

José Carlos García-Ramos, Laura Piñuela y José Lires (*)

RESUMEN

Los análisis morfológicos y morfométricos de las huellas de pisada o icnitas de dinosaurios suministran información muy interesante acerca de ellos. A tal efecto se han elaborado unas fichas resumen que incluyen los datos más representativos tanto para icnitas individuales como para rastros, a partir de los cuales se pueden deducir una serie de características morfológicas de los dinosaurios que las produjeron así como diversas pautas de comportamiento de los mismos.

ABSTRACT

Morphological and morphometric analysis of dinosaur footprints give very interesting information about these organisms. Summary cards including the most representative data on individual ichnites, as well as on trackways have been made. Their use allow us to deduce some morphological characteristics about those dinosaurs, and also some of their behaviour.

Palabras clave: Dinosaurios, icnitas, rastros, morfología, morfometría y comportamiento.

Keywords: Dinosaurs, tracks, trackways, morphology, morphometry and behaviour.

MORFOLOGÍA DE ICNITAS DE DINOSAURIOS

Básicamente se puede decir que existen tres grupos morfológicos de huellas o icnitas de dinosaurios: tridáctilas (Fig.1a y b), de contorno subcircular u ovalado (Fig.1c) y en forma de media luna (Fig.1d). Estos tipos de icnitas identifican a tres de los principales grupos de dinosaurios: las primeras se deben a impresiones de pies de terópodos (bípedos y carnívoros) o de ornitópodos (bípedos, algunos cuadrúpedos y vegetarianos), mientras que las dos últimas se atribuyen respectivamente a impresiones de pies y manos de saurópodos (cuadrúpedos y vegetarianos).

Existen varias formas de preservación de las icnitas en el registro geológico: las huellas verdaderas o moldes naturales, los rellenos o contramoldes naturales y las subhuellas que consisten en calcos o deformaciones que afectan a los estratos subyacentes como consecuencia de la carga ejercida por el dinosaurio al pisar (Fig.2).

Las huellas atribuidas a los pies de los terópodos (Fig.1a) son tridáctilas y generalmente más largas que anchas. Los dedos, que suelen ser más bien largos, y con una relación longitud/anchura elevada conservan, en ocasiones, las marcas de las almohadillas; en su extremo distal muestran terminaciones puntiagudas originadas por las garras. Normalmente los ángulos interdigitales son bajos. Su terminación posterior es asimétrica presentando una escotadura en la parte interna del pie, por detrás del dedo II (ver figura 3), que nos

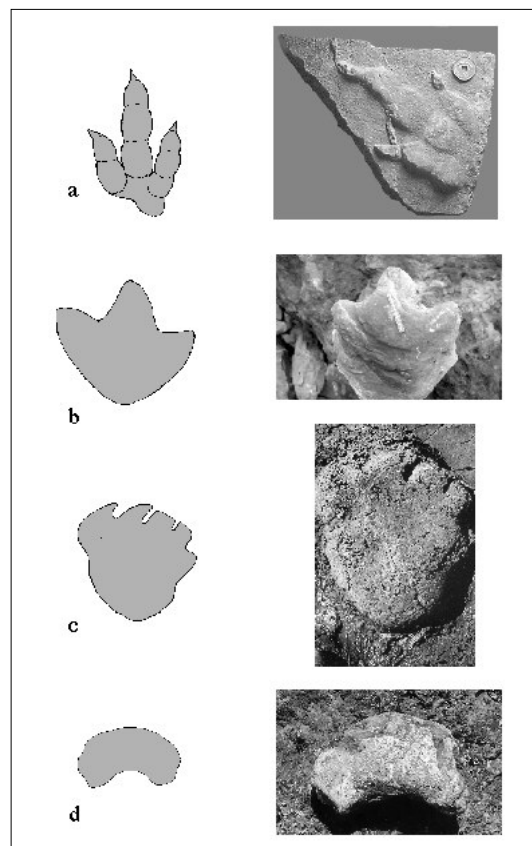


Fig. 1. Morfología de las huellas de los tres grupos principales de dinosaurios: (a) terópodo, (b) ornitópodo, (c y d) pie y mano de saurópodo respectivamente.

