Los dinosaurios también nadaban

Un rastro fósil hallado en La Rioja revela la forma de natación de ciertos dinosaurios terópodos no avianos y arroja luz sobre una de las cuestiones etológicas más apasionantes de estos reptiles

Rubén Ezquerra Miguel, Loïc Costeur, Félix Pérez-Lorente

CONCEPTOS BASICOS

- El estudio de un excepcional rastro fósil hallado en Enciso, La Rioja, demuestra que ciertos dinosaurios terópodos no avianos desarrollaron una locomoción eficaz en el medio acuático. Las huellas se encuentran sobre un estrato de arenisca del Cretácico inferior, hace unos 125 millones de años.
- El dinosaurio rascó el fondo dejando sobre el sedimento nueve conjuntos asimétricos de dos o tres arañazos. Las rizaduras de oleaje indican que el animal nadó bajo la influencia de una corriente.
- El descubrimiento permite ahondar en la etología y la locomoción de estos reptiles, así como en aspectos ecológicos como la dieta y el modo de vida semiacuático que quizá les permitió colonizar los nichos ecológicos acuáticos.

En 1980, el paleontólogo Walter P. Coombs descubrió en el Jurásico inferior de Conneticut un rastro curioso. Las huellas fueron descritas como un morfotipo muy original y totalmente diferente de lo que se había encontrado hasta la fecha. Fue la primera vez que se hallaba una huella fosilizada (icnita) con la impresión distal de los tres dedos; las impresiones mostraban una forma elongada, de acanaladura, como si el animal hubiera arañado el sustrato por el cual se desplazaba. Dicha pista, publicada en *Science*, se atribuyó a los efectos de la natación de un dinosaurio terópodo no aviano.

Sin embargo en 2003, James O. Farlow y Peter M. Galton estudiaron de nuevo dichas huellas y llegaron a una conclusión totalmente opuesta: el rastro había sido producido mientras el dinosaurio se desplazaba sobre una superficie de sedimento de consistencia dura, por tanto, en tierra firme.

Asimismo, un rastro del Jurásico medio de Inglaterra descrito en 2001 por Martin A. Whyte y Mike Romano, y unas huellas aisladas del Jurásico inferior de Polonia publicadas por Gerard Gierlinsky en 2004 fueron denominadas *Characichnos tridactylus* y se atribuyeron a terópodos no avianos nadadores. En 2006, Andrew R. C. Milner, Martin G. Lockley y James I. Kirkland describieron en el Jurásico inferior de Utah un gran número de huellas de natación aisladas. Se correlacionaron con huellas de los ichnogéneros Grallator y Eubrontes, ambos relacionados con dinosaurios terópodos no avianos.

Con todo, en los ejemplos anteriores las icnitas aparecían aisladas o asociadas a rastros muy pequeños, por lo que su atribución a huellas de natación no convenció a los expertos.

ALBERT MARIN, BASADO EN UNA ILUSTRACION DE GUILLAUME SUAN, DE LA UNIVERSIDAD DE GOETHE, FRANKFURT

1. ¿NADABAN LOS DINOSAURIOS terópodos no avianos? El examen minucioso de un rastro fósil hallado en La Rioja demuestra que sí.

2. LA CUENCA DE CAMEROS se ubica en las provincias de Burgos, Soria y La Rioja. Es la más occidental de un conjunto de cuencas del sistema de rift ibérico Mesozoico, que se crearon durante el Jurásico superior y el Cretácico inferior, mientras la península Ibérica se separaba del sur de Francia y se abría el golfo de Vizcaya (*arriba*). La cuenca de Cameros se caracteriza por un gran espesor de sedimentos continentales: lacustres y fluviales (alcanzan los 5000 metros verticales). El relleno sedimentario consta de cinco grupos geológicos: Tera, Oncala, Urbión, Enciso y Oliván. El pueblo riojano de Enciso dio nombre al Grupo Enciso, datado del Barremiense superior-Aptiense. Tras una agitada historia tectónica, dicho grupo aflora hoy en el paisaje semiárido de La Rioja, dejando expuestos a la vista un gran número de yacimientos de huellas fósiles de dinosaurio, como el de la Virgen del Campo 4 (*fotografía*).

