



Interpretación del aspecto de *Patagotitan mayorum*. Estos dinosaurios se representan por lo común con el cuello en posición horizontal, como aparecen en las páginas 22 y 23, pero hoy no se sabe lo suficiente como para descartar que hayan podido mover el cuello a la posición de este modelo de tamaño natural, producido por la firma alemana Dinosaurier Park Muenchehagen bajo la dirección del Museo Feruglio y ubicado sobre la ruta 3 en la entrada de Trelew. Foto nocturna Analía García

Patagotitan, ¿el dinosaurio más grande del mundo?

La enorme diversidad actual de seres vivos, con más de ocho millones de especies presentes en el planeta, es solo una pequeña muestra de la variedad que existió a lo largo de la historia de la Tierra. ¿Tiene límites la diversidad biológica? El tamaño corporal podría constituir uno de ellos, aunque no tenemos claras las razones de por qué sería así, ni sabemos si existe un tamaño máximo que, por ejemplo, un animal terrestre no podría superar. Si pensáramos que quizá los mayores animales actuales, los elefantes, lo puedan marcar, no estaríamos en el buen camino, pues la investigación paleontológica

reveló la existencia de animales terrestres de especies extinguidas hace unos 66Ma (millones de años) que fueron miles de kilogramos más pesados que los elefantes o que cualquier animal que coexistió en tierra con la especie humana.

Esos animales gigantes fueron un grupo particular de reptiles, los dinosaurios saurópodos, que alcanzó el mayor tamaño corporal entre los seres vivos terrestres del que tenemos noticias, con una masa que los hace incomparables con cualquier otro ser vivo de hábitos terrestres. Una nueva especie de ellos, encontrada en Chubut y en cuya investigación participaron los autores de esta nota,

¿DE QUÉ SE TRATA?

Evolución y características de herbívoros gigantes que vivieron
en la Patagonia hace cien millones de años.

proporciona información sobre la historia y las características de tales colosos.

Dinosaurios saurópodos

Los saurópodos fueron animales herbívoros que constituyeron el grupo más exitoso y diverso de dinosaurios. Los primeros integrantes del linaje que les dio origen, llamados *sauropodomorfos*, eran pequeños animales bípedos que pesaban entre 10 y 35kg, tenían cuellos relativamente

cortos y cráneos proporcionalmente grandes con relación al cuerpo. Se remontan a los inicios mismos de los dinosaurios, que tuvieron lugar hace aproximadamente 230Ma, en el período triásico (252 a 201Ma) de la era mesozoica (252 a 66Ma). Al cabo de esta se extinguieron.

Pocos millones de años más tarde, estos animales experimentaron profundos cambios corporales. Hacia el final del Triásico aparecieron los primeros saurópodos, que eran cuadrúpedos, con patas robustas, cuellos y colas notablemente largos, y cabezas muy pequeñas con relación al cuerpo. Los primeros pesaban unos 6000kg, más que un elefante africano, un tamaño que fue en aumento con la evolución del grupo, si bien se mantuvieron las características básicas de su plan corporal. Su éxito evolutivo no tuvo paralelos entre los vertebrados terrestres, pues fueron los herbívoros dominantes de los ecosistemas terrestres por más de 140Ma, hasta su desaparición en la extinción masiva de especies acaecida hace unos 66Ma.

Tanto dicho éxito evolutivo como su descomunal tamaño probablemente se debieron a características anatómicas y fisiológicas únicas. Se ha inferido de la pequeña cabeza que no masticaban los alimentos como lo hacen los mamíferos: con la boca simplemente cortaban ramas y

hojas, las que digerían por fermentación en cantidades masivas en los intestinos. Sus largos cuellos les permitían cubrir una gran área de forrajeo sin mover su pesado cuerpo, mientras que su extensa cola servía de ancla a los fuertes músculos utilizados para mover sus patas posteriores. Mediante el análisis del tejido óseo fosilizado se estimó que crecían con extrema rapidez, de suerte que alcanzaban su enorme tamaño en pocos años. Crecer rápido significaba poca demora en alcanzar la principal ventaja del gigantismo: librarse de predadores.

