

FENÓMENOS ASTROFÍSICOS Y LA EXTINCIÓN DE LOS DINOSAURIOS

A. Claret



ASOCIACIÓN DE AMIGOS DEL
PARQUE DE LAS CIENCIAS DE
GRANADA

Fenómenos astrofísicos y la extinción de los dinosaurios

Antonio Claret dos Santos (claret@iaa.es)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Instituto de Astrofísica de Andalucía

Índice

El porqué de este libro	9
Microlentes gravitacionales: lupas en el Universo.....	14
La incidencia de estrellas químicamente peculiares en la Nubes de Magallanes.....	20
Un agujero negro de tu bolsillo	26
Vida de paleontólogo.....	35
Mary Anning.....	37
Gideon Algernon Mantell.....	43
Richard Owen.....	57
Un señor de Galve.....	66
¡Dientes!	70
Rara avis.....	84
¿Fría o caliente?	92
Posibles implicaciones de los fenómenos astrofísicos en la extinción de los dinosaurios	96
¿Un futuro impactante?	120
Agradecimientos.....	123
Referencias.....	124

Para Bárbara y Rosana

El porqué de este libro

Me gustan los dinosaurios. Me gusta la Astrofísica. Debido a esta atracción que siento por estos dos temas, he decidido escribir estos ensayos mezclando dos ramas de la ciencia. Me gustaría ofrecer al lector la visión que tengo de estos magníficos animales pero desde la perspectiva de un astrofísico, con todas las obvias carencias de formación a la vez que exento de la “contaminación” de determinados paradigmas ampliamente aceptados por la Dinosauriología moderna. Aparentemente ambos asuntos están completamente desconectados: ¡Dinosaurios y Astrofísica! Pero a lo largo de este texto intentaré demostrar que tal distancia no es tan grande, como en un principio pueda parecer.

He dividido el libro en dos partes distintas que incluso pueden ser leídas de forma independiente. He buscado una independencia casi total entre los ensayos para facilitar al lector una lectura eficaz debido a una limitación inevitable, hoy día muy importante: la falta de tiempo. Independizando los ensayos espero minimizar este efecto social y posibilitar lecturas rápidas pero, a la vez, informativas en los ratos libres que la vida moderna cada vez nos brinda menos. En algunos de los ensayos, he incluido al final una bibliografía que, además de servir de soporte, espero sirva también de guía para el lector interesado en profundizar un poco más en el tema en cuestión.

En la primera parte del libro, que trata esencialmente de Astrofísica, abordo algunos pocos aspectos de esta materia, buscando dar relieve a algunas de mis más recientes investigaciones y me siento un poco más seguro por razones de formación. En la segunda parte trato de los dinosaurios, aunque que este apartado no pretende ser un compendio sobre estos animales; apenas pretendo dar mi visión de algunos aspectos puntuales que considero interesantes.

Quizá el lector le interese conocer como estos dos temas tan diferentes me han cautivado. La Astrofísica me ha interesado de una forma que no sé precisar muy bien. De niño, lo único de que recuerdo es que quería ser astronauta; sueño rápidamente descartado debido a unos problemas de salud que aparecieron a los 11 años de edad. En la Universidad, no me matriculé directamente en Física pero si en Ingeniería Electrónica, lo que me costó muchas idas y venidas y no pocos disgustos. La afición a

determinada actividad parece sernos más grata que la propia profesión aunque nos guste nuestro trabajo. Por esta razón no perderé mucho tiempo en explicar al desnortado (por mi) lector como me entró en gusanillo de la Física y de la Astrofísica. Después de la Ingeniería, estudié Física, llegando a trabajar en un Centro de Investigación Nuclear (NUCLEBRAS), pero lo único que saqué en claro que aquello no era lo mío.

En cuanto a los dinosaurios, mi afición supongo que empezó como empieza en todos los niños: leyendo libros, viendo películas y maquetas, etc. Maquetas que dejaban mucho que desear, todo hay que decirlo, pero que quería mucho y que me han dejado un recuerdo imborrable. La primera que tuve era un *Triceratops* azul en solo ... dos dimensiones. Era plano, de unos 5 centímetros de longitud. La segunda, roja, era de un *Tyrannosaurus* pero que mantenía las dos dimensiones. Para ponerlos de pie usaba trocitos de arcilla. Pero en una cosa era absolutamente innovador: mis dinosaurios no eran perezosos, ni torpes, ni tontos. Yo, sin querer y sin saberlo, rompía una tradición de siglo y medio de la Paleontología oficial que consideraba a los dinosaurios como criaturas lentas, perezosas, como verdaderos imbéciles del mundo animal. Mis dinos peleaban entre sí, corrían y si aparecía algún animal que nunca convivió con ellos – por ejemplo un caballito montado por un indio – mis dinosaurios le daban una sonora y dolorosa paliza. A pesar de mi infantil audacia en la atemporal pelea, la visión que los científicos tenían de los dinosaurios tardaría aún algunos años en cambiar.

Con el correr del tiempo mi interés no disminuyó. Diría que se quedó como enquistado, latente. Cuando iba a librerías o ferias de libros y veía algunos libros que hacía alusión a mis animales favoritos los compraba de inmediato y los leía con avidez, pero debo reconocer que en esta época no iba específicamente a por ellos. Con el tiempo hice acopio de una muy aceptable biblioteca específica a la cual siempre añado sistemáticamente nuevas adquisiciones.

Un buen día, mientras paseaba por la Bib-rambla de Granada, vi en una tienda de juguetes unos cuantos dinillos de aspecto godziloide fabricados en China y los compré de inmediato: el omnipresente *Tyrannosaurus*, el *Triceratops*, un *Diplodocus* (que tenía dientes de carnívoro aunque era herbívoro) y un *Pteranodon* - reptil volador - que por cierto no es un dinosaurio aunque, si estaba emparentado con ellos. Esto hace unos 18 años. No sabía ni por asomo que años más tarde mi hija Bárbara haría mejor uso de ellos que yo.

Pues aquí viene la segunda parte de esta pequeña historia: como le ocurre a casi todos los/as chiquillos/as, mi hija se aficionó a los dinosaurios (y a los

doce años todavía sigue) y me reactivó otra vez el gusanillo. Y empezamos los dos una verdadera carrera para recuperar el tiempo y *el mundo perdido*. Además, una nueva inyección de ánimos: dio la casualidad que el Parque de las Ciencias de Granada estaba organizando una exposición sobre Dinosaurios Carnívoros. Por una serie de circunstancias y a través de mi buen amigo, Víctor Costa, acabé colaborando con el Parque de las Ciencias en la exposición, un verdadero honor para mí. La exposición fue simplemente maravillosa y batió todas las marcas del Parque. A mí, aparte de disfrutar de la muestra en sí, me encantaba observar las reacciones de las personas delante de las magníficas reproducciones dinosaurianas, incluyendo varios robots. Pero lo que realmente pude constatar fue que los adultos se mostraban mucho más temerosos ¡que los niños! Discutiremos en otra parte esta interesante característica socio-científica.

De la fructífera colaboración con mi hija surgió, un sábado por la mañana, mientras nos tumbábamos en el suelo para evitar el excesivo calor del mes de Junio del 2004, una pequeña canción relativa a los dinosaurios. El dinosaurio preferido de Bárbara es un *Troodon*, llamado familiarmente Gazpachín. Obviamente, él tendría que aparecer en la canción. Así que después de algunos intentos nos salió:

*El Saurornitholestes salía todas las mañanas a cazar.
A veces volvía con la pancita vacía.
El Saurornitholestes no sabía que hacer.
La caza escaseaba, no había que comer.
El Saurornitholestes tuvo una idea genial:
por casa del Troodon yo me voy a pasar
a lo mejor
¡tiene un bistec para mí!*

Este inocente letra iba acompañada de una melodía bien pegadiza y lo pasábamos muy bien cantándola. Puede que sea un regreso al pasado por mi parte pero lo asumo integralmente. Lo principal: vi en este ingenuo gesto de colaboración un eslabón desconocido entre hija y padre que fortaleció aún más (si cabe) nuestras relaciones parentales. Recomiendo fuertemente este tipo de enlace.



José María Herrero (descubridor del Aragosaurus y del Galvesaurus) junto a Bárbara y su *Troodon* Gazpachín.

En la última parte del libro trato del problema de las extinciones masivas y, en particular, de los dinosaurios y es en este punto en el que la conexión dinosaurios-astrofísica adquiere una ligadura más evidente. Nuestra visión del Universo ha cambiado mucho en los últimos tiempos. En lugar del cielo tranquilo e inmutable que se creía antes, hoy sabemos que fenómenos astrofísicos de muy alta energía tienen lugar con cierta frecuencia y pueden actuar como uno de los motores de la evolución de las especies en la Tierra. Analizaremos las posibles implicaciones de los GRB (explosiones de rayos gamma), supernovae, impactos de cometas y/o meteoritos y de las variaciones orbitales en el caso particular de la extinción KT, que entre otras peculiaridades, se caracteriza por la extinción de los dinosaurios no aviares.

Se analiza también el aspecto *positivo* de algunos de estos eventos astrofísicos violentos.

Ahora mismo (13 de Junio del 2008) llevo 16 días ingresado en el Hospital Universitario de Granada. Mi hija, junto a mi mujer, viene a verme regularmente. Y casi siempre trae una de sus maquetas de dinosaurios para visitarme también. Eso me ilusiona mucho, me emociona profundamente. Cuando viene, siento algo entrando por mi ventana, que se instala y me toca los ojos. Veo mi infancia no perdida dando vueltas por mi cabeza. Creo que, por no haberla perdido todavía, he escrito este libro.

Microlentes Gravitacionales: lupas en el Universo

Cuando se habla de lentes, viene a la mente la clásica imagen que tenemos de estos objetos: un cristal muy pulido que normalmente aumenta el tamaño del objeto que se observa. Pero la expresión lente gravitacional, ¿qué significa? Para responder a esta pregunta hemos que retroceder unos noventa años, a 1915. En este año, Albert Einstein formuló la Teoría de Relatividad General, que describe las interacciones gravitacionales entre los cuerpos celestes y amplía en gran medida la Teoría de la Gravitación de Newton.

Según la descripción einsteiniana, la materia distorsiona el espacio en el que esta inmersa y esta distorsión resulta ser la causa de la atracción gravitacional entre los cuerpos. Pero no sólo los cuerpos materiales sienten la influencia del campo gravitatorio: el camino de un haz de luz también se desviará al pasar cerca de un objeto masivo (ver Figura 1). Pero, ¿cómo comprobar las predicciones teóricas de Einstein? La idea que circuló con bastante difusión en la época consistía en observar el Sol durante un eclipse: la luz de las estrellas que se ven angularmente cercanas al Sol sería desviada por el campo gravitatorio de éste. Fotografiando este campo de estrellas próximas al Sol durante y después del eclipse, ambas placas fotográficas revelarían (en el doble sentido de este término) las diferencias en las posiciones de las estrellas cercanas (en ángulo) al Sol. Un astrónomo inglés, Arthur Eddington, llevó a cabo la tarea. Aprovechando que el día 29 mayo de 1919 tendría lugar un eclipse total del Sol, Eddington organizó dos expediciones para observarlo: una fue a la Isla Príncipe - con Eddington al mando - y la otra a Sobral (Brasil), bajo la dirección de Dyson.

La primera expedición no tuvo mucha suerte. La climatología no ayudó y aunque Eddington creyó que había comprobado las predicciones, sus fotografías no tenían la calidad suficiente. Por suerte, la región de Sobral es muy soleada y el equipo desplazado a este rincón de Brasil obtuvo unas siete fotografías de buena calidad que, después de un exhaustivo análisis, pusieron de manifiesto la concordancia entre la observación y la teoría de Einstein. Sin embargo, la calidad de estas fotografías está siendo actualmente puesta en tela de juicio.

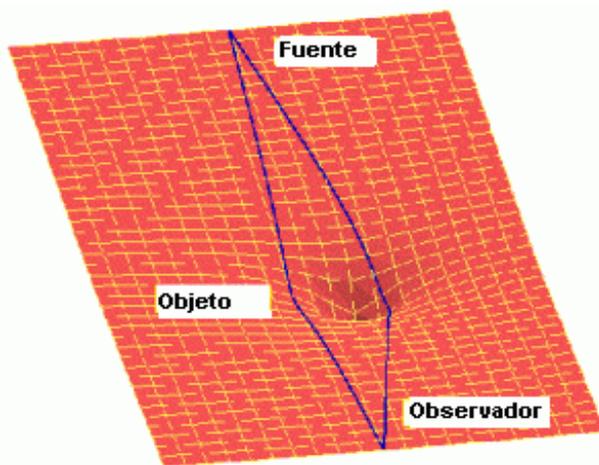


Figura 1. Ilustración de cómo la trayectoria de la luz (en azul) se desvía como consecuencia de la presencia de un objeto masivo.

Si bien todas las lentes gravitacionales se producen por la fuerza de gravedad de los cuerpos que se encuentran en la trayectoria de la luz, el resultado de las observaciones varía desde un aparente cambio de posición hasta una deformación o multiplicación de la imagen fuente. La mayoría de las lentes encontradas tiene su origen en cuásares, aunque una galaxia, en alineación con un cúmulo de galaxias, también puede dar lugar a espejismos gravitacionales y ofrecer una imagen deformada. Otra tipología de fenómenos lente es la producida por un cuerpo menor, por ejemplo una estrella (*microlente*). Su fuerza gravitatoria provoca la división de los rayos de luz en una proporción mucho menor que las galaxias, de modo que la separación nos resulta imperceptible y sólo detectamos un aumento en el brillo de la imagen lejana. Se trata de un fenómeno difícil de detectar ya que exige que la estrella-fuente, el objeto-lente y nosotros estemos alineados de forma adecuada.

No obstante, hay ya algunos casos documentados. Recientemente, un grupo de astrofísicos de nueve países, incluyendo España (IAA), ha observado una microlente que amplía el objeto fuente más de cuatrocientas veces. Cinco telescopios terrestres y el telescopio espacial Hubble fueron utilizados para seguir el evento. El Hubble se encargó de definir con precisión el tipo espectral de la estrella-fuente, una información de primera importancia ya que determina cuales serán los modelos de atmósferas estelares que deben emplearse. La curva de luz resultante de la microlente

MOA 2002-BLG-33 (el nombre viene de un ave extinta en Nueva Zelanda) está representada en la Figura 2.

A este tipo de curva se le llama cáustica y la forma de “M” en su parte central indica que la microlente es, en realidad, un sistema binario. La forma de la curva de luz depende de las características de la microlente y de otros parámetros que también intervienen en la caracterización de la curva de luz pero que no están directamente conectados con la lente: la trayectoria, el radio y el oscurecimiento hacia el borde (*limb-darkening*) de la estrella-fuente.

El oscurecimiento hacia el borde es un fenómeno físico que puede ser observado incluso en una bombilla común: si la miramos directamente - no en exceso para no perjudicar la visión - notaremos que los bordes de la bombilla parecen ser más oscuros que su centro. Eso ocurre porque la luz que proviene del interior de la estrella recorre en los bordes un camino mayor al de la dirección central y, como consecuencia, se atenúa. Lo mismo ocurre con el Sol y con todas las estrellas. Dicho en otras palabras, el *limb-darkening* es una medida de cómo la luz de una estrella se distribuye a lo largo y ancho de su disco. Esta distribución no es uniforme: depende de la cantidad de metales que contiene la estrella, de la micro-turbulencia, de su radio, de su masa y de su temperatura.

Como la luz de la estrella-fuente fue amplificada casi quinientas veces, se nos brindaba la posibilidad, sin precedentes, de estudiar detalladamente cómo la luz se distribuye en el disco de esta estrella, de tipo solar aunque bastante más evolucionada. La calidad de los datos exigía, en contrapartida, un cálculo muy detallado de los modelos de atmósferas estelares que incluyera millones de líneas espectrales. Debido a la complejidad del problema, las técnicas usuales (y menos aún las técnicas antiguas de integración que algunos todavía insisten en utilizar) para solucionar la ecuación de la transferencia de la radiación no se aplicaron en su forma habitual, ya que se tuvieron en cuenta también los efectos de la geometría esférica, que no están incluidos en los modelos actualmente disponibles, que consideran solamente los efectos de una geometría plana.

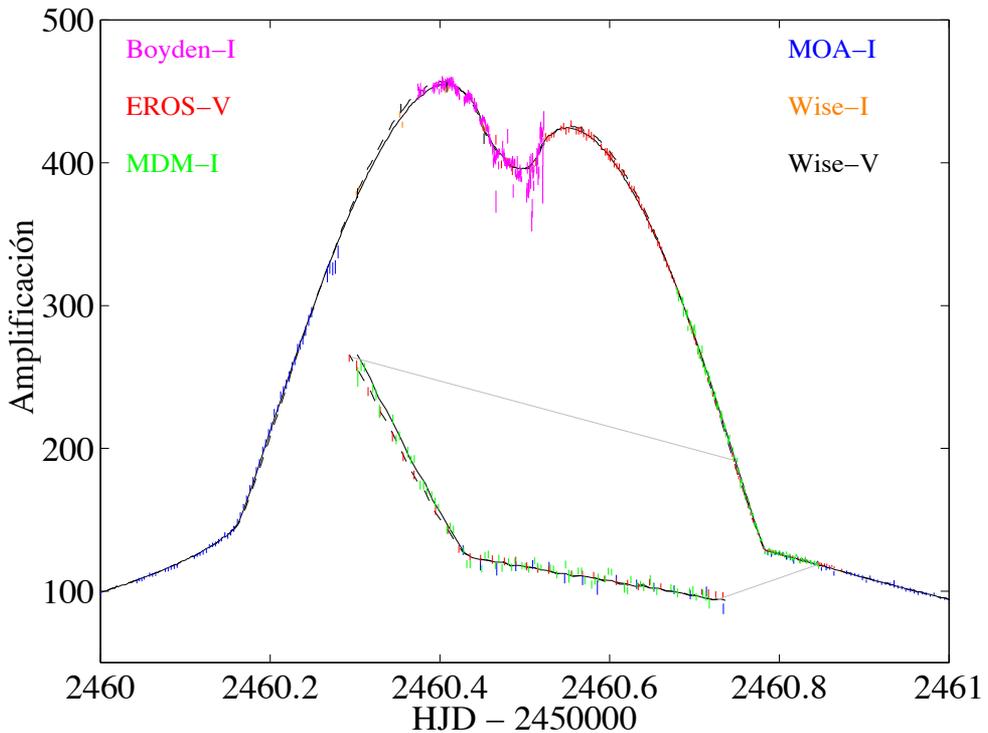


Figura 2. Curva de luz de la microlente MOA 2002-BLG-33.

El resultado de estos cálculos puede verse en la Figura 2, donde la línea negra continua representa la curva de luz calculada y las barritas en colores denotan los datos observacionales. El cálculo para reproducir la curva de luz es un proceso muy laborioso y exige muchísimo tiempo en grandes ordenadores, como también el cálculo de modelos de atmósferas. Por primera vez se pudo observar y comparar el *limb-darkening* (ver Figura 3) para este tipo de estrellas con un nivel real de confianza de cerca del noventa y cinco por ciento.

En Junio del 2005, el mismo equipo de astrofísicos, en el que participa Antonio Claret, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, determinó por primera vez la forma de una estrella lejana, usando la microlente MOA 2002-BLG-33. Por una feliz coincidencia, se conmemoró durante el año

2005 el año Einstein, debido a que se cumplía 100 años del enunciado de la Teoría de la Relatividad. Este hecho fue convenientemente resaltado en la prensa especializada. Volviendo a los aspectos técnicos, la precisión de la medida fue de 0.04 microsegundos de arco. Para hacerse una idea de esta precisión, la Figura 4 muestra una imagen obtenida con el Telescopio Espacial Hubble (izquierda) comparada con la obtenida utilizando la técnica de las microlentes gravitacionales (derecha). La resolución es del orden de un millón de veces superior en el segundo caso. Tal precisión es realmente llamativa dado que MOA 2002-BLG-33 se encuentra a aproximadamente 17 mil años-luz de la Tierra.

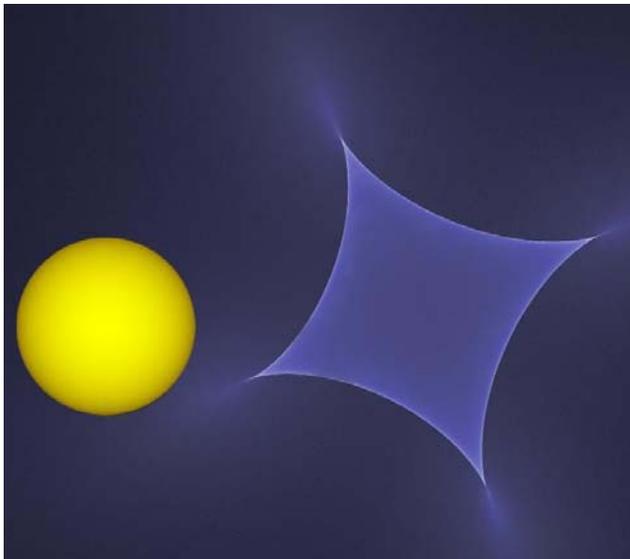


Figura 3. Representación de la microlente MOA 2002-BLG-33. Nótese que los bordes de la estrella-fuente están oscurecidos según los modelos esféricos de atmósferas estelares. El mapa de amplificación de la lente está representado en azul, siendo las regiones más claras las de mayor amplificación. La figura central en forma de diamante representa la cáustica.