Una pista en las orillas de un lago Cretácico

El debate sobre la capacidad de los dinosaurios terópodos no avianos para desarrollar una locomoción acuática siguió abierto hasta el descubrimiento, en 2003, de un rastro muy particular en el yacimiento riojano de La Virgen del Campo 4. Dicho yacimiento se encuentra en la cuenca geológica de Cameros; de roca arenisca, pertenece al Grupo Enciso datado del Barremiense superior-Aptiense (Crétacico inferior, hace unos 125 millones de años). Fue preservado por un delta que progresaba hacia el margen sur de un enorme lago perenne que se extendía en tal cuenca.

En La Rioja, los huesos fósiles son escasísimos. Sin embargo, por mediación de la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja, se han catalogado ya cerca de 10.000 huellas, cuyo estado de conservación es por lo general excepcional. Estas huellas pertenecen a Ornitópodos, Saurópodos y, sobre todo, a Terópodos [*Véase* "Icnitas de la Rioja", por José-Vicente Santafé y M. Lourdes Casanovas; Investigación y Ciencia, agosto de 1995].

Desde 1998 se conocía la existencia, en los cuatro yacimientos de La Virgen del Campo, de algunas huellas enigmáticas aisladas. Muchas eran de deslizamiento; otras, señales de uñas. Tales indicios llevaron a nuestro equipo a efectuar varias campañas de prospección de

CORTESIA DE LOS AUTORES

huellas acuáticas de vertebrados en La Rioja. El resultado no pudo ser más fructífero. Se descubrieron icnitas de natación en dos yacimientos excepcionales: en 2002 y 2003 en La Virgen del Campo 4 y en 2005 cerca de San Vicente de Robres. En este último se hallaron sólo huellas de peces.

En el yacimiento de La Virgen del Campo 4 se encontraron, en un principio, varias icnitas aisladas correspondientes a uñadas de dinosaurios terópodos no avianos, y dos rastros de cocodrilos, que nadaron a ras del sedimento. Fue durante la campaña de 2003 cuando se descubrió, en un estrato cuya superficie presentaba rizaduras de oleaje, un peculiar rastro casi rectilíneo, de doce huellas consecutivas, que se extendía a lo largo de quince metros. Las huellas cortaban las rizaduras de oleaje, lo cual implicaba que el paso del animal había sido posterior a la formación de éstas.

Dado que el yacimiento prometía más huellas, se realizaron dos nuevas campañas: una en otoño de 2009 y otra en el verano de 2010.

RASTRO DE NATACION

En 2003 se halló en el yacimiento riojano de La Virgen del Campo 4 (del Crétacico inferior, hace unos 125 millones de años), un rastro fósil que arroja luz sobre el debate sobre la capacidad de los dinosaurios terópodos no avianos para desarrollar una locomoción acuática: el rastro de un dinosaurio que nadaba en dirección noroeste.

La superficie del estrato presenta rizaduras de oleaje y un peculiar rastro casi rectilíneo, de 18 huellas (icnitas) consecutivas, que se extiende a lo largo de 22 metros. Las huellas cortan las rizaduras, lo que indica que el paso del animal fue posterior a la formación de éstas.

Las 18 huellas se reúnen en 9 conjuntos asimétricos de dos o tres arañazos. Los números romanos corresponden a las uñadas producidas por los dedos II, III y IV. En algunas huellas izquierdas, como en la n.º 6 por ejemplo, y en todas las huellas derechas, la uñada producida por el dedo III es la más larga y profunda, y la distancia entre las uñadas de los dedos II y III es mayor que la separación entre las uñadas III y IV, formando una uve. Estos rasgos son característicos también de las icnitas de terópodos hechas en suelo firme. Las huellas del pie izquierdo difieren de las del derecho en cuanto a la forma y la zancada.

AUTOPODO POSTERIOR (PIE) IZQUIERDO

Grupos de dos o tres arañazos paralelos y poco sinusoidales.

Huellas paralelas a la dirección del rastro.

La más pequeña mide 14 cm; la mayor, 90.

Zancada media: 254 cm.