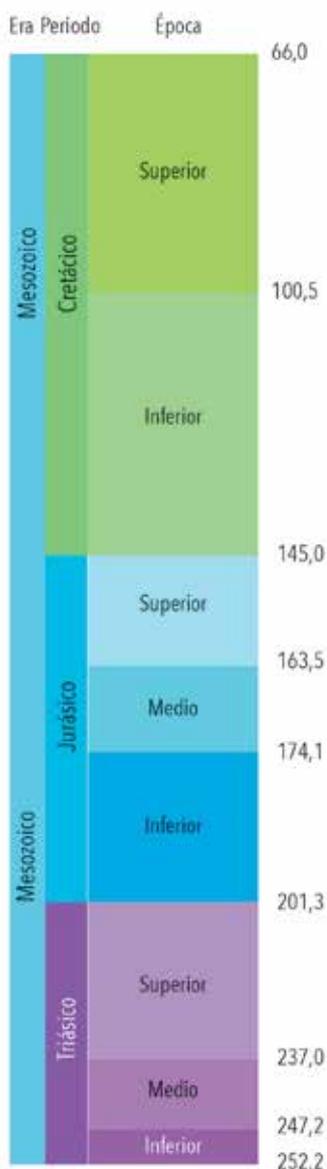
Titanosaurios, gigantes entre gigantes

A comienzos del período cretácico (hace 145Ma), comenzó a diversificarse un linaje de saurópodos que sería el más diverso de estos, el de los titanosaurios, del que se llevan definidas más de noventa especies, lo que asciende a alrededor del 30% de las conocidas de saurópodos.

Los titanosaurios habitaron ambientes continentales de todo el mundo, incluida lo que hoy es la Antártida, y fueron especialmente diversos y abundantes en Sudamérica. Llegaron a su apogeo en la última etapa del Cretácico y fueron los únicos saurópodos que existían al producirse la mencionada extinción masiva que puso fin a la era de los dinosaurios.

La gran diversidad de los titanosaurios se debe, en parte, a la marcada variación del tamaño corporal de sus especies, que iba desde las 5 o 6 toneladas, como un elefante actual, y estaba entre el de los saurópodos más pequeños, hasta unas 60 toneladas. La masa corporal es uno de los principales atributos de un animal y se encuentra estrechamente relacionada con diversos aspectos fisiológicos y ecológicos, como la tasa metabólica, el área de alimentación, la existencia de alimento, la densidad de la población y la extensión en que se distribuyen los animales de la especie. La gran variedad de tamaños de los titanosaurios indica que debieron haber tenido ubicaciones diferentes en los ecosistemas del Cretácico, y evolucionado en forma distinta en su adaptación a ellos, lo que a su vez explica la gran cantidad de especies del grupo.

A lo largo de los 150Ma en que vivieron dinosaurios en la Tierra, el territorio que hoy ocupa la Argentina sufrió enormes cambios. Cuando más abundaron, durante el Cretácico, el clima global era mucho más cálido que el actual, la vegetación cubría la Antártida, que no estaba congelada, no existían los grandes campos de hielo en lo que hoy es la Patagonia y la cordillera de los Andes no se había levantado. El agua que hoy está congelada en los casquetes polares formaba parte de los océanos, cuyo nivel, consecuentemente, era más alto y su superficie, mucho



Divisiones del tiempo geológico en el lapso en que vivieron los dinosaurios. Las cifras indican millones de años antes del presente. La nomenclatura, los valores y la coloración se ajustan a las convenciones de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Las barras no están dibujadas en escala.

mayor que hoy. Los continentes se encontraban agrupados en dos grandes masas supercontinentales, Laurasia al norte y Gondwana al sur; la segunda incluía a Sudamérica, la Antártida, África, Madagascar, Oceanía y la India. Durante el Cretácico, Gondwana se fue fragmentando: cuando vivió el *Patagotitan*, Sudamérica se separaba de África pero continuaba unida a la Antártida, y en la Patagonia la flora estaba compuesta por coníferas, cícadas y helechos, dado que las angiospermas recién habían aparecido y todavía no dominaban los ecosistemas como lo hacen hoy.

