimiento ha sido reconocido con la concesión a sus autores del Premio Nobel en Medicina 2014 por la descripción de los procesos neuronales que permiten a nuestro cerebro comprender nuestro entorno, generando una representación interna del mundo exterior.

Dicha representación interna se construye en nuestro cerebro tomando forma de mapa, denominado mapa cognitivo. Este mapa nos proporciona la información necesaria para movernos por el entorno, del mismo modo que lo haría un GPS, diciéndonos no sólo cómo es el espacio que nos rodea, dónde estamos en él, dónde están los objetos, su forma y tamaño, sino también qué trayectorias debemos seguir para desplazarnos por él.

El estudio y la aplicación de los mapas cognitivos se ha circunscrito mayoritariamente a entornos estáticos, como sucede con una habitación con mobiliario, que puede encerrar cierta complejidad pero cuya estructura no cambia con el tiempo. Así pues volvemos de nuevo a la pregunta inicial: "¿cómo codifica nuestro cerebro el tiempo?".

### El GPS dinámico: Compactación del tiempo como clave de la cognición

El descubrimiento de los mapas cognitivos ha supuesto un hito fundamental para comprender cómo el cerebro representa los entornos estáticos. Sin embargo el mundo que nos rodea es esencialmente dinámico y para desenvolvernos en él, nuestro cerebro utiliza mecanismos funcionales que en su gran parte son desconocidos.

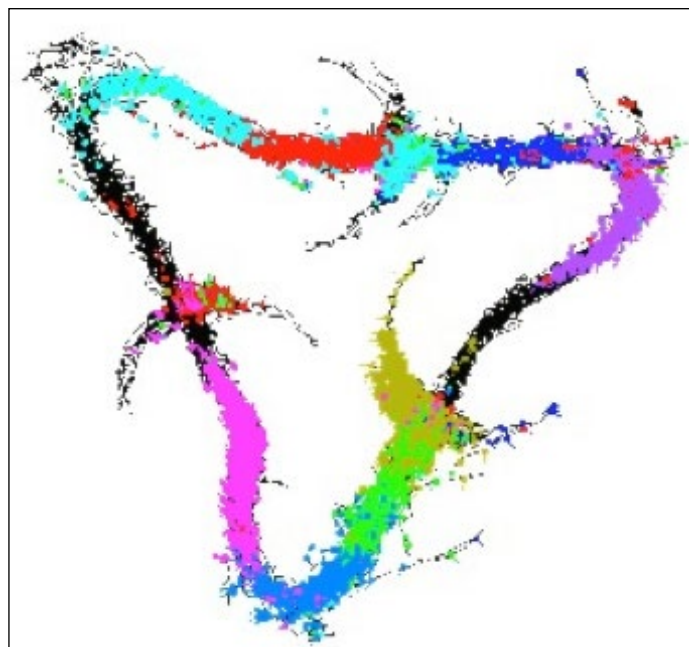
Recientes hallazgos experimentales apuntan a que la representación

interna de las situaciones dinámicas se hace en base a los mapas cognitivos, involucrando la dinámica coordinada de varias zonas cerebrales. Explotando esta idea hemos propuesto un nuevo paradigma que

*Implementado el concepto del GPS dinámico en robots simples, hemos demostrado su capacidad de moverse de forma autónoma*

propone una respuesta sencilla y elegante al problema de la codificación del tiempo arriba planteado. En breve, la respuesta es simple: "Nuestro cerebro no codifica el tiempo". En lo que sigue desarrollaremos un poco más esta paradójica afirmación.

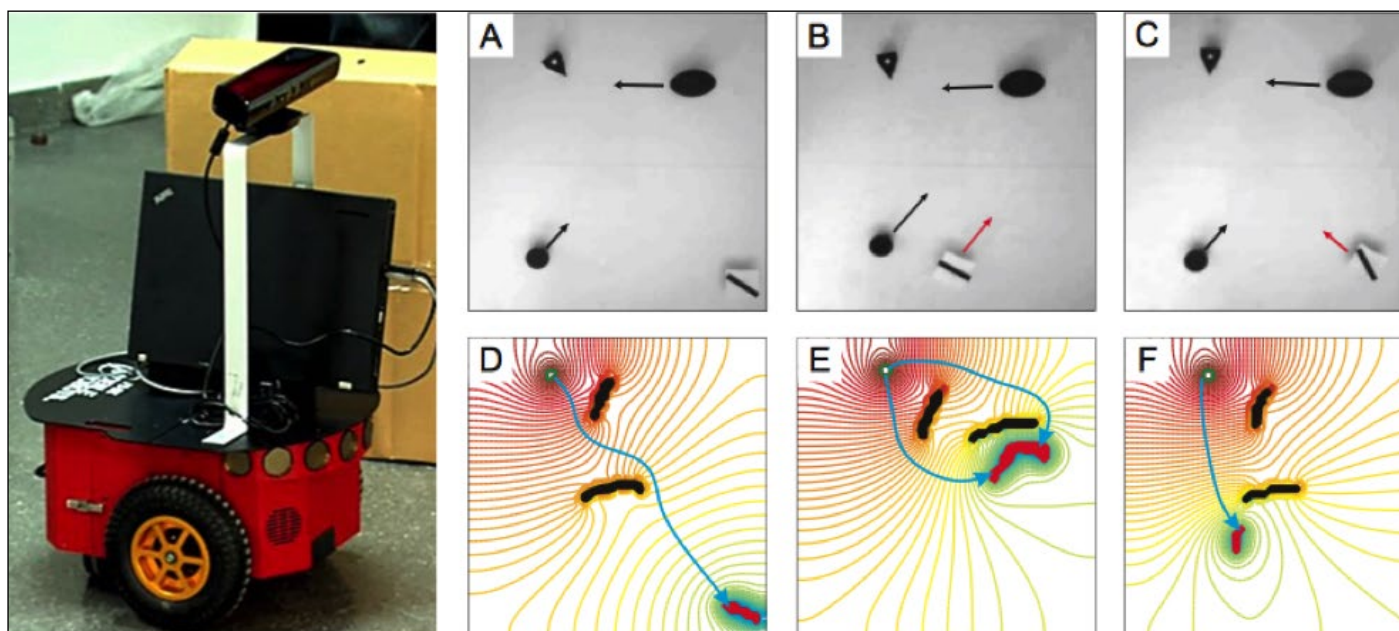
En esencia nuestra teoría predice que, tras percibir