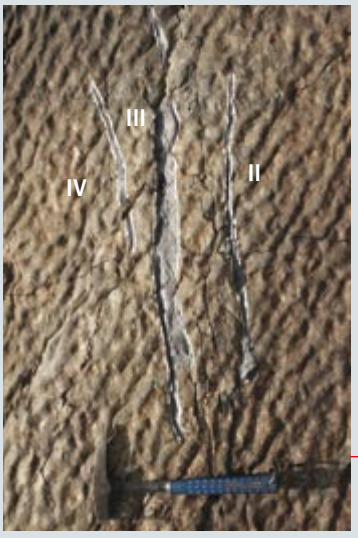
AUTOPODO POSTERIOR (PIE) DERECHO

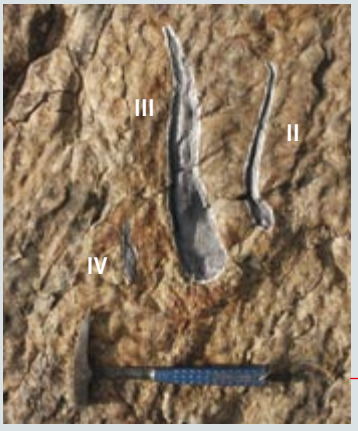
Grupos de dos o tres arañazos paralelos y sinusoidales.

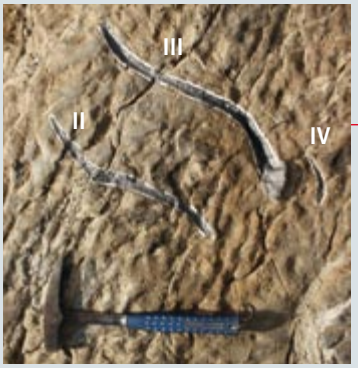
Las huellas forman un ángulo de 40º con la dirección del rastro.

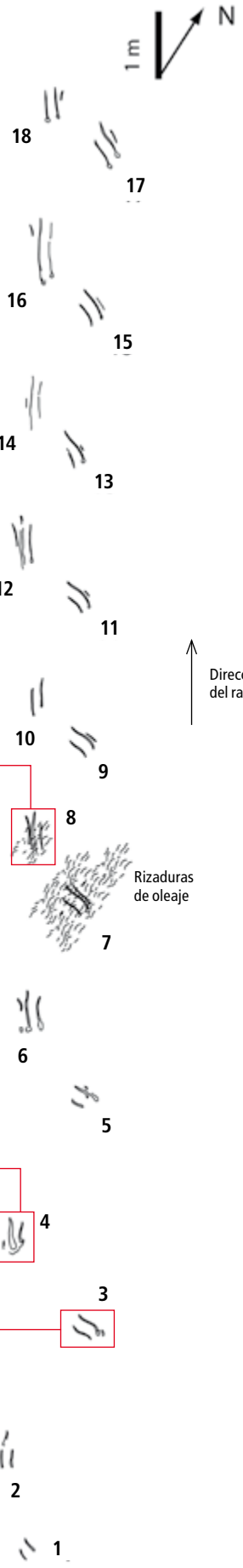
La más pequeña mide 8 cm; la mayor, 56,5.

Zancada media: 265 cm.