Las relaciones de parentesco entre las especies de tiranosaurios y la evolución de los diversos tamaños que alcanzaron son cuestiones sobre las que todavía tenemos más preguntas que respuestas, en parte porque varias de las especies de mayor tamaño identificadas —como *Argentinosaurus* o *Puertasaurus*, ambas por restos encontrados en la Patagonia— lo fueron sobre la base de esqueletos muy incompletos. El hallazgo de un excepcional yacimiento paleontológico en el centro de Chubut, que llevó al reconocimiento de una nueva especie de titanosaurio, permitió realizar un significativo avance en el estudio de la evolución del gigantismo entre los titanosaurios.

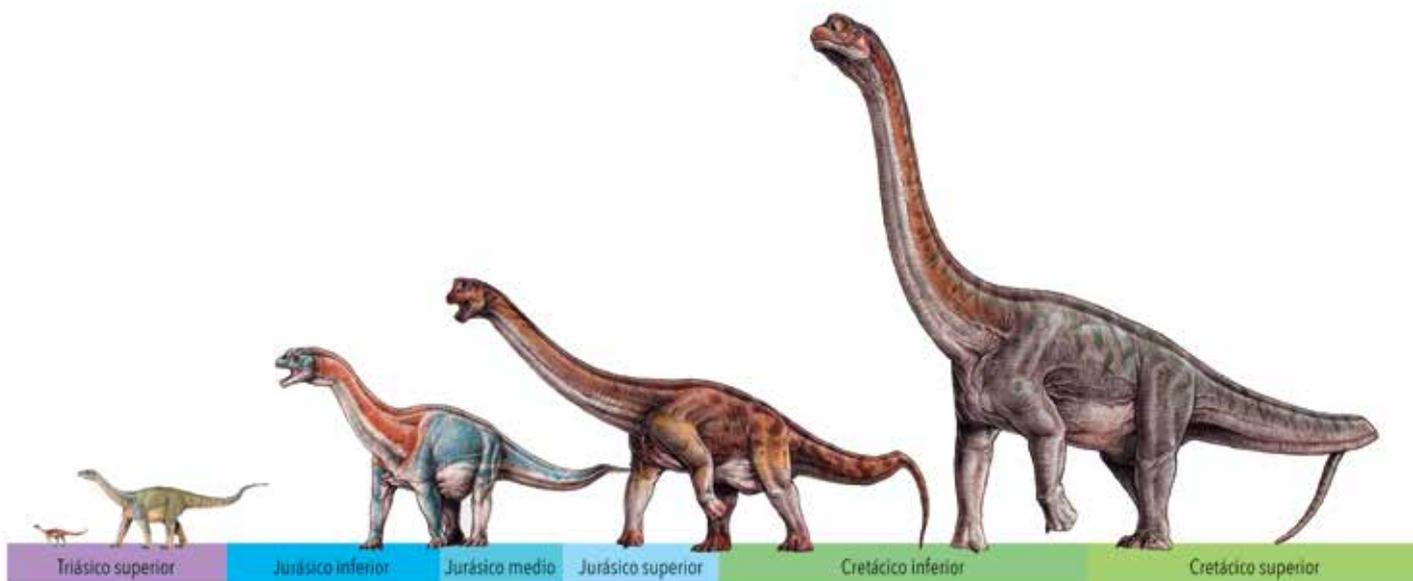
Patagotitan mayorum, el nuevo gigante

Entre principios de 2013 y fines de 2015 se excavó el nuevo yacimiento, llamado La Flecha por el nombre de la estancia en la que está, algo al suroeste de la localidad de Las Plumas, en el centro de Chubut. Allí Aurelio Hernández, un peón rural, advirtió de manera fortuita algo