**La actividad eléctrica de 7 células de lugar (marcadas en diferentes colores) en el hipocampo de la rata aumenta cuando ésta pasa por zonas concretas de un laberinto.**

una situación dinámica, el cerebro extrae aquellos eventos que serán importantes para nuestro movimiento y los estructura disponiéndolos de una manera especial en un mapa estático, donde el tiempo ya no aparece. Ilustremos esto con un ejemplo cotidiano. Imaginemos que queremos cruzar una calle por la que se aproxima un coche. Nuestra intuición nos sugiere que ciertas zonas pueden ser peligrosas y otras seguras, siendo incluso capaces de señalar dónde están dichas áreas peligrosas. Pues bien, ahí está el mapa de posibles atropellos, un mapa totalmente estático representando sin tiempo una situación dinámica.

Por tanto, de acuerdo con nuestra idea, el cerebro predice cómo se va a comportar el coche y simula mentalmente las diferentes formas en las que podemos cruzar la calle. Combinando entonces dicha predicción con las simulaciones de las estrategias



**Navegación de robots en entornos dinámicos. El robot Pioneer3 (izquierda). Diferentes situaciones dinámicas (captadas desde arriba) (A-C) y sus correspondientes mapas cognitivos compactos (D-F) que permiten navegar sin choques (curvas azules). Los videos se pueden ver en <http://www.mat.ucm.es/~vmakarov/research.php>**

viables se obtienen aquellas zonas de la carretera en que podemos ser atropellados. Estas zonas son entonces estructuradas dentro de un mapa cognitivo como obstáculos efectivos. Por tanto, el cerebro ha "eliminado" el tiempo o, más exactamente, lo ha compactado, por lo que dichas representaciones se denominan mapas cognitivos compactos. Estos nuevos mapas nos dirán qué caminos podemos seguir para poder cruzar con seguridad simplemente esquivando aquellas zonas peligrosas.

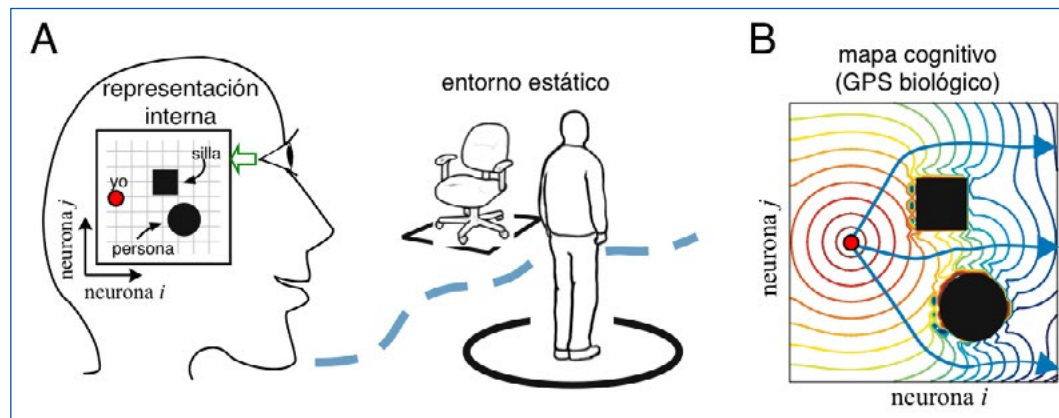
Una de las ventajas de esta teoría es que está construida sobre conceptos que se pueden transformar en matemáticas, de manera que puede ser implementada en robots móviles para dotarlos de procesos cognitivos similares a los que exhibimos los humanos. Para representar "mentalmente" el espacio real (simplificándolo a dos dimensiones) se introduce una red bidimensional de neuronas acopladas. Sobre esta red se proyectan todos los objetos de nuestro entorno y el propio robot de una manera similar al caso del GPS biológico. Puesto que el robot puede caminar en cualquier dirección, sus posiciones virtuales (posibles ubicaciones) en el siguiente paso de tiempo formarán una circunferencia con él en el centro. El radio de esta circunferencia crecerá

con el tiempo, representando robots virtuales que se alejan del punto de partida. Así, el proceso de exploración mental de la situación dinámica puede ser descrito por una auto-onda que se propaga en la red neuronal. El frente de dicha onda detecta todos los obstáculos, los rodea y por tanto encuentra caminos posibles entre ellos. Una vez que la onda ha explorado todo el espacio, en la red neuronal sólo quedan los obstáculos efectivos que el robot tiene que esquivar para evitar colisionar con los obstáculos móviles a su alrededor. Destacamos que este procedimiento es computacionalmente eficiente, ya que se consigue independientemente de la complejidad del entorno. Los mapas cognitivos compactos actúan como un GPS dinámico que permite planificar caminos en situaciones dinámicas sobre un mapa estático similar al tradicional.

Volviendo al ejemplo de la película, construir un mapa cognitivo compacto es equivalente a entender todo el film simplemente viendo una única imagen; ello significa que donde antes guardábamos dicha película ahora podremos guardar 90.000 imágenes que corresponderán a otras tantas películas, lo que conlleva un ahorro más que significativo de energía y recursos.