(*) Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo. e-mail: jcgramos@asturias.geol.uniovi.es

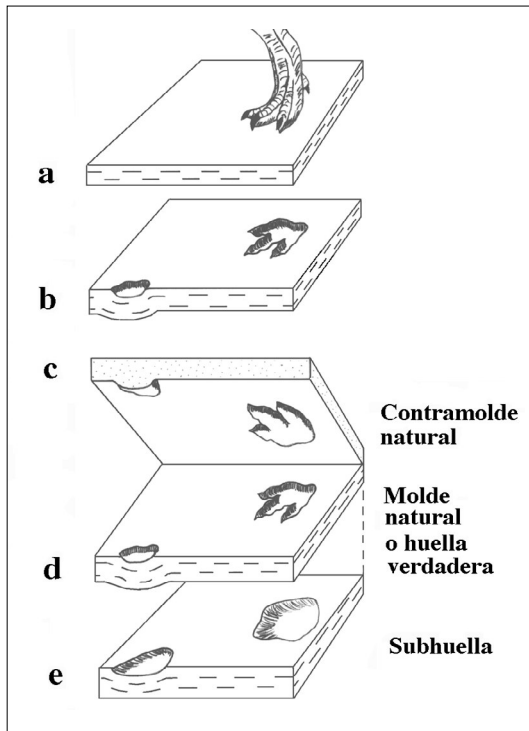


Fig. 2. Esquema de formación de una huella (a y b). Distintos tipos de conservación de icnitas en el registro geológico (c, d y e).

indica si la impresión corresponde a una extremidad derecha o izquierda. Así por ejemplo, en el caso de la Fig.1a, si se tratase de un molde natural se asociaría con un pie derecho mientras que si fuese un contramolde natural, se asimilaría a un pie izquierdo.

Las icnitas correspondientes a los pies de los ornitópodos (Fig.1b) son igualmente tridáctilas. Por lo general son tan largas como anchas, con dedos normalmente cortos y anchos que presentan una terminación distal redondeada o acuminada, pero no aguda. Los ángulos interdigitales son más altos que en los terópodos y su borde posterior suele ser redondo.

deado y con tendencia a la simetría por lo que es difícil afirmar a que pie corresponde (derecho o izquierdo), salvo que forme parte de un rastro.

Si el estado de preservación de las huellas no es bueno, puede llegar a ser difícil discriminar entre las de terópodos y las de ornitópodos.

Los saurópodos, como cuadrúpedos que son, dan lugar a dos tipos de icnitas, en este caso de morfología muy diferentes. Las huellas de los pies (Fig.1c) son de forma subcircular, ovalada o subtriangular, presentando, en ocasiones, impresiones de los dedos que suelen estar curvadas hacia la parte externa del pie. En este último caso, al igual que ocurre con los terópodos, se podría diferenciar entre un pie derecho o izquierdo teniendo en cuenta el sentido de giro de los dedos. Las icnitas de las manos (Fig.1d) tienen forma de media luna, siendo mucho más anchas que largas y no presentando, generalmente, marcas de los dedos; en ese caso resulta imposible determinar a que mano corresponden, excepto que se encuentren formando parte de un rastro.

MORFOMETRÍA EN ICNITAS INDIVIDUALES Y RASTROS.

Las medidas a realizar se presentan en las Figs. 3 y 4 y están basadas en Leonardi (1987) y Farlow et al. (1989). Para recoger estos datos se han elaborado dos modelos de fichas diferentes (Fig.5), una dedicada a icnitas individuales y otra a rastros (Lires, 2000; Piñuela, 2000).

Modo de rellenar los apartados de las fichas de icnitas individuales.

Un método muy didáctico para aprender el sistema de medida es trabajar sobre siluetas de huellas de dinosaurios en papel (no siempre es fácil disponer de originales) pertenecientes a los grupos principales. Al mismo tiempo se irían rellenando los distintos apartados de las fichas de icnitas individuales que a continuación se proponen:

Mano: Especificar, cuando sea posible, si se trata de la huella de la mano derecha o izquierda.