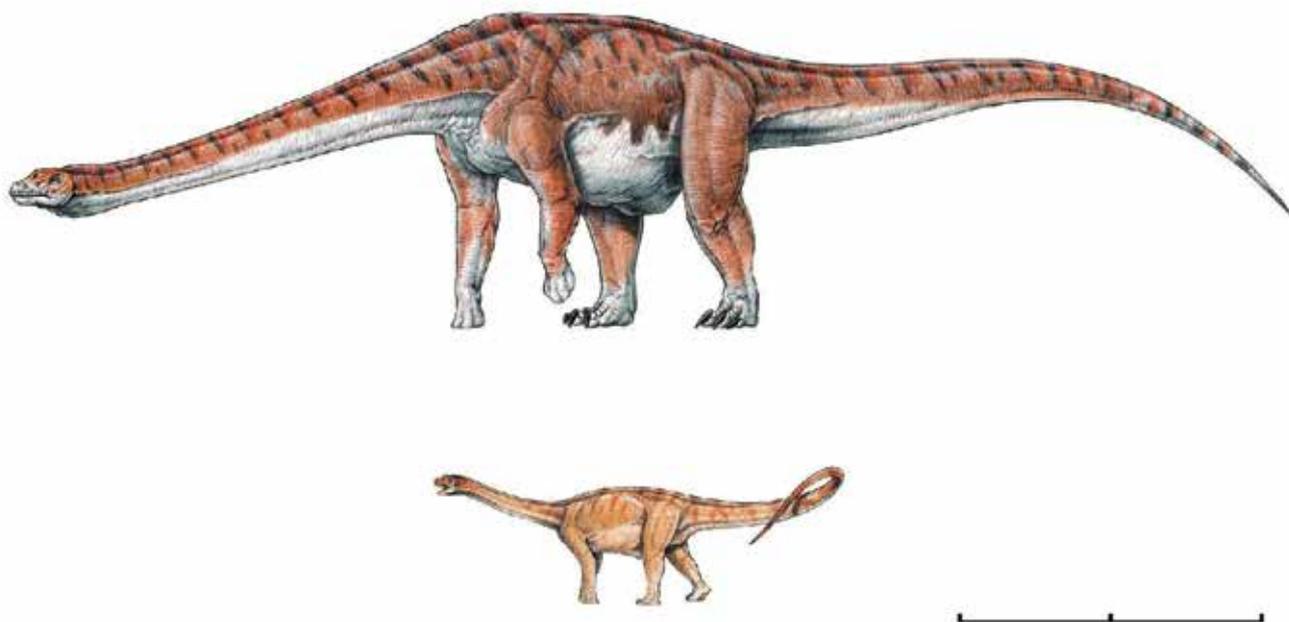


que le llamó la atención y le hizo pensar en restos fósiles. Los propietarios del campo, de apellido Mayo, informaron responsablemente el hallazgo a Pablo Puerta, técnico del Museo Paleontológico Egidio Feruglio de Trelew. Uno de los fósiles de Hernández resultó ser un fémur de 2,40m de largo, indicación de haber pertenecido a un animal gigante. Los tres años de trabajos de campo resultaron en la colección de más de 150 huesos y en la identificación de una nueva especie de titanosaurio: *Patagotitan mayorum* ('el titán patagónico de la familia Mayo').

En tres niveles diferentes de rocas, se encontraron huesos fósiles de varios individuos de la misma especie, que quedaron sepultados en tres momentos diferentes. La secuencia de rocas sedimentarias con fósiles tiene un espesor de alrededor de 3,5m y está compuesta por arenas



Evolución del tamaño corporal de dinosaurios saurópodomorfos. De izquierda a derecha, *Saturnalia tupiniquim*, *Lessemsaurus sauroipoides*, *Patagosaurus fariasi*, *Tehuelchesaurus benitezii* y *Chubutisaurus insignis*. Dibujo G Lio



Tamaño extremos de titanosaurios del período cretácico: *Rinconsaurus caudamirus* (5 toneladas) y *Patagotitan mayorum* (69 toneladas). La barra que da la escala mide 10m. Dibujo G Lio

de grano medio y limos o arcillas de grano fino. El tipo de roca indica que el sitio fue una planicie de inundación cercana a un río, y que los esqueletos quedaron cubiertos por aguas que se movían con lentitud. Se ha estimado que los huesos pertenecieron a por lo menos seis individuos muertos en tres momentos distintos. De esta forma, disponemos de alrededor del 70% del esqueleto de un *Patagotitan mayorum*, una proporción excepcionalmente alta solo alcanzada en unos 15 titanosaurios.

En estratos de La Flecha aparecieron cenizas volcánicas blanquecinas, algo muy valioso para geólogos y paleontólogos pues suelen contener compuestos ricos en uranio radiactivo que decae gradualmente en plomo y permiten establecer la antigüedad de las erupciones. En este caso, los análisis de las cenizas arrojaron una edad de entre 101,80Ma y 101,44Ma. En otras palabras, esas rocas datan de mediados del Cretácico y coinciden con la gran diversificación evolutiva de los titanosaurios.