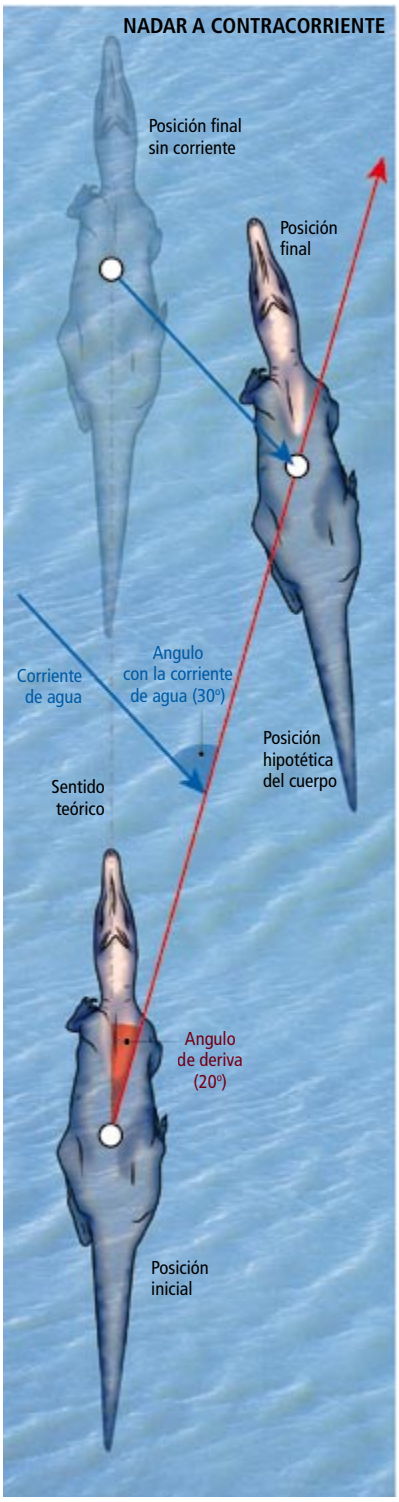


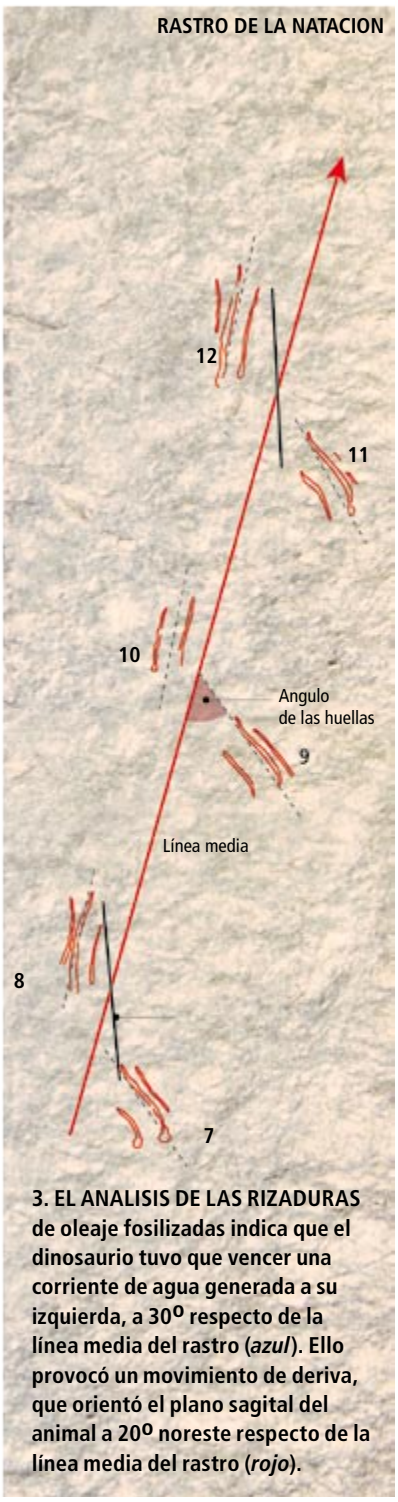






CORTESIA DE LOS AUTORES





3. EL ANALISIS DE LAS RIZADURAS de oleaje fosilizadas indica que el dinosaurio tuvo que vencer una corriente de agua generada a su izquierda, a 30º respecto de la línea media del rastro (*azul*). Ello provocó un movimiento de deriva, que orientó el plano sagital del animal a 20º noreste respecto de la línea media del rastro (*rojo*).

Gracias a estas excavaciones, han salido a la luz seis nuevas icnitas que han incrementado la longitud del rastro en más de un 30 por ciento (ha pasado de 15 a 22 metros).

Las dieciocho huellas se reúnen en nueve conjuntos asimétricos de dos o tres arañazos. Varias icnitas presentan un montoncito de barro en su parte más trasera. La forma y zancada de las huellas del pie izquierdo difieren de las del pie derecho.

Un dinosaurio nadador

La forma de las icnitas, su disposición en el rastro y el contexto sedimentario refuerzan la idea de que el autor de las mismas fue un gran reptil, que durante su natación rascó con las uñas la superficie del sedimento.

Entre los grandes vertebrados del Cretácico inferior figuran los cocodrilos, las tortugas y los dinosaurios. Las huellas fósiles de natación de cocodrilos son más pequeñas, anchas y menos afiladas que las otras. Aparecen agrupadas en conjuntos de tres o cuatro incisiones, que pueden corresponder a manos o a pies. En ocasiones, el vientre deja marcas en el sedimento. El estudio de sus rastros sugiere una locomoción acuática asegurada por la cola: ésta actuaba a modo de propulsor axial, mientras que los miembros se movían sólo para estabilizar o maniobrar. El rastro que centra nuestra investigación no coincide con esta descripción, por lo que no puede atribuirse a un cocodrilo.