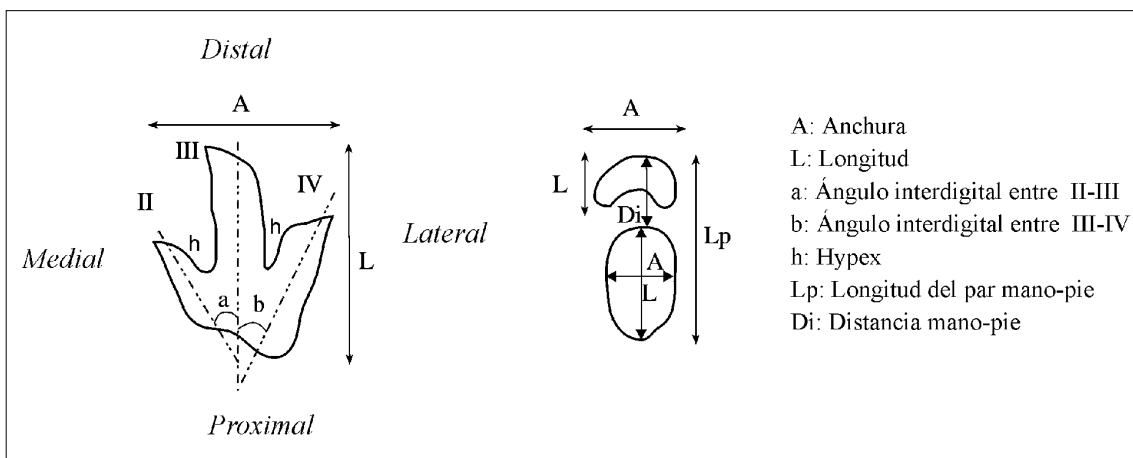


Fig. 3. Medidas a realizar en icnitas individuales de dinosaurios bípedos (izquierda) y cuadrúpedos (derecha).

