

II Curso de Ciencias Planetarias  
Universidad de Salamanca  
Salamanca del 24 al 27 de Marzo

Imprime: Publicaciones Xerox  
ISBN: 84-688-6094-8  
Depósito Legal: S. 419-2004

*Diego-Rasilla, F. J.* (2004). Orientación animal basada en el campo magnético terrestre. En: *II Curso de Ciencias Planetarias*, pp. 22-27 (Eds. J. Sesma Plaza & I. Rubio Muñoz). Universidad de Salamanca, Salamanca.

# Orientación animal basada en el campo magnético terrestre



Francisco Javier Diego-Rasilla  
Dpto. de Biología Animal  
Universidad de Salamanca  
Asociación Herpetológica Española  
[fjdiego@herpetologica.org](mailto:fjdiego@herpetologica.org)

La naturaleza no hace nada en vano

Aristóteles

Los animales pueden orientarse en sus migraciones confiando en múltiples señales, tales como estímulos celestes (Matthews, 1968; Emlen, 1972; Diego-Rasilla & Luengo, 2002), olores (Joly & Miaud, 1993; Wallraff, 2001), dirección del viento (Bellrose, 1967), sonidos de baja frecuencia (Diego-Rasilla & Luengo, 2004) y el campo magnético de la Tierra (Lohmann, 1993; Wiltschko & Wiltschko, 1995).

En algunos casos, los animales mantienen un rumbo constante hacia un determinado destino. Tal orientación puede conseguirse con un sentido de brújula simple. Sin embargo, no basta esa brújula interna para guiar el regreso a casa desde un lugar desconocido. Es un hecho que diversas especies son capaces de encontrar el camino de vuelta a casa después de haber sido desplazadas a un lugar desconocido para ellas, y lo hacen en ausencia de referencias geográficas, estímulos familiares, información direccional obtenida durante el trayecto y de cualquier tipo de contacto sensorial con el lugar de destino (Walcott & Schmidt-Koenig, 1973; Rodda 1984a, b, 1985; Phillips *et al.*, 1995). Esta capacidad de navegación requiere un sentido direccional ("brújula") y un sentido de posición geográfica ("mapa") elaborado a partir de la información espacial disponible en el lugar en que se encuentra el individuo (Kramer, 1953). Actualmente sabemos que diversas especies de animales son sensibles a las variaciones en el campo magnético terrestre y utilizan la información obtenida a partir de estas variaciones para orientarse en el espacio, tanto al efectuar cortos desplazamientos dentro de sus dominios vitales como al realizar largas migraciones.

En cualquier punto de la superficie terrestre podemos describir el campo magnético como un vector en un espacio tridimensional (Fig. 1a). Un vector en tres dimensiones requiere tres parámetros para definirlo totalmente sin importar qué sistema de coordenadas se elija. Los tres parámetros que usaremos más frecuentemente son la intensidad,  $F$ , declinación,  $D$ , e inclinación,  $I$ . La intensidad del campo geomagnético varía desde 25 a 65 micro-Tesla ( $\mu\text{T}$ ) y la dirección del vector resultante varía desde el ecuador magnético, donde es paralelo a la superficie de la Tierra, hasta los polos donde es perpendicular (Fig. 1b).