Entre los huesos de los *Patagotitan* se encontraron más de ochenta dientes de dinosaurios carnívoros, de la familia de los *carcarodontosáuridos*, un grupo taxonómico que incluye a los más grandes carnívoros conocidos, los cuales eran enormes por comparación con otros carnívoros, pero diez veces más pequeños que *Patagotitan*, por lo que probablemente no hayan sido capaces de cazarlo. La acumulación de dientes podría significar consumo de las varias toneladas de carroña que proporcionaba un *Patagotitan* muerto.

¿Cuánto pesaban los gigantes?

Si bien el peso o la masa corporal es sumamente importante para diversas variables biológicas de los animales, cuando se trabaja con especies extinguidas, como los dinosaurios, solo conocidas por sus huesos, se debe estimar de alguna forma la masa corporal. Para un cuadrúpedo se lo puede hacer de dos maneras. La primera es emplear relaciones entre el peso y el diámetro de los huesos principales de las patas delanteras y traseras, respectivamente el húmero y el fémur, que soportaban ese peso. La segunda manera es calcular el volumen del animal sobre la base de una imagen tridimensional del esqueleto más el agregado hipotético de tejido blando. Para *Patagotitan* se recurrió a ambos métodos. Partiendo del diámetro de los huesos portantes se llegó a 69 toneladas (con un error de unas 15), y mediante el cálculo volumétrico se obtuvo 61 toneladas. Esos valores son más altos que los correspondientes a cualquier otro dinosaurio, incluso el doble de los de algunos famosos gigantes del hemisferio norte, como el *Brachiosaurus*.

La comparación con los otros titanosaurios contendientes a ser los dinosaurios más grandes conocidos, la mayoría aproximadamente contemporáneos, como el *Argentinosaurus huinculensis*, encontrado en Neuquén, o el *Puertasaurus reuilii*, desenterrado en Santa Cruz, no es tan sencilla, principalmente porque los huesos encontrados de estos

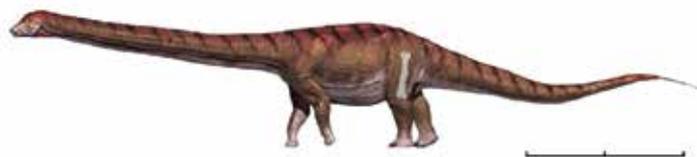


Fémur de *Patagotitan mayorum* comparado con el del paleontólogo español José Ignacio Canudo. Foto Alejandro Otero

otros son muy pocos y no incluyen los de las patas traseras o delanteras. Sin embargo, entre los escasos huesos conocidos de *Argentinosaurus* o de *Puertasaurus* se hallan las primeras vértebras del tórax, que se encuentran preservadas también en *Patagotitan*. Comparando diversas medidas de esas vértebras, se advierte que los tres gigantes eran de tamaño aproximadamente similar, aunque las vértebras de *Patagotitan*, por ser aproximadamente 10% más altas, sugieren que este habría sido el más grande. La importancia del descubrimiento de *Patagotitan*, sin embargo, no es el hecho de que haya sido unas toneladas más pesado que otros gigantes, sino que por primera vez se conoce relativamente bien la anatomía de uno de los más grandes, lo que permite analizar la evolución del grupo de manera más fundada.

La evolución de los titanosaurios patagónicos

En la actualidad, las relaciones genealógicas y la evolución de las especies se abordan por un método computacional conocido como *filogenética*, el que permite identificar los ár-



Ubicación anatómica del fémur de *Patagotitan mayorum*. La barra que da la escala mide 10m.

boles evolutivos mejor amoldados a los datos de matrices numéricas que codifican cientos de características anatómicas de las diferentes especies. Para comprender las relaciones filogenéticas de *Patagotitan* se utilizó una matriz de 405 caracteres de la anatomía del esqueleto de 87 especies de dinosaurios, de las cuales 28 fueron titanosaurios. Se obtuvo como resultado que *Patagotitan* pertenece a un grupo de titanosaurios llamados *loncosaurios*.

