

State of art in the Quantum Physics' explanation of the animals' magnetic sense

Bartolomé Ortiz Viso

*Master en Física y Matemáticas
Universidad de Granada*

23/06/2018

Abstract

This work offers a brief look in the quantum physics' explanation of the animals' magnetic sense. It is based on the talks given by Thorsten Ritz in BIOMAT2018 congress, whose main topic was quantum biology. The aim of these pages is to explain the main results in this particular topic (magnetic sensing), its connections with quantum physics and also to offer some other highlights of the talks. Moreover the reader can find some personal opinions and possibles advances that I discussed with Thorsten himself.

Keywords: Quantum Physics, Mathematics, Quantum Biology, Magnetic Sensing

1. Background biológico

Nos encontramos ante un delicado campo de estudio. En esta primera sección vamos a exponer los principales hallazgos en cuanto a el conocimiento de que diversas especies animales poseen la capacidad de sentir campos magnéticos, en particular el campo magnético terrestre.

Destacamos que aun hoy sabemos bastante poco sobre este sentido. Si bien los mecanismos hoy día están investigándose, estamos lejos de comprender este sentido completamente. Factores como los mecanismos físicos implicados, las moléculas receptoras, la transducción de la señal o el procesamiento neuronal de la misma, son aun objetivo de intenso debate y estudio.

Aun así, aunque no sepamos todos los mecanismos involucrados, conocemos la existencia y algunos de los límites de este sentido, gracias a los experimentos que se llevan a cabo con diferentes especies animales. Son las respuestas comportamentales que se observan en los sujetos de los experimentos, las que nos presentan el mayor indicio de que este sentido existe y tiene un alto impacto en su dinámica, aun sin saber como funciona exactamente.

24 de junio de 2018

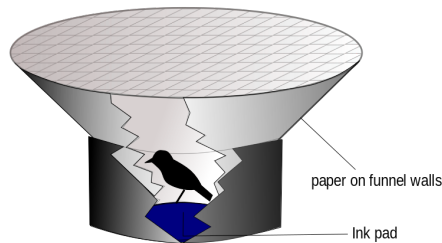


Figura 1: Diagrama de embudo de Emlen

En primer lugar, en estos estudios es habitual comprender la tierra como un barra magnética gigante (gigante no nos debe conducir a error: el campo magnético terrestre es difícil de detectar biológicamente). Y, nos interesamos por campo magnético vectorial. Aunque en cada punto podemos encontrar 2 componentes : horizontal y vertical, solemos
 20 medir la componente horizontal, y también es destacable el ángulo de inclinación, como veremos durante los experimentos.

Uno de los animales más habituales en este tipo de experimentos son los pájaros. Es de sobra conocido que muchas aves tienen pautas de migración muy interesantes y complejas, en las que tener sensibilidad al campo magnético terrestre juega un papel crucial.
 25 En este área los primeros experimentos fueron gracias al desarrollo de instrumental experimental específico, puesto que los métodos observacionales se mostraron ineficaces. Como se puede leer en [1], los investigadores desarrollaron un embudo 1 para percibir la dirección que toman los pájaros durante los experimentos.

Uno de los primeros estudios con esta técnica centrado en el campo magnético terrestre fue llevado a cabo en 1972 [2]. En el se escogió al petirrojo europeo (*Erithacus rubecula*), el
 30 cual está distribuido por toda Europa, principalmente en la región meridional y occidental del continente, donde habita todo el año, siendo migrante parcial en el norte de Europa y noroeste de África. Se recogieron varios de estos individuos y, una vez dentro de un embudo de Emlen, se procedió a cambiar artificialmente el campo magnético. Se pudieron
 35 obtener algunas conclusiones:

- Los pájaros siguieron el norte, tanto en el grupo de control como cuando el norte era alterado artificialmente.²
- Los pájaros eran capaces de detectar la inclinación, pero no la polaridad, por lo

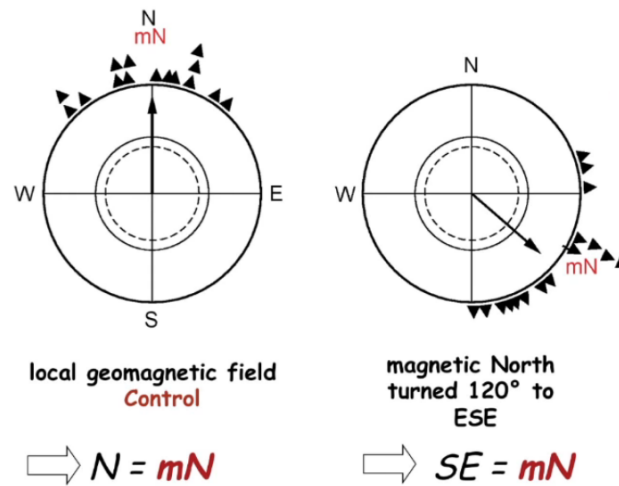


Figura 2: Resultados del cambio en el campo magnetico

que la componente vertical es importante.