Para testar la teoría hemos implementado el concepto del GPS dinámico en robots simples y hemos demostrado su capacidad de moverse de forma autónoma y versátil en situaciones dinámicas, proporcionán-

Para poder aprovechar la cooperación, el robot tiene que poseer cognición recursiva; es decir, las decisiones del robot deben depender de las decisiones tomadas por los humanos, que a su vez dependen



**El GPS biológico. (A)** Al percibir un entorno estático el cerebro lo "proyecta" al espacio neuronal donde se crea un mapa cognitivo **(B)** que contiene el sujeto, los objetos a su alrededor y reglas para trazar trayectorias (curvas con flechas) que permiten navegar sin colisionar con los obstáculos.

doles el substrato para entender dichas situaciones. De este modo hemos demostrado que plataformas robóticas sencillas pueden lidiar con situaciones dinámicas complejas cuando se equipan con "cerebros" artificiales capaces de dotarlas de ciertas habilidades cercanas a las humanas, mostrando así que menos puede ser más.

### Procesos cognitivos de alto nivel

Más allá de ofrecer una respuesta a un problema abstracto, los mapas cognitivos compactos ofrecen una base unificadora de la cognición básica, compuesta por la comprensión de lo que nos rodea, la memoria y el aprendizaje. Nuestros resultados demuestran que las tres capacidades emergen de forma natural empleando los mapas cognitivos compactos como el substrato para abordar nuevas situaciones, utilizar las experiencias vividas para dar soluciones a las actuales, tomar decisiones complejas de forma versátil, etc.

Otro enfoque importante que se aborda con nuestra teoría es la cooperación entre robots y humanos, que les permitiría mutuamente esquivar colisiones, tal como ocurre entre los peatones en la vida cotidiana.

de las decisiones del robot, y así sucesivamente. Recientemente hemos demostrado que los mapas cognitivos compactos reflejan esta recursividad. Además de acortar las distancias necesarias para evitar choques, la seguridad durante la navegación aumenta bajo la cooperación. Sorprendentemente, estos beneficios no producen ninguna carga

adicional al esfuerzo medio de la sociedad, es decir los caminos de todos los peatones, incluidos los del robot, no se alargan significativamente. Por lo tanto, la estrategia de navegación con el GPS dinámico propuesto es socialmente compatible y el robot puede comportarse como "uno de nosotros".

**Valeri A. Makarov, Carlos Calvo Tapia, y José Antonio Villacorta-Atienza**

Instituto de Matemática Interdisciplinar,  
**Manuel G. Velarde**  
Instituto Pluridisciplinar, UCM

### Referencias

- J. A. Villacorta-Atienza, M. G. Velarde, V. A. Makarov: "Compact internal representation of dynamic situations: Neural network implementing the causality principle", *Biological Cybernetics* 103, 285-297 (2010)
- B. Schmidt, A.D. Redish: "Navigation with a cognitive map", *Nature* 497, 42-43 (2013)
- J. A. Villacorta-Atienza, V. A. Makarov: "Neural network architecture for cognitive navigation in dynamic environments", *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* 24(12), 2075 - 2087 (2013)
- J. A. Villacorta-Atienza, C. Calvo, V. A. Makarov: "Prediction-for-CompAction: Navigation in social environment using generalized cognitive maps", *Biological Cybernetics*, doi: 10.1007/s00422-015-0644-8 (2015)



## El oxígeno singlete, una molécula con múltiples aplicaciones

El trabajo *Estudio mecanístico sobre la oxidación fotosensibilizada de tiocetonas alicíclicas por oxígeno singlete* realizado por el estudiante predoctoral **Antonio José Sánchez Arroyo** y tutorizado por el profesor **David García Fresnadillo**, del **Grupo de Materiales Moleculares Orgánicos** de la Universidad **Complutense**, dirigido por el profesor **Nazario Martín León**, ha recibido el **Primer Premio del XIII Certamen Universitario "Arquímedes"** de Introducción a la Investigación Científica 2014 en el **Área de Ciencias Experimentales, Exactas y Ambientales**.

Dicho premio fue concedido por la Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. El trabajo fue llevado a cabo durante el curso académico 2013-2014 en los laboratorios del **Departamento de Química Orgánica** de la **Facultad de Ciencias Químicas** de esta Universidad.

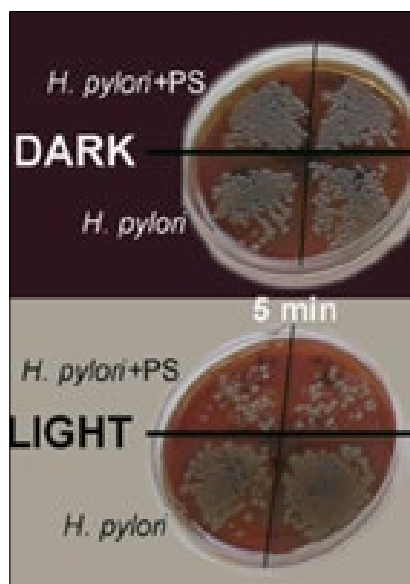
Este trabajo profundiza en el modo en que suceden algunas reacciones químicas activadas por la luz (reacciones fotoquímicas) que generan **oxígeno singlete**, (el estado excitado de la molécula de oxígeno). Sus propiedades oxidantes permiten su aplicación en tratamientos médicos (terapias fotodinámicas contra ciertas infecciones causadas por microorganismos resistentes a los antibióticos convencionales, o contra algunos tipos de cáncer); procesos de interés medioambiental como el tratamiento de aguas o atmósferas contaminadas (usando luz solar y evitando utilizar reactivos tóxicos y peligrosos como el cloro); o la síntesis de nuevas moléculas utilizando los principios de la "Química Verde".