En cuanto a las huellas fósiles de natación de tortugas, el yacimiento más espectacular es el de Cerin, en la región francesa del Ain. Las icnitas, creadas principalmente por las aletas anteriores, constan de dos o tres incisiones muy juntas; algunas conservan las huellas de las membranas. Estos reptiles pueden generar varios tipos de marcas, en función del contacto de las aletas (anteriores y posteriores, con el sustrato), la batimetría o el comportamiento del animal. El movimiento de los miembros puede ser alternado o sincrónico, en cuyo caso se generan huellas simétricas. Este tipo de huellas tampoco coincide con las icnitas halladas en La Virgen del Campo 4.

Los dinosaurios se clasifican en Ornitisquios y Saurisquios, según la disposición de sus huesos de la cadera: ilion, isquion y pubis. De esta manera, encontramos en los Ornitisquios (cadera de ave) el pubis dispuesto hacia atrás, paralelamente al isquion; en los Saurisquios (cadera de reptil), el pubis se orienta hacia adelante y el isquion hacia atrás. Entre los Saurisquios hallamos a los Terópodos, dinosaurios bien representados desde el Triásico medio (hace 240 millones de años) hasta el Cretácico superior (hace 65 millones de años). De ellos proceden las aves actuales. De ahí que se distinga entre terópodos no avianos y terópodos que comparten características comunes con las aves. El término terópodo fue propuesto por el Othniel Charles Marsh en 1881: significa pie de bestia.

En el Cretácico inferior de Burgos, Castellón, Cuenca, La Rioja, Teruel y Valencia se han encontrado numerosos restos óseos de terópodos, sobre todo dientes, a partir de los

CORTESIA DE LOS AUTORES

¿COMO SE FORMAN LAS HUELLAS?

El suelo que pisaron los dinosaurios ha desempeñado un papel fundamental en la preservación de sus huellas. Los terrenos que mejor permiten reproducir las características anatómicas de las manos o pies de estos reptiles son los sedimentos arcillosos firmes, compactados y con elevada plasticidad. Este es el caso de los yacimientos riojanos (formados en los márgenes de antiguos lagos y pantanos) y asturianos (que se formaron en una antigua llanura aluvial y en una zona litoral con deltas).

Las huellas actúan como huecos en el sustrato que van siendo rellenados posteriormente por nuevas capas de sedimentos. Si el material de relleno es de la misma composición que el precedente, es muy difícil que la icnita quede preservada. Además, se requiere que el sedimento tenga un cierto contenido en agua, pero siempre por debajo de un umbral (una hidratación excesiva produce texturas similares a la de un puré, por lo que no permite el registro de las pisadas). Las mejores condiciones para la fosilización de las mismas tienen lugar cuando el sedimento que pisa el dinosaurio y el nuevo sedimento que rellena luego el hueco creado al hollar tienen diferente composición. Por ejemplo, cuando el reptil camina sobre barro y éste queda luego cubierto por arena, o a la inversa, cuando lo hace sobre un banco arenoso que luego es recubierto por arcilla.

Las huellas conservadas en forma de huecos o depresiones en la superficie superior de los estratos se denominan moldes o huellas verdaderas; los rellenos de estos huecos, que suelen aparecer en forma de abultamientos en las bases de estratos de arenisca o caliza, se conocen como contramoldes. El dinosaurio, al pisar, deforma a menudo los sedimentos subyacentes, creando subhuellas; éstas presentan contornos más difusos y muestran con menor detalle la anatomía del pie o mano del dinosaurio.

1. PISADA
El dinosaurio pisa el suelo y deja una huella.

2. RECUBRIMIENTO Y ENTERRAMIENTO
A lo largo de millones de años, la superficie del sedimento que pisó el dinosaurio queda cubierta por nuevos sedimentos hasta quedar enterrada a gran profundidad.

3. COMPACTACION
El terreno sufre un proceso gradual de deshidratación. Las presiones y temperaturas cada vez mayores transforman poco a poco el sedimento blando en otro más compacto y, por fin, en una roca sólida.