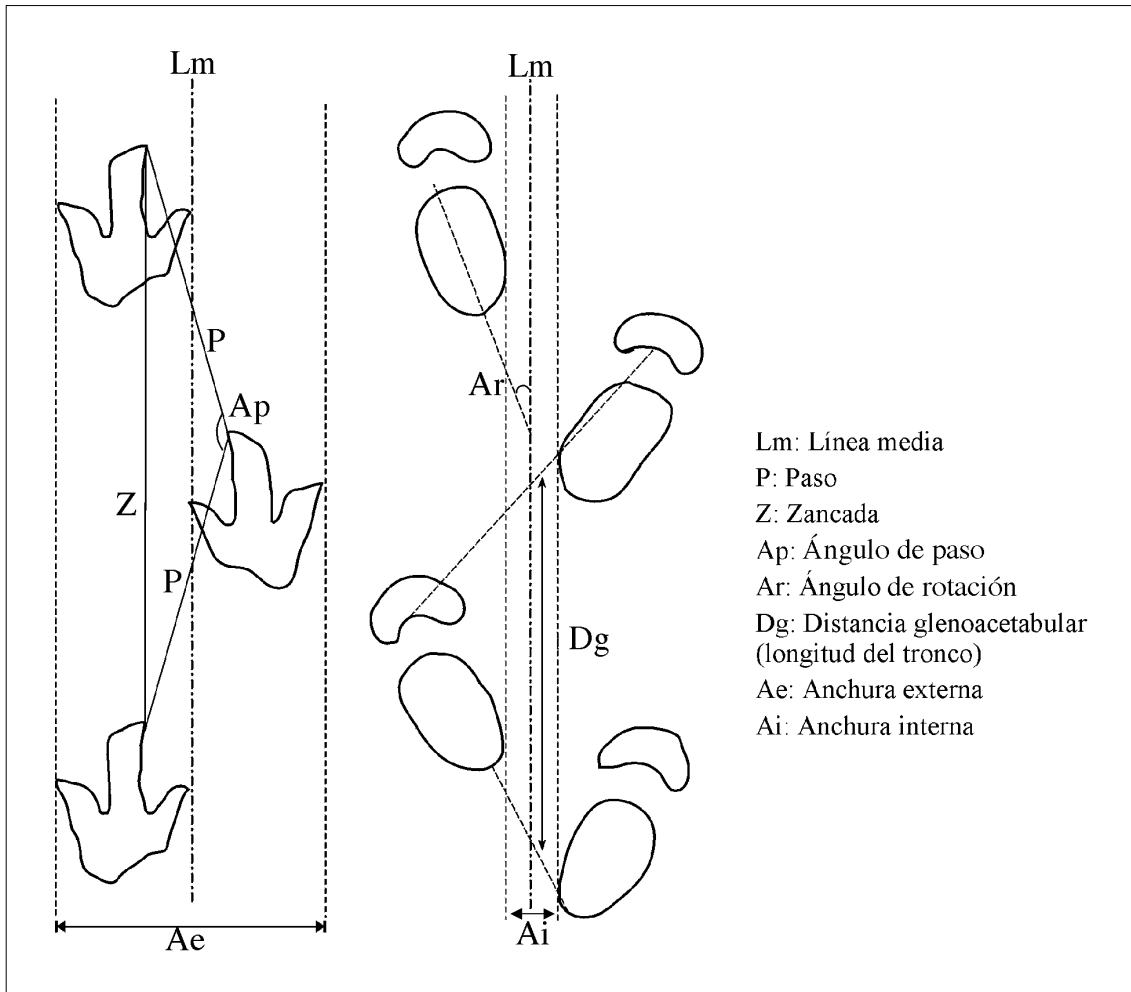


Fig. 4. Medidas a realizar en rastros de dinosaurios bípedos (izquierda) y cuadrúpedos (derecha).

Pie: Discriminar si se trata de la impresión del pie derecho o izquierdo.

Número y forma de los dedos: Las impresiones digitales se denominan con números romanos del I al V comenzando por los dedos más internos. La forma puede ser recta de lados paralelos (en U), recta de forma triangular (en V) o curvada.

Terminación de los dedos: Señalar si es muy aguda, en forma de punta roma o redondeada.

Almohadillas: Si se conservan indicar el número de ellas en cada dedo y el valor de su longitud.

Longitud: Distancia entre los extremos distal y proximal de la huella, tomada paralelamente al eje longitudinal de la misma.

Anchura: Distancia entre los extremos medial y lateral de la icnita, tomada perpendicularmente al eje longitudinal de la misma.

Profundidad: Refleja el grado de hundimiento del autópodo en el sustrato. Se indicarán además, si las hubiere, las diferencias en el relieve de un punto a otro de la huella y su valor numérico.

Longitud de los dedos: Se realizarán las medidas

siguientes a través del eje del dedo y en este orden de preferencia:

- 1- Distancia entre la parte distal del dedo y el punto medio de la almohadilla proximal.
- 2- Distancia entre la parte más distal del dedo y el punto medio del segmento que une dos hipices adyacentes. En el caso que sólo exista un hypex la medida se hará según la perpendicular al eje del dedo que pasa por el hypex adyacente.

Anchura de los dedos: Distancia que existe entre los bordes laterales de los mismos, tomada perpendicularmente a sus ejes.

Ángulos interdigitales: Aquellos formados por los ejes de los dedos.

Modo de rellenar los apartados de las fichas de rastros.

Un medio sencillo de adquirir práctica en el manejo de estas fichas, cuando no se dispone de un rastro original, consiste en rellenar los apartados que se describen a continuación, midiendo rastros de los distintos tipos de dinosaurios que previamente

ICNITA INDIVIDUAL	RASTRO DE ICNITAS
CLAVE :	CLAVE :
UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA :	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA :
SERIE Y TRAMO :	SERIE Y TRAMO :
EDAD :	EDAD :
LOCALIDAD Y MUNICIPIO :	LOCALIDAD Y MUNICIPIO :
FECHA DE RECOGIDA : FECHA TOMA DE DATOS :	FECHA RECOGIDA : FECHA TOMA DE DATOS :
LITOLÓGÍA DE CAPA :	LITOLÓGÍA CAPA :
DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO DE CAPA :	DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO DE CAPA :
FACIES Y / O MEDIO :	FACIES Y / O MEDIO :
EJEMPLAR:	EJEMPLAR :
RELIEVE :	RELIEVE :
ORIENTACIÓN :	ORIENTACIÓN :
LOCOMOCIÓN :	LOCOMOCIÓN :
ESTADO DE CONSERVACIÓN :	ESTADO DE CONSERVACIÓN :
MORFOLOGÍA : - Pie : - Número y forma de los dedos : - Terminación de los dedos : - Almohadillas:	Nº DE ICNITAS
DIMENSIONES : - Longitud: - Anchura : - Profundidad : - Longitud de los dedos: - Anchura de los dedos : - Angulos interdigitales :	DIMENSIONES - Longitud del rastro: - Ángulo de rotación de icnitas: - Anchura interna del rastro: - Anchura externa del rastro: - Paso: - Zancada: - Angulo de paso: - Distancia mano-pie: - Longitud del par mano-pie: - Distancia glenoacetabular:
ORGANISMO GENERADOR :	ORGANISMO GENERADOR :
FOTOGRAFÍA Y CLAVE :	FOTOGRAFÍA Y CLAVE :
MAPA TOPOGRÁFICO : Hoja : Escala: Coordenadas :	MAPA TOPOGRÁFICO : Hoja : Escala: Coordenadas :
FOTO AÉREA : Escala : Fecha : Nº :	FOTO AÉREA: Escala : Fecha : Nº :
DEPÓSITO :	DEPÓSITO :