En 2007, un grupo de paleontólogos argentinos y brasileños identificó un nuevo grupo de titanosaurios primitivos, en el cual incluyó a dos grandes dinosaurios de Neuquén y Mendoza, y supusieron que el gigante *Puertasaurus* también podría pertenecer a él, aunque con

ciertas dudas debido a que solamente conocemos 3% de su esqueleto. El nombre loncosaurios hace referencia a la palabra mapuche que significa jefe o cacique, en alusión al gran tamaño de estos titanosaurios y a la procedencia patagónica de los fósiles. El descubrimiento de *Patagotitan* y el análisis filogenético de los titanosaurios llevó a concluir que el grupo era mucho más diverso que lo originalmente pensado.

Si se analiza cómo cambió el tamaño de los titanosaurios durante los 60Ma de evolución que experimentó este grupo, se constata que fue relativamente estable durante las primeras etapas del Cretácico (e incluso también antes, durante el Jurásico), cuando la mayoría de ellos oscilaba entre las 12 y las 15 toneladas de peso, incluso las especies que dieron origen a los titanosaurios. Sin embargo, tempranamente en la evolución de los últimos se comprueban múltiples cambios del tamaño

corporal, que incluyeron procesos evolutivos tanto hacia el gigantismo como hacia el enanismo. Si bien se reconocen tres linajes de titanosaurios que aumentaron su tamaño corporal, uno se distingue claramente del resto: los loncosaurios, cuyo cambio de peso rompió los límites conocidos y en la Patagonia entre 100 y 85Ma triplicó los valores de la mayoría de los saurópodos.

La fortuita caída de cenizas volcánicas en el yacimiento de la estancia La Flecha no solo indica cuándo vivió el mayor dinosaurio conocido hasta el momento sino, también, que es el loncosaurio más antiguo. Como tal, pone fecha a la rápida diversificación evolutiva (técnicamente, la *radiación*) de los loncosaurios y al episodio de gigantismo más extremo en la vida del planeta del que tenemos noticias. Esa particular época del Cretácico, hace poco más de 100Ma, fue crítica para la evolución de la vida terrestre, dado que entonces se produjo tam-

Yacimiento La Flecha, donde se encontró el *Patagotitan mayorum*. La silueta del dinosaurio indica en diferentes colores los huesos de los diversos individuos identificados en el yacimiento y recuperados en los lugares que muestra el croquis inferior. La fotografía de la excavación se tomó mirando al este. Las barras que dan la escala miden 10m. Dibujo J González y AC Garrido





Vista general de la excavación del yacimiento La Flecha.

bién la radiación de otros linajes de reptiles, como los dinosaurios carnívoros y los cocodrilos, el inicio de una reestructuración mayúscula de los ecosistemas terrestres por la aparición de las plantas con flores o angiosper-

mas y el aumento de la temperatura global del planeta. Aún estamos conociendo los detalles de esta peculiar coyuntura del mundo mesozoico, en la que aparecieron y prosperaron los caciques patagónicos. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

AAVV, 2017, 'Paleobotánica', CIENCIA HOY, 25, 154. Número temático en el que varios artículos se refieren a la flora en tiempos de los dinosaurios.

CARBALLIDO JL et al., 2017, 'A new giant titanosaur sheds light on body mass evolution among sauropod dinosaurs', *Proceedings of the Royal Society B*, 284, 1860: 20171219, DOI: 10.1098/rspb.2017.1219.

NOVAS FE, 2009, *The Age of Dinosaurs in South America*, Indiana University Press, Bloomington.

SALGADO L y PASQUALI R, 2001, 'El cómo, cuándo y dónde de los dinosaurios de la Argentina: una reseña sobre las principales especies conocidas y su descubrimiento', CIENCIA HOY, 11, 65: 42-57.



José Luis Carballido

Doctor en biología, Universidad Nacional del Comahue.
Investigador adjunto del Conicet en el Museo Paleontológico Egidio Feruglio.
Jcarballido@mef.org.ar



Diego Pol

Doctor (PhD) en biología, Columbia University.
Investigador principal del Conicet en el Museo Paleontológico Egidio Feruglio.
dpol@mef.org.ar