40 Se compuso así la primera prueba de la sensibilidad magnetica de estos animales. Más tarde fueron incluidos multitud de experimentos relacionados con esta capacidad, los cuales voy a nombrar brevemente para finalizar esta parte.

- Se ha observado ciertas relaciones entre la luz y la cantidad de la misma. Aunque no hay una correlacion obvia entre fotoreceptores y comportamiento, sin embargo, la manipulacion con el ciclo regulatorio puede ser la causa. Volveremos sobre este tema durante las evidencia de la importancia de este
- 45 ■ Se ha observado que tapar el ojo derecho produce desorientación, mientras que tapar el ojo izquierdo no, con lo que se plantea la posibilidad de que la "brujula" se encuentre en este ojo.
- 50 ■ Se han encontrado evidencias de que los pajaros pueden resetear su percepcion en ciclos de un día. Estudios mostraban que pajaros que tenían una dirección equivocada de manera artificial, corregían su rumbo cuando pasaba un día.

Por último, estudios de comportamientos se han llevado a cabo en muchos otros animales, de los cuales, destacamos:

- 55 ■ Gallina común: En este caso el estudio presenta una clara muestra de condicionamiento magnético
- Tortuga boba: este animal ofrece unos comportamientos migratorios fascinantes. En experimentos llevados a cabo en piscinas, se pudo observar esa percepción al campo magnético como la mostrada en pájaros.
- 60 ■ Las moscas de la fruta también presentan este tipo de comportamiento
- Muchos otros animales: invertebrados, mamíferos, peces, etc.

Hasta la fecha no se ha encontrado evidencia alguna de que los seres humanos poseamos esta capacidad.

Una vez que tenemos una visión global de este fenómeno, vamos a adentrarnos en los
65 mecanismos que pueden motivarlo.

2. Mecanismo de par radical

Es usual encontrar dos vertientes principales sobre los mecanismos implicados en la magnetorecepción de los animales. Por un lado tenemos las partículas de óxido de hierro, sin embargo, estas no tienen ninguna implicación relacionada con la mecánica cuántica con
70 lo que durante las charlas nos centramos en la vertiente que si tienen estas implicaciones: el mecanismo de radical par.

Durante los años 70 se descubre que campos magnéticos débiles pueden afectar a las reacciones químicas, usando luz para foto-inducir una transferencia de electrones, dando lugar a un par de moléculas con un par de electrones separados pero entrelazados entre sí.
75 Ahora bien, los electrones tienen la propiedad del spin: todos los electrones giran en un sentido alrededor de su eje. Este giro genera un campo magnético. Como se puede intuir, el spin puede encontrarse en dos estados, que habitualmente están relacionados mediante el concepto de enlazamiento cuántico. Sin embargo, al separarse pueden darse dos estados: *triplet* (cuando van en el mismo sentido) y *singlet* (cuando van en sentidos
80 opuestos). Según avanza el tiempo y rotan los electrones, estos pasarán de un estado a otro.

Y este proceso es especialmente importante puesto que incide directamente en la mecánica de las reacciones químicas: existen reacciones químicas que solo se producen en uno de

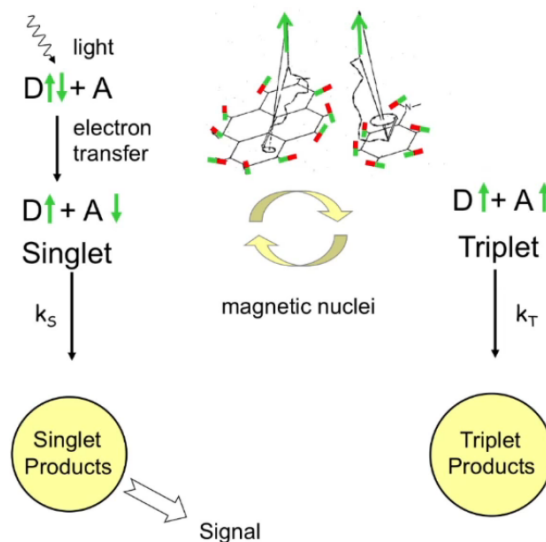


Figura 3: Diagrama del proceso radical-pair. De la charla de T. Ritz, basado en [3]

los dos estados. Con lo que este cambio periódico en los spin de los electrones retrasa la
 85 reacción química. Gráficamente, se puede entender con el diagrama 3.

Este proceso no pertenece solo a los avances teóricos si no que se han podido observar experimentalmente sus implicaciones, como en [4].