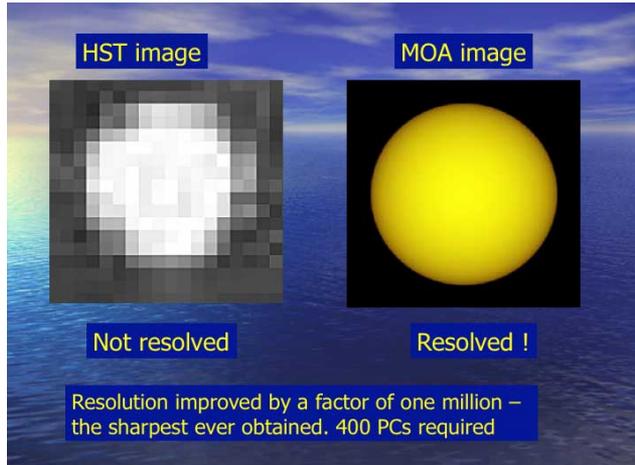


Figura 4. Imagen de MOA 2002-BLG-33 obtenida con el Telescopio Espacial Hubble (izquierda) y con la técnica de la microlente gravitacional (derecha).

Las microlentes tienen otras aplicaciones en la Astrofísica tales como:

- 1- La detección de planetas extrasolares. Se puede hacer un paralelismo entre la experiencia de Rutherford, quien usó las partículas alfa para estudiar la estructura del núcleo atómico, con la detección de planetas extrasolares en eventos de microlentes ya que los fotones servirían para estudiar la estructura planetaria a través de anomalías en la curva de luz.
- 2- Investigación de la materia oscura a través de la búsqueda del evento en enanas marrones. La duración del evento en este caso sirve con una restricción a la materia oscura debido a las enanas marrones.
- 3- Barra galáctica. La distribución observada de eventos de microlentes sugiere una estructura en forma de barra para el bulbo galáctico.

La incidencia de estrellas químicamente peculiares en las Nubes de Magallanes

Los cúmulos estelares y evolución estelar

Los cúmulos estelares son asociaciones de estrellas que se mantienen ligadas gravitacionalmente. Existen dos grupos principales: los abiertos y los globulares. Los primeros son relativamente jóvenes mientras los segundos son de los objetos más antiguos del Universo. Los cúmulos estelares presentan algunas características que los hacen particularmente útiles para la comprobación de la teoría de la evolución estelar. Aunque no se conocen las masas individuales de sus estrellas, el hecho de que tengan más o menos la misma edad introduce un concepto teórico muy útil, el de la isocrona. Una isocrona es el lugar geométrico en el diagrama HR de los puntos con la misma edad. Un diagrama HR representa la evolución de las estrellas. Se suele representar la luminosidad estelar en función de la temperatura efectiva (que es aproximadamente la temperatura de las últimas capas de la estrella). Si recordamos que las estrellas evolucionan cada cual con su ritmo, que depende primordialmente de su masa y composición química, podremos construir una curva en tal diagrama a partir de una red de modelos teóricos de evolución estelar.

En el último ensayo se puede ver una figura que muestra un típico diagrama HR (las masas están dadas en unidades solares). Si inspeccionamos numéricamente cada una de las trazas que componen la red podremos inferir para cada una de ellas la luminosidad y la temperatura efectiva para una determinada edad, digamos, diez millones de años. Procediendo de manera idéntica para otras edades, obtendremos una familia de curvas, cada una representativa de una edad. Pero estas isocronas no son muy útiles para el análisis de las propiedades de los cúmulos porque no medimos directamente las luminosidades y las temperaturas efectivas de las estrellas y sí sus magnitudes aparentes e índices de color. Así que, antes de comparar con los datos observacionales hay que transformar los parámetros teóricos en magnitudes e índices de color. Los índices de color son las diferencias de magnitudes en los diferentes filtros. Algunos índices dan buena estimación de la temperatura efectiva; otros de la gravedad superficial. Esto se hace con la ayuda de estrellas de calibración, de modelos de atmósfera estelares y de curvas de desenrojecimiento.

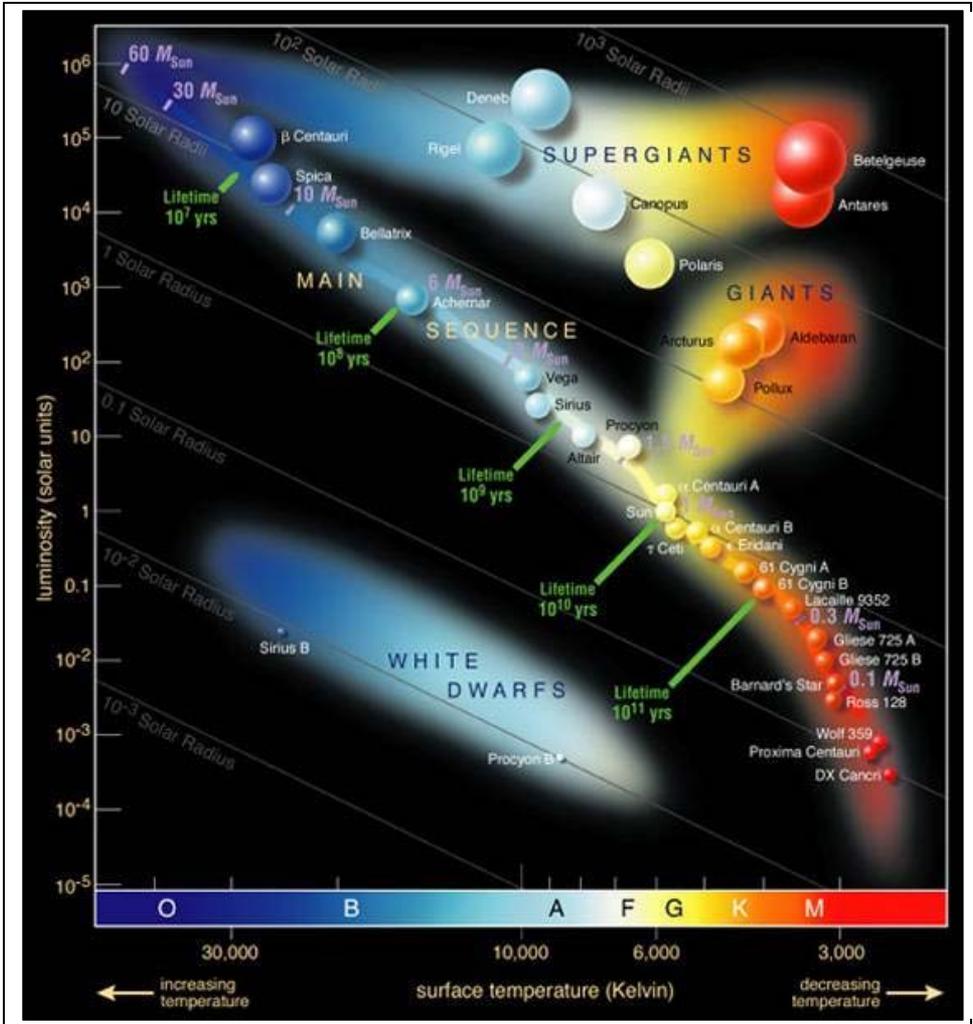


Diagrama HR esquemático (para un diagrama teórico real, ver el último ensayo)

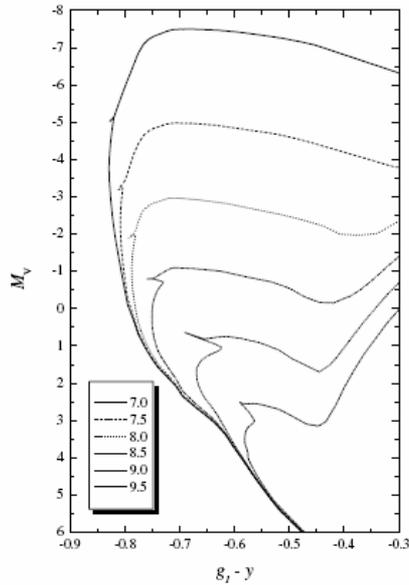


Gran Nube de Magallanes (AURA/NOAO/NSF)

El sistema fotométrico *delta a* y las estrellas químicamente peculiares

Las estrellas pertenecientes a los cúmulos pueden ser binarias o rotar muy rápido, lo que cambia radicalmente sus propiedades. Es muy difícil en muchos casos distinguir estas anomalías usando los sistemas fotométricos tradicionales. Si dicha característica viene dada por una anomalía química y por la presencia de campos magnéticos, el problema se complica aún más ya que tal estrella no se aparta considerablemente de la franja de puntos que caracteriza el cúmulo.

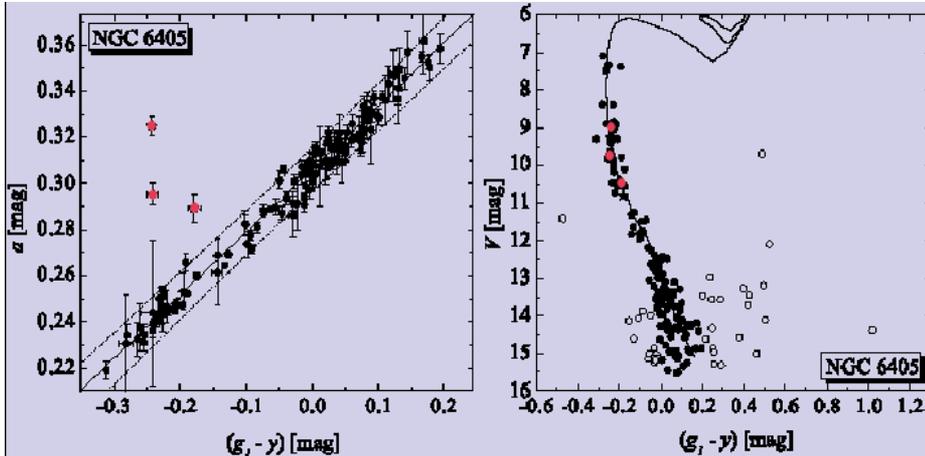
Las principales características de las estrellas químicamente peculiares (CP) son: líneas de absorción peculiares y variables, presentan sobreabundancia de silicio, cromo, estroncio y europio, y variabilidad del campo magnético. Estas estrellas CP son particularmente importantes a la hora de investigar diversos procesos, tales como difusión y convección en presencia de campos magnéticos. Por otra parte, desde el punto de vista instrumental, se ha diseñado en Austria un sistema fotométrico de tres filtros llamado *delta a*. Este sistema se ha mostrado muy útil para discriminar las estrellas CP. Por lo tanto, hemos adaptado nuestra red de modelos evolutivos teóricos a este sistema para calcular las edades, las distancias y el enrojecimiento de los cúmulos, previa transformación de los parámetros, como antes hemos comentado.



Isocronas teóricas en el sistema *delta a*.
 Los números dentro del cuadro representan
 los logaritmos de las edades en millones de años.

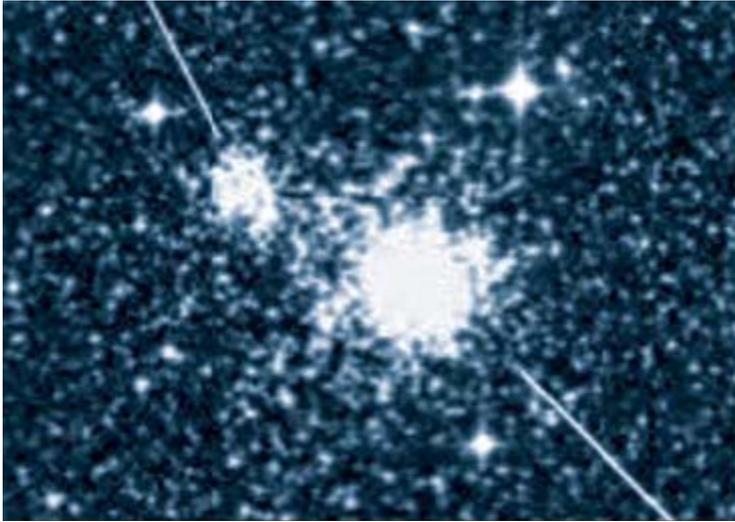
El resultado para el cúmulo NGC 6405 puede ser visto en la figura siguiente. Hemos aplicado tales isocronas a docenas de cúmulos localizados en nuestra galaxia con resultados idénticos en lo que al comportamiento de la línea de normalidad de cada uno se refiere.

El siguiente paso lógico ha sido estudiar la incidencia de las CP en otros entornos, como las Nubes de Magallanes. Se están llevando a cabo intensas campañas observacionales con telescopios situados en el hemisferio sur con el fin de obtener datos para estas dos galaxias. Se han estudiado dos campos de estrellas, uno de los que contiene un cúmulo joven (NGC 1711), en la Gran Nube de Magallanes. Más recientemente, también en la Gran Nube de Magallanes, se ha investigado el cúmulo binario (posiblemente triple) NGC 2136 y NGC 2137.



En el diagrama de la derecha (un diagrama tradicional) las CP (en rojo) no son distinguibles mientras que en el diagrama de la izquierda las CP salen notoriamente de la línea de normalidad, lo que revela claramente las anomalías.

Además de la discriminación de las CP, también se han descubierto estrellas del tipo Ae/Be. Cabe también destacar que se ha observado que solo un 2% del total de las componentes son químicamente peculiares, aproximadamente la mitad de la incidencia de las CP en nuestra galaxia. Tal dato impone restricciones muy severas a los modelos de evolución. Como próximo paso, se intentará establecer la incidencia de estrellas químicamente peculiares en la Pequeña Nube de Magallanes, una galaxia con menos contenido metálico todavía que la Gran Nube.



El sistema binario de cúmulos NGC2137 (izquierda) y NGC2136, situado en la Gran Nube de Magallanes.
Fuente: The NGC project.

Referencias:

Claret, A., Paunzen, E., Maitzen, H. M. 2003, *Astronomy and Astrophysics*, 412, 91

Paunzen, E., Pintado, O. I., Maitzen, H. M., Claret, A. 2005, *Monthly Notices of Royal Society*, 362, 1025

Paunzen, E., Maitzen, H. M., Pintado, O. I., Claret, A., Iliev, I., Netopil, M. 2006, *Astronomy and Astrophysics (Letter)*, 459, 871

Un agujero negro en tu bolsillo¹

Cuando estaba haciendo mi postgrado en Física, uno de mis profesores nos dio un respiro en forma de un ejercicio libre. Explico el significado de este ejercicio libre. Según él, deberíamos plantearnos un problema de Física que nos interesase en particular. Además, deberíamos presentar una solución que fuese original pero nada muy complicado. Nos daba, creo recordar, un mes de plazo. Su intención, sin embargo, no era maligna. Al revés, intentaba hacer con que nosotros entrásemos en contacto con el mundo de la investigación. El tema de investigación de una tesis o de una tesina, por ejemplo, se puede discutir entre el doctorando y el director de tesis pero llega un momento que tienes que buscarte la vida (otros temas) por ti mismo.

Yo ya tenía el tema de la tesina y no podía reincidir. Así que busqué otro tema relacionado con la Astrofísica. Busqué en la bibliografía especializada y encontré un tema que me llamó la atención inmediatamente. Hace unos 30 años, S. Hawking demostró que bajo determinadas circunstancias un agujero negro podía emitir partículas e incluso, dada esta pérdida de masa, evaporarse. La idea que uno tiene de los agujeros negros es que ellos se tragan todo a su alrededor, entonces ¿cómo podrían emitir partículas? Se trataba de un agujero negro especial, pequeño, con una masa muchas veces menor que la de un planeta; en fin, un mini-agujero negro que habría sido creado durante el Big-Bang.

Debido a las dificultades obvias de carácter matemático, unos cuantos años después surgieron algunos modelos alternativos simples debidos a G. Kesller, P. C. Peters y L. M. Celnikier. Yo ya tenía los elementos en la mano: un problema interesante y una solución simple (que tendría aun que encontrar).

Uno de los modelos, concretamente el de Kesller, presentaba ciertas arbitrariedades y contradicciones. Es cierto que su intención era simplificar el problema pero eso no debería ocurrir a expensas de la claridad y consistencia. Este modelo se hizo muy popular, siendo usado por el propio Hawking para ilustrar la emisión de partículas por los mini-agujeros negros en un libro de divulgación científica. A continuación, resumiremos las

¹ Este ensayo no exige un conocimiento profundo de Matemática o de Física. Los lectores que no se sientan particularmente cómodos con esas dos materias, pueden saltarlo y pasar al siguiente.

propiedades de este modelo y luego, presentaremos el nuestro. Espero que el problema sea atractivo también para el lector y le invito a que participe en esta pequeña aventura teórica. Puedo garantizar que la matemática involucrada no es excesivamente complicada: hay que dominar el concepto de potencia de diez, un poco de derivadas (tasa de variación con relación a algo) e integración (que vendría a ser algo como su inversa). Al mini-agujero negro lo designaremos, por simplicidad, con la sigla MAN.

Kessler supone la existencia, en las inmediaciones del MAN, de pares de partículas y antipartículas que son creadas y aniquiladas. Tal fenómeno es una flagrante violación del principio de la conservación de la energía. Sin embargo es posible desde que el que eso ocurra en un intervalo de tiempo Δt , gobernado por el principio de incertidumbre de Heisenberg. El símbolo Δ delante de una variable designa una variación de la misma. Este principio consiste en que no es posible medir simultáneamente determinadas entidades físicas. Nada tiene que ver con la precisión de los instrumentos de medida; es una característica de naturaleza cuántica. Una de sus versiones más conocidas es $\Delta p \Delta r \approx \hbar$, donde \hbar es la constante Planck dividido por 2π , y Δp y Δr son las incertidumbres en el momento ($m v$, masa por velocidad) y en la posición r , o sea, si tienes muy buena información sobre la velocidad, no sabrás con tanta seguridad la posición y viceversa. Hay básicamente dos versiones de este principio: la que acabamos de ver, que relaciona la velocidad y la posición y otra que relaciona la energía y el tiempo ($\Delta E \Delta t \approx \hbar$). Por ahora usaremos la segunda versión.

Durante el intervalo de tiempo Δt la probabilidad de que una de las partículas caiga en el MAN no es nula. La otra (correspondiente al par creado por la fluctuación) será dispersada, simulando una emisión. La separación máxima entre las dos partículas (en el caso, un barion y un antibarion, o sea, partículas subatómicas con masa mayor o igual a la de los protones) será dada por el producto de la velocidad por el intervalo de tiempo:

$$d = c\Delta t = \frac{c\hbar}{\Delta E} = \frac{\hbar}{mc}$$

donde c es la velocidad de la luz, E la energía, m la masa de la partícula y t el tiempo. Así, para separar el par de partículas virtuales que se encuentran separadas por una distancia d , la atracción eléctrica entre ellas (recuérdese que la partícula tiene una carga eléctrica opuesta a la de su antipartícula) debe ser menor que el gradiente gravitacional por distancia:

$$\frac{\Delta F}{\Delta r} d > \frac{e^2}{4\pi\epsilon d^2}$$

donde Δr es la escala de distancias, e es la carga eléctrica, ϵ es la rigidez dieléctrica del medio y π nuestra vieja conocida constante. La expresión en la que una variable representada por Δ (algo 1) viene dividida por Δ (algo 2) es lo que se conoce como derivada y viene a representar la tasa de variación de la variable (algo 1) con relación a la variable (algo 2). Hay reglas muy simples para calcularla pero no las discutiremos aquí. En el caso de la ley de Newton, como la fuerza varía con el inverso del cuadrado de R , su derivada vendrá dada por el inverso del cubo de R . Así que aplicando la ley de Newton

$$\frac{2GMmd}{R^3} > \frac{e^2}{4\pi\epsilon d^2}$$

donde M es la masa del MAN, R su radio y m la masa del protón.

El radio de un agujero negro (llamado radio de Schwarzschild) es dado por $R = 2GM/c^2$. Sustituyendo el valor de R en la ecuación anterior, tendremos

$$\frac{dmc^6}{4G^2M^2} > \frac{e^2}{4\pi\epsilon d^2}$$

Kessler, llega entonces a la conclusión que la desigualdad solo será satisfecha para una cierta masa crítica del agujero negro. Tal masa puede ser calculada si despejamos M (la designaremos M_k). Introduciendo los valores numéricos de las constantes físicas:

$$M_k = \frac{(4\pi\epsilon\hbar^3 c^3)^{1/2}}{2emG} = 1.65 \times 10^{15} \text{ g}$$

Este valor concuerda, dentro de las limitaciones del modelo, muy bien con los valores obtenidos por Hawking usando teorías muchísimo más complicadas. Sin embargo, como adelantábamos en el inicio, hay arbitrariedades e incongruencias. A saber:

- 1- La masa crítica derivada por Kesler no depende del tiempo, lo que en el modelo de Hawking es primordial.
- 2- El modelo posibilita la emisión de partículas neutras cualquier que sea su masa.
- 3- La coincidencia entre los resultados de Kesler y los de Hawking está relacionada con la coincidencia entre los números cosmológicos y microscópicos, hecho ya resaltado por Dirac y por Eddington en los años treinta del siglo pasado.