4. ASCENSO Y EXPOSICION
Los intensos esfuerzos tectónicos que tienen lugar en el interior de la Tierra producen un ascenso e inclinación de los materiales mediante pliegues y fallas. La lenta erosión posterior hace que algunas de las rocas antes profundamente enterradas asomen hoy día a la superficie.

cuales se ha constatado una gran variedad de talla entre estos dinosaurios. Eran dinosaurios bípedos: se desplazaban mediante las extremidades posteriores y utilizaban las anteriores para sujetar a las presas. Los pies tenían cuatro dedos con garras afiladas. Tres de ellos (II, III y IV) se apoyaban en el suelo durante la locomoción; el restante (I) quedaba situado en una posición superior, a modo de espolón. Los terópodos eran sobre todo carnívoros, provistos de dientes puntiagudos de bordes aserrados para desgarrar a sus presas. También los había carnívoros y herbívoros (*Pelecanimimus*, del Cretácico inferior de Las Hoyas, en Cuenca) y piscívoros (*Baryonyx*, hallado en Salas de los Infantes, en Burgos, y en los pueblos riojanos de Igea y Enciso).

Los zambos nadaban mejor

El rastro hallado en el yacimiento de la Virgen del Campo 4 presenta dos aspectos singulares y originales. Por un lado, la diferencia de formas entre las huellas del autopodo posterior (pie) izquierdo y las del derecho. Por otro, las icnitas de la derecha forman un ángulo de 40º con la línea media del rastro.

Estas particularidades se deben a la combinación de dos factores: el tipo de natación adoptado por el dinosaurio y el medio en que éste nadaba, es decir, una corriente de agua.

Los conjuntos de uñadas alternados implican que el animal usó un modo discontinuo de propulsión, derivado de un movimiento alternado de sus dos extremidades posteriores, es decir, un movimiento pélvico de remos al modo de las aves acuáticas actuales de pies palmeados. En este modo de natación, el movimiento vertical de las extremidades se articula en un plano parasagital (paralelo al plano de simetría bilateral), con una fase de propulsión (extensión) y otra de recobro (flexión). Este tipo de natación requiere una articulación de tobillo avanzada, la cual está presente en los dinosaurios.

Para limitar las resistencias debidas al agua, a un coste energético mínimo, el animal adopta un movimiento sinusoidal de los pies, orientándolos al mismo tiempo hacia el interior de la pista, es decir, como en el andar zambo. No obstante, las huellas izquierdas presentan una trayectoria más rectilínea que las derechas.

Los autores

Rubén Ezquerra Miguel es investigador del Instituto de Estudios Riojanos y miembro de la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja. Es paleontólogo por la Universidad de Lyon y especialista en huellas fósiles de dinosaurios, tortugas, peces y cocodrilos del Mesozoico español y francés. Centra su investigación en la locomoción acuática de los vertebrados del Cretácico inferior de La Rioja.
Loïc Costeur es conservador de la sección de paleontología del Museo de Historia Natural de Basilea. Se dedica al estudio de la paleoecología de los mamíferos continentales del Neógeno de Europa, así como a la icnología de mamíferos, peces y dinosaurios.
Félix Pérez Lorente es profesor de geología en la Universidad de La Rioja y director del Centro Paleontológico de Enciso. Es experto en huellas de vertebrados del Mesozoico y Terciario español.

CORTESIA DE J. C. GARCIA-RAMOS Y LAURA PIÑUELA, DEL MUSEO JURASICO DE ASTURIAS

4. EL RASTRO de doce huellas fósiles de dinosaurio hallado en 2003, se amplió en 2009 y 2010 con el descubrimiento de seis nuevas icnitas.

La trayectoria sinusoidal de las huellas derechas aumenta la masa de agua movilizada por el pie. Ello permite obtener el mejor movimiento hidrodinámico posible y aumentar el tiempo de empuje, una ventaja para una natación de ritmo medio y económica.

En resumen, el miembro posterior derecho transmite una mayor potencia biomecánica. Al ser el propulsor principal, las zancadas derechas son más grandes que las izquierdas. El número de dedos impresos, ya sean de las huellas izquierdas o derechas, depende del grado de inclinación o del ángulo de ataque del pie respecto al sustrato. De este modo, a veces son sólo los dedos más grandes los que arañan el sedimento.

Que las huellas derechas presenten una orientación de 40º puede explicarse si suponemos que el eje del cuerpo (plano sagital del animal) era simétrico a ambos autopodos (región más distante de la extremidad) posteriores. En esta situación, el dinosaurio emplazaría ambos pies con una rotación interna de 20º.