El conocimiento de los mecanismos de las reacciones químicas permite una mejor comprensión de las mismas, y es un paso clave para la optimización en la manera de realizarlas, tanto en el laboratorio como a escala industrial. Hasta ahora se pensaba que la oxidación de tiocetonas con **oxígeno singlete** conducía casi exclusivamente a la obtención de compuestos de menor interés sintético que se pueden preparar fácilmente por otras vías. Sin embargo, esta investigación ha revelado que los sulfinos, uno de los productos teóricamente minoritarios de la reacción (aunque más interesante para la síntesis de otras moléculas, p.ej., fármacos), pueden ser el producto mayoritario si se usan las

condiciones adecuadas (en cuanto a concentración, disolvente, acidez del medio, etc). Esta es la principal aportación del estudio premiado. La investigación sobre reacciones fotoquímicas y sus potenciales aplicaciones permite generar conocimiento básico e innovación que se pueden aplicar en campos diversos que se desarrollan en el grupo dirigido por el profesor **Nazario Martín**.

a) **Terapia fotodinámica antimicrobiana. El oxígeno singlete** es una especie química que tiene la capacidad de inactivar células vivas (mediante el daño a sus proteínas y lípidos de membrana así como a su material genético interno). Esto es particularmente útil en el caso de infecciones

localizadas causadas por microorganismos que muestren resistencia a antibióticos, caso en el que es verdaderamente difícil erradicar la infección. Recientes investigaciones en el grupo han mostrado, mediante experimentos *in vitro*, que es posible realizar en pocos minutos una eficiente fotoinactivación de la bacteria *Helicobacter pylori* utilizando micropartículas para la generación de oxígeno singlete (PS, figura 1) y luz<sup>1</sup> Este tipo de terapia es efectiva



**Figura 1. Comparación de cultivos de *H. pylori* en la oscuridad (dark) o tratados durante 5 minutos con luz (light) en presencia o ausencia de un material productor de oxígeno singlete (PS).**

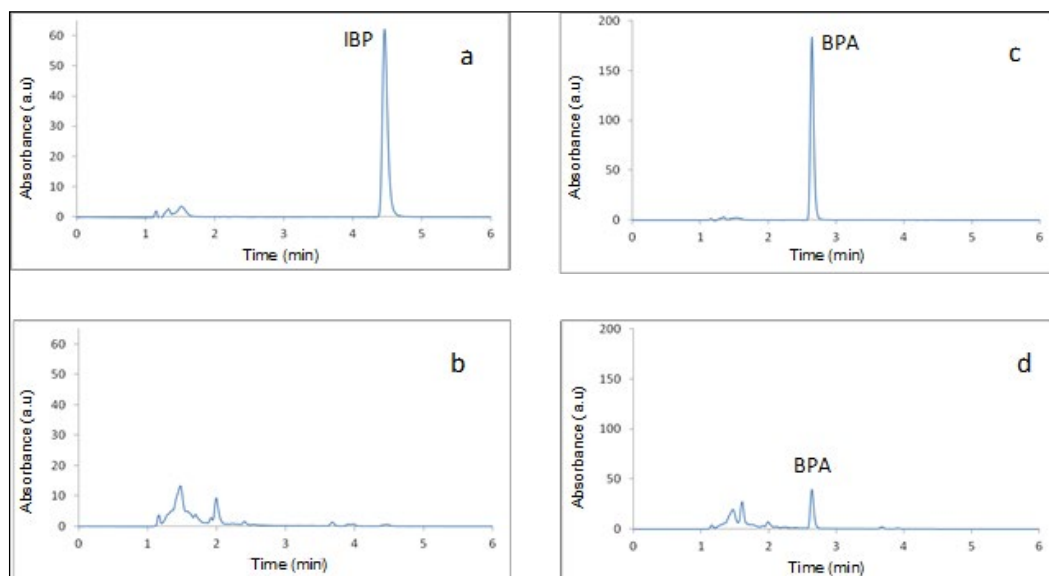
incluso contra cepas de la bacteria que muestran especial virulencia, así como resistencia a los antibióticos tradicionalmente usados. La infección por la bacteria *Helicobacter pylori* es responsable de numerosas enfermedades frecuentes y, en algunos casos, graves, como son las gastritis, las úlceras gastroduodenales y el cáncer de estómago, y afecta a una buena parte de la población mundial (tasas medias > 60%), especialmente en algunos países en desarrollo (tasas medias > 90%).

**b) Tratamiento de aguas.** Actualmente existen numerosos compuestos químicos de uso diario, ya sea en el hogar o a nivel industrial que, cuando son liberados en el

medioambiente, pueden comportarse como sustancias contaminantes del agua, aun en el caso de encontrarse a muy baja concentración. Entre estos microcontaminantes se encuentran el ibuprofeno y el bisfenol A. El carácter fuertemente oxidante del **oxígeno singlete** permite realizar la transformación de estos compuestos en otras moléculas, en general fragmentos oxidados, con menos masa molecular y menor toxicidad que los contaminantes de partida. Investigaciones realizadas en el grupo han mostrado que colorantes generadores de **oxígeno singlete**, tanto en disolución como en fase sólida, llevan a cabo este proceso cuando se iluminan aguas contaminadas con ibuprofeno o bisfenol A (figura 2) con lámparas o luz solar (figura 3).<sup>2</sup>

**c) Sistemas fotosintéticos artificiales.** Se trata fundamentalmente de moléculas de naturaleza orgánica constituidas por un grupo capaz de captar la luz solar y, como consecuencia, de generar estados excitados que, en este caso, puedan transferir un

electrón de una parte de la molécula (fragmento dador de electrones) a otra (fragmento aceptador de electrones), imitando así el proceso fotosintético de la naturaleza. Estos procesos de transferencia electrónica fotoinducida (separación de carga al



**Figura 2. Cromatogramas mostrando la fotodegradación con luz solar de ibuprofeno (IBP: a, 0 h; b, 7 h de iluminación) y bisfenol A (BPA: c, 0 h; d, 7 h de iluminación) a concentraciones iniciales de 10 mg L<sup>-1</sup> en agua.**

incidir un fotón de luz) suceden en tiempos extremadamente cortos (entre una milmillonésima y una billonésima de segundo), por lo que se requiere una instrumentación extraordinariamente sensible para su estudio.