De hecho, sea un agujero negro con radio $R = GM/c^2$. Sea T la temperatura del agujero negro y que su superficie sea la de una esfera ($4\pi R^2$). La energía será $kT = hc/\lambda$ (en mecánica cuántica, la energía es dada por $h\nu$, donde ν es la frecuencia); k es la llamada constante de Boltzmann. Como la frecuencia de una onda es c/λ , llegamos a igualdad anterior. Suponga que la longitud de onda $\lambda/(2\pi)$ es unas 4 veces el radio del agujero negro (el cuatro no es crítico; cualquier número del orden de la unidad servirá igualmente). Entonces tendremos para la temperatura:

$$T = \frac{\hbar c^3}{8GMk}$$

Supongamos que el agujero negro irradia como un cuerpo negro. No confundir las dos expresiones; un *cuerpo negro* es un cuerpo que emite y absorbe energía con mucha eficacia. Algunas estrellas, con pocas líneas espectrales, irradian casi como un cuerpo negro. Un cuerpo negro obedece a la ley de Stefan-Boltzmann (con la cuarta potencia de la temperatura). La potencia por unidad de área será

$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \sigma T^4 = \frac{\pi^2 k^4 T^4}{60 \hbar^3 c^2}$$

Que después de una integración en P lleva a

$$P = \frac{\pi^3 \hbar c^6}{15360 G^2 M^2}$$

Cuando un MAN irradia, hay una disminución en su masa dada por $\Delta E = \Delta M c^2$ (la famosa relación de Einstein) que puede ser puesta como $P = -\Delta M/\Delta t c^2$. Entonces la ecuación anterior será dada por

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = -\frac{\pi^3 \hbar c^4}{15630 G^2 M^2}$$

Que después de una integración en M, lleva a

$$M_c = \frac{\pi}{8} \frac{1}{10^{1/3}} \left(\frac{\hbar c^4 t}{G^2} \right)^{1/3} = 0.8 \times 10^{15} \text{ g}$$

dónde hemos supuesto que $M(t) = 0$ actualmente para los MANs que iniciaron su vida con una masa inicial M_c . Podemos escribir la ecuación anterior en términos de la ecuación de Kesler

$$M_c \propto M_K \left[\frac{G m^2}{\hbar c} \frac{c^2 m t}{\hbar} \right]^{1/3}$$

dónde aparecen las constantes cosmológicas: $G m^2/(\hbar c)$ (5.9×10^{-39}) es la constante fina gravitacional que tiene su análoga electromagnética $\alpha = e^2/(4\pi\epsilon\hbar c) = 1/137$; ct es el radio del universo (t es la edad del universo), $\hbar/(mc)$ es la longitud de onda reducida de Compton. De este modo, la relación $m c^2 t/\hbar$ es del orden de 10×10^{41} , muy parecido al recíproco de la constante fina gravitacional. Vemos así que los resultados de Kesler realmente están ligados a coincidencias numéricas. Es como si uno ya supiese el resultado y usase el número 1 que acabamos de encontrar substituyéndolo por números que, multiplicados y divididos uno por el otro, no lo alterase.

- 4- Un cuarto fallo. Al utilizar el principio de incertidumbre de Heisenberg, Kesler admite que $\Delta t = \hbar/(2\Delta E)$ y usa $\Delta E = m_o c^2$. Sin embargo, la suposición $d = c \Delta t$ (que supone energías relativistas, o sea, muy altas energías) es incompatible con la suposición anterior referente a la energía, ya que en esta situación ΔE es mucho mayor que $m_o c^2$.

A continuación, daremos nuestra versión simple del problema. Para tal tarea, imaginemos una partícula en las inmediaciones de un MAN. Las

fluctuaciones en el momento (velocidad por masa y es designado por la letra p) y en la posición en tres dimensiones (x, y, z) será

$$\Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z \Delta x \Delta y \Delta z \approx \frac{\hbar^3}{8}$$

Para partículas relativistas $E = pc$, donde $p^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2$. Haciendo la derivada con respecto a p y E

$$\Delta E = c \Delta p$$

Sin embargo,

$$\Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z \approx \frac{4\pi}{3} (\Delta p)^3 \approx \frac{4\pi}{3} \left(\frac{\Delta E}{c}\right)^3$$

Y análogamente,

$$\Delta x \Delta y \Delta z \approx \frac{4\pi}{3} R^3 = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{GM}{c^2}\right)^3$$

Supongamos que $\Delta x = \Delta y = \Delta z \approx R = GM/c^2$ (radio del MAN). Este tipo de aproximación es muy común cuando se utiliza el principio de incertidumbre de Heisenberg para estimar variables físicas a nivel subatómico. Si usamos las ecuaciones anteriores tendremos para la energía

$$\Delta E = \left[\frac{9\hbar^3 c^3}{128\pi^2 R^3} \right]^{1/3}.$$

La potencia con la cual el MAN irradia es dada por $\Delta E/\Delta t$, y Δt viene dado por el principio de incertidumbre, o sea, $\Delta t = \Delta E/(2\hbar)$. Así que

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{2(\Delta E)^2}{\hbar}$$

Ahora entra realmente mi pequeña contribución al problema. Aproximé el MAN como una esfera rígida (potencial infinito en el interior y cero en el

exterior). Utilizando la técnica de la mecánica cuántica de las ondas parciales (ahorraré al lector este detalle un poco engorroso), se calcula la sección eficaz del agujero negro. Encontré que esta sección eficaz era dada por $8\pi G^2 M^2 / c^4$, con lo cual el radio efectivo del MAN es dado por $R_\sigma = \sqrt{8GM/c^2}$. Sustituyendo este valor en las ecuaciones anteriores de ΔE y P tendremos

$$\Delta E \approx \left(\frac{9\hbar^3 c^3}{128\pi^2}\right)^{1/3} \frac{c^2}{\sqrt{8GM}}$$

y

$$P \approx 2\hbar \left[\frac{9c^3}{128\pi^2}\right]^{2/3} \frac{c^4}{8G^2 M^2}$$

El tiempo de Hubble es dado por

$$\tau_H = \frac{\Delta E}{P} = \frac{Mc^2}{P} = \frac{4G^2 M^3 \left[\frac{9}{128\pi^2}\right]^{-2/3}}{\hbar c^4}$$

Finalmente, obtendremos para la masa crítica del MAN:

$$M_c \approx \left[\frac{\hbar \tau_H \left(\frac{9}{128\pi^2}\right)^{2/3} c^4}{4G^2}\right]^{1/3}$$

Es fácil verificar que la masa crítica *depende del tiempo* de Hubble en una dependencia funcional (elevado a 1/3) idéntica a la predicha por teorías muchísimo más sofisticadas y sin adolecer de los problemas de incoherencia detectados en el modelo de Kesler. Si introducimos los valores numéricos de las constantes físicas, el valor de la masa del MAN es del orden de 9×10^{14} gramos, que también está en muy buen acuerdo con dichas teorías.

Espero que este ejercicio haya servido para mostrar que ciertos temas científicos considerados duros, pero a la vez atractivos, pueden ser entendidos y aún deducidos, usando conocimientos básicos de Física y Matemática. Espero, asimismo, que no estéis mareados con tantos números y que haya valido la pena el esfuerzo.

La Geología, en cuanto a la magnitud y a lo sublime de los objetos que estudia, se coloca junto a la Astronomía en la escala de las ciencias.

J. F. W. Herschel

La Dinosauriología y la Astrofísica tienen algunos puntos en común. Por ejemplo, en lo intangible de los materiales que tratan: los astrofísicos casi nunca tocan los objetos que estudian mientras los dinosauriólogos tampoco tienen muchas oportunidades de investigar los tejidos blandos fosilizados de los dinosaurios.

La situación de los dinosauriólogos, debido a la imperfección del registro fósil, se parece a la de un lector de un libro en el cual faltan páginas y cuyas páginas faltan trozos y por si fuera poco, le faltan a las pocas palabras supervivientes algunas letras. Los astrofísicos (no me refiero a los científicos planetarios) también encuentran dificultades semejantes. Los objetos están tan lejos que la luz proveniente de ellos – su principal fuente de información – se ve distorsionada por la absorción interestelar (o intergaláctica), sus telescopios tienen una capacidad de recolección de luz limitada y los modelos teóricos asociados a las observaciones también tienen serias lagunas. En fin, ambos están obligados a hacer cabriolas mentales para reconstruir y entender los dinosaurios y los astros.

Otra conexión se refiere a que, cuando un astrofísico observa un determinado astro, está siempre mirando al pasado. Lo mismo pasa con un dinosauriólogo cuando desentierra algún diente o hueso de dinosaurio, no hace más que echar una mirada instantánea hacia atrás en el tiempo.

En el preámbulo de este libro ya había advertido que el tránsito de la primera parte (Astrofísica) a la segunda (Dinosaurios) podía parecer demasiado brusco. Sin embargo, el verdadero eslabón entre las dos ciencias está en el último ensayo de la segunda parte, donde trato de la extinción de los dinosaurios y analizo el papel de la Astrofísica (si tuvo alguno) en este evento. Como éste es un libro de ensayos y no un libro-texto clásico, no busqué una continuidad y antes que eso, procuré que el salto de la primera a la segunda parte fuera más o menos abrupto para suavizarlo con el último ensayo. Pero si la Astrofísica está realmente involucrada en la desaparición de los dinosaurios, es también probable que esté involucrada en la aparición de éstos ya que la gran extinción del Pérmico – la mayor hasta ahora registrada – puede que fuera provocada por la caída de un meteorito. Hay que recordar que esta extinción creó las condiciones necesarias para el florecimiento de los dinosaurios.

Vida de Paleontólogo

He leído muchísimos libros sobre dinosaurios a lo largo de mi vida. De algunos de ellos no tengo más que un vago recuerdo. Sin embargo, en casi todos me ha llamado poderosamente la atención, (cuando los libros en cuestión trataban de la vida de destacados dinosauriólogos), la longevidad de ellos. Una rápida inspección de la tabla corrobora claramente esta premisa. Es cierto que hay que matizar en favor y en contra. Por ejemplo, hoy día unos 70 años de vida media puede que no parezca que sea una cifra excepcional. Por otra parte, también hay que hacer notar que muchos de ellos han nacido y vivido en el siglo XIX, época en que la esperanza de vida era bastante inferior a la actual. Otra vez, otro matiz: me refiero a la esperanza de vida en Europa y Norteamérica.

B. Brown (1873-1963)	R. Owen (1804-1892)	M. S. Seeley (1839-1909)
E. Hitchcock (1793-1864)	L. Dollo (1857-1931)	T. H. Huxley (1825-1895)
O. Abel (1875-1946)	H. F. Osborn (1857-1935)	R. S. Lull (1867-1957)
A. Coggeshall (1873-1958)	G. Tornier (1858-1938)	E. S. Riggs (1869-1963)
C. R. Knight (1847-1953)	C. R. Darwin (1809-1882)	J. B. Tyrrell (1858-1957)
C. H. Sternberg (1850-1943)	E. Stromer (1871-1952)	W. Janensch (1878-1969)
B. Peyer (1885-1963)	E. G. Henning (1882-1977)	F. van Huene (1875-1969)
C. C. Young (1897-1979)	C. Ameghino (1865-1936)	S. Roth (1850-1924)
G. G. Simpson (1902-1984)	E. Suess (1831-1914)	E. P. Matheron (1807-1899)
R. T. Bird (1899-1978)	E. H. Colbert (1905-2001)	O. Zdansky (1894-1988)
E. Winan (1867-1944)	A. B. Bohlin (1898-1990)	C. L. Camp (1893-1973)
A. Cabrera (1879-1960)	J. Ostrom (1928-2005)	K. F. Hirsch (1921-1996)

Todavía seguimos con los matices. Si hubiéramos hecho lo mismo, con destacados físicos o químicos, quizá las correspondientes tablas tuvieran un carácter parecido en cuanto a la longevidad media.

El lector se preguntará: la tabla es interesante, pero ¿qué? ¿el autor se meterá a hacer cabalas buscando correlaciones y/o datos estadísticamente relevantes? Como se hará patente en un otro ensayo de este libro (Extinción de los dinosaurios) hacer unas estadísticas con pocos datos es una practica bastante peligrosa. Pongamos un ejemplo: supongamos que estamos en el Vaticano y que nos gustaría hacer un estudio estadístico sobre los papas. Se sabe que actualmente solo hay un papa, lo que nos sale un papa por medio kilómetro cuadrado, que es aproximadamente el área del territorio ¿Significa entonces que existen dos papas por kilómetro cuadrado?

No vamos a desarrollar una teoría estadística sobre la vida media de los dinosauriólogos. Lo de tabla arriba no es más que un pretexto. Aquí pretendemos dar nuestra visión de los aspectos de las vidas personales/profesionales de algunos paleontólogos. Tengo que confesar que varios de ellos me inspiran una alta estima mientras unos pocos me causan incluso cierto rechazo. A seguir analizamos la labor de cuatro de estos pioneros de la dinosauriología: Mary Anning, Gideon Mantell, Richard Owen y a un español, José María Herrero Marzo. Con relación a este último, he reproducido un ensayo mío publicado en la segunda edición del libro *Azarquiel y otras historias* (Claret 2006). Desafortunadamente, España tardó mucho en subirse al carro de la Dinosauriología y sólo en la década de 1950, con los descubrimientos que J. María realizó en Galve (Teruel), fue posible definir nuevos géneros.

Mary Anning

Es cierto que Mary Anning nunca descubrió un dinosaurio. También es cierto que nunca describió ninguna especie fósil, pero sin su labor de fosilista las investigaciones de los primeros paleontólogos hubieron sido mucho más arduas y, por qué no decirlo, casi imposibles. Mary Anning nació en Lyme Regis (Dorset) en 1799 en el seno de una familia humilde, hija de un carpintero.



Mary Anning

La verdad es que hubo dos Mary Anning en la familia. Una murió a la tierna edad de cuatro años, víctima de un accidente casero, resultante de un incendio. La madre estaba embarazada de la que sería la segunda Mary. Aunque no pasó por los mismos percances de su malograda hermana, Mary casi muere a consecuencia de un rayo que le alcanzó junto a su niñera que murió en el acto.

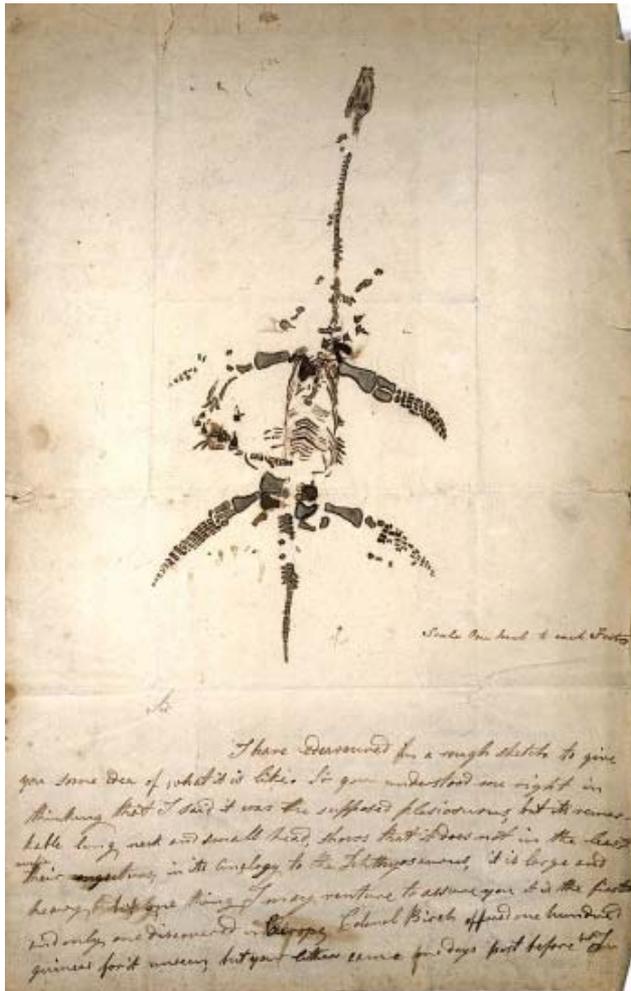
Su padre recogía fósiles para ayudar en el presupuesto domestico. Sin embargo, un desgraciado accidente le debilitó tanto que murió poco tiempo después, dejando absolutamente desprotegida a su amplia familia. Mary Anning siguió recolectando fósiles para ayudar en casa. Un buen día, su hermano Joseph encontró un cráneo de un *Ichtiosaurus*, un reptil marino. Poco después fue el turno de Mary que encontró también un *Ichtiosaurus* que fue vendido y sirvió como un buen alivio económico para la familia. Mary no era más que una niña de unos doce años de edad en esta época. Sir Everard intentó hacer una descripción del fósil pero no fue capaz dado que no era un buen anatomista. Conybeare y De La Beche ofrecieron una descripción más clara y concienzuda advirtiendo que el ciclo de sustitución de los dientes era típico de los reptiles. El animal presentaba también algunas características de un pez lo que explicaba en parte la dificultad con que se encontraron los primeros paleontólogos en dilucidar su naturaleza. Incluso Charles Dickens da fe de estas dificultades.



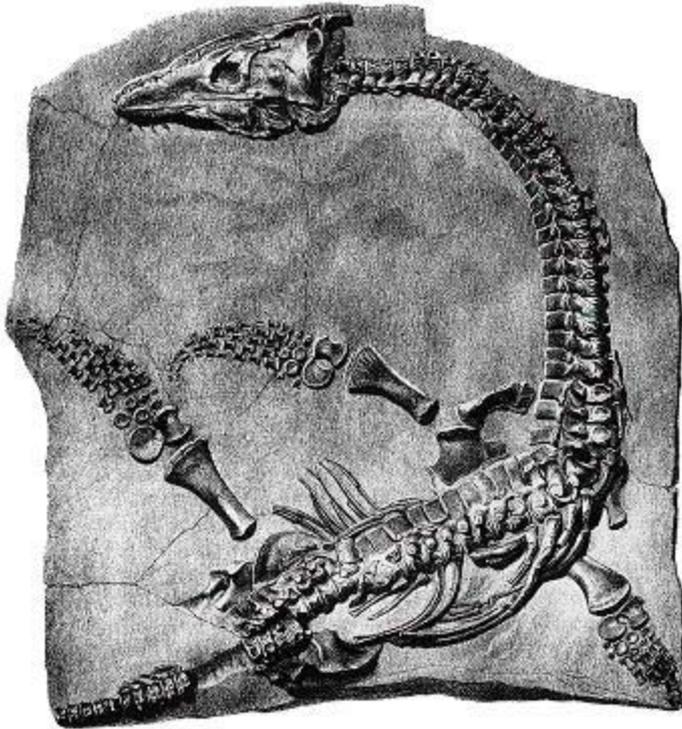
Cráneo de *Ichtiosaurus* descubierto por Joseph Anning

Los méritos de Mary Anning, sin embargo, no fueron reconocidos. Ni siquiera figura su nombre en las publicaciones. Como en el caso de Mantell (siguiente ensayo), uno de los escollos para este tipo de reconocimiento era su baja clase social. Ella seguía escudriñando la playa y los acantilados con riesgo de su propia vida con la esperanza de encontrar un buen ejemplar con que mitigar las dificultades económicas de su familia. En 1820, Mary desenterró un ejemplar del *Ichtiosaurus platyodon*, con ¡seis metros de longitud! Encontró algunos ejemplares más pero el negocio de la búsqueda de fósiles era muy errático y la competencia empezaba a ser también un problema. Tres años después del descubrimiento del *Ichtiosaurus platyodon*, Mary descubrió un nuevo fósil, a pesar de las condiciones

atmosféricas adversas (frío y lluvia). Si el *Ichthiosaurus* era un animal extraño, el nuevo espécimen lo era todavía más. Solo la columna tenía cerca de noventa huesos y el animal medía casi tres metros.



Plesiosaurus descubierto por Mary Anning



Ejemplar de Plesiosaurus

Pero a pesar de la belleza y del estado de conservación del ejemplar, este trajo no pocos problemas a Mary Anning. Conybeare tenía algunas evidencias de la existencia de un otro lagarto marino, diferente del *Ichiosaurus*. Sin embargo, el todopoderoso Barón de Cuvier puso en tela de juicio la veracidad del fósil encontrado por Anning y sugirió que ésta lo había falsificado. Este tipo de engaños no son, sin embargo, tan infrecuentes. De hecho, no hace mucho la prestigiosa revista National Geographic se vio involucrada en un fraude de enormes dimensiones. La falsificación era tan buena que engañó a prestigiosos paleontólogos. Pero éste no era el caso. La Geological Society convocó una reunión especial para examinar el fósil y dictaminar su veracidad o no. Obviamente, consonante con la pedertería de tal institución, Mary Anning no pudo estar presente. El veredicto fue que el fósil era verdadero; por primera vez Cuvier tuvo que inclinarse delante de una simple fosilista (y no sería la última vez que el paleontólogo francés tuviera que hacerlo).

Algunos meses después, Conybeare presentó un documento describiendo el animal que fue denominado *Plesiosaurus giganteus*. Según las palabras del reverendo: *la cabeza del lagarto poseía los dientes de cocodrilo, el cuello enorme que se asemeja a una serpiente; el tronco y la cola se parecen a las de un cuadrúpedo, las costillas como las de un camaleón y las aletas de una ballena*. La cabeza era pequeña comparada con la longitud del cuerpo y el cuello era comparativamente muy largo. La verdad que la combinación de caracteres era simplemente desconcertante.

Otro de los descubrimientos de Mary Anning se relaciona con los coprolitos (heces fósiles) ya que algunos de los ejemplares de *Ichthiosaurus* mostraban en su interior, cerca del abdomen, este tipo de fósiles. Hay una anécdota que cuenta que, debido a la estricta moral vigente, Mary solo enseñaba los coprolitos en ausencia de mujeres y éstos eran presentados en una bandeja cubierta con un trapo.