¿Cómo relacionamos esto con el sentido magnético? Si los animales, en particular los
 pajaros, poseen este mecanismo para orientarse, entonces los campos magnéticos de alta
 90 frecuencia afectarían a la sincronización del mecanismo de radical par (si el campo es lo
 suficientemente fuerte y tiene la frecuencia adecuada). Además, si realizamos este tipo
 de experimentos, estos no deberían alterar las partículas de óxido de hierro, con lo que
 sabremos si el mecanismo de par radical influye directamente sobre los animales.

3. Sensores óptimos vía moléculas fotoreceptoras

95 Durante las charlas hablamos sobre la experimentación para conseguir un sensor magnético
 basado en los avances cuánticos de la manera más óptima posible.

Para ello revisitamos algunos de los estudios que se basan principalmente en el enfoque de
 los sistemas radical-pair y moléculas fotoreceptoras. En particular, los criptocromos, que

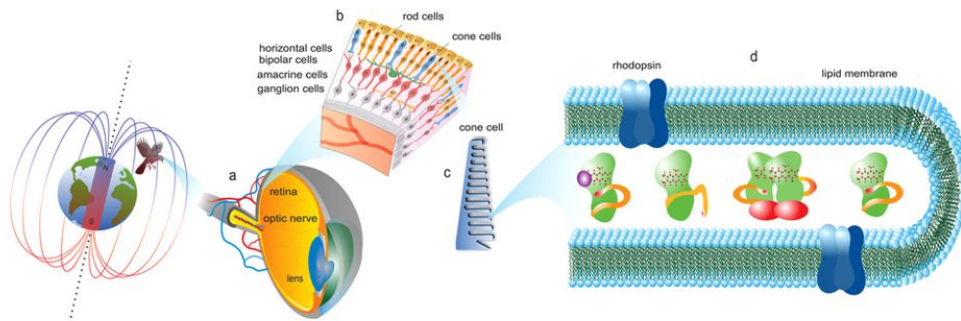


Figura 4: Mecanismo implicado en el sentido magnetico de los pájaros dentro de sus ojos

de [5]: La retina es una capa sensible a la luz en la parte posterior del ojo que convierte las señales de luz, que entran en el ojo de la lente, en señales electroquímicas y transmite estas señales al cerebro a través del nervio óptico. (b) Sección de la retina que muestra los cinco tipos de células dispuestas en capas. La señal primaria se genera en las células del cono del fotorreceptor, pasa a otras capas de células y se transmite al cerebro por las células ganglionares. (c) Disco de los segmentos externos de una célula de cono donde se sugiere que el foto-magnetoreceptor cryptochrome esté localizado^{15,32}. (d) Sección de una membrana de disco de una celda de cono. Las proteínas de rodopsina, representadas en azul, realizan la foto-transducción primaria de información visual. Las proteínas cryptochrome, representadas en verde con el C-terminal en naranja, pueden realizar la transducción primaria de información magnética, a través de la formación de reacciones de pares radicales magnéticamente sensibles. Un conjunto de criptocromos dentro de las células fotorreceptoras puede estar en diferentes estados conformacionales, como (de izquierda a derecha): con el C-terminal en la proximidad del cofactor flavina, con un metabolito unido, en forma dimerizada, con el C-terminal extendido.

son los que han mostrado una posibilidad alta de estar involucrados. Los criptocromos son una clase de fotorreceptores de luz azul de plantas y animales que constituyen una familia de flavoproteínas, pueden encontrarse, por ejemplo, en los ojos de algunos pájaros migratorios.

4. Notas finales

Referencias

- [1] S. T. Emlen, J. T. Emlen, A technique for recording migratory orientation of captive birds, The Auk 83 (3) (1966) 361–367.
URL <http://www.jstor.org/stable/4083048>
- [2] W. Wiltschko, R. Wiltschko, Magnetic compass of european robins, Science 176 (4030) (1972) 62–64. [arXiv:http://science.sciencemag.org/content/176/4030/62.full.pdf](http://science.sciencemag.org/content/176/4030/62.full.pdf), doi:10.1126/

110 science.176.4030.62.

URL <http://science.sciencemag.org/content/176/4030/62>

[3] K. Schulten, P. G. Wolynes, Semiclassical description of electron spin motion in radicals including the effect of electron hopping, *The Journal of Chemical Physics* 68 (7) (1978) 3292–3297.

[4] K. Maeda, K. B. Henbest, F. Cintolesi, I. Kuprov, C. T. Rodgers, P. A. Liddell, D. Gust, C. R. Timmel, P. Hore, Chemical compass model of avian magnetoreception, *Nature* 453 (7193) (2008) 387.

[5] M. Procopio, T. Ritz, Inhomogeneous ensembles of radical pairs in chemical compasses, *Scientific reports* 6 (2016) 35443.