Fig. 5. Modelos de fichas propuestos para icnitas individuales (izquierda) y rastros (derecha).

te se han dibujado en el suelo a una escala que puede ser la real. Dichos apartados son los siguientes:

Longitud total del rastro: Medida comprendida entre la parte más proximal de la primera huella y la parte más distal de la última; el número de orden de las icnitas se considera en el sentido de la marcha del animal.

Ángulo de rotación de icnitas: El que forman los ejes de las huellas con la línea media del rastro. Leonardi (1987) y Farlow et al. (1989) consideran rotación positiva o externa a aquella en la que el eje de la icnita diverge de la línea media

del rastro y negativa o interna cuando converge hacia dicha línea media. Thulborn (1990) en cambio, las considera al revés.

Anchura total del rastro: Se han considerado aquí las medidas propuestas por Leonardi (1987), Thulborn (1990) y Farlow et al. (1989):

A. Interna : Distancia perpendicular a las líneas imaginarias que unirían los extremos internos de las icnitas de lados opuestos (izquierdos y derechos). Su valor puede ser 0 ó incluso negativo.

A. Externa: Distancia perpendicular a las líneas imaginarias que unen los extremos laterales de las icnitas de lados opuestos (izquierdos y derechos). Lockley (1993) cuando menciona la anchura de un rastro se refiere a este último parámetro.

Paso: Distancia entre puntos homólogos de dos manos o pies consecutivos alternos.

Zancada: Distancia entre puntos homólogos de dos huellas consecutivas de manos o pies del mismo lado.

Ángulo de paso: El existente entre tres icnitas consecutivas de la mano o del pie.

Distancia mano-pie: Medida a partir de puntos de referencia situados en la mitad del margen anterior de las manos hasta el borde más distal del pie (Farlow et al., 1989).

Longitud del par mano-pie: Distancia entre el margen distal de la impresión de la mano hasta el contorno más proximal de la icnita del pie pertenecientes a un mismo lado.

Distancia glenoacetabular: Se mide únicamente en rastros de dinosaurios cuadrúpedos. Utilizaremos la medida de Leonardi (1987) aplicada luego por Moratalla (1993) que consistiría en la distancia entre el centro de la línea que une dos icnitas anteriores consecutivas pertenecientes a autópodos alternos y el centro de la línea que une dos icnitas posteriores consecutivas, pertenecientes igualmente a autópodos alternos.

Todos estos datos deberían ir acompañados, con el fin de obtener una mayor información, de la localización geográfica y el entorno geológico (edad de las rocas que contienen las huellas, su litología, formación geológica, etc). Además deberá indicarse si el ejemplar se encuentra en un bloque suelto o por el contrario si está *in situ*; en este último caso se medirá además su dirección y se anotará su posición dentro de la columna estratigráfica.

OBTENCIÓN DE DATOS A PARTIR DE LA MORFOMETRÍA DE LAS ICNITAS.