Mary seguía a lo suyo. Si el *Ichthiosaurus* y el *Plesiosaurus* fueron considerados animales muy raros, lo que encontraría nuestra heroína en 1828 sería simplemente lo más extraño de los reptiles. Era medio murciélago, medio reptil, con huesos finos y huecos y además era relativamente pequeño. Era casi un mini dragón. Cuvier había advertido años antes el carácter reptiliano de un fósil parecido y pronosticó que sería un reptil volador al que denominó *Pterodactylus*. Mary Anning descubrió el primer pterosaurio en Inglaterra lo que una vez más ayudó a la subsistencia de su familia. El ejemplar fue adquirido por Buckland que lo describió utilizando palabras poco frecuentes (comprensiblemente) en la jerga paleontológica.

Mary no era una simple fosilista; se dedicaba a estudiar Astronomía y copiaba de puño y letra los versos de Byron o los artículos aparecidos en la prensa sobre los fósiles que ella descubría pero que apenas la citaban. Una amiga íntima, Anna Pinney, escribe que Mary le había confesado que *el mundo (científico) me ha utilizado de mala manera. Creo que dadas estas circunstancias, desconfío de todos*. Buckland, quizá movido por lo mucho que se aprovechó del trabajo de la fosilista, consiguió que le dieran una especie de pensión.

Esta ayuda llegó quizá un poco tarde. Mary sufría de un cáncer de pecho y aliviaba su dolor con el sedante más barato a su alcance: el alcohol. Murió en el 1847 con apenas 47 años de edad. Probablemente el mejor homenaje que recibió del mundo de la paleontología vino de la pluma del mayor paleontólogo del siglo XX (en mi opinión), Stephen Jay Gould: *Los inicios de la paleontología de vertebrados a principios del siglo XIX en Gran Bretaña*



Dimorphodon macronyx, un pterosaurio encontrado en Lyme Regis.

deben más a la primera recolectora de su época (o de cualquier otra), Mary Anning, de Lyme Regis, que a Buckland, o Conybeare, o Hawkins, u Owen o a cualquiera de los hombres que después escribieron sobre los ictiosaurios y plesiosaurios que ella encontró.



Tumba de Mary Anning en Lyme Regis

Gideon Algernon Mantell

El personaje relacionado con el mundo de los dinosaurios que más me fascina es G. A. Mantell. El simple hecho de que el no era siquiera paleontólogo profesional y que haya contribuido tanto a la Dinosauriología es, en mi opinión, motivo suficiente para explicar mi admiración. ¿Pero, quien era Mantell?

Aunque sus antepasados llegaron a ser protagonistas en la historia de Inglaterra, la suerte del clan había cambiado. Mantell nació en el año 1790 en el seno de una familia humilde en Lewes (su padre era zapatero). Parece ser que su afición a la geología surgió a raíz de las excursiones que realizaba en los alrededores de su ciudad natal. De niño estudió con algunos maestros poco conformistas, llegando a matricularse en una escuela fundada por un tío suyo cuyo nombre era bastante sugestivo: Academia para chicos disidentes. Aunque no hay muchos datos al respecto, parece ser que este tipo de ocurrencias marcó profundamente el carácter social de Mantell. De hecho, años más tarde él se vio involucrado en un episodio de justicia social: una mujer había sido condenada a muerte junto a su presunto amante por asesinar a su marido. Mantell se enteró del caso y demostró que el marido había muerto de muerte natural. Consiguió evitar la muerte de la pobre mujer pero el supuesto amante no tuvo igual suerte ya que, inexplicablemente, la justicia actuó con rapidez.

A los 17 años, se trasladó a Londres donde estudió medicina. Poco después, Mantell mantuvo un encuentro trascendental con otro médico, el hoy mundialmente reconocido James Parkinson, responsable por la caracterización de la enfermedad que lleva su nombre. Parkinson, también paleontólogo, le dio a Mantell ánimos para proseguir en su incipiente carrera. De este y de otros encuentros similares, Mantell definitivamente resolvió dedicarse en cuerpo y alma a la paleontología mientras sacaba su sustento del ejercicio de la medicina.



G. A. Mantell



Mary Woodhouse

Se conserva en la Sussex Archaeological Society de Lewes un manuscrito del diario de Mantell, que todavía no ha sido publicado. Consta que el Dr. Mantell dedicaba todo el día a cuidar de sus pacientes y que solo bien entrada la noche se ponía a preparar y estudiar su colección de fósiles. Tal dedicación se manifestó de una forma bastante romántica dado que Mantell acabó por casarse con la hija de uno de sus pacientes, Mary Woodhouse, que luego jugaría un papel primordial en la carrera de nuestro personaje.

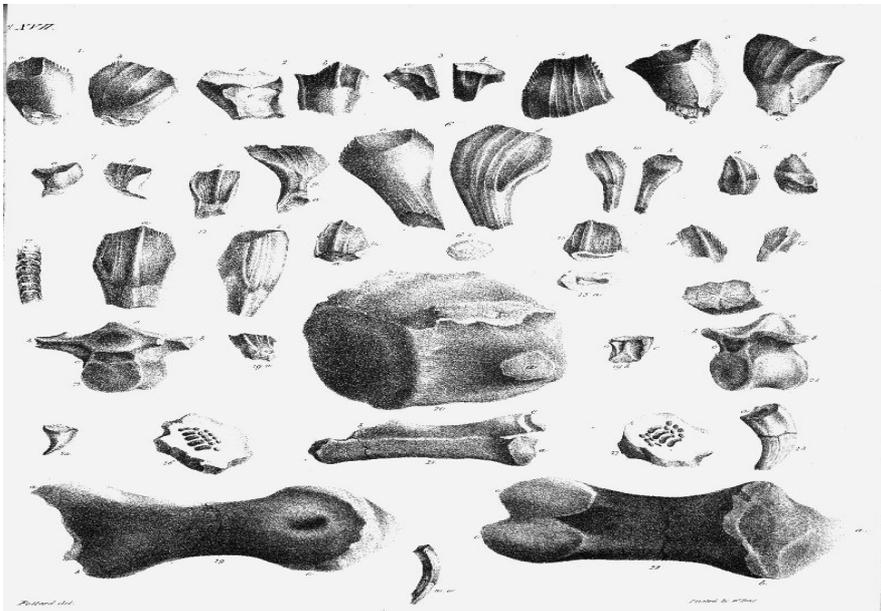
Mantell era, sin lugar a dudas, un buen médico. Como prueba de ello podemos citar que publicó varios artículos científicos relacionados con la medicina en revistas especializadas, práctica poco común, incluso en los días de hoy. Por otra parte, atendió cerca de dos mil partos y solo dos pacientes murieron. Nótese que la mortandad en aquella época era del orden de 33 veces mayor.

Volviendo a la vida familiar, su esposa Mary le ayudaba en lo que podía; la mayor parte los fósiles estudiados por su marido en algunas de las publicaciones del laborioso médico habían sido dibujados por ella. Conste que esta costumbre, el dibujo a mano, es todavía muy utilizada en los artículos de Paleontología profesional de los días de hoy, entre otras razones, porque la fotografía, aunque digital, no capta determinados detalles de los especímenes.

Mantell seguía explorando las canteras de los alrededores de Lewes, entrenando algunos canteros en la búsqueda y recompensando económicamente a estos cuando encontraban fósiles relevantes. En Cuckfield, encontró un tronco fósil de casi un metro de largo. Obviamente, este descubrimiento traía nuevas perspectivas ya que el terreno en que fue encontrado no debería haber sido un ambiente marino, como aquellos en las proximidades de Lewes. Sin embargo, este tronco trajo mucho más interrogantes que respuestas. La paleobotánica todavía no existía y no había ejemplares actuales que sirvieran como comparación. En esta época Mantell ya poseía una considerable colección de fósiles de vertebrados, incluyendo un trozo de fémur y dientes. Al comparar estas piezas con los restos del *Ichthyosaurus* – un reptil marino - una pertinaz pregunta revoloteaba en su cabeza: Si estos restos no pertenecen al *Ichthyosaurus* ¿a que animal habrían pertenecido? ¡Buena pregunta, sin duda!

El acontecimiento que realmente iba a dar un giro importante en la carrera paleontológica de Mantell no está del todo claro. La primera versión, encantadora, narra que su mujer, al acompañarlo en una de sus visitas a uno de sus pacientes, encontró en un montón de piedras a lo largo de la carretera un extraño objeto marrón. Mantell se dio cuenta inmediatamente del descubrimiento de su esposa: era un diente aplastado de algún animal muy, muy grande. Tuve, hace unos años el placer de tener en mis manos dientes del *Iguanodon* encontrados por D. José María Herrero en Galve (provincia de Teruel) y puedo imaginar el asombro y el desconcierto del doctor y de su mujer. Durante mucho tiempo Mantell atribuyó el descubrimiento a Mary pero años más tarde, después de separarse de su mujer, intentó inexplicablemente quitarle el descubrimiento.

La segunda versión, mucho más prosaica, pero quizá más cercana a la verdad es debido al historiador Dennis Dean. En su libro *Gideon Mantell and the discovery of the dinosaurs* (1999) Dean defiende la hipótesis que en realidad el diente fue enviado a Mantell por el minero Leney alrededor del año 1819. Aprovecho la oportunidad para recomendar fuertemente este libro a las personas interesadas en los aspectos históricos de la Dinosauriología, una verdadera obra de excavación bibliográfica. Aunque Mantell era un hombre muy metódico y meticuloso no consta nada - que yo sepa - sobre el descubrimiento del primer diente de *Iguanodon*. El lector ya se habrá dado cuenta que una historia de menos de 200 años y a pesar de toda la documentación disponible, todavía no es posible precisar tal hallazgo.



Grabado del libro de G. Mantell *Illustrations of the Geology of Sussex* (1826). La parte superior de la figura nuestra algunos ejemplares de dientes de *Iguanodon*.

Este diente traería mucho dolor de cabeza a nuestro doctor. Primero pensó que podría haber pertenecido a un mamífero, quizá un hipopótamo o un

rinoceronte. Sin embargo, estaba seguro que fue encontrado en sedimentos de la Era Secundaria y eso eliminaba dicha hipótesis. Por otro lado, el diente no se parecía a ningún diente de ningún animal conocido. Por aquella época se aplicaba la Anatomía Comparada, desarrollada en París por Cuvier. Pero para aplicarla era necesario encontrar un congénere actual y era justamente este el problema de Mantell: no encontraba la media naranja del oscuro diente marrón en la fauna actual. De hecho, esa sería la piedra en el zapato de los primeros paleontólogos de dinosaurios: estos no se parecían a nada que se conociera.

Tampoco los demás fósiles que poseía ayudaban mucho. Eran trozos de fémures, tibias, clavículas, etc. que formaban tal revoltijo que difícilmente se podía extraer alguna información relevante de ellos. Las piezas dentales, sin embargo, ofrecían algo más de datos. Se diferenciaban bien ya que unos eran curvos, aplastados lateralmente y poseían dentículos como cuchillos de cortar carne e indudablemente pertenecían a un carnívoro, mientras los otros (parecidos al encontrado por su esposa) estaban desgastados, como los de un animal herbívoro. El tamaño de estas piezas era, no obstante, lo que realmente llamaba la atención. Si uno añadía el tamaño de los huesos al tamaño de los dientes, el animal resultante sería simplemente enorme.

Una pista inesperada vino por parte de un amigo de Mantell, Charles Lyell, quien le informó que en Oxford el reverendo William Buckland estaba también enfrascado en entender los fósiles de un gigantesco animal encontrados en Stonefield, que más tarde sería denominado *Megalosaurus*. A diferencia de Mantell, Buckland poseía la mandíbula del animal. Los orificios donde se encajaban los dientes eran típicos de reptiles. Se veía adheridos a la mandíbula, además de grandes y afilados dientes, piezas de pequeño porte, lo que indicaba que eran dientes de sustitución, característica de los reptiles. A diferencia de los humanos que solo tenemos dos denticiones, los reptiles van sustituyendo los dientes a medida que se desgastan o se rompen.

Había muchas semejanzas entre algunos de los fósiles de la colección de Mantell y aquellos estudiados por Buckland. Sin embargo, el dichoso diente marrón – que era casi un muñón tan desgastado estaba – no tenía punto de comparación. Una idea empezó a circular por la cabeza de Gideon. Y ¿si se trataba de un reptil gigante herbívoro? Un concepto absolutamente novedoso y atrevido.

Las piezas de puzzle todavía no encajaban pero las siluetas empezaban a tomar formas un poco más claras. Bueno, ¿sería aconsejable publicar los resultados? Es seguro que a Mantell le apetecía publicar sus hallazgos,

entre otras razones, por garantizar la primicia. Él estaba en posesión de fósiles del *Megalosaurus* igual que Buckland. En mi opinión, él se frenó por no tener respaldo de entidades científicas como las que Buckland tenía atrás de sí: la prestigiosa Universidad de Oxford y otras entidades y también por *respeto*, por no atropellar la labor del reverendo. Quizá esta obligada generosidad (y por que no decirlo, humildad debido a su posición social) estuviera motivada también por el enigmático diente marrón, que a fin de cuentas, era un as en la manga de Mantell. Un gran lagarto carnívoro desde luego era algo muy novedoso y espectacular pero un gigantesco lagarto herbívoro sí que era un verdadero bombazo. De todas formas, como veremos un poco más adelante, el asunto de las primeras publicaciones sobre los grandes saurios todavía daría mucho que hablar.

Finalmente, en 1822, Mantell publicó *Fossils of South Downs*. Es un libro bien escrito y esencialmente bien estructurado ya que empezaba con una descripción de los estratos. Describe también los restos del *Megalosaurus* y como no, del gigante herbívoro. En mi opinión, esta es la primera publicación seria y consciente sobre dinosaurios. Dicho de otra forma, considero a G. Mantell como el primer investigador capaz de describir con detalle restos de dinosaurios.

No sólo se desprende del libro su carácter pionero; su generosidad y respeto hacía Buckland queda patente cuando escribe "*la piedra caliza de Stonefield es muy celebrada por sus extraordinarios fósiles que no han sido todavía publicados*". Buckland, sin embargo, no obró con igual entereza y honestidad, como veremos en los próximos párrafos. La historia oficial y parte del staff paleontológico concede a Buckland el privilegio de ser el primero en describir a un dinosaurio a pesar de que éste publicó sus estudios sobre el *Megalosaurus* en 1824. Es cierto que Mantell en 1822 no tenía elementos para clasificar los restos fósiles de su colección pero tampoco Buckland hizo mucho más en 1824 – aparte de nombrar el animal – que nuestro doctor. Mantell no buscó la disputa, al contrario siempre actuó de buena fe porque, supongo, consideraba su herbívoro lo suficientemente novedoso y espectacular para garantizarle un lugar de honor en el colectivo científico inglés.

Poco tiempo después, Mantell se desplazó a Londres para asistir a una reunión de la Geological Society y llevó consigo el diente marrón. Quizá buscando un respaldo oficial a su hallazgo, pidió la opinión de los *expertos* que casi por unanimidad decidieron que el diente o pertenecía a un pez o a un gran mamífero. El problema mayor provenía del hecho de que dudaban de que los estratos de Tilgate, donde fue encontrado el diente, pertenecían a la Era Secundaria. Los restos fósiles de grandes mamíferos eran

encontrados por encima de los estratos pertenecientes a la Era Secundaria y por lo tanto interpretaban los sedimentos de Tilgate como mucho más modernos. Además, estos estratos estaban situados muy cerca de la superficie, lo que indicaría un origen más moderno. La intuición de Mantell en este aspecto fue asombrosa: él pensaba que tales sedimentos eran realmente secundarios pero que por erosión habían quedado al descubierto. Pero tenía que demostrarlo y los *expertos* tardaron mucho en convencerse. La Geological Society tardó muchísimo en aceptar – quizá retrasando adrede – las observaciones de Mantell sobre las rocas del Weald.

Una inesperada oportunidad para dilucidar el misterio de la pieza dental del herbívoro surgió de un viaje que realizó Lyell a Paris. Mantell le rogó que se llevara consigo el diente desgastado para enseñárselo al mejor anatomista de la época, Cuvier. Este diagnosticó que la pieza pertenecía a un rinoceronte. Desde luego que este veredicto decepcionó enormemente a Mantell.

Entretanto, en febrero de 1824, Buckland presentó el *Megalosaurus* ante la Geological Society. Mantell, que se encontraba presente, hizo algunas observaciones a respecto del carnívoro. Sin embargo, para seguir fiel a la tradición de trabar las informaciones adicionales aportadas por personas de rango social más bajo, los resúmenes publicados por la Geological Society no recogen las observaciones de Mantell. Quizá sea útil informar al lector como funciona el sistema de publicaciones científicas. El autor envía su artículo al editor de una revista especializada, quien luego lo envía a varios árbitros que después de un minucioso examen, deciden si el trabajo debe o no ser publicado. La mayoría de las veces los árbitros sugieren cambios antes que el artículo sea definitivamente aceptado para publicación. Entiendo el desencanto y decepción de Mantell porque a mí mismo me ha pasado algo similar. Hace unos diez años, envié un artículo cuyo árbitro lo aceptó pero iba retrasándolo dando argumentos poco convincentes como el aspecto de una determinada figura, o reducir el contenido de alguna sección que luego pedía que fuera más amplio. Además, se retrasaba mucho en contestar a mis réplicas. Por suerte, el editor se percató de que dicho árbitro estaba trabajando en el mismo tema que yo y que probablemente estaba actuando de mala fe y cortó por lo sano. Mantell no tuvo esta suerte.

Volviendo a Buckland, parece ser que él no solo impidió que salieran publicadas las observaciones de Mantell usando su influencia sino que también intentó apropiarse de ellas. Como en mi caso, el presidente de la Geological Society envió una carta de reprimenda al reverendo. Buckland, entonces actuó forzosamente con gentileza y reconocimiento hacía Mantell. En casi todos los libros sobre dinosaurios, los autores pasan de largo las

maniobras de Buckland, centrándose más en atribuirle el honor de haber sido el primero en describir un dinosaurio, hecho que pongo en duda por las razones puramente cronológicas expuestas en párrafos anteriores. De todas formas, aunque el presidente de la Geological Society impidió la piratería de Buckland, las observaciones de Mantell no fueron publicadas.

Una pieza más fue añadida al enigma del gigante herbívoro: una especie de cuerno, que venía a reforzar la idea (obviamente falsa) que se trataba de un rinoceronte. Más tarde, con el descubrimiento de docenas de ejemplares completos de *Iguanodon* en Bélgica, dicha interpretación fue refutada: se trataba de un espolón del primer dedo de la mano y no de un cuerno.

Mantell fue reuniendo nuevos ejemplares de dientes de su gigante herbívoro, algunos no desgastados, y que presentaban pequeñas sierras en el esmalte. El patrón de la dentición parecía claro: los dientes jóvenes se iban desgastando – y las sierras desapareciendo – hasta transformarse en un diente absolutamente gastado, con facetas de desgaste bastante acentuadas, que serían sustituidos por otros, como en los reptiles. Animado por este nuevo arsenal, Mantell volvió a consultar a Cuvier. De esta vez, el veredicto del anatomista fue diferente y esperanzador: *¿Nos encontramos ante un nuevo animal, un reptil herbívoro?* Este fue el resumen del juicio de Cuvier. La idea de Mantell de que los bosques secundarios de Tilgate eran habitados por un reptil gigante herbívoro fue finalmente aceptada debido al respaldo de Cuvier, quien tuvo que admitir que un humilde médico rural le corrigiera. Al visitar el Hunterian Museum en Londres, Mantell buscó en las colecciones depositadas allí algún diente de reptil que le diera una pista. Después de revisar los diversos cajones, el ayudante del conservador, Samuel Stutchbury, dio con la clave. Como acababa de preparar un ejemplar de una iguana, advirtió la semejanza entre los dientes de este reptil y las piezas dentales del gran herbívoro. ¡El *Iguanodon* empezaba a revelarse!

Con el soporte de Cuvier, el documento de Mantell sobre el *Iguanodon* fue presentado en la Royal Society. Reconocía las muchas dificultades de interpretación debido a la escasez de restos fósiles: *“Hasta que no se descubra una parte unida del esqueleto, es muy difícil distinguir unos huesos de los otros. Como no se han encontrado dientes del Iguanodon en las pizarras de Stonefield, quizá algunos huesos del bosque de Tilgate semejantes a los descritos por el profesor Buckland pueden ser atribuidos al Megalosaurus, mientras otros quizá puedan ser asignados al Iguanodon. ...los dientes debieron pertenecer a un individuo de unos dieciocho metros de largo”*.

La amistad entre Mantell y Lyell generó una correspondencia realmente copiosa e interesante. Hace unos años conseguí una copia de la tesis doctoral de Alan John Wennerbom titulada *Charles Lyell and Gideon Mantell, 1821-1852: Their Quest for elite status in English Geology*. Hay una carta de Lyell dirigida al doctor que resulta enormemente esclarecedora respecto a la situación de Mantell en el mundo de la Paleontología inglesa. Además, ofrece un análisis extremadamente preciso de Lyell respecto al futuro de su amigo: *Me he jurado a mí mismo que acabarás demostrándoles después de muchos años quién eres, y que harás ruborizar la celosa desgana que exhibe la mayoría de los que monopolizan la Ciencia, tanto en Francia como aquí, hacia cualquier cosa que no respire dentro de su atmósfera exclusiva....A partir de este momento decídate a desarrollar una obra general que se titule Reptiles y peces fósiles británicos (Richard Owen lo hizo posteriormente)... el campo es tuyo pero es posible que no permanezca abierto muchos años más.* (De hecho, Owen se apoderó del campo utilizando a veces muy malas artes).