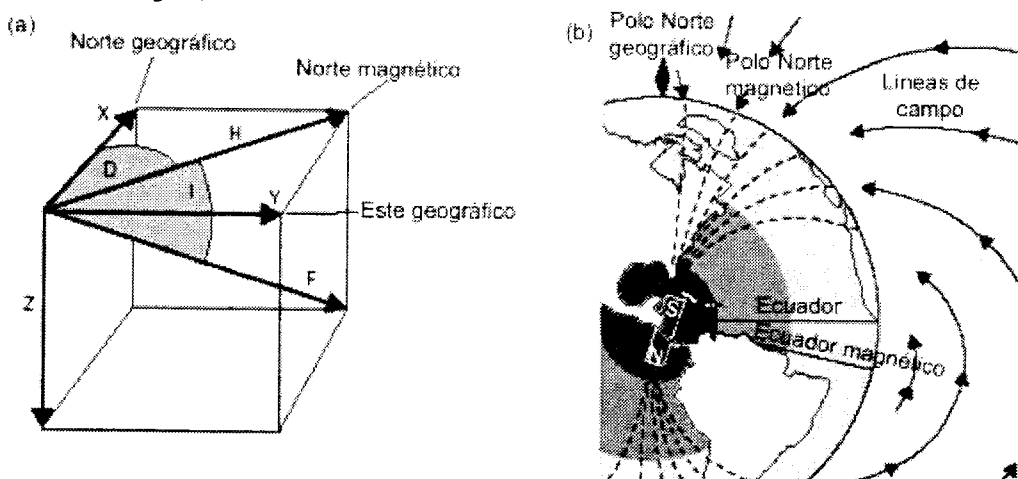


Figura 1. El campo magnético terrestre. (a) Componentes del vector de campo magnético ( $F$ ) en la superficie de la Tierra.

El vector de campo magnético puede descomponerse en sus componentes (flechas) según los ejes X (Norte), Y (Este) y Z (vertical). La componente en el plano horizontal (H) señala en la dirección de la aguja magnética de una brújula. La declinación (D) es el ángulo entre las componentes H y X, mientras que la inclinación (I) es el ángulo entre las componentes H y F del campo magnético. **(b) Campo principal de la Tierra (generado en el núcleo).** El campo atribuido al dipolo magnético del núcleo aparece representado por las líneas de campo, que muestran cómo la intensidad e inclinación del campo se incrementan sistemáticamente entre el ecuador magnético y los polos magnéticos.

Existen diversas fuentes de variación temporal del campo magnético terrestre. Así, las corrientes eléctricas en la ionosfera y en la propia Tierra producen fluctuaciones diarias en el campo magnético. Estas variaciones incluyen las alteraciones diurnas regulares asociadas con el viento solar y las tormentas magnéticas asociadas con las llamaradas solares, además de algunas alteraciones producidas por los rayos en las tormentas. Estos cambios suceden en una escala temporal pequeña que va de milisegundos a horas. No obstante, existen cambios más graduales en el campo magnético que tienen lugar a lo largo de muchos años (variación secular) y originados por variaciones en el núcleo terrestre (Skiles, 1985).

A partir del campo magnético de la Tierra pueden obtenerse al menos dos tipos de información, la necesaria para los sentidos de brújula y de mapa. Varios parámetros geomagnéticos varían geográficamente de forma predecible, por lo que pueden ser utilizados en el mapa de navegación (Skiles, 1985). Es el caso de la inclinación de las líneas del campo y la intensidad de campo en las direcciones horizontal y vertical. Cualquiera de estas magnitudes podría servir de componente de un mapa para determinar la posición respecto a un objetivo. Estudios experimentales han demostrado que diversos animales, incluyendo representantes de las cinco clases de vertebrados y algunos invertebrados, pueden percibir el campo magnético terrestre y utilizarlo como estímulo de orientación durante sus migraciones o sus desplazamientos dentro de sus hábitats (Wiltschko & Wiltschko, 1995). Sin embargo, puede resultar difícil para un animal establecer con exactitud su posición geográfica, dado que las variaciones temporales de tipo natural en el campo magnético terrestre señaladas anteriormente constituyen una fuente potencial de error. Además, los animales precisarían de un extremado nivel de sensibilidad para detectar las variaciones geográficas en los parámetros del campo magnético terrestre, tales como la intensidad total y la inclinación. Por ejemplo, el promedio de la variación geográfica en la intensidad total es apenas de alrededor de 0.01%/km, y la inclinación varía en promedio solamente alrededor de 0.01°/km (Phillips, 1996).

Debido a que la variación temporal en el campo magnético terrestre es mayor durante las horas diurnas, algunos autores han sugerido que los animales toman estas lecturas durante la noche, cuando el campo magnético es relativamente estable (Rodda 1984a; Fischer et al., 2001; Phillips et al., 2002). Nuestros estudios (Diego-Rasilla, 2003; Diego-Rasilla & Phillips, en revisión) constituyen la primera evidencia de que los anfibios prestan atención a la información magnética obtenida durante la noche, cuando el campo magnético de la Tierra es más estable.

