



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

campus



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

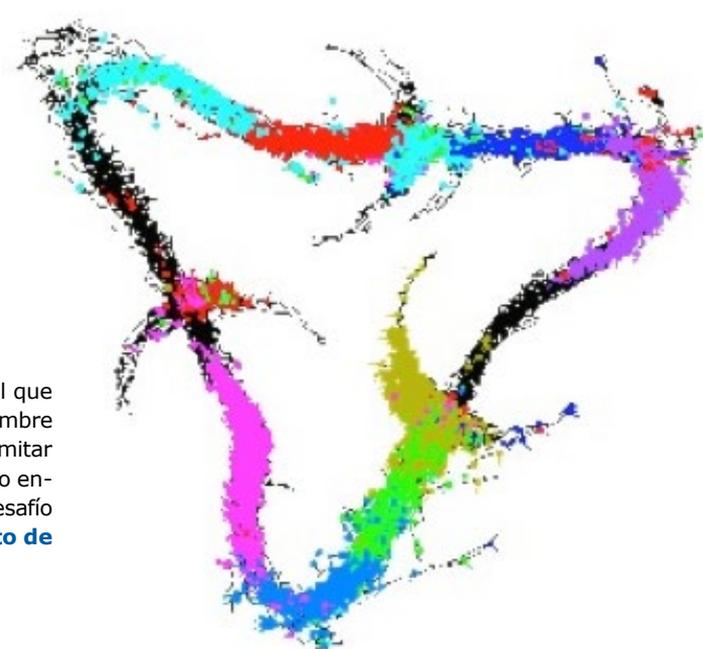
- ¿Puede la consciencia ser simulada en un ordenador? **2**
- El GPS dinámico del cerebro nos acerca al diseño de robots inteligentes **5**
- El oxígeno singlete, una molécula con múltiples aplicaciones **9**

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**.

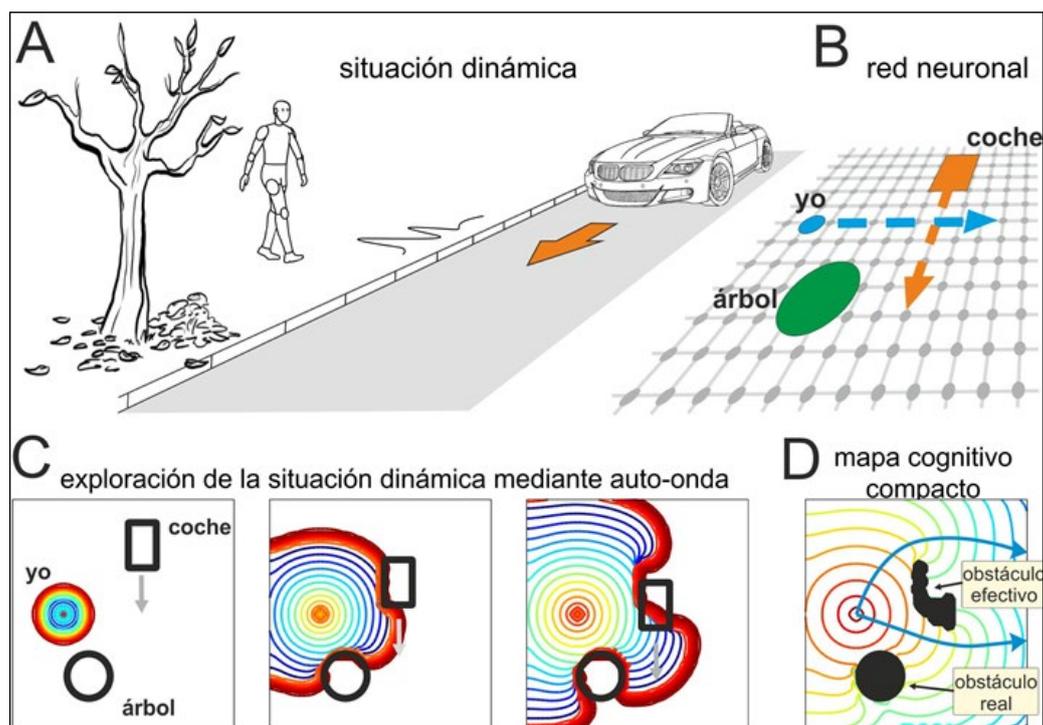
El GPS dinámico del cerebro nos acerca al diseño de robots inteligentes

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.

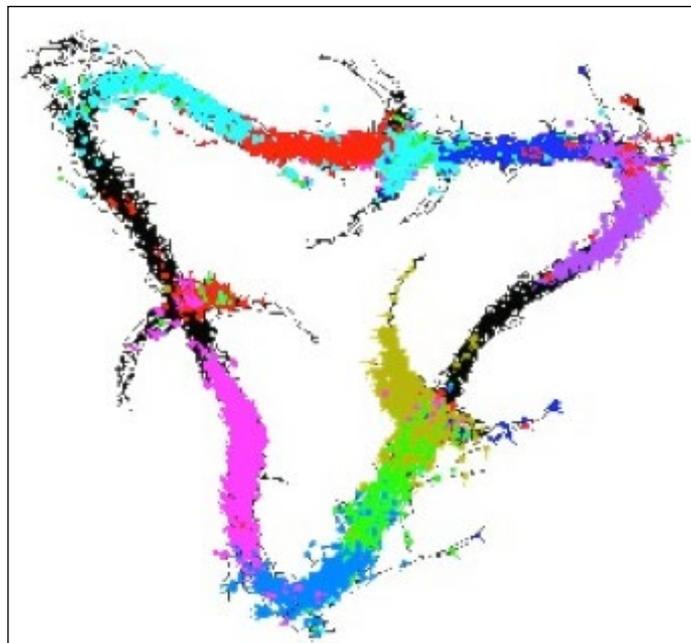
Recientes hallazgos experimentales apuntan a que la representación

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.