En 1832, Mantell recibió noticias de que una nueva osamenta había sido descubierta en el bosque de Tilgate. Tal fósil presentaba unos osteodermos² que según Mantell recubrirían la piel. Llamó al nuevo animal *Hylaeosaurus* (lagarto del bosque). Hoy día sabemos que este dinosaurio pertenece a una clase de dinosaurios llamada anquilosaurios. ¡Era el segundo dinosaurio de Mantell! ¡Una marca nada desdeñable para un simple médico de pueblo! En la presentación del nuevo dinosaurio, un extraño personaje tomaba buena nota de los maravillosos fósiles de la colección del doctor Mantell, Richard Owen. Parece que la brillante presentación, aliada a la belleza intrínseca de los restos del *Hylaeosaurus* despertaron la codicia y la envidia del ambicioso joven. Veremos en un ensayo aparte como este joven se adueñó del campo, pasando muchas veces por encima de sus adversarios, sin contemplaciones.

Una vez en Brighton, un regalo extra llegó inesperadamente desde Maidstone. Unos canteros habían descubierto una pieza inusual y se lo comunicaron a Mantell que no pudo adquirir la pieza debido al elevado precio solicitado. Sin embargo, un par de amigos de Gideon le compraron el bloque que contenía los restos de un *Iguanodon* y que es conocida como la Mantell-piece. Como curiosidad, en 1949 Maidstone adoptó un *Iguanodon* como símbolo de la ciudad. Midiendo los diferentes huesos contenidos en la Mantell-piece y comparándolos con los huesos de la iguana, Mantell llegó

² Osteodermos: estructura ósea dérmica

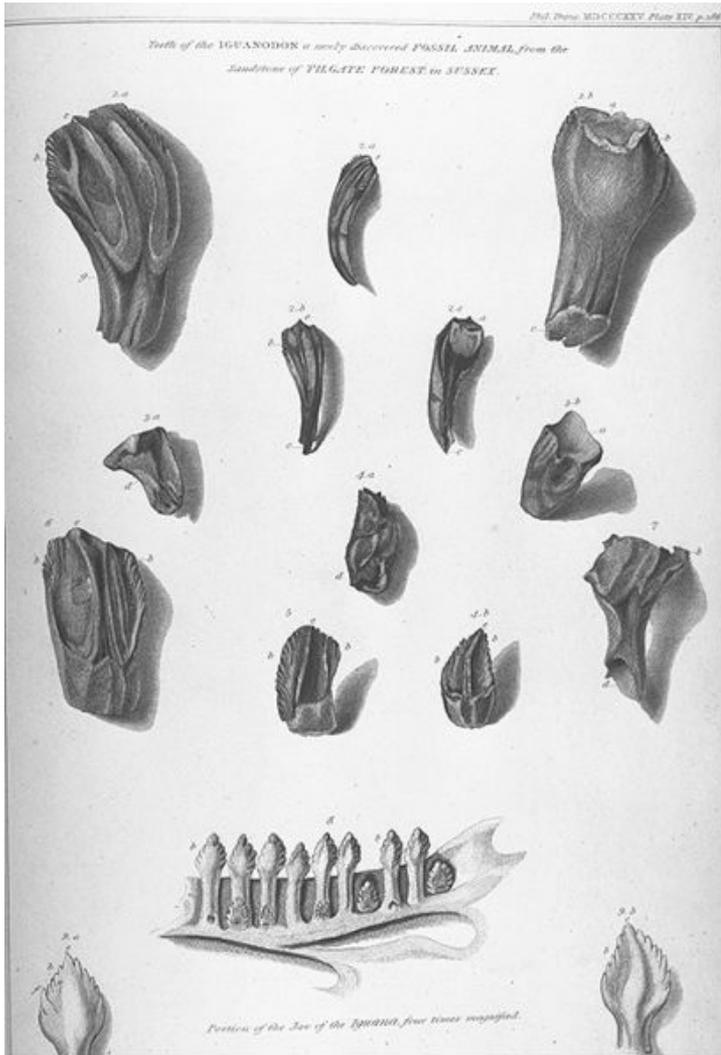


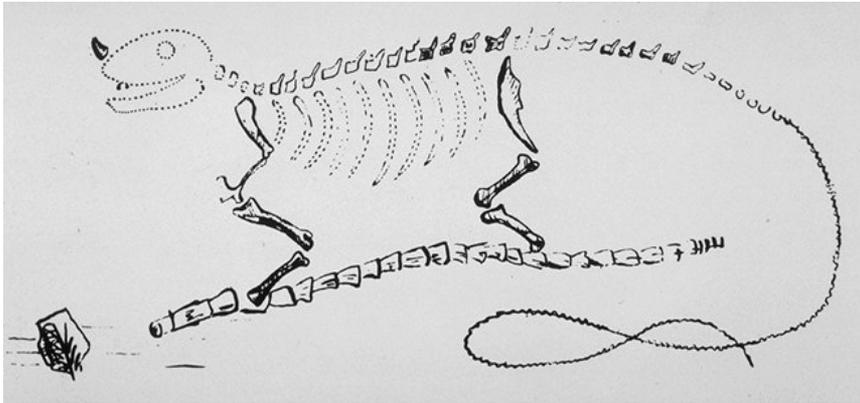
Figura original del artículo del Mantell. Se puede ver en la parte superior dientes del *Iguanodon* con diversos estadios de desgaste. En la parte inferior se puede ver una reproducción de la mandíbula y de los dientes de una Iguana.

a la conclusión que el *Iguanodon* debería medir entre ¡15 y 30 metros! Cifra realmente asombrosa aunque posteriormente el tamaño real sería bastante reducido a raíz de los hallazgos de esqueletos enteros en Bernissart (Bélgica).

Este y sus otros descubrimientos, junto con los concienzudos estudios, le valieron a Mantell la medalla de la Geological Society, la misma entidad que le había negado la publicación de sus observaciones años antes. Por otro lado, la vida familiar de Mantell iba deteriorándose a pasos firmes, siendo abandonado por su esposa. Por si fuera poco, los problemas de orden financiero también empezaban a amenazar la poca paz familiar. Solo encontraba consuelo en su hija Hannah Matilda y en la correspondencia con el paleontólogo norteamericano Benjamin Silliman.



La Mantell-piece



Reconstrucción del *Iguanodon* por G. Mantell.
Note el cuerno que, posteriormente, se demostró
era un espolón del primer dedo de la mano. Esta
fue la primera reconstrucción de un dinosaurio.

En Brighton, Mantell llegó a montar un espectacular museo pero que tuvo que cerrarse a pesar de la ayuda de íntimos amigos y de la gran afluencia de público. Además, los problemas financieros indujeron a Mantell a lo que más temía: tuvo que vender su enorme colección de fósiles, *Iguanodon* y *Hylaeosaurus* incluidos. Pero el golpe más duro que sufrió fue la pérdida de su querida hija Hannah Matilda, debido a una infección en la cadera. Mantell la cuidó todo el tiempo pero los medios médicos de la época no fueron suficientes para evitar la tragedia.

En 1841 Owen presentó su informe sobre los reptiles fósiles británicos. Pero lo que muchos historiadores no cuentan es que Owen se apropió de varias investigaciones de Mantell quitándole los méritos tan dificultosamente conseguidos, lo que indignó sobremanera a este. Owen no solo pirateó y menospreció los trabajos de Mantell; también se apropió indebidamente de un descubrimiento de un ser marino, el *Belemniteuthis*, que ya había sido publicado con *anterioridad*. No sólo se apropió indebidamente sino que ¡fue premiado por la sustracción! Curiosamente, uno de los hijos de Mantell descubrió un belemnites que echaba por tierra la *investigación* de Owen sobre el *Belemniteuthis*. Mientras, la vida golpeó de nuevo a Mantell. Vino en forma de un accidente de carruaje que lesionó gravemente su columna vertebral, que a la postre sería la causa indirecta de su muerte.

Los enfrentamientos entre Mantell y Owen eran cada vez más virulentos, tanto a raíz de las mandíbulas del *Iguanodon* como de un nuevo fósil de un reptil que Mantell denominó *Telerpeton elginensis* y que Owen, entrometiéndose otra vez, cambiaría por *Leptopleuron lacertinum*. Con respecto a este asunto, Owen cobardemente ni siquiera compareció a una reunión en la que fue advertido por la Geological Society. Sin embargo, a pesar de los ataques constantes de su antagonista, Mantell descubrió un trozo de la mandíbula que atribuía al *Iguanodon* pero luego llegó a conclusión que pertenecía a un nuevo género de dinosaurio, el *Regnosaurus*. Sus estudios de las vértebras del *Iguanodon* se revelaron sorprendentemente modernos, según la opinión del paleontólogo D. Norman. Además, estudiando las extremidades anteriores de este dinosaurio, se adelantó una vez más al anunciar que estas eran mucho más pequeñas que las posteriores, dato que solo pudo ser confirmado con el hallazgo de esqueletos completos del *Iguanodon* en Bélgica. Sus contribuciones abarcaron también los aspectos ecológicos de dicho animal y fue el precursor del estudio de los nichos ecológicos donde habitaban los dinosaurios. Una aportación más: examinando un húmero (hueso del brazo) encontrado cerca de su ciudad natal, Mantell definió un nuevo género de dinosaurio, el *Pelorosaurus*. Mantell renunció participar en la construcción de unas maquetas, en tamaño real, junto a Waterhouse Hawkins. Parte del staff paleontológico sugiere que Mantell se equivocó al renunciar. Además de los problemas de salud que se arrastraba desde hacía años, creo que Mantell actuó con sensatez. Vacunado en contra los envidiosos ataques de Owen, evitaría más de un disgusto. De hecho, años después, O. C. Marsh se partiría de risa al visitar tales esculturas por ¡lo inverosímil de su ejecución!

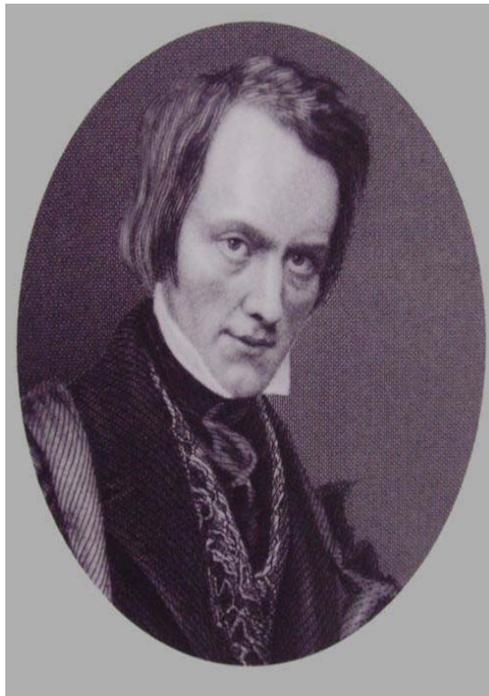
Pero el final de Mantell estaba cerca. Como la dosis de opiáceos ya no le aliviaba el dolor en la columna, tomó una cantidad que le causó un envenenamiento. Murió el día 10 de Noviembre de 1852. No tuvo el descanso merecido. En una esquila aparecida poco después en la *Literary Gazette* un autor anónimo (no tan anónimo) despreciaba ¡todo su trabajo! La autoría no podía ser de otro que de Owen. Su naturaleza vengativa y oportunista actuaba de nuevo. No solo Owen perturbó el descanso eterno de Mantell; este había donado su columna a la Ciencia que fue destruida durante un bombardeo durante la Segunda Guerra Mundial.

Su colección se dispersó y el famoso diente marrón del *Iguanodon* se encuentra ahora en Nueva Zelanda, llevado allí por uno de sus hijos. Y consta en los archivos que parte de sus fósiles vino a parar a Sevilla. Mantell nunca descansó en realidad. Perdió a su familia, perdió a su querida

Hannah Matilda, perdió su museo y su casa, perdió su colección de fósiles, pero jamás perdió los modales y su desmesurado amor a los dinosaurios.

Richard Owen

Las personas ajenas a la ciencia suelen idealizar tanto a los personajes científicos en sí como sus comportamientos. Muchas veces estas idealizaciones están muy lejos de la realidad. No conozco personalmente a ningún científico que haya estado en la cárcel pero conozco a un par de ellos que deberían haber estado y ¡por un buen tiempo! No quiero con eso decir que el este sea el caso de Richard Owen pero casi...



Richard Owen

Owen fue un pésimo estudiante, desde niño. Empezó como aprendiz de cirujano y luego se fue a Edimburgo a estudiar Medicina donde no destacó en nada aunque seguía con interés las discusiones sobre las nuevas ideas

evolucionistas. Se trasladó a Londres siendo nombrado ayudante en el Hunterian Museum. Este nombramiento sería clave en la carrera científica de Owen, como veremos en seguida. Aunque Owen por aquella época no hacía méritos, tenía tras de sí una madre posesiva, impulsora, que le escribía cartas de ánimo y de consejos, algunos no tan buenos pero efectivos. Owen tomó en serio su tarea en el Hunterian Museum y este comportamiento le valió la atención y la simpatía del conservador, W. Clift. Debido a que su madre era francesa y que Owen dominaba el francés le tocó hacer de cicerone del Barón de Cuvier, cuando éste visitó Inglaterra, y eso desde luego le abrió varias puertas, como su madre reconoce en una carta.

Ya establecido dentro del staff científico, Owen utilizaría sus investigaciones sobre anatomía para contraatacar a los evolucionistas. En 1832, Cuvier murió, después de un ataque de apoplejía. Siempre se ha discutido por los historiadores de la ciencia cual sería su heredero, “el nuevo Cuvier”. Owen, obviamente ambicionaba el título, cosa que en mi opinión no tiene sentido: como mucho sería el continuador de la obra cuveriana pero nunca sería un anatomista de igual envergadura que el francés. Sin embargo, muchos paleontólogos y anatomistas de la época pronosticaban que Robert Grant, aunque este era un evolucionista, sería el nuevo Cuvier. Este vaticinio atraería la ira de Owen. Este había sabido elegir sus amistades y seguramente sería un buen adulator lo que le valdría un poder prematuramente concedido y desmedido. Era mejor “maniobrero” que científico. Conozco a diversas personas de mi entorno científico que han seguido caminos similares; una adulación o una buena “amistad” valen más que cien artículos o mil citas. Así camina la ciencia: a veces a trompicones y a empujones.

Por otra parte, Owen maniobraba también desde el punto de vista familiar, seguramente aconsejado por su madre. Empezó a intimar con la hija de Clift, Caroline, pero se enfrentó con un escollo inesperado: su futura suegra que ansiaba un futuro mejor para su hija. Pero un hecho trágico aproximó más a Owen a la familia Clift: el único hijo William, sufrió un desgraciado accidente y fue atendido por Owen. Dada la naturaleza de las heridas, Owen no pudo hacer nada. El desconsuelo de la familia fue inmenso. Poco a poco, Owen se fue adueñando de la situación y acabó por servir como una especie de sustituto del malogrado William. Acabó por casarse con Caroline, a pesar de la oposición de su suegra. Poco después, fue nombrado “profesor hunteriano”, lo que le garantizaba el acceso a diversos y exóticos animales a los cuales sometía a concienzudas autopsias.

Armado y protegido, Owen se dispuso a atacar a su rival, Grant, impidiéndole su entrada en la Zoological Society. Se deshizo de su adversario de un plumazo. Owen era además de un gran maniobrista, un sádico. El brillante Grant no se repuso del golpe y acabó dando clases particulares, viviendo en sitios de mala muerte. Parte de los historiadores de la Paleontología no estarán de acuerdo con la acidez con que trato a Owen pero los hechos son los hechos y ocultarlos es simplemente retardar (e impedir) que el gran público se entere de los caminos tortuosos que algunos científicos trillan para conseguir sus propósitos.

Las maniobras de Owen no tenían fin ni límites. Formaba parte de una joven British Association for the Advancement for Sciences (BAAS) que le respaldó – tenían fondos para ello - como responsable de la descripción de los reptiles fósiles británicos. Conste que el suegro de Owen, Clift, ¡formaba parte del comité que le otorgó tal honor! En esta época, Owen tenía un acceso más fácil a la colección de Mantell – que ya la había vendido – que el propio doctor. Se aprovechó de la oportunidad para atacar una vez más a los evolucionistas: *No existe evidencia que pruebe que una especie procede o es el resultado de la transformación de una especie antecesora*. Quizá sea menester aclarar un punto: los evolucionistas de esta época no eran darwinianos y si lamarckianos o seguidores de variantes de estos últimos. Aún tendrían que pasar algunos años para que Charles Darwin entrara en escena.

En 1841, Owen presentó su informe sobre los reptiles fósiles ingleses. Aunque muchos creen que fue en esta reunión en la que él acuñó la palabra *Dinosauria* para designar el *Iguanodon*, el *Megalosaurus* y el *Hylaeosaurus*, el historiador de las ciencias, H. Torrens, probó que la fecha exacta había que situarla en 1842.

Las disputas con Mantell ya fueron descritas anteriormente y no serán repetidas aquí; solo añadir que aparte de la disputa personal entre los dos personajes, la lucha se extendía a las dos instituciones: la Royal Society y la BAAS. A pesar de todas las tretas, Owen también aportó importantes datos relativos a los dinosaurios. Por ejemplo, al estudiar la forma del fémur, llegó a la conclusión que los dinosaurios tenían una postura erecta, con los pies bajo el cuerpo, igual que los mamíferos y por lo tanto eran reptiles *sui generis* ya que no reptaban. Desde luego que esta es una observación de vital importancia y se diferenciaba enormemente de la imagen que Mantell imaginaba. Otra aportación primordial de Owen fue la reevaluación del tamaño del *Iguanodon* que fue reducida a unos nueve metros (la estimación de Mantell era de 15 a 30 metros).

Igualmente importante, Owen se hizo con el sacro de un *Iguanodon* encontrado en la isla de Wight (Mantell se encontraba impedido para desplazarse a la isla). Owen se percató que los sacros del *Iguanodon* y del *Megalosaurus* tenían una característica común: poseían cinco vértebras fusionadas. Irónicamente, Owen se equivocó al no usar su propio criterio – las cinco vértebras fusionadas – al no clasificar el *Cetiosaurus* como un dinosaurio y sí como una especie de lagarto marino. Sin embargo, este y otros errores no quitan el mérito de R. Owen que hizo contribuciones realmente importantes a la dinosaurología.

Pero ¿había algo más detrás de la nueva imagen de los dinosaurios presentada por Owen? Es posible que sí. Según Adrian Desmond (*The Hot-Blooded Dinosaurs*) Owen necesitaba una estirpe de reptiles más evolucionados que los actuales para atacar los argumentos de los evolucionistas. Desmond escribe: ... (Owen) *necesitaba una raza de superreptiles de forma que creó una* (Dinosauria). ¿Por qué Owen necesitaba tal superraza? Para combatir la idea evolucionista de entonces que defendía que había un ascenso y complejidad en la escala de la vida desde los más antiguos especímenes a los más modernos. Como los dinosaurios eran reptiles “superiores”, por su aspecto mamíferoide, a los reptiles actuales, la superraza refutaría tal hipótesis.

Mientras tanto, Owen iba cultivando amistades estratégicas, llegando a codearse con la realeza inglesa. De hecho, fue nombrado tutor de los infantes. Pero no sólo de intrigas vivía Owen. Llegó a sus manos una caja de fósiles procedentes de Nueva Zelanda que contenía los trozos de huesos de una gran ave. Owen, a partir de estos pequeños restos fósiles fue capaz, utilizando la técnica debida a Cuvier, de reconstruirla y adelantó la hipótesis que sería un ave gigante no voladora. Algún tiempo después, llegó como un regalo, otra caja que contenía más fósiles de dicha ave, lo que confirmó la hipótesis de Owen que se trataría de una gran ave no voladora que recibió el nombre de *Dinornis* (conocida como Moa que, por cierto, es un acrónimo de un grupo de astrofísicos con el cual colaboro y que investiga microlentes gravitacionales y exo-planetas). Esta predicción le valió a Owen la admiración del entorno paleontológico inglés. Irónicamente, uno de los hijos de Mantell, Walter, envió a su padre un cargamento de fósiles que, entre otros huesos, contenía algunos del *Dinornis*. Como prueba de buena voluntad y a pesar de las disputas anteriores, Mantell puso a disposición de Owen estos restos fósiles. Sin embargo, Owen no estaba educado para la reconciliación. Se “olvidó” de adjudicar a Mantell diversas ilustraciones, argumentando que era suyas. Fue una vez más advertido pero estas llamadas quedaron siempre sin efecto. Según uno de sus biógrafos, Owen

era un experimentador social con una marcada inclinación hacia el sadismo y la confusión.