Debido a que los parámetros del campo magnético terrestre involucrados en el sentido de brújula y en el de mapa difieren, existe la posibilidad de que algunas especies posean dos sistemas de magnetorrecepción independientes. Cada uno de ellos podría detectar características diferentes del campo geomagnético y cada uno podría utilizar receptores independientes, con diferentes mecanismos fisiológicos subyacentes. Aunque han sido propuestos diversos mecanismos para explicar la base del sentido magnético, las investigaciones más recientes con vertebrados señalan tres posibilidades: inducción electromagnética, reacciones químicas dependientes del campo magnético y magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Kalmijn, 1984; Kirschvink & Gould, 1981; Schulten, 1982; Purcell, 1985; Kirschvink, 1989).

### Referencias:

Bellrose FC (1967) Radar in orientation research. In Proceedings of 14th International Ornithological Congress, 281-309, Oxford, Blackwell

Diego-Rasilla FJ, Luengo RM (2002). Celestial orientation in the marbled newt (*Triturus marmoratus*). *J Ethol* 20: 137-141

Diego-Rasilla FJ (2003) Homing ability and sensitivity to the geomagnetic field in the alpine newt, *Triturus alpestris*. *Ethol Ecol Evol* 15:251-259

Diego-Rasilla FJ, Luengo RM (2004) Heterospecific call recognition and phonotaxis in the orientation behavior of the marbled newt, *Triturus marmoratus*. DOI: 10.1007/s00265-003-0740-y

Emlen ST (1972) The ontogenetic development of orientation capabilities. In *Animal orientation and navigation*, number SP-262, 191-210. NASA

Fischer JH, Freake MJ, Borland SC, Phillips JB (2001) Evidence for the use of magnetic map information by an amphibian. *Anim Behav* 62:1-10

Joly P, Miaud C (1993) How does a newt find its pond? The role of chemical cues in migrating newts (*Triturus alpestris*). *Ethol Ecol Evol* 5:447-455

Kalmijn AJ (1984) Theory of electromagnetic orientation: a further analysis. In *International Conference on Comparative Physiology* (Bolis L et al., eds), 525-560, Cambridge University Press

Kirschvink JL, Gould JL (1981) Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in animals. *BioSystems* 13, 181-201

Kirschvink JL (1989) Magnetite biomineralization and geomagnetic sensitivity in animals: an update and recommendations for future study. *Bioelectromagnetics* 10, 239-259

- Kramer G (1953) Wird die Sonnenhöhe bei der Heimfindorientierung verwertet?  
*J Ornith* 94:201-219
- Lohmann, K.J. (1993) Magnetic compass orientation. *Nature* 362, 703
- Matthews, GVT (1968) *Bird Navigation*. Bambridge: Cambridge University Press.
- Phillips JB (1996) Magnetic navigation. *J Theor Biol* 180: 309-319
- Phillips JB, Adler K, Borland SC (1995) True navigation by an amphibian. *Anim Behav* 50, 855-858
- Phillips JB, Freahe MJ, Fischer JH, Borland SC (2002) Behavioral titration of magnetic map coordinate. *J Comp Physiol A* 188: 157-160.
- Purcell EM (1985) *Electricity and Magnetism: Berkeley Physics Course (Vol. 2)*, McGraw-Hill
- Rodda GH (1984a) The orientation and navigation of juvenile alligators: evidence of magnetic sensitivity. *J Comp Physiol* 154:649-658
- Rodda GH (1984b) Homeward paths of displaced juvenile alligators as determined by radiotelemetry. *Behav Ecol Sociobiol* 14:241-246
- Rodda GH (1985) Navigation in juvenile alligators. *Z Tierpsychol* 68: 65-77
- Schulten K (1982) Magnetic field effects in chemistry and biology. In *Festkörperprobleme (Advances in Solid State Physics) (Vol. 22)* (Treusch, J., ed.), 61-83, Vieweg
- Skiles DD (1985) The geomagnetic field: its nature, history and biological relevance. In: Kirschvink JL, Jones DS, MacFadden BJ (eds) *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception by Living Organisms: A New Biomagnetism*, Plenum Publishing Corporation, New York, pp 43-102
- Walcott C, Schmidt-Koenig K (1973) The effect on pigeon homing of anesthesia during displacement. *Auk* 90, 281-286
- Wallraff HG (2001) Navigation by homing pigeons: updated perspective. *Ethol Ecol Evol* 13: 1-48
- Wiltschko R, Wiltschko W (1995) *Magnetic Orientation in Animals*, Springer-Verlag.