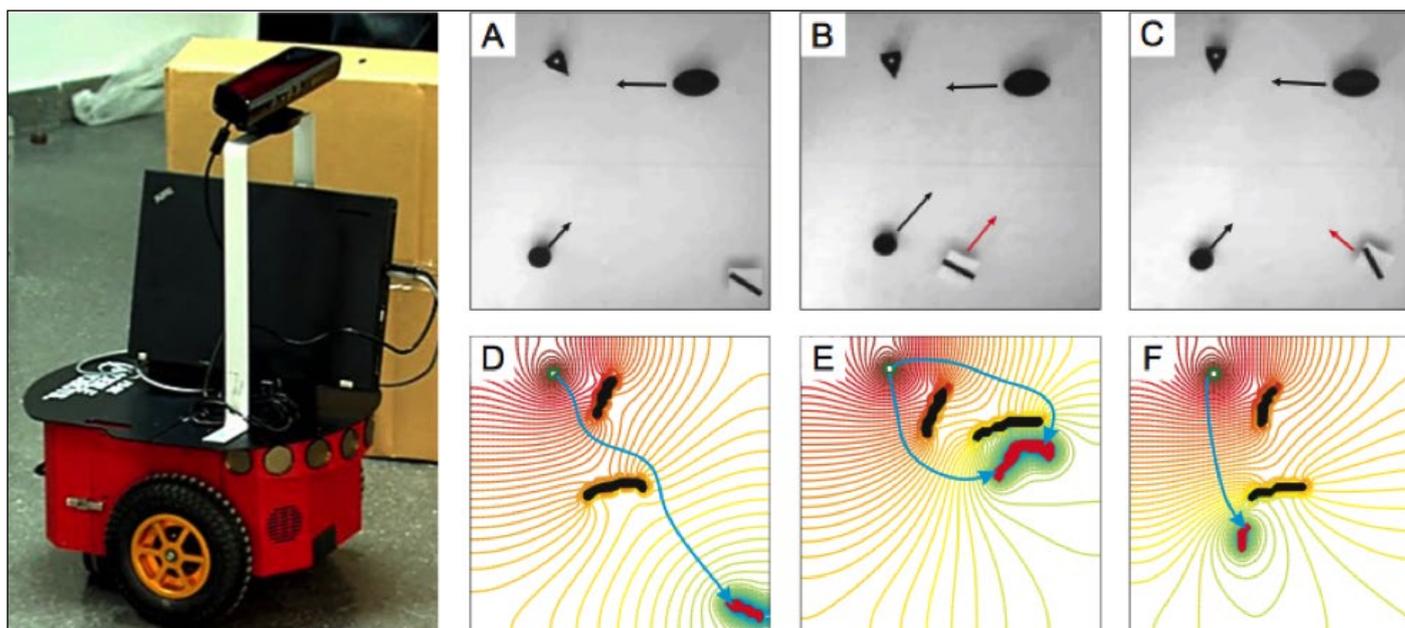
En esencia nuestra teoría predice que, tras percibir



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.

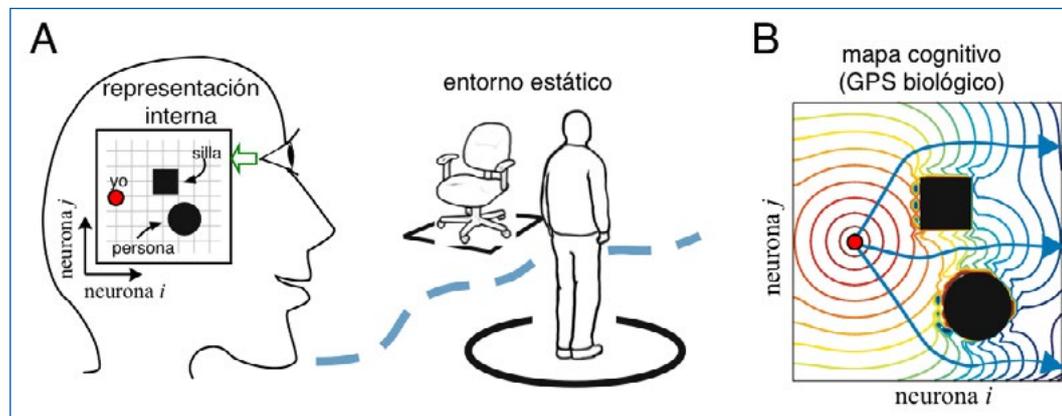
Una de las ventajas de esta teoría es que está construida sobre conceptos que se pueden transformar en matemáticas, de manera que puede ser implementada en robots móviles para dotarlos de procesos cognitivos similares a los que exhibimos los humanos. Para representar "mentalmente" el espacio real (simplificándolo 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)