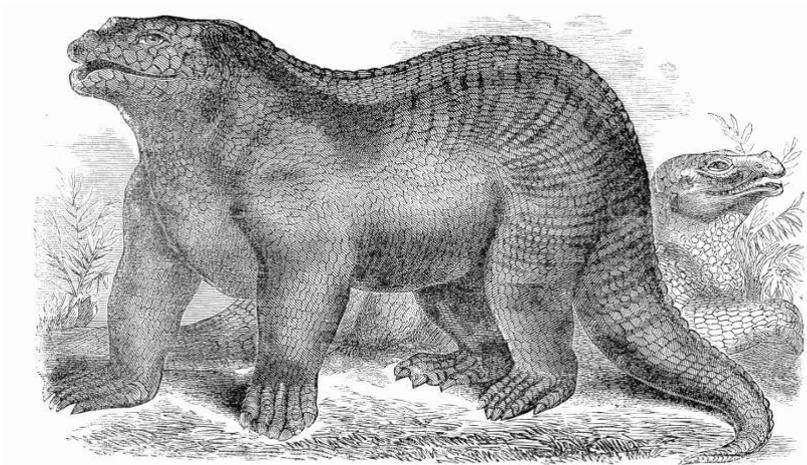


Richard Owen y el esqueleto del Dinornis

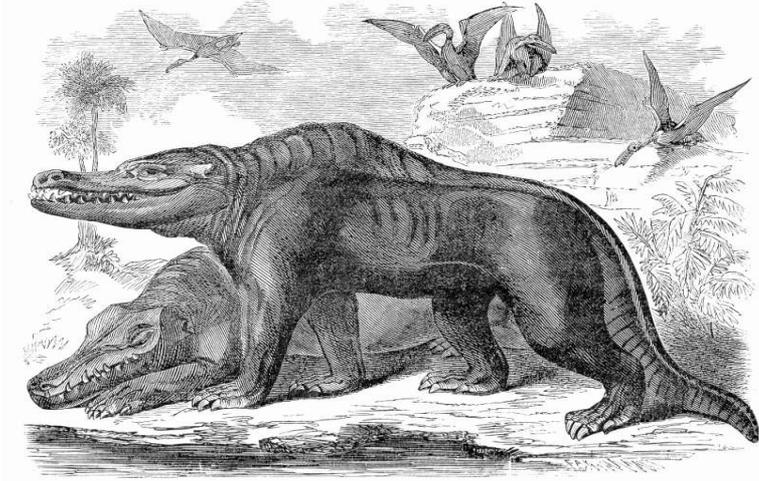
En 1852, Mantell fue invitado por la Crystal Palace Company para ser el consultor de la exposición sobre reconstrucciones de dinosaurios a escala real que esta entidad planeaba llevar a cabo. Por los motivos expuestos en el ensayo anterior, Mantell declinó la invitación. Owen, oportunista como siempre, se hizo cargo de supervisar las reconstrucciones. Es interesante notar que muchos historiadores de la Paleontología han argumentado que Owen corrigió el error de Mantell cuando este confundió el espolón del *Iguanodon* con un cuerno. Sin embargo, la reconstrucción de Benjamin Waterhouse Hawkins supervisada por Owen mantuvo ¡el espolón como un cuerno!



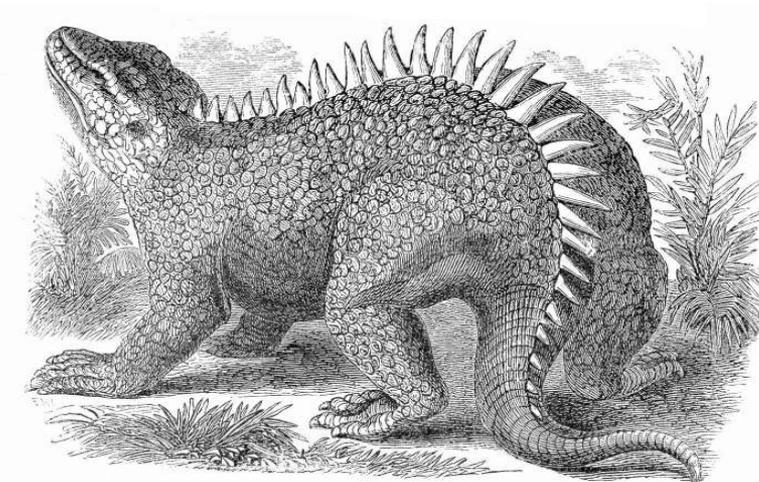
Benjamin Waterhouse Hawkins



Iguanodon, según reconstrucción de Waterhouse Hawkins y supervisada por R. Owen



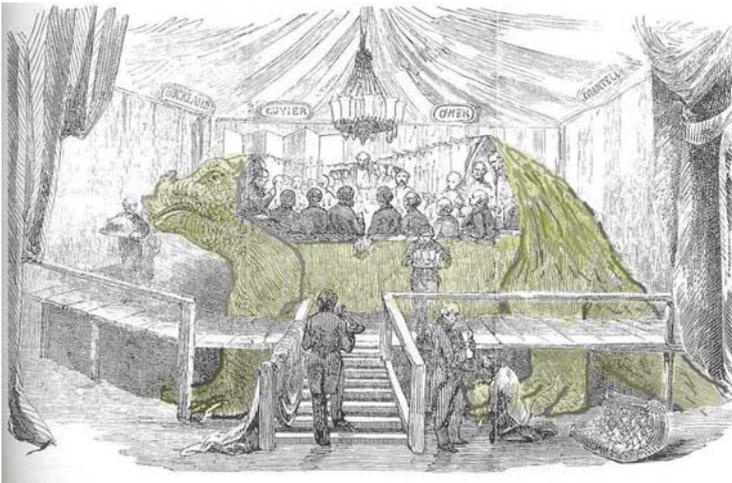
Megalosaurus (mismos comentarios de la Figura anterior)



Hylaeosaurus (mismos comentarios de las Figuras anteriores)



Modelo a escala del *Megalosaurus*
(B. Waterhouse Hawkins)



Cena en el interior del *Iguanodon* organizada
por Waterhouse Hawkins

La exposición fue un verdadero éxito. Las reproducciones a escala fueron ampliamente solicitadas y los grabados en cartulina se vendieron como rosquillas. Las reproducciones en escala real son verdaderas obras de

ingeniería, aparte del toque artístico dado por Hawkins. D. Cadbury (*The Dinosaur Hunters*) describe con detalle la obra de albañilería. El 31 de Diciembre de 1853, Hawkins organizó una cena dentro de la maqueta en tamaño real del *Iguanodon*. Aunque muchos paleontólogos e historiadores de la Paleontología consideran este acto como el no va más de la originalidad, Desmond demuestra que en realidad Hawkins simplemente había repetido lo que hizo su padre años antes con el esqueleto de un mastodonte, encontrado en Norteamérica. Lo único que recordaba a los verdaderos pioneros de la Dinosaurología eran unas pequeñas placas con los nombres de Mantell, Buckland, Cuvier y... Owen, ¡cómo no!

Pero el poderío de Owen empezaba a declinar. Aparecieron en escena dos personajes brillantes y que fueron antagonistas férreos del anatomista: Charles Darwin y Thomas Huxley. Este último, a diferencia de Darwin que, inexplicablemente se aisló, entabló memorables batallas contra los creacionistas capitaneados (o manipulados) por Owen. Richard Owen había encontrado la horma de sus zapatos – ¡de los dos! Las derrotas en varias ramas de la Paleontología se sucedían: el origen del hombre, la descripción del *Archaeopteryx*, la descripción de un nuevo genero de dinosaurio (*Hypsilophodon*) que Owen insistía que era un *Iguanodon*, etc. Todo eso sin contar las luchas políticas en torno al poder. Una tragedia vino a dar el tiro de misericordia a Owen: su hijo se mató tirándose al Támesis. Los motivos del suicidio todavía no están claros. Owen había tocado fondo. Ya no contaba para el staff paleontológico. Un profesor de Oxford le tildó de *un condenado mentiroso. Mintió por Dios y por malicia. Un mal tipo.*

Un señor de Galve

El lector ya habrá notado mi fuerte afición a la paleontología, y en particular, a los dinosaurios. La historia de Mary Anning, una joven inglesa recolectora de fósiles en las costas de Inglaterra o la historia de Gideon Mantell, igualmente inglés, me fascinan. La lucha sin par de estos dos personajes en los inicios del siglo XIX fue realmente impactante aunque no totalmente reconocida. Mary, que sustentaba la familia vendiendo fósiles³ que encontraba en los acantilados de Lyme Regis a veces con alto riesgo, terminó su corta vida consumiendo grandes cantidades de alcohol que ingería como sedante barato a los atroces dolores provocados por un cáncer de pecho. La vida de Mantell no fue menos azarosa; era médico y de hecho fue, según consta en diversas fuentes, haciendo una visita acompañado por su mujer a un enfermo, cuando ella encontró el primer diente del *Iguanodon* (ver los apartados correspondientes a estos dos importantísimos personajes).

¿Qué tienen en común estas dos personas, aparte de ser ingleses y aficionados a la paleontología? Pues que ambos no eran profesionales del ramo. Tenían que buscarse el sustento por otros medios y eso fue lo que de cierta forma los relegó al olvido. Los profesionales de esta época eran personas bien situadas económicamente, que podían dedicarse en cuerpo y alma a la ciencia, sin preocupaciones. La ciencia, como cualquier rama de la actividad humana, está llena de tiburones. Y fueron estos tiburones los que se aprovecharon del trabajo de nuestros personajes. Hoy día se les reconoce el trabajo hecho y hay, incluso, pruebas de que Richard Owen, el omnipresente anatomista inglés, usurpó determinados descubrimientos de Mantell, atribuyéndose a sí mismo tales hallazgos (ver el ensayo específico). Hay que hacer constancia de que Mantell en esta época se hallaba impedido por una fuerte deformidad en su columna vertebral debido a un accidente, como se ha visto anteriormente.

Por estos y otros motivos me encantaría haber conocido a Mantell y Mary Anning. Obviamente, eso no es posible. Pero me ocurrió algo que mitigó bastante esta mi sed de conocer a unos verdaderos “cazadores” de dinosaurios. Y por increíble que pueda parecer, no tuve que moverme demasiado; mejor dicho, encontré a un “cazador” de dinosaurios en Galve (provincia de Teruel), en Aragón. Al visitar el museo paleontológico del pueblo en la primavera del 2005, conocí a un chico, Jesús Herrero, que además de simpático y competente, me propuso entablar conocimiento con

³En esta época no había legislación específica sobre los fósiles y estaba permitido venderlos. La legislación actual varía de país a país.

una persona muy especial. Primera buena señal: un pequeño pueblo (creo que tiene como unos 200 habitantes) posee un museo ejemplar no sólo por la calidad de sus piezas, sino también por como están expuestas, así como por la cortesía de su personal. Aunque un poco apremiado de tiempo, Jesús nos llevó para conocer al dicho “cazador”, que al final de cuentas era su padre (José María Herrero). Y entramos en su casa, temiendo ser indiscretos (era la hora de la comida) pero empujados por las ganas de conocerlo. Segunda buena señal: este señor nos recibió como si fuéramos viejos amigos. Decidimos volver con más tiempo. Y volvimos en el verano del 2005.

Cuanto más conocía a José María Herrero, más le admiraba. Su genuina sencillez, su sabiduría con pátinas de nobleza, su sed incansable por saber, su apasionada visión de la vida (pasada y presente) son realmente cautivadoras. Pero José María no es solo una persona entrañable. Desde pequeño recogía fósiles, mientras trabajaba el campo. Recogía restos de vida petrificados que esperan aun para ser estudiados, revelando parte de la historia de la vida. Sigue recogiendo piedras cuando se hace adulto, mientras lucha para sacar adelante a su familia. Era el “cazador” de dinosaurios que yo añoraba conocer. Me fui dando cuenta de los tesoros que había desenterrado según me enseñaba tranquilamente las diversas vitrinas del museo local, que lleva su nombre. Me explicaba con pormenores los detalles de cada descubrimiento. El *Aragosaurus*, el primer dinosaurio realmente definido en España, fue un descubrimiento suyo; el *Galvesaurus* también. Y montones de otros dinosaurios de menor porte, tanto carnívoros como fitófagos, son obra suya. Y hay restos fósiles de cocodrilos, de tortugas, de reptiles voladores (pterosaurios), etc. José María no solo dio a la paleontología española dos nuevas especies de dinosaurios; varios mamíferos primitivos, los llamados micromamíferos, también fueron descubiertos por el.

Años y años arrancando de la tierra los secretos que ella todavía insiste en guardar. Su gusto por la paleontología lo ha pasado a varios de sus hijos y era una delicia hablar con Jesús y Luis, entre tazas de café, de dinosaurios, de anatomía, de cladística, del origen de las aves y su conexión con los dromeosaurios. Fui aprendiendo con ellos el arte de la construcción (son los responsables de la restauración de un precioso puente medieval en la chopera de Galve), el arte de ser científico sin presumir, de ser curioso sin alarde.



Fósiles del Aragosaurus. El fémur mide alrededor de 150 cm (Museo Paleontológico de Galve).



José María Herrero Marzo en su laboratorio particular (Galve).

Y a José María unos le llaman despectivamente aficionado o amateur. No me gusta mucho estos dos términos, aunque reconozco que no encuentro un buen sustituto para ellos. Para mí, José María Herrero no es un aficionado local, como algunos, quizá dolidos por su éxito en “cazar” dinosaurios, le tildan. José María es un científico que no pudo pasar por la Universidad pero que ejercía y ejerce su función de modo desinteresado y ejemplar. No en vano le buscan paleontólogos de toda Europa, España incluida. Siempre ha puesto toda su colección a disposición de los académicos y dado que han creado en Galve el Museo Paleontológico, estas piezas no corren peligro de una segunda extinción. Por el contrario, están bien protegidas, documentadas, formando un acervo que ya muchos museos gustarían de tener para sí. No son piezas de resina, como lo que se suele ver en los museos españoles, sino fósiles auténticos de dinosaurios y otros animales del Mesozoico que esperan ser estudiados y visitados en su simpático Museo. Tal fantástica colección debería ser objeto de una particular atención por parte de los políticos aragoneses para garantizar su conservación para la ciencia. Muchísimo más se ha gastado por parte del Estado en comprar algunas colecciones de dudoso valor y amasadas, Dios sabrá como.

Me gustaría que el paralelo trazado entre las vidas de Mantell, Mary Anning y José María terminara aquí. Reconozcamos su labor y su dedicación desinteresada a la ciencia. Y a aquellos quienes gustan tildarle de amateur, sepan que un científico no es aquel que vive de la ciencia y sí aquel que se dedica a ella. En este sentido, José María es un científico de pleno derecho.

¡Dientes!

¿Por qué será que los dinosaurios siempre maravillan a las personas y, en especial, a los niños? Una explicación podría ser el renacimiento de los dinosaurios en la década de los 70 del siglo pasado. Los descubrimientos revelaron el parentesco entre los dinosaurios y aves, la posibilidad de que los primeros tuvieran la sangre caliente, nuevas y sorprendentes especies aparecieron, etc. Los dinosaurios pasaron de ser creaturas lentas, pesadas y perezosas a ser considerados animales activos, corredores y rápidos. Pero esto no sería más que una explicación parcial. Ya en el siglo XIX los dinosaurios causaron verdadero furor en la sociedad inglesa y, más tarde en la norteamericana. En esta época no se sabía (aún que algunos intuían) lo que ahora se sabe.

Por otra parte, la cinematografía moderna adaptó (no siempre acertadamente) los recientes descubrimientos a las películas, lo que sin lugar a dudas, dio lugar a que una nueva dinomanía se desatara en todo el mundo. Es cierto que el poder mediático que acompañó el lanzamiento de las películas es algo casi incontrolable y produjo un impacto inmenso sobre la sociedad, pero antes de que todos estos medios estuviesen disponibles, los museos y tiendas ya vendían maquetas y libros sobre dinosaurios en todo el mundo. Tal ataque mediático no inició la dinomanía; si acaso la revitalizó. Creo que está fuera de discusión que los dinosaurios siempre han estado con nosotros, desde que fueron descubiertos, independientemente si hay películas muy promocionadas o no.

Vuelvo a la pregunta inicial: ¿por qué los dinosaurios fascinan? Con relación a los niños, el psicólogo Shep White dio una respuesta bastante lacónica: *Los dinosaurios eran grandes, feroces y están extintos*. Es verdad que esta respuesta se refería a los niños pero creo que es válida para cualquiera. Lo grande siempre fascina y lo feroz siempre cautiva. Lo de la extinción se refiere a que, a pesar de dos primeras características, éstos animales no suponen un peligro. Una combinación perfecta: enormes, agresivos pero inofensivos.

La verdad es que me encanta como los niños pequeños memorizan los nombres complicados de dinosaurios y saben detalles de su biología. En realidad, es una oportunidad que los niños encuentran para superar a los adultos en su propio campo aunque éstos se hallan también influidos por la dinomanía. Tenemos un ejemplo de eso pero en sentido negativo. En la primera película de la saga Parque Jurásico, el nieto del dueño del parque

siempre lleva consigo un libro sobre dinosaurios y discute con el paleontólogo algunos aspectos relativos a los dinosaurios. Este intenta de todos los modos escabullirse. Puede que sea debido a la conocida aversión del paleontólogo, mostrada de forma descarada en el inicio del film, hacia los niños pero también es verdad que cuando el chico cita otras teorías o libros de otros paleontólogos, supongo que eso toca la vanidad innata de cada científico.

Otro aspecto que llama la atención en la interacción niños-dinosaurios es que una encuesta reveló que los que eran aficionados a los dinosaurios, en media, sacaban mejores notas en el colegio. Una cosa es cierta: la afición a los dinosaurios durante la infancia despierta el interés por la ciencia y, en particular, por las ciencias relacionadas con la Dinosaurología, tales como la Biología, la Geología y a veces incluso a la Astrofísica (debido a su relación con la extinción de estos animales). También he notado que hay un interés creciente por dinosaurios no típicos. Por típicos me refiero a los tiranosáuridos, como representantes de los grandes carnívoros o los saurópodos, los mayores animales terrestres que jamás hayan existido. Aunque éstos todavía siguen liderando las preferencias infantiles he detectado – por lo menos en el medio en que me muevo - una redirección a dinosaurios no tan típicos. En casa, tengo el caso de un *Troodon* mientras que el hijo de un amigo mío, Carlos Ramos, prefiere al *Coelophysis*. En ambos casos, se trata de pequeños terópodos⁴ que se caracterizan por ser, según los últimos descubrimientos, animales ágiles y en el caso del *Troodon*, el dinosaurio de mayor capacidad cerebral. ¿Una nueva perspectiva desde el punto de vista infantil o sólo una excepción a la regla general? En mi opinión, creo que se trata de las consecuencias del mayor poder de difusión de la dinosaurología que hoy día no se limita a promocionar los dinosaurios más conocidos. Pero también creo justo adjudicar al propio análisis de los niños el elegir sus dinosaurios preferidos.

También, al hablar con algunos niños, me he percatado que una de las partes de la anatomía dinosauriana que más les impresionaban era la dentición. Si uno examina los dientes de los ejemplares de los *Carcharodontosaurus* o *Tyrannosaurus*, en el caso de los carnívoros, o la enorme cantidad de dientes presentes en los hadrosaurios, comprenderá el porqué. Nos centraremos, pues, en este ensayo a hablar un poco sobre los dientes de los dinosaurios.

⁴Terópodo: Dinosaurio saurísquido (pelvis de saurio), bípedo y normalmente carnívoro.

¿Qué comían los dinosaurios? ¿Cómo eran sus dientes? Evidentemente había dinosaurios herbívoros (fitófagos), carnívoros y omnívoros (comían tanto carne como vegetales). La forma y la disposición de los dientes de los dinosaurios reflejan, de cierta forma, cuales eran sus hábitos alimenticios. En este apartado daremos un brevísimo repaso a los distintos tipos de dientes de estos animales. Como primer punto debemos destacar que los dientes de los dinosaurios eran continuamente reemplazados debido al desgaste y/o la rotura. Por esta razón, si examinamos las mandíbulas y los maxilares de un dinosaurio adulto veremos “dientes de todos los tamaños”. En realidad, la boca de un dinosaurio se parecería, salvando las obvias diferencias, a la de un niño con unos nueve años cuando está en pleno proceso de sustitución de los dientes de leche a los definitivos.

Normalmente en los sedimentos mesozoicos que contienen restos de dinosaurios los componentes más frecuentes son los dientes, debido a que se fosilizan con más facilidad porque su composición química es más estable que la de los huesos. Como vimos en el último párrafo, los dientes de los dinosaurios eran continuamente remplazados y estadísticamente se espera que, en las mismas condiciones de fosilización, éstos contribuyan en un mayor número.

Pero, ¿puede un solo diente dar alguna información sobre su dueño? Recuerde que mientras los dientes de los mamíferos son muy especializados, no pasaba lo mismo con los de los dinosaurios. Por lo tanto, es arriesgado clasificar una especie o género basándose solo en los dientes. Además del problema de la no especialización dentaria, no hay muchos cráneos de dinosaurios en los cuales los dientes estén insertados y que pueden servir como patrones. Aún con estas dificultades, a veces con solo un diente es posible sacar mucha información. De hecho, en muchos casos solo contamos con estos componentes, ya que no se encontraron ni huesos, ni restos indirectos tales como huellas o cáscaras de huevos.

Se estima que la duración de un diente es del orden de un año para terópodos pequeños, mientras para un terópodo de grandes dimensiones, como el *Tyrannosaurus rex*, la duración media de un diente podía superar los dos años. Se espera que los dientes de los carnívoros duren, en media, más que los de un herbívoro (que dependerá del tipo de vegetación que consuma). Los dientes de los hadrosaurios (los llamados dinosaurios pico de pato), por ejemplo, duraban relativamente bien menos tiempo: del orden de unos cuantos meses. Por otra parte, hay que notar que la continua sustitución de los dientes no imposibilitaba a los dinosaurios poder alimentarse.