Mientras que los datos morfológicos nos permiten determinar si se trata de un dinosaurio bípedo o cuadrúpedo, si es herbívoro o carnívoro y si representa la impresión correspondiente al pie o a la mano derecha o izquierda, los morfométricos nos pueden indicar entre otros, el tamaño aproximado del individuo y el grado de consistencia del sustrato, así como diversas pautas del comportamiento del reptil entre las que se encuentran por ejemplo el modo de caminar y la velocidad de desplazamiento. Over (1995 a y b) explica de forma muy sencilla, como se calcula el tamaño aproximado de los dinosaurios y la velocidad a la que éstos se desplazaban a partir de las medidas tomadas directamente de sus huellas y rastros. Igualmente Clauss (1993) y Sequeiros et al. (1996) en sendas publicaciones de carácter eminentemente didáctico proponen a los alumnos una

serie de ejercicios relacionados con la interpretación de huellas y rastros de dinosaurios. Pérez-Lorente (1996) utiliza los yacimientos icnológicos de La Rioja para mostrar diversas características morfológicas y morfométricas de las icnitas. Una relación de estos parámetros figura asimismo en un folleto divulgativo sobre el Jurásico de Asturias (García-Ramos et al., 2000).

A continuación se contempla en cuatro apartados los datos que se obtienen utilizando algunas de las medidas realizadas tanto en rastros como en icnitas aisladas de dinosaurios.

Tamaño aproximado del autor (altura de la cadera y longitud del tronco).

A partir de la longitud de las huellas del pie (L) se puede llegar a calcular la altura de la cadera o longitud de la extremidad posterior del reptil (h) que las produjo. Thulborn (1990) propone las siguientes proporciones para cada grupo taxonómico, según el tamaño de la icnita.

Terópodos pequeños	(L < 25 cm):	h = 4.5 L
Terópodos grandes	(L > 25 cm):	h = 4.9 L
Ornitópodos pequeños	(L < 25 cm):	h = 4.8 L
Ornitópodos grandes	(L > 25 cm):	h = 5.9 L
Dinosaurios bípedos peq.	(L < 25 cm):	h = 4.6 L
Dinosaurios bípedos gran.	(L > 25 cm):	h = 5.7 L
Saurópodos:		h = 5.9 L

Alexander (1976) en su cálculo de la altura de la cadera no diferencia grupos de dinosaurios; para cualquiera de ellos propone cuatro veces la longitud de sus icnitas (4 L).

La longitud aproximada del tronco (cadera-hombro) del dinosaurio cuadrúpedo es equivalente a la distancia glenoacetabular medida en el rastro.

Modo de andar.

La mayoría de los investigadores aceptan y utilizan la propuesta de Alexander (1976) para diferenciar el tipo de marcha de los dinosaurios. Este autor estableció tres formas distintas de desplazamiento en base a la relación que existe entre la zancada (z) y la altura de la cadera (h):

$z/h < 2$	paseo
$2 < z/h < 2.9$	trote
$z/h > 2.9$	carrera

Velocidad de desplazamiento.

Una manera de saber de forma aproximada si un dinosaurio se desplazaba con una marcha lenta o rápida, es a través de la diferencia de profundidad antero-posterior que muestran sus huellas, de la anchura del rastro y de la longitud de la zancada. Una gran diferencia de profundidad entre los bordes anterior y posterior de la icnita, una longitud de zancada alta, así como un rastro muy estrecho con un ángulo de paso próximo a los 170-180°, serían indicadores de una velocidad relativamente alta y viceversa.

Alexander (1976) observando el comportamiento de varios tipos de mamíferos y aves, obtuvo una

relación que ha sido utilizada por la mayor parte de los investigadores que le sucedieron, para calcular la velocidad de desplazamiento de los dinosaurios:

$$V = 0.25 g^{0.5} \times Z^{1.67} \times h^{-1.17}$$

en donde g es la constante de aceleración de la gravedad, Z la zancada y h la altura de la cadera.

Grado de consistencia del sustrato.

Se deduce de una forma aproximada a partir de la profundidad de la icnita y del mayor o menor grado de conservación de los rasgos anatómicos del autópodo del dinosaurio. En el caso de un desplazamiento sobre fango, las huellas muy profundas y de pequeño tamaño serían indicativas de sustratos blandos, mientras que las de gran tamaño y poco profundas evidencian sustratos firmes o semiconsolidados.

PRINCIPALES YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE ICNITAS DE DINOSAURIOS

En nuestro país existen numerosos yacimientos de icnitas y rastros de dinosaurios visitables de los que se han editado varias guías didácticas. Algunos ejemplos de éstas son: Dinosaurios en La Rioja. Guía de yacimientos paleontológicos (Moratalla et al., 1997); Pisadas fósiles de dinosaurios; algunos ejemplos de Enciso (Pérez-Lorente et al., 1986); Huellas de dinosaurios de Castilla y León, Burgos y Soria (Sanz et al., 1997); La Costa de los Dinosaurios. Rutas por el Jurásico de Asturias (García-Ramos et al., 2000). Además de estos, existen otros yacimientos en las provincias de Jaén, Valencia, Lérida, Barcelona y Cantabria.