**Las propiedades del oxígeno singlete son muy útiles en infecciones causadas por microorganismos resistentes a antibióticos**

El desarrollo práctico de sistemas de conversión de energía luminosa en energía eléctrica, como son las innovadoras células fotovoltaicas de naturaleza orgánica, requiere el diseño y síntesis de nuevas moléculas orgánicas funcionales capaces de captar la luz solar y realizar eficazmente la separación de las cargas eléctricas hacia los electrodos, convirtiendo los fotones procedentes del sol en energía eléctrica disponible, lo que representa uno de los retos actuales más grandes de la ciencia moderna.

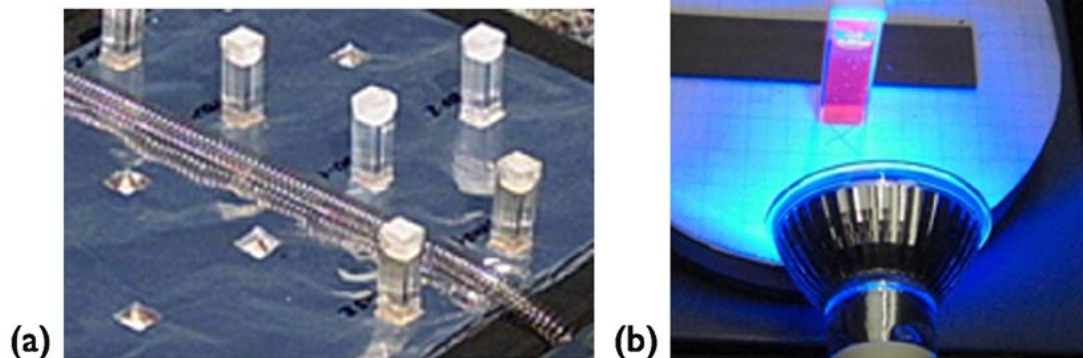


Figura 3. Experimentos de fotodegradación de ibuprofeno y bisfenol A con luz solar (a) o lámparas LED (b) en presencia de fotocatalizadores de oxígeno singlete

En nuestro grupo de investigación se ha desarrollado la síntesis de materiales orgánicos avanzados para fotovoltaica orgánica, siendo una contribución fundamental de la química a un campo tan multidisciplinar como es la producción de energía.<sup>3</sup> En particular, se han preparado una amplia variedad de materiales avanzados basados en carbono, para su posterior uso en la construcción de dispositivos fotovoltaicos de naturaleza orgánica (Figura 4). Actualmente el grupo de investigación de la UCM está desarrollando el proyecto "Fotocarbon" en colaboración con otros grupos de investigación de la UAM y del CSIC, financiado por la Comunidad de Madrid, cuya finalidad es la preparación de nuevos materiales orgánicos para aplicaciones fotovoltaicas.

### Bibliografía.

1. M. Calvino-Fernández, D. García-Fresnadillo, S. Benito-Martínez, A. G. McNicholl, X. Calvet, J. P. Gisbert, T. Parra-Cid. *Helicobacter pylori inactivation and virulence gene damage using a supported sensitiser for photodynamic therapy*. *Eur. J. Med. Chem.*, **2013**, *68*, 284-290.
2. E. Díez-Mato, F. C. Cortezón-Tamarit, S. Bogialli, D. García-Fresnadillo, M. D. Marazuela. *Phototransformation of model micropollutants in water samples by photocatalytic singlet oxygen production in heterogeneous medium*. *Appl. Catal. B: Environ.*, **2014**, *160-161*, 445-455.

3. (a) A. Bolag, J. López-Andarías, S. Lascano, S. Soleimanpour, C. Atienza, N. Sakai, N. Martín, S. Matile. *A collection of fullerenes for synthetic access toward oriented charge-transfer cascades in triple-channel photosystems*. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2014**, *53*, 4890-4895. (b) D. Arteaga, R. Cotta, A. Ortiz, B. Insuasty, N. Martín, L. Echegoyen. *Zn(II)-porphyrin dyes with several electron acceptor groups linked by vinyl-fluorene or vinyl-thiophene spacers for dye-sensitized solar cells*. *Dyes Pigments*, **2015**, *112*, 127-137.