Si examinamos un diente de un dinosaurio detenidamente, notaremos un patrón de desgaste típico. Hay patrones de desgaste a nivel microscópico también. La única evidencia directa del régimen alimenticio de una especie dada de dinosaurio es encontrar junto al esqueleto restos directos de comida o de heces donde deberían estar sus intestinos. Los coprolitos (heces fósiles) podrían dar alguna información pero frecuentemente es muy difícil asignar un coprolito a una determinada especie o género. Así que el patrón de desgaste es quizá el medio más fiable para determinar, por lo menos cualitativamente, el tipo de alimentos que tomaban (por ejemplo, si los herbívoros consumían plantas tiernas o abrasivas). El desgaste depende también de la posición del diente en la boca, de forma que en muchos casos es posible determinar la posición de un diente: si es inferior o superior o si es del lado derecho o izquierdo. Obviamente, los patrones de desgastes son distintos para los herbívoros y para los carnívoros. El desgaste de los dientes también puede ser usado – junto a mecánica de las mandíbulas – para estudiar el proceso de masticación de cada especie.

Bastante llamativa es la batería de dientes que caracterizan a los hadrosaurios (ver el diente del *Edmontosaurus* en las láminas al final de este ensayo). Si observamos con detenimiento las mandíbulas de uno de estos dinosaurios, notaremos que además del elevado número de dientes (podía llegar a miles), estos estaban dispuestos de tal forma que posibilitaban una masticación muy eficiente, parecida – o quizá superior – a la de los mamíferos herbívoros actuales.

Los dientes de los saurópodos – dinosaurios de largas colas, largos cuellos y herbívoros cuyo representante más conocido es el *Diplodocus* – eran básicamente de tres tipos: tipo lápiz, tipo cuchara o tipo hoja. Antiguamente se pensaba que los dientes del *Diplodocus* solo eran capaces de masticar plantas de textura blanda, lo que aliado a la posición de las narinas (encima de la cabeza), hicieron suponer que este dinosaurio tenía hábitos acuáticos. Además, algunos dinosauriólogos pensaban que la disposición de la patas sería similar a la de los lagartos. Estas hipótesis parecían realmente bien sólidas, ya que si el animal era acuático y si se desplazara como un lagarto, el único hábitat posible – para resolver el problema del inmenso peso – sería el medio acuático. Sin embargo, el descubrimiento de unas huellas de saurópodos en 1938 por Roland Bird aportaba unas medidas de las anchuras entre patas que eran incompatibles con la postura típica de los reptiles.

Por otra parte, tal animal tendría dificultades para respirar si mantuviera solo parte de cuello fuera del agua. Se realizaron unos dramáticos experimentos

en Alemania a inicios del siglo pasado con seres humanos. Robert Stigler llevó a cabo el siguiente experimento: se ataba un voluntario a una tabla, lo sumergían horizontalmente y le permitían respirar a través de un tubo. La respiración se tornaba dolorosa e insoportable a profundidades a más de 90 centímetros ya que la presión sobre los pulmones era muy alta y por añadidura la presión arterial también era muy elevada, pudiendo causar graves lesiones cardíacas. Los saurópodos, si utilizasen sus largos cuellos como tubos respiratorios, tendrían problemas parecidos ya que sus pulmones se encontrarían a profundidades críticas.

El desgaste de los dientes de los *Diplodocus* no indicaba precisamente que éstos consumían vegetación blanda (ver el diente del *Rebbachisaurus* en las siguientes láminas). Los defensores de la teoría de las plantas acuáticas argumentaban que este desgaste aparecía porque los *Diplodocus* raspaban sus dientes en piedras y rocas al alimentarse. Sea como fuere, este tipo de desgaste también podía ser debido a que nuestros animales se alimentaban de plantas abrasivas. Independientemente del tipo de plantas que consumían, una cosa era cierta. ¿Cómo podía pasar la comida necesaria por una cabeza tan pequeña? Una salida a esta paradoja era que estos animales se alimentaban de moluscos bivalvos, mucho más nutritivos. Por añadidura, este tipo de dieta explicaría también el tipo de desgaste de los dientes. Sin embargo, el registro fósil no corrobora tales hipótesis, ya que no se han encontrado las conchas fósiles asociadas a restos de los saurópodos.

Hay otro tipo de “dientes” que están asociados con los saurópodos. Bien, la verdad es que no son propiamente dientes. Los saurópodos engullían piedras que se alojaban en el tracto digestivo, como lo hacen en la actualidad algunas aves; a estas piedras se les llama gastrolitos. No es una tarea simple asociar los gastrolitos con un determinado género o especie. Para ello, es necesario encontrar los gastrolitos asociados directamente con los restos de los esqueletos para evitar confundirlos con las piedras del entorno o transportadas por ejemplo por corrientes fluviales. El primero en hacerlo fue David Gillette que, al estudiar el *Seismosaurus*, encontró cerca de 240 piedras, algunas del tamaño de una manzana. Los gastrolitos ayudarían en la digestión como ocurre con las aves actuales en la molleja. La fricción ayudaría a triturar los alimentos. Otra alternativa, no excluyente, sería que los gastrolitos ayudarían en la mezcla gástrica, facilitando la digestión del material engullido.

En las siguientes láminas hemos dispuesto algunas fotos de dientes de dinosaurios para ilustrar su extraordinaria variedad morfológica bien como su variabilidad con relación a tamaños. Estos dientes pertenecen a nuestra

colección privada, aunque aquí no está dispuesto todo el acervo por razones obvias de espacio. Espero que el lector se deleite con tal variación de tamaño, morfología y colores (en parte debido a la infiltración de algunos minerales). Además del género, damos también la clase de dinosaurio a que pertenecen cada uno de los dientes. La formación geológica también es citada bien como el país de origen y sus medidas.



Rebbachisaurus (Saurópodo) Formación Kem-Kem, Cretácico, Norte de Africa (Marruecos), 5.7 cm. Nótese el desgaste.



Apatosaurus (Saurópodo), Formación Morrison, Bone Cabin Quarry ,Wyoming, USA. 2.1 cm



Bothriospondylus (Saurópodo), Formación desconocida
Jurásico Superior, Madagascar. 2.1 cm



Diplodocus (Saurópodo), Formación Morrison, Bone
Cabin Quarry West, Albany County, Wyoming, USA. 2 cm



Camarasaurus (Saurópodo), Formación Morrison,
Big Horn Basin, Wyoming, USA. 8.9 cm



Edmontosaurus (Hadrosaurio) Formación
Hell Creek, Cretácico Superior, Condado de
Carter, Montana, USA. 2.4 cm



Dromaeosaurus (Terópodo), Formación Hell Creek, Cretácico superior, Butte County, Dakota del Sur, USA. 1.2 cm



Saurornitholestes (Terópodo), Formación Judith River, Cretácico superior, Norte de Montana, USA. 0.6 cm



Deltadromeus (Terópodo), Formación Kem-Kem, Cretácico, Marruecos. 1.6 cm



Troodon (Terópodo) Formación Hell Creek, Cretácico Superior, Carter County Montana, USA. 0.4 cm



Bahariasaurus (Terópodo), Formación Tegana, Cretácico, Taquiz, Marruecos. 2.7 cm



Allosaurus (Terópodo), Formación Morrison, Jurásico Superior, Bone Cabin Quarry, Wyoming, USA. 5.0 cm. Nótese que se conserva parte de la raíz.



Spinosaurus (Terópodo), Formación Baharija, Cretácico medio, Marruecos. 14.0 cm y 5.3 cm, respectivamente.



Nanotyrannosaurus (Terópodo), Formación Hell Creek, Cretácico superior, Carter County, Montana, USA. 2.9 cm



Carcharodontosaurus (Terópodo), Formación Taouz, Cretácico medio, Marruecos. 11.0 cm y 2.1 cm, respectivamente.

Rara avis

Cuando uno observa algún tipo de pájaro en el campo, o menos bucólicamente, “observa” con el estómago un pollo asado, casi seguro que no piensa en la historia evolutiva de estos animales. Y quizá piense menos en las conexiones que puede haber entre las aves y un tipo determinado de dinosaurios, los terópodos.

La historia de esta relación se amalgama con la historia de la gran guerra entre los creacionistas y los evolucionistas. Los primeros, a título de mofa, desafiaban a los evolucionistas con relación al eslabón perdido (the missing link), primordial para demostrar la teoría de la evolución: *Desafiamos a cualquiera, de mister Darwin para abajo, que nos muestre el eslabón entre el hombre y el pez. Que capturen una sirena y así encontrarán el eslabón perdido.* Tal prematuro desafío se vería ampliamente cumplido cuando se descubrió una pluma en las canteras de la ciudad de Solnhofen, Baviera. Debido a que la litografía estaba de moda, estas canteras eran extensivamente exploradas dada la calidad de su caliza, de grano muy fino y muy utilizada en artes gráficas. El primer pterosaurio fue descubierto también en estas calizas. Estos sedimentos fueron formados hace aproximadamente 140-160 millones de años y el descubrimiento de una pluma retrasaba la aparición de las aves a por lo menos 140 millones de años. Dicha pluma, que solo medía unos seis centímetros de largo, estaba espléndidamente conservada y fue descrita por Hermann von Meyer aunque éste fue bastante escéptico al principio, recelando quizá un fraude. Curiosamente, y de cierta forma proféticamente, escribió: la pluma *no tenía necesariamente que provenir de un ave.*

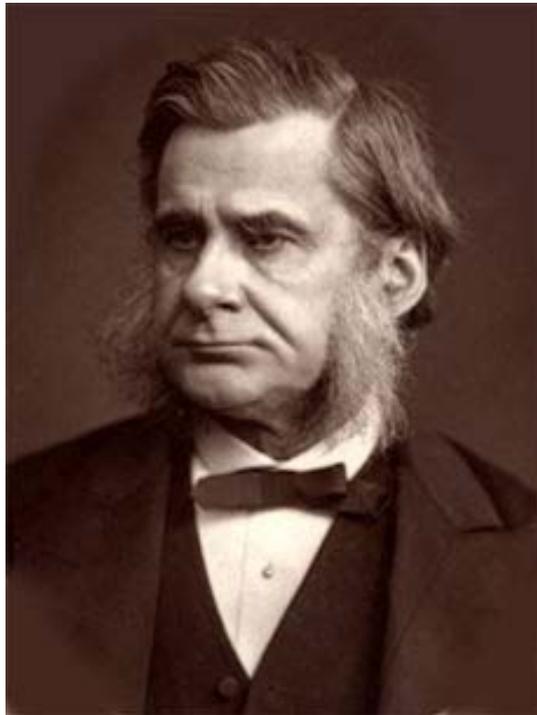


Pluma de *Archaeopteryx*

Pero eso no fue todo. Poco tiempo después, en las mismas canteras, fue descubierto un esqueleto acéfalo con claras impresiones de plumas pero de características muy extrañas que recibió el mismo nombre de la pluma: *Archaeopteryx litographica*. La historia de este fósil no fue tan lineal como uno esperaría. Un médico local, Karl Häberlein se hizo con el fósil, quizá como pago de sus servicios. Como médico, advirtió luego el valor (científico y monetario) del fósil dado que *El origen de las especies* de Darwin había sido publicado unos dos años antes. Esgrimió que necesitaba el dinero para la dote de una de sus hijas. Hubo varias pujas por el *Archaeopteryx* que fue finalmente adquirido por el Bristish Museum y fue a parar en manos de R. Owen quien no supo sonsacarle todos los secretos. Andreas Wagner, como anticipándose a la utilización que los evolucionistas harían del fósil, intentó de todas las formas posibles quitarle las características mixtas del ave, llegando a cambiarle el nombre a *Griphosaurus problematicus*. Las características que Wagner intentó “ocultar” eran la larga cola de reptil, tres dedos con garras en las manos, costillas y vértebras reptilianas. Tanto Wagner como Owen se centraron más en la existencia de las alas para su decisión final: la criatura era un ave.

Algunos años más tarde, otro ejemplar más completo (con cráneo) del *Archaeopteryx* fue desenterrado en las mismas canteras. Irónicamente, este ejemplar también fue parar a manos de la misma familia, de esta vez del hijo del Dr. Karl. Hubo un verdadero problema con este espécimen porque un paleontólogo revolucionario socialista, Karl Vogt, criticó ferozmente la actitud de las autoridades alemanas por su falta de interés en adquirir el fósil. En sus palabras: *Su Majestad* (se refería al Kaiser Guillermo I) *no quiere participar en esta discusión. Ojalá se tratara, en lugar de un ave, ¡de un cañón o un fusil petrificado!* Quizá estas y otras acidas críticas indujeron al industrial von Siemens a comprarlo (para revenderlo luego a la Universidad de Berlín). Desde entonces se han encontrado algunos especímenes más de *Archaeopteryx*. Uno de los más llamativos descubrimientos se debe a John Ostrom. Éste se encontraba en el Museo Teyler, Harlem, Holanda y al examinar un fósil que hasta entonces era asignado a un pterosaurio, se dio cuenta que algunas características eran más típicas del *Archaeopteryx* que de un pterosaurio. Como el ejemplar provenía de las mismas canteras, decidió inspeccionarlo con más detenimiento y descubrió ligeras impresiones de plumas. Seguramente este examen fue crucial para que el Museo Teyler pueda hoy día presumir de poseer un de los pocos ejemplares de *Archaeopteryx*.

El ejemplar de Berlín poseía cabeza; y en su maxilar se podían ver unos dientes. Un ave con ¡dientes! Mientras solo el ejemplar de Londres estaba disponible, los creacionistas todavía insistían que el *Archaeopteryx* era un ave común. El primero en apuntar las notables semejanzas entre las características del *Archaeopteryx* y de los terópodos fue el paleontólogo norteamericano, Edward D. Cope. Cope, aunque evolucionista, no aceptaba la selección natural como mecanismo de la evolución. Sin embargo, fue en las manos (y en la cabeza) de Thomas Huxley donde el *Archaeopteryx* empezó a tener una importancia capital. De hecho, se le considera a este fósil como el más significativo de todos los tiempos e introdujo los dinosaurios en las discusiones relacionadas a la evolución.



Thomas Henry Huxley



Archaeopteryx litographica, espécimen de Berlín.
Replica realizada por el autor y expuesta en la
exposición *Dinosaurios Carnívoros* en el Parque de
las Ciencias de Granada (2003-2004).

Adversario acérrimo de R. Owen, Huxley lo derrotó en varios campos de la paleontología tales como el origen del hombre, la interpretación del *Archaeopteryx*, la descripción del *Hypsilophodon* – que Owen interpretó con un ejemplar juvenil del *Iguanodon* –, etc. Famoso también por la disputa con el obispo Samuel Wilberforce. Este último en un *alarde* de ingenio, le preguntó a Huxley si él descendía del mono por parte del abuelo materno o paterno, a lo que nuestro personaje contestó con la frase antológica: *Si se me pusiera ante la disyuntiva de elegir entre tener por abuelo a un miserable mono o a un hombre altamente dotado por la naturaleza y que*

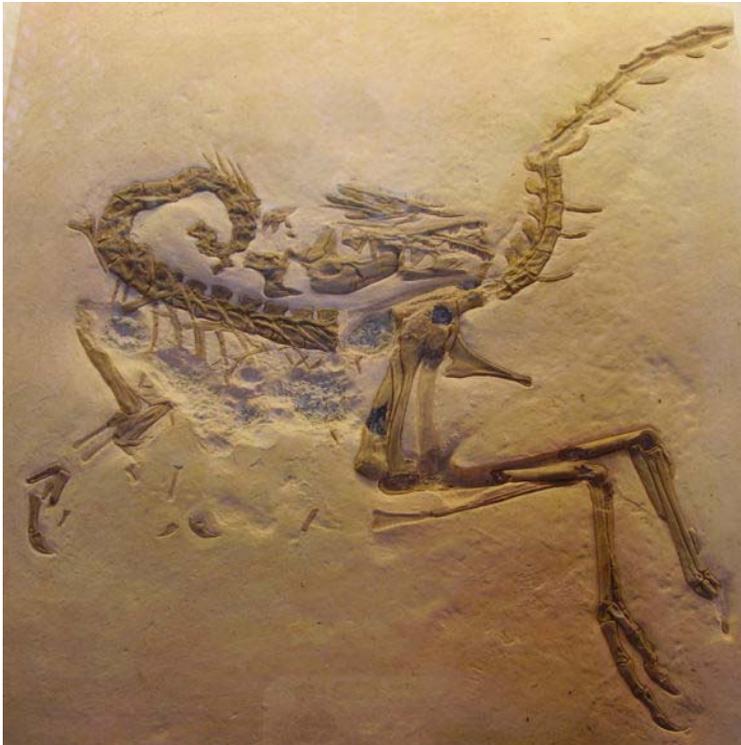
poseyendo grandes medios e influencia empleara estas facultades y esa influencia para introducir el ridículo en una discusión científica seria, afirmo, sin vacilación, mi preferencia por el mono. Aunque esta historia tiene un tanto de apócrifa, es muy probable que algo parecido haya tenido lugar en Julio de 1860. Huxley también introdujo el concepto de agnóstico, que caracteriza a la persona que declara inaccesible a la inteligencia humana el conocimiento de las cosas divinas. La fama de la familia Huxley se extendió hasta el siglo XX a través de sus nietos: Aldous Huxley, autor de entre otros de *Un mundo feliz*, Julian Huxley y Andrew Huxley, este último ganador del Nobel de Medicina en 1963.

Pero volvamos a la conexión aves-dinosaurios. Huxley encontró cerca de catorce características anatómicas que relacionaban los dinosaurios y las aves. De particular interés en este aspecto, fue el terópodo descrito por Wagner en 1861, el *Compsognathus*. Las semejanzas eran tantas que uno de los ejemplares de *Archaeopteryx* fue durante años confundido con este dinosaurio. Sin embargo, se debe admitir que ambos son coevos y por lo tanto, uno no puede ser descendiente del otro. Por otra parte, como un buen ejercicio de anatomía, invito al lector la próxima vez que tome pollo, que se fije en los huesos y busque un libro sobre dinosaurios donde se pueda comparar con el esqueleto de un dromeosaurio, por ejemplo. El lector se sorprenderá seguramente.

La hipótesis de Huxley cayó en desuso con el tiempo. En la década de 1920, un especialista en aves, Gerhard Heilmann escribió el influyente libro *The origin of the Birds* que seguía más o menos la misma línea de Huxley, o sea, que los dinosaurios dieron origen a las aves. Sin embargo, un simple hueso le hizo cambiar de idea: la clavícula. Ninguno de los dinosaurios terópodos conocidos poseían este hueso, la fúrcula. ¿Era esta una característica verdadera o sería simplemente cuestión de tiempo encontrar la fúrcula? ¿Otro problema de la imperfección del registro fósil? Es por lo tanto comprensible que Heilmann se frenara y dedujera que los terópodos no eran los ancestros de las aves. Esta idea perduró en la Dinosauriología durante décadas.

En los años 60-70 del siglo pasado, las cosas empezaron a cambiar. El mismo John Ostrom que descubrió un ejemplar de *Archaeopteryx* en el Museo Teyler, fue el responsable del relanzamiento de la hipótesis de Huxley. En el verano de 1964 Ostrom encontró en Montana en terrenos del Cretácico inferior un “terópodo poco usual”, el *Deinonychus*. Este era un dinosaurio no demasiado grande, de dos a tres metros de largo, pero con unas características muy marcadas, empezando por sus pies. Dado el tamaño de las extremidades anteriores, este dinosaurio solo podía ser

bípido. De sus pies, Ostrom destacó la terrible garra, en forma de hoz retráctil que probablemente sería utilizada para atacar a sus víctimas. Al caminar, solo utilizaría dos dedos, levantando la garra para evitar su desgaste. Un animal dotado de tal arma y de una cola rígida que serviría como estabilizador en la carrera y de un cerebro mayor que la mayoría de los dinosaurios terópodos del mismo tamaño, no podría ser un dinosaurio lento y perezoso. La discusión dinosaurios de sangre fría-caliente empezaba a caldearse.



Réplica de *Compsognathus* (Museo de Historia Natural de la Universidad de Oxford)

Sin embargo, en este ensayo nos centraremos en el parentesco entre las aves y los dinosaurios terópodos pequeños. Ostrom demostró, examinando los esqueletos de las aves actuales, del *Archaeopteryx* y del *Deinonychus* que estos compartían muchos caracteres y que las aves descendían de pequeños terópodos. Más tarde, la cladística confirmaría las conclusiones de Ostrom. En cuanto a las fúrculas (hueso de los deseos) se ha encontrado en varios dinosaurios terópodos como los dromeosaurios (incluyendo el *Velociraptor*), oviraptores, tiranosáuridos, troodontidos, coelofísidos y alosáuridos. El argumento de Heilmann ya no podía ser esgrimido en contra del parentesco aves-dinosaurios. Tal relación ya se encuentra bien arraigada en la cultura popular y algunos centros de divulgación de las ciencias, como el Parque de las Ciencias de Granada, ya exhiben reconstrucciones de dromeosaurios con plumas (plumones en algunos casos)

Aunque el parentesco entre los terópodos y las aves es un paradigma de la Dinosauriología moderna, hay algunos paleontólogos y ornitólogos que defienden posibilidades alternativas. Entre las objeciones que estos científicos argumentaban en contra de la relación dinosaurios-aves se puede enumerar: a) las manos de las aves son diferentes de las de los terópodos ya que las primeras retienen los dedos II, III y IV mientras los últimos, tienen los dedos I, II, III. Los partidarios de los terópodos argumentan que el registro fósil refuta esta posibilidad. b) las fúrculas de las aves y de los terópodos son diferentes. Igualmente el registro fósil rechaza tal posibilidad. c) las aves – *Archaeopteryx* incluido - aparecieron antes que los maniraptores o sea ¡nadie puede ser más viejo que su abuelo! Eso es verdad pero la evidencia negativa no significa que maniraptores más antiguos que el *Archaeopteryx* no puedan existir. Puede ser simplemente una cuestión de tiempo encontrarlos. d) el otro escollo se relaciona con los pulmones de las aves. Desafortunadamente, los pulmones (y otras partes blandas) tienen una probabilidad bajísima de fosilizarse y es muy difícil contrastar esta posibilidad.