CONCLUSIONES

Este método de trabajo resulta adecuado para que los estudiantes no se limiten a observar las huellas del pasado como algo inerte que no aporta información alguna, sino que fijándose en determinadas características y realizado una serie de medidas sencillas puedan llegar a conocer, de forma aproximada, a los autores de las mismas, así como diversos rasgos de su comportamiento. Entre estos últimos cabe destacar si el dinosaurio era bípedo o cuadrúpedo, si era herbívoro o carnívoro, su tamaño aproximado, el modo de caminar (paseo, trote o carrera), así como su velocidad de desplazamiento.

Sería conveniente que una vez asimilados estos conocimientos en el laboratorio los alumnos pudiesen compararlos y verificarlos con ejemplos reales programando los educadores visitas a alguno de los yacimientos españoles de huellas de dinosaurios.

BIBLIOGRAFÍA

Alexander, R. M. (1976). *Estimates of speeds of dinosaurs*. Nature, London, 261, 5556, 129-130.

Clauss, F. L. (1993). *Los dinosaurios como recurso didáctico en las enseñanzas medias*, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (1.3), 180-187.

Farlow, J. O., Pittman, J. G. y Hawthorne, J. M. (1989). *Brontopodus birdi*, Lower Cretaceous sauropod footprints from the U. S. Gulf Coastal Plain. En: Gillette, D. D. y Lockley, M. G. (Eds). *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 371-394.

García-Ramos, J. C., Aramburu, C., Piñuela, L. y Lires, J. (2000). *La Costa de los Dinosaurios. Rutas por el Jurásico de Asturias*, Consejería de Educación y Cultura. Gobierno del Principado de Asturias, Oviedo, 33 p.

Leonardi, G. (1987). *Glossary and manual of tetrapod footprint palaeoichnology*, Depat. Nac. Produção Mineral, Brasília, Brasil, 75 p.

Lires, J. (2000). *Ícnitas de dinosaurios cuadrúpedos del Jurásico de Asturias*. Morfología, morfometría e interpretación. Trabajo de Investigación, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. 61 p (Inédito).

Lockley, M. G. (1993). *Siguiendo las huellas de los dinosaurios*, McGraw-Hill, 307 p.

Moratalla, J. J. (1993). *Restos indirectos de dinosaurios del registro español*. Paleoicnología de la Cuenca de Cameros (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) y paleoicnología del Cretácico Superior, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Univ. Autónoma de Madrid, 729 p. (inédita).

Moratalla, J. J., Sanz, J. L. y Jiménez, S. (1997). *Dinosaurios en La Rioja*. Guía de yacimientos paleoicnológicos. Gobierno de La Rioja-Iberdrola, 175 p.

Over, J. D. (1995a). *Determining dinosaur speed*, Journal of Geological Education, 43, 207-211.

Over, J. D. (1995b). *An exercise on dinosaur trackways for introductory Science Courses*. Journal of Geological Education, 43, 204-206.

Pérez-Lorente, F. (1996). *Determinación y análisis de las huellas de dinosaurio*, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 4 (2), 100-106.

Pérez-Lorente, F., Fernández Ortega, A. y Uruñuela, L. (1986). *Pisadas fósiles de dinosaurios (algunos ejemplos de Enciso)*. Gobierno de La Rioja, Logroño, 35 p.

Piñuela, L. (2000). *Ícnitas de dinosaurios bípedos del Jurásico de Asturias*. Morfología, morfometría e interpretación. Trabajo de Investigación, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. 63 p (Inédito).

Sanz, J. L., Moratalla, J. J., Rubio, J. L., Fuentes Virdarte, C. y Meijide, M. (1997). *Huellas de dinosaurios de Castilla y León. Burgos y Soria*. Junta de Castilla y León, Diputación Provincial, 87 p.

Sequeiros, L., Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1996). *Como enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: algunos ejemplos*, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (4.2), 113-119.

Thulborn, A. (1990). *Dinosaur tracks*, Chapman & Hall, London, 384 p. ■