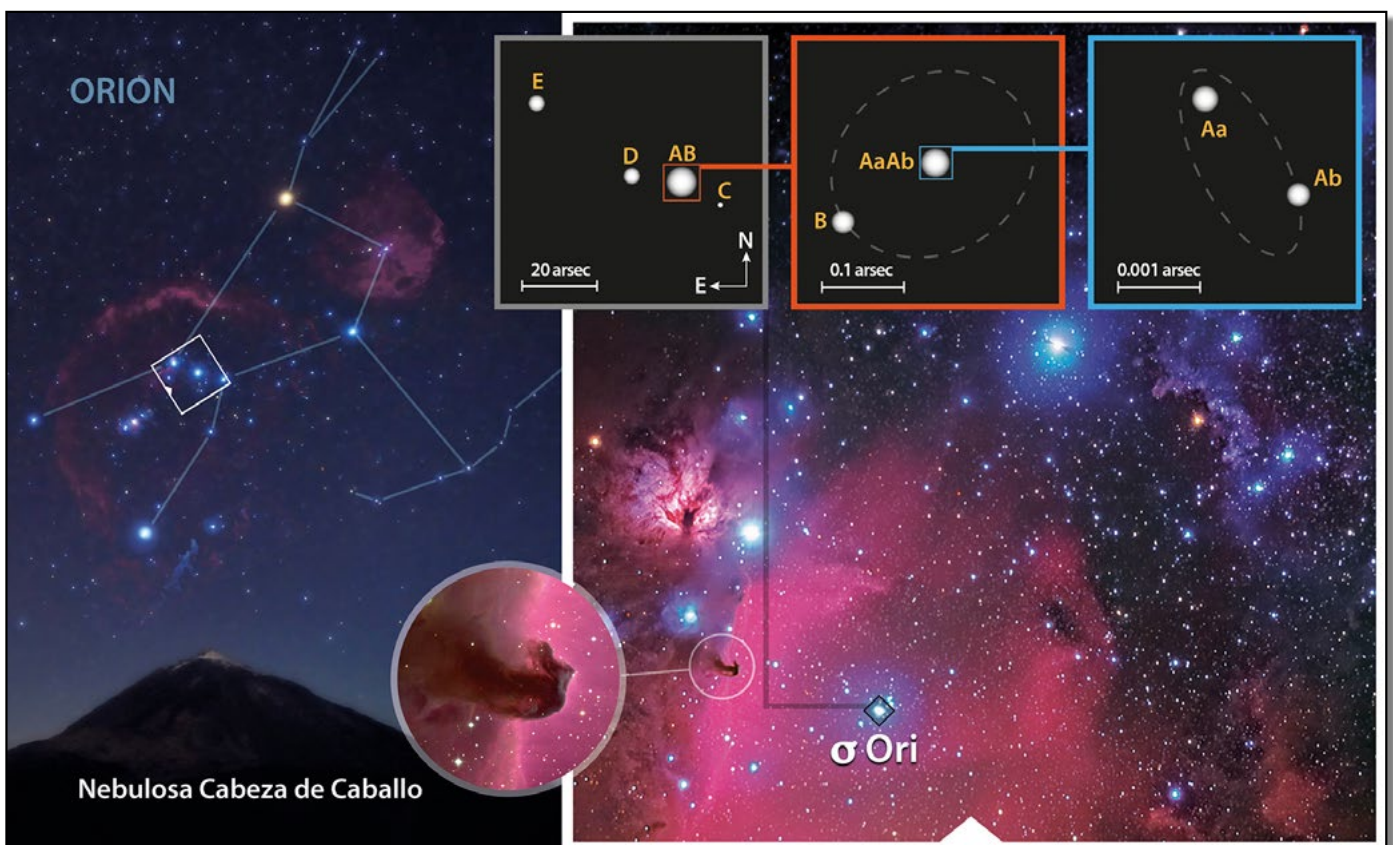


Figura 4. Célula fotovoltaica basada en fullereno C<sub>60</sub> que muestra la flexibilidad y ligereza propia de las células de naturaleza orgánica

## “sigma Orionis”, mucho más que una estrella

Un estudio detallado sobre este sistema estelar múltiple, liderado por astrofísicos españoles ha permitido determinar los parámetros físicos de las estrellas más masivas que lo componen con una precisión sin precedentes. Hace unos tres millones de años, cientos de estrellas se formaron a partir de una densa nube de polvo y gas en la constelación de Orión (“el Cazador”). La estrella que atrajo

la mayor parte de la masa fue **sigma Orionis** (*sigma Ori*), hoy la cuarta estrella más brillante del Cinturón de Orión y la que ilumina la célebre nebulosa *Cabeza de Caballo*. A la vez que **sigma Orionis**, se formó a su alrededor una gran cantidad de estrellas de diferentes masas, enanas marrones y planetas aislados (objetos con una masa similar a la del planeta Júpiter, pero que flotan libres en el cúmulo estelar). Los objetos más pequeños del *Cinturón de Orión* tienen 10.000 veces menos masa que **sigma Orionis**. Conocer con qué frecuencia nacen y evolucionan las estrellas poco masivas, las



Posición del trío de estrellas de sigma Orionis estudiado en la constelación de Orión, cerca de la Nebulosa Cabeza de Caballo. Créditos: Gabriel Pérez (SMM, IAC) y Sergio Simón Díaz (IAC/ULL), a partir de imágenes de Luis Chinarro (IAC, Orión+Teide), Daniel López (IAC, cinturón de Orión), Nigel Sharp (NOAO, NSF, AURA, nebulosa de la Cabeza de Caballo).

enanas marrones y los planetas aislados, implica conocer primero qué le ocurre a sus vecinos estelares de gran masa y azules. Con este objetivo, un equipo internacional de astrónomos liderado por los investigadores españoles **Sergio Simón-Díaz**, del Instituto de Astrofísica de Canarias/Universidad de La Laguna, **José Antonio Caballero**, del Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA), y **Javier Lorenzo**, de la Universidad de Alicante, y con participación de la Universidad **Complutense** ha estudiado con detalle la estrella múltiple **sigma Orionis**, que sigue sorprendiendo a quien la observa. Los resultados de este estudio se publican hoy en la revista especializada *Astrophysical Journal*.