Con la colaboración de Stéphan Doublet, sedimentólogo de la Universidad de Dijon, se analizaron las rizaduras de oleaje fosilizadas. Se estimó a partir de éstas una profundidad máxima de 3,2 metros. Asimismo, se dedujo que el dinosaurio se vio confrontado a una corriente de agua que se generaba a su izquierda, concretamente a 30º respecto de la línea media del rastro. Esta corriente provocó en el dinosaurio un movimiento de deriva, que orientó su plano sagital a 20º noreste respecto a la línea media del rastro.

La mayor utilización de su extremidad posterior derecha en la locomoción, sumada a una ligera orientación del cuerpo del animal hacia la izquierda de la línea media del rastro constituyen la respuesta a la acción de una corriente de agua para conseguir avanzar de una manera prácticamente rectilínea.

Tras un debate científico de tres decenios, la cuestión sobre el grado de eficiencia en la locomoción acuática de ciertos dinosaurios terópodos no avianos ha hallado respuesta en La Rioja.

Gracias a este descubrimiento icnológico, podremos ahora imaginar el modo en que un dinosaurio nadó hace 125 millones de años en un lago de La Rioja, casi a contracorriente y a una profundidad de tres metros, moviendo las extremidades posteriores a la manera de las aves acuáticas actuales.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, la paleoicnología (ciencia que estudia las huellas fósiles) no permite atribuir un rastro a un dinosaurio en concreto sino establecer una relación taxonómica a nivel de familia. En nuestro caso, el autor de las huellas pertenecería a la familia de los terópodos no avianos.

Los espinosaurios se caracterizan, entre otros aspectos, por unas mandíbulas similares a las de los cocodrilos. En La Rioja se han encontrado restos de un espinosaurio llamado *Baryonyx*. Puesto que algunos estudios indican que los espinosaurios incluían peces en su dieta y presentaban un posible vínculo con un modo de vida semiacuático, el autor de las huellas del yacimiento de La Virgen del Campo 4 podría haber sido un espinosaurio.

Este rastro constituye la primera prueba directa de la capacidad de algunos dinosaurios terópodos no avianos para nadar de forma eficaz. Nos ofrece una excelente oportunidad para ahondar en su locomoción, fisiología y el tipo de relaciones que establecieron con el resto de los dinosaurios terrestres y vertebrados acuáticos, así como el régimen de alimentación y el modo de vida semiacuático. El hecho de haber optado por este estilo de vida, lo mismo que hipopótamos y cocodrilos, les habría permitido regular su temperatura corporal o reducir la competición con otros dinosaurios terrestres por los mismos recursos naturales: alimentos y territorio.

Agradecimientos a la Consejería de Cultura del Gobierno de La Rioja, al Instituto de Estudios Riojanos y a la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja.

PARA SABER MAS

SWIMMING ABILITY OF CARNIVOROUS DINOSAURS. W. P. Coombs en *Science*, vol. 207, págs. 1198-1200; 1980.

DINOSAUR TRACKWAYS OF DINOSAUR STATE PARK, ROCKY HILL, CONNECTICUT, IN LE TOURNEAU. J. O. Farlow y P. M. Galton en *The great rift valleys of Pangea in eastern North America*, dirigido por P. M. y P. E. Olsen, vol. 2, págs. 248-263; New York Columbia University Press, 2003.

REPTILES NADADORES EN EL SECTOR OESTE DEL YACIMIENTO DE LA VIRGEN DEL CAMPO (4LVC, ENCISO, LA RIOJA, ESPAÑA). R. Ezquerra y F. Pérez-Lorente en *Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España*. Coordinador F. Pérez-Lorente. Colección Ciencias de la Tierra 26, págs. 215-224; Instituto de Estudios Riojanos, 2003.

WERE NON-AVIAN THEROPOD DINOSAURS ABLE TO SWIM? SUPPORTIVE EVIDENCE FROM AN EARLY CRETACEOUS TRACKWAY, CAMEROS BASIN (LA RIOJA, SPAIN). R. Ezquerra, S. Doublet, L. Costeur, P. Galton y F. Pérez-Lorente en *Geology*, vol. 35, n.º 6, págs. 507-510; 2007.