### Banquete estelar

Parafraseando al Dr. **Eldon Tyrell** en la película *Blade Runner* (1982), "la luz que brilla con una intensidad mil veces mayor, dura mil veces menos". Esto es exactamente lo que pasa en el Universo: las estrellas que son muy, muy brillantes, con gran tamaño, altas temperaturas y grandes masas, mueren en explosiones de supernova cuando tienen unos pocos millones de años. Por el contrario, las estrellas menos masivas tienen una vida tranquila y larga, de una duración comparable a la edad del

**La estrella sigma Orionis tiene tres millones de años y su temperatura alcanza unos 30.000 K - cinco veces la del Sol**

Universo, que permite el desarrollo de la vida en los planetas que las orbitan. Incluso después de eones, se puede ver el sello inconfundible que las estrellas de gran masa dejan en prácticamente todo: nuestra propia composición química, la distribución espacial de las estrellas y las nebulosas que producen al final de sus vidas, el diseño de los brazos espirales en las galaxias o, curiosamente, el número de estrellas poco masivas. "Este último efecto -explica **Sergio Simón-Díaz**, primer autor del artículo- se debe a que las estrellas poco masivas y las enanas marrones (objetos intermedios entre las

estrellas más pequeñas y los planetas más grandes) son sólo 'las sobras del banquete' de las estrellas de gran masa". La estrella **sigma Orionis** tiene tres millones de años y es muy caliente: su temperatura alcanza unos 30.000 K - cinco veces más caliente que el Sol. Esta altísima temperatura hace que la estrella tenga un color azulado, en contraste con las estrellas menos masivas, que tienen colores rojizos. "En 2011 -recuerda **José Antonio Caballero**- demostramos que sigma Orionis es en realidad una estrella múltiple que consta de seis estrellas azules en lugar de cinco como se pensaba hasta entonces: dos de ellas son estrellas de gran masa que

se encuentran muy cerca, girando una alrededor de la otra con un período orbital de unos 143 días. Una tercera estrella algo

**El estudio ha permitido determinar que la masa de las tres estrellas supera las 40 masas solares**

menos masiva orbita a unas 100 unidades astronómicas (100 veces la distancia media entre el Sol y la Tierra) de las anteriores, con un período mucho más largo, de unos 157 años. Finalmente, el cúmulo se completa con otras tres estrellas ligeramente más frías y menos masivas, todo ello acompañado por numerosos restos estelares." Ahora, estos investigadores junto con otros 11 colaboradores en España, Alemania, Chile, EEUU, Bélgica y Hungría, han observado en detalle el trío central de estrellas (sigma Ori Aa, sigma Ori Ab y sigma Ori B) y han medido todos sus parámetros físicos con una precisión sin precedentes. "El período del par más cercano, de aproximadamente 143 días, se ha podido determinar ahora con un error de sólo 11 minutos -señala **Simón-Díaz**-, lo que hace factible programar observaciones específicas en ciertas fases, por ejemplo, con telescopios espaciales de rayos X en el periastro, es decir, el punto en el que las dos estrellas centrales tienen una separación menor."

### Estrellas "devoradoras"

El estudio también ha permitido determinar de forma precisa las masas de las tres estrellas con diferentes

métodos. "En total, la masa del trío supera las 40 masas solares", subraya **Simón-Díaz**. "Estas determinaciones, junto con observaciones interferométricas en curso, son una excelente entrada para los modelos teóricos que tratan de explicar la estructura y el destino de esas 'estrellas devoradoras'. "Hemos medido también –añade **Caballero**– el número de fotones de alta energía emitidos por el trío en su conjunto. Esos fotones procedentes de  $\sigma$  Orionis Aa, Ab y B son los que 'peinan las crines' de la Nebulosa Cabeza de Caballo y anuncian el inicio de un nuevo banquete de estrellas de alta masa en la región. En unos pocos millones de años, cuando  $\sigma$  Orionis Aa (y quizás Ab) explote como una supernova y limpie la región vecina, seguirá existiendo una gran cantidad de estrellas más frías y pequeñas, además de unas pocas estrellas grandes, masivas y muy calientes, que se encontrarán en ese momento inmersas dentro de las nubes cercanas a la Nebulosa Cabeza de Caballo". ¡Y el ciclo de vida de las estrellas continuará!

#### MÁS INFORMACIÓN

**Animación: Posición y rotación del trío de estrellas de  $\sigma$  Orionis estudiado en la constelación de Orión, cerca de la Nebulosa Cabeza de Caballo. Créditos: Gabriel Pérez (SMM, IAC) y Sergio Simón Díaz (IAC/ULL), a partir de imágenes de Luis Chinarro (IAC, Orión+Teide), Daniel López (IAC, cinturón de Orión), Nigel Sharp (NOAO, NSF, AURA, nebulosa de la Cabeza de Caballo).**

<http://www.bia.iac.es/videos.php?id=1&vid=189>

#### Enlaces relacionados:

##### Artículo científico:

"Orbital and physical properties of the  $\sigma$  OriAa,Ab,B triple system",

S. SimónDíaz, J. A. Caballero, J. Lorenzo, J. Maíz Apeillániz, F. R. N. Schneider, I. Negueruela, R. H. Barbá, R. Dorda, A. Marco, D. Montes, A. Pellerin, J. Sanchez-Bermudez, Á. Sódor, A. Sota. 2015, *The Astrophysical Journal*, 799,169.

<http://iopscience.iop.org/0004-637X/799/2/169/>

<http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/2014arXiv1412.3469S>

##### Contacto:

**David Montes**, Prof. Titular de Universidad, Dpto. Astrofísica y CC. Atmósfera, Universidad Complutense de Madrid, UCM: (+34) 913 944 932

### Exposición: “La Biblia con B... de Brocar”

Con motivo de la celebración del V Centenario de la Biblia Políglota **Complutense**, la Imprenta Municipal-Artes del Libro de Madrid exhibe en sus salas “**La Biblia con B....de Brocar**”. Se trata de una muestra complementaria a la que tiene lugar en la sede de la Biblioteca Histórica “Marqués de Valdecilla” bajo el título “V Centenario de la Biblia Políglota. La Universidad del Renacimiento y el Renacimiento de la Universidad”, organizada por la Universidad **Complutense**.

“**La Biblia con B... de Brocar**” pone de relieve el valor de la técnica impresora a comienzos del siglo XVI, en sus primeras décadas de desarrollo, así como la complejidad de la producción de la Biblia Políglota, admirablemente resuelta por el gran impresor **Arnao Guillén de Brocar**. Puede visitarse hasta el 27 de marzo.

Presumiblemente de origen francés, oriundo de Brocq o Lo Brocar, diócesis de Leskar, en la comarca de Orthez, al oeste de Pau, **Arnao Guillén de Brocar** tal vez realizase su aprendizaje en algún taller de imprenta de Toulouse. Su actividad como

maestro impresor, editor y librero se desarrolló en Pamplona, Logroño, Alcalá de Henares, Valladolid y Toledo, entre los años 1490 y 1523. Se ha castellanizado su nombre, como en el caso de tantos impresores extranjeros, pero en los colofones y documentos, **Arnao Guillén** figura de otras varias formas: *Arnaud*, *Arnalt*, *Arnauld* y *Arnaoguillen* y *Arnaldusguillermus*. Se desconocen las causas de su

llegada a Pamplona, aunque es presumible una invitación expresa. Se dedicó especialmente a la impresión de libros litúrgicos, pero en su producción conocida, que alcanza la cifra de veintinueve ediciones, se incluye el Epílogo en medicina de **Johannes de Ketham**, una traducción del *Liber physiognomiae* de **Michael Scotus**, textos escolásticos y filosóficos, unas *Fabulae* de **Esope**, una bula de indulgencias a favor de la catedral de Pamplona, devocionarios y la *Crónica Troyana* de **Guido delle Colonne**.

Su nuevo taller en Logroño se muestra mucho más activo que el anterior. Se conocen hoy ochenta y tres ediciones logroñesas, que

se van sucediendo hasta el año 1517, aunque desde 1511 está documentada la actividad de su taller en Alcalá, villa en la que estará definitivamente su casa. En el conjunto de su producción logroñesa, junto a la importante presencia de textos religio-



sos y sin que falten textos litúrgicos, literarios, médicos y obras populares, sorprende la significativa representación de textos de **Antonio de Nebrija**. Es presumible que el arzobispo toledano **Francisco Jiménez de Cisneros**, en un encuentro con el gran humanista en Salamanca, en 1506, no perdiese la ocasión de preguntarle por algún buen impresor. Sin titubear lo más mínimo, **Antonio de Nebrija** debió de pronunciar el nombre de **Arnao Guillén de Brocar**.

En ese contexto editorial y comercial, verá la luz la *Biblia Políglota Complutense*. El trabajo de esos años fue agotador. La edición de la Políglota y consecuentemente el nombre de su impresor ocupan un lugar de honor en la historia de la tipografía griega, debido a la belleza y originalidad de los tipos empleados para la impresión del Nuevo Testamento. También los tipos hebraicos empleados en su taller son especialmente bellos y se ha insinuado la posibilidad de que se realizaran a la vista de un modelo manuscrito

*La edición de la Políglota y el nombre de su impresor ocupan un lugar de honor en la historia de la tipografía griega*

español, tal vez con la participación directa de **Alfonso de Zamora** a petición del maestro impresor.

Obras prestadas por la Biblioteca Histórica de la UCM:

- *Biblia Políglota*, tomo 1. *Vetus testamentum multiplici lingua: nunc primo impressum et imprimis Pentateuchus hebraico greco atque Chaldaico idiomate: adiuncta unicusque sua latina interpretatione*. Alcalá de Henares: Arnao Guillén de Brocar, 1516. BH FLL Res.219
- *Biblia Políglota*, tomo 6. *Vocabularium hebraicum atque chaldaicum totius Veteris Testamenti...* Alcalá de Henares: Arnao Guillén de Brocar, 1515. BH FLL Res.224
- John Major. *In secundum Sententiarum. Parisiis: venundatur in aedibus Ioannis Parui et Iodoci Badii Ascensii*, 1510. BH DER 2394
- Alberto Pio. *Tres et viginti libri in locos lucubrationum variarum D. Erasmi Roterodami. In ... Parrhisiorum Academia: imprimebat ... Iodocus Badius ...*, 1531. BH DER 2379(2)
- Guillaume Le Lièvre. *Ars memoratiua... Parisiis: vaenundatur in Chalcographia Iodoci Badii Ascensii*, 1520?. BH DER 2211(1)
- Noel Beda. *Annotationum ... in Iacobum Fabrum Stapulensem libri duo et in Desiderium Erasmus Roterodamum liber vnus ... Parisiis: vaenundantur Badio*, 1526. BH DER 958

Información elaborada a partir de textos de **Aurora Díez Baños** y **Julián Martín Abad**

Datos prácticos:

Exposición "La Biblia con B... de Brocar". Organizan: Imprenta Municipal - Artes del libro y Universidad Complutense. Comisarios: José Luis Gonzalo Sánchez-Molero y José Bonifacio Bermejo Martín.

Dirección: C/ Concepción Jerónima, 15. 28012 Madrid.

Horario: De martes a viernes de 10:00 a 20:00 horas. Sábados, domingos y festivos de 10:00 a 14:00 horas.



# red.escubre

Boletín de noticias científicas y culturales

Si desea recibir este boletín en su correo electrónico envíe un mensaje a [gprensa@rect.ucm.es](mailto:gprensa@rect.ucm.es)