Nueva imagen del *Velociraptor* (Parque de las Ciencias de Granada; foto del autor.)

Así que, todo parece indicar que las aves descienden de los terópodos pequeños y que los dinosaurios no se han extinguido del todo... mientras consigamos evitar una enésima extinción.

¿Fría o caliente?

¿Eran los dinosaurios animales de sangre fría o caliente? He aquí un debate que ha mantenido ocupada una parte importante de los científicos que se dedican a la Dinosauriología. ¿Tiene que ver la postura erguida con el metabolismo? ¿Los huesos (actuales y fósiles) pueden decirnos algo al respecto? Y ¿la relación depredador/presa relaciona de alguna forma el tipo de metabolismo de los animales que componen un determinado ecosistema?

Demasiadas preguntas... Quizá una buena forma de empezar a encarar el problema sea aclarar y definir algunos puntos. Por ejemplo, cuando decimos que un reptil tiene la sangre fría no significa que su sangre esté realmente fría; significa que su energía proviene directamente de la exposición al Sol y/o a un entorno que esté a una temperatura más alta que la de su cuerpo. Este tipo de animales se le llaman exotérmicos. Los mamíferos o las aves, que tienen otro tipo de metabolismo (controlado por el hipotálamo), sacan su energía de los alimentos y son llamados endotérmicos. Un razonamiento que me gusta mucho en relación a lo traicionero que este debate puede llegar a ser, se debe a Charles Bogert. Este paleontólogo argumenta que el concepto de temperaturas bajas en los reptiles puede ser erróneo por la misma razón *que un hombre que tiene atada la pierna a un grillete no puede demostrar cuán rápido puede moverse*. Un razonamiento parecido puede ser aplicado a un “experimento” llevado a cabo por Colbert usando cocodrilos atados o encerrados en sus jaulas y expuestos al Sol, tomando sus temperaturas antes y después de la exposición. Sin lugar a dudas, un *experimento* inútil y cruel.

Vamos dar un paseo por la historia a ver lo que pensaban los primeros paleontólogos respecto a si los dinosaurios eran de sangre fría o caliente. Owen quizá fue el primero en atacar de forma más directa el problema en su monografía sobre los reptiles fósiles británicos. Según sus palabras: *de la forma y tamaño de las costillas se puede deducir que el tronco era más ancho proporcionalmente que en los reptiles modernos... de modo que el aspecto general del Megalosaurus debería ser parecido a los grandes mamíferos cuadrúpedos...* ¿Que querría realmente Owen decir con este párrafo? ¿Una avanzadilla de la relación postura erguida-endotermia?

Owen especuló que los dinosaurios, para sobrevivir en el clima del Mesozoico, deberían poseer corazones con cuatro cámaras y que la sangre

venosa y la arterial estuviesen completamente separadas. De hecho, en su informe llega a sugerir una relación estrecha entre los dinosaurios y los animales endotérmicos. Y más que eso, en las reconstrucciones de dinosaurios que llevó a cabo junto a Waterhouse Hawkins en 1854, estos animales eran bastante semejantes a los rinocerontes!

J. Leidy, al examinar el esqueleto de un *Hadrosaurus*, apuntó que los brazos de este animal eran de menores proporciones que las piernas. Eso le llevó a la hipótesis de que este tipo de animales eran bípedos, casi iguales a un canguro. Mantell, examinando los huesos del *Iguanodon* había llegado a una conclusión parecida (aunque esta observación fue muy poco aireada en la época). Thomas Huxley tomó buena nota de este descubrimiento y revivió la hipótesis de Mantell con relación al *Iguanodon*. Se basaba también en unas huellas encontradas en Inglaterra que se atribuían al *Iguanodon*. Ampliando su pensamiento y utilizando el *Compsognathus*, Huxley concluye: *Gracias a su diminuta cabeza y sus pequeños miembros anteriores, el Compsognathus se parecía demasiado a las aves actuales. ¿Sería este presunto parentesco un indicio del tipo de metabolismo de los dinosaurios? En cuanto al bipedalismo del Iguanodon, todas las expectativas de Huxley se vieron cumplidas al descubrirse en Bélgica un fantástico grupo de esqueletos de Iguanodons prácticamente completos.*

Poco o casi nada se discutió sobre el parentesco dinosaurios-aves o sobre el tipo de metabolismo dinosauriano por mucho tiempo. Avancemos pues hasta finales de los años 60 del pasado siglo. Ostrom presentó una ponencia sobre la influencia del clima sobre los animales en el pasado que relacionaba (casi como Owen) la postura erguida con el endotermia. Los dinosaurios andaban erguidos, luego era posible que tuvieran la sangre caliente. A mi modo de ver las cosas, era realmente una postura novedosa y atrevida ya que combatía claramente las ideas pre-concebidas sobre los dinosaurios: animales lentos y perezosos. Sin embargo, tal relación no es demostrable. Aunque varios autores consideran la hipótesis de Ostrom como determinante, considero que todavía no ha sido probada la relación postura erguida-endotermia.

Otro punto que ha sido bastante explorado y debatido se refiere a la relación depredador/presa. En los mamíferos actuales esta relación es bastante baja: unos pocos por cien. Recuerde que un animal endotérmico necesita consumir mucho más alimentos que un animal de similar tamaño pero de sangre fría. La principal objeción a esta premisa es que es muy difícil establecer tal relación en una comunidad de animales fósiles debido a la imperfección del registro fósil. Aunque el registro fósil fuese perfecto,

quedaría aún margen para la duda, dado que sería difícil separar las presas y depredadores en categorías por peso.

El estudio de los huesos a nivel microscópico parece, a primera vista, ser un buen discriminador entre exotérmicos y endotérmicos. Sin embargo, el análisis y la comparación entre los huesos de los dinosaurios muestran características mixtas en el sentido de que en ciertos aspectos su histología se parece a la de los mamíferos mientras que en otros se asemejan más a los huesos de los reptiles. Aunque esta amalgama de caracteres enmascara y dificulta la asociación entre histología y metabolismo, una cosa parece ser incuestionable: la forma con que crecían los dinosaurios es más parecida a la de los mamíferos que a la de los reptiles actuales. Dicho de otra forma, los dinosaurios crecían muy rápidamente, si se los compara, por ejemplo, con los cocodrilos. No creo, sin embargo, que este punto sea decisivo a la hora de dilucidar el metabolismo de los dinosaurios. Recomiendo al lector interesado en profundizar en este tema un artículo recientemente aparecido en el libro *Los dinosaurios en el siglo XXI*, entre otras cosas porque el autor, A. de Ricglès, estaba (y continúa) directamente involucrado en este tipo de investigación.

Se han encontrado dinosaurios cerca del círculo polar ártico, principalmente hadrosaurios. Aunque durante el Cretácico los polos carecían de los casquetes polares, también es verdad que debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra, los meses de oscuridad invernal serían una realidad. La pregunta es: ¿Cómo se las arreglaban los dinosaurios durante estos meses? Si eran exotérmicos, sería muy difícil explicar su supervivencia a menos que... migrasen. Y, si migraban, ¿tendrían fuerzas para llevar a cabo tan largos viajes?

De todas formas, al analizar el esqueleto de dinosaurios como el *Deinonychus* o algunos de los dinosaurios emplumados recientemente encontrados en China, es difícil no aceptarlos como animales ágiles y por lo tanto como endotérmicos – no sólo por la naturaleza de sus esqueletos – sino también por las plumas que cubrían su cuerpo. Las plumas actuarían más bien como aislante térmico (su primer “objetivo”) y sólo en los dino-aves y posteriormente estas estructuras serían utilizadas para el vuelo. Si un animal presenta un aislante térmico es porque necesita una protección contra los cambios de temperaturas y, en principio, solo los endotérmicos entrarían en esta categoría.

Algunos autores y principalmente algunos cineastas han llevado demasiado lejos la cuestión del metabolismo de los dinosaurios. Por ejemplo, en *Parque Jurásico* (las tres películas) además de exagerar el tamaño de los

velociraptores, el comportamiento de estos sobrepasa con mucho las expectativas más optimistas. Estoy en contra este tipo de *licencia cinematográfica* por dos razones: 1) el registro fósil no apoya dicho comportamiento y 2) los dinosaurios son, per se, ya demasiado espectaculares y no necesitan ningún tipo de exageración para generar escenas espeluznantes. También tengo que confesar que los efectos especiales de la citada trilogía son simplemente alucinantes, aún más cuando consideramos que han pasado ya unos 15 años del estreno de la primera película de la saga.

Parte de lo que hasta ahora discutido en este ensayo se refiere en gran parte a dinosaurios terópodos, de mediano o pequeño porte. Pero ¿cómo sería el metabolismo de los saurópodos, dinosaurios de gran tonelaje como el *Diplododus* o *Apatosaurus*? Estos animales pesaban tanto como una familia de elefantes adultos (otros incluso eran mayores, como el *Argentinosaurus*). Aquí entra en escena un factor importante que tiene que ver con el propio tamaño de los dinosaurios: la relación superficie/volumen. Los animales pequeños tienen una relación superficie/volumen mayor que un animal grande. Por este motivo pierden calor muy rápidamente. Por ejemplo, en condiciones adversas, un ratón tiritaría de frío y si no tuviera el pelaje, seguramente moriría. El elefante, al contrario, si no fuera por sus enormes orejas – por donde pierde calor – o por los baños en ríos, se sobrecalentaría. Trasladando este razonamiento a los dinosaurios saurópodos, se espera que estos, debido a la baja relación superficie/volumen, deberían ser homeotermos, o sea, que mantuviesen sus temperaturas constantes debido a sus enormes tamaños. Me inquieta, sin embargo, una cuestión. Aunque fueron animales gigantes, los saurópodos fueron, en su día, bebés. Por los esqueletos encontrados y por el tamaño de los huevos, las crías no deberían tener un tamaño excesivo. ¿Qué tipo de metabolismo presentaban estas crías?

Otro buen asunto para pensar es plantear cuál sería el tamaño mínimo para que un animal pueda ser considerado como homeotermo. Una última curiosidad. Aunque pueda parecer que el término homeotermo sólo se aplicaría a los grandes dinosaurios, en los días de hoy hay animales que exhiben este metabolismo, como por ejemplo, la tortuga laúd, que puede llegar a pesar hasta una tonelada.

Posibles implicaciones de los fenómenos astrofísicos en la extinción de los dinosaurios

Pienso, luego ¿no debería existir! Me explico. En este apartado hablaremos largo y tendido de extinciones. Normalmente, las personas piensan en extinciones masivas, espectaculares, causadas por la caída de un meteorito o por inmensas erupciones volcánicas caracterizadas por una alta mortandad en un intervalo de tiempo geológicamente corto. Es cierto que trataremos de todo eso aquí pero antes quiero hablar de otro tipo de extinción: la extinción de fondo. A diferencia de las extinciones masivas, la extinción de fondo se caracteriza por la desaparición de las especies debido a causas diversas tales como agotamiento de recursos alimenticios, cambios en el clima, estupidez humana, etc. a un ritmo menos frenético. Pues algunos cálculos indican que alrededor del 99% de las especies que ya pasaron por la superficie terrestre desde la aparición de la vida se encuentran extinguidas. Los científicos de ciencias exactas solemos utilizar la expresión “en primera aproximación” para designar un primer abordaje a un determinado problema. Si aplicamos dicha expresión al porcentaje anteriormente mencionado, podemos deducir que es muy poco probable que ¡yo exista!

Bromas aparte, uno de los temas científicos que más literatura ha generado en los últimos 28 años ha sido, sin duda, la extinción de los dinosaurios no aviares (Álvarez et al. 1980). Muchas fueron las hipótesis que se barajaron para intentar explicar cómo y por qué se extinguieron estos fantásticos animales al final del Cretácico. Antes de analizar un poco más detalladamente la posibilidad de que un fenómeno astrofísico estuviera involucrado en tal evento, hemos de destacar que el debate actual sobre las posibles causas de las extinciones en el límite KT ha causado también una especie de extinción de los buenos modales por parte de algunos científicos. Se desató una verdadera guerra (no tan virulenta como la que hubo entre Cope y Marsh en el siglo XIX (Jaffe, 2000)) y se revivió el viejo enfrentamiento entre la escuela catastrofista y la escuela gradualista. En uno de los editoriales menos afortunados de los últimos tiempos el New York Times defiende que *los astrofísicos deberían dejar a los astrólogos (sic) la tarea de encontrar en las estrellas las causas de los acontecimientos terrenales*. Eso ocurrió como una reacción al involucramiento de algunos astrofísicos, como veremos en las próximas secciones, con la extinción del KT. Pero también hay que hacer notar que uno de los padres putativos de la teoría de la colisión de un cometa/asteroide con la Tierra a finales de

Cretácico, había anteriormente tildado a los paleontólogos como científicos de segunda categoría y más precisamente, como simples coleccionistas de sellos.

En mi opinión, este tipo de discusión no es ciencia; es simplemente falta de respeto mutuo por el trabajo ajeno. La ciencia es (y será) cada vez más inter-disciplinar y ningún área debe ser considerada como un coto privado, siempre que las incursiones en campos ajenos cumplan los requisitos de la calidad científica. No quisiera alargarme demasiado en este apartado pero se podría citar varios casos donde científicos de otras áreas han contribuido de forma fundamental al avance de otras ramas de la Ciencia. El medico von Helmholtz (1821-1894) fue uno de los responsables de uno de los principios más fundamentales de la Física: la conservación de la energía. Por otra parte, el físico Schrödinger (1887-1961), a través de su libro *¿Que es la vida?*, estimuló el estudio del material genético desde un punto de vista físico-químico.

Retornando a nuestro tema central, la posible influencia de los fenómenos astrofísicos en las extinciones masivas se puede dividir en cinco apartados: a) supernovae y GRB (Gamma Ray Burst - explosión de rayos gamma) b) efectos de marea y orbitales c) variabilidad solar d) movimiento solar perpendicular al plano galáctico y paso del Sol por los brazos espirales de la Galaxia y e) colisión con cometas o asteroides. En las siguientes sesiones iremos analizando cada caso en particular.

Evolución estelar: las supernovae y los GRBs

Algunas de las supernovae históricas llegaron a ser tan brillantes que se les podía ver durante el día e incluso llegaron a proyectar sombras. A pesar de ser fenómenos muy energéticos y de que en el pasado algunas supernovae explotaron relativamente cerca de la Tierra, dichos eventos han pasado prácticamente desapercibidos para la civilización occidental (por lo menos el caso de la supernova de 1054). Sin embargo, los asiáticos y los chinos en particular y los nativos norteamericanos registraron con toda suerte de detalles el apareamiento de las llamadas estrellas-huéspedes de 1006 y de 1054. Se han esgrimido varias explicaciones para esta poca atención al evento en las crónicas europeas de la época pero quizá el predominio de la escuela aristotélica, que negaba tajantemente cambios en los cielos, sea la más plausible. Otra corriente de pensamiento – que se aplica solamente a la supernova de 1054 - defiende que las rivalidades internas de la Iglesia fueran las responsables: como el papa León IX había excomulgado al patriarca Miguel Cerulario en Julio de 1054, quizá fuera prudente no hacer

ningún tipo de comentario sobre los cambios acaecidos en los cielos. Se ha argumentado también problemas con el mal tiempo en Europa que imposibilitó su observación pero dado que esta supernova estuvo mucho tiempo visible es poco probable que esta sea una explicación adecuada.

Tal situación cambiaría en el año 1178 en que algunos monjes en Inglaterra observaron un fenómeno inusual, que no estaba conectado con las supernovae, pero que era de proporciones colosales. Un fragmento de cometa o asteroide impactó con la Luna el día 25 de Junio de 1178, hecho que fue documentado en las crónicas por Gervase de Canterbury. Es interesante notar que debido a esta colisión la Luna empezase a vibrar y efectivamente, más de 800 años después, se pudo constatar empíricamente tal hecho, usando para ello los reflectores-lasers instalados allí por las misiones Apollo.

Más tarde Tycho Brahe (1546-1601), el astrónomo danés que realizó las observaciones que permitieron a Johannes Kepler (1571-1630) sintetizar sus tres leyes que rigen el movimiento planetario, observó en 1572 una nueva estrella en la constelación de Casiopea. Aquí se presenta un problema de primicia: puede que haya sido un español, Jerónimo Muñoz (1520-1591), quien fue realmente el verdadero descubridor de esta supernova. Kepler, para no ser menos que su colega Tycho (que no amigo), también observó una supernova en día 17 de Octubre de 1604 aunque no fue el primero en hacerlo pero sí de los primeros en proporcionar evidencias del carácter dinámico del Universo. Tal supernova estuvo visible a simple vista durante más o menos un año y medio. Desde entonces no se ha observado ninguna supernova en nuestra Galaxia. Todas las supernovae históricas que se ubicaban en nuestra Galaxia se encontraban a distancias seguras y no han causado ningún tipo de daño (a no ser a la mentalidad de la época).

Después de esta breve introducción, una pregunta vital es: ¿Qué es una supernova? Para responder a esta pregunta es necesario antes hablar de evolución estelar. La evolución de una estrella está determinada primordialmente por su masa y su composición química iniciales. Hoy día existen códigos numéricos de ordenador que son capaces de reproducir la evolución estelar desde el colapso gravitacional hasta las fases finales: enanas blancas, pulsares o agujeros negros, dependiendo de la masa inicial. Todo nuestro conocimiento de las galaxias o de grupos de galaxias descansa sobre el estudio de estas estrellas, que sirven como una especie de patrón. La situación es similar a la de Física *microscópica* (Nuclear y Atómica) y su relación con las propiedades *macroscópicas* de la materia. Sólo al conocer en mayor detalle la estructura atómica y nuclear de la

materia fue posible explicar las propiedades macroscópicas de los cuerpos, como, por ejemplo, su calor específico, si es magnético o no, o la naturaleza de las líneas espectrales emitidas por un determinado gas. En lo que concierne a las estrellas, uno no puede entender cómo funciona una galaxia si no conoce las propiedades de las estrellas individuales que la forman.

La construcción de modelos teóricos es primordial para entender las propiedades de las estrellas. Esencialmente, para generar modelos de estrellas que evolucionan en el tiempo hay que resolver cuatro ecuaciones diferenciales (que no se preocupe el lector que no nos vamos adentrar en las Matemáticas):

- 1- Ecuación de la masa. Los modelos son calculados por capas. Así que cuando vamos desde el interior al exterior, la masa va en aumento hasta la atmósfera donde tenemos la masa total. Las propiedades físicas deben ser calculadas para cada una de estas capas. Dependiendo de la precisión que se necesite, el número de capas puede ser superior a 5000.
- 2- Ecuación del equilibrio hidrostático (presión). En todo momento la estrella debe estar en equilibrio, la gravedad – *que tira para dentro* – debe ser contrarrestada por la presión de los gases y de la radiación *que tira hacia afuera*. En determinadas circunstancias, hay que tener en cuenta contribuciones de la presión de la materia degenerada, un efecto cuántico.
- 3- Ecuación de la producción de energía. Durante la mayor parte de la vida de una estrella, el principal combustible es de origen nuclear: primero el hidrógeno, luego el helio, etc. El proceso por lo cual se extrae energía es parecido al de la bomba de hidrógeno: con la salvedad que en nuestro caso, la combustión está controlada por fuerzas que actúan en el interior de la estrella. Las estrellas también extraen energía de la auto-gravitación, como por ejemplo cuando la estrella es muy joven, casi toda la energía viene de la contracción gravitacional.
- 4- Ecuación de transporte de la energía. La energía tiene que ser transportada desde el interior, donde está la caldera nuclear, hasta la superficie. Entran en escena las opacidades (la transparencia del material estelar). La opacidad dicta cómo la energía es transportada de una manera similar a como la niebla impide, dependiendo de su densidad, el paso de la luz. Normalmente las opacidades están en forma de largas tablas en función de la composición química,

temperatura y densidad. Las tablas tienen, entre otras ventajas, la de evitar que se tenga que calcular las opacidades a cada paso de la computación. La energía puede ser transportada, dependiendo de las condiciones físicas, de tres formas: por radiación, por convección y por conducción, el último caso para estrellas con núcleos muy evolucionados.

Bien, con estas cuatro ecuaciones diferenciales estamos casi en condiciones de calcular un modelo de estrella. Pero hace falta introducir otros tipos de datos: la ecuación de estado que relaciona la temperatura y la densidad, que también suele estar en forma de tablas, las tasas de producción de energía nuclear y gravitatoria, la red de nucleosíntesis que se quiere seguir durante la evolución temporal del modelo. Expliquemos un poco este último punto: al quemar el combustible de origen nuclear, sus cenizas son elementos químicos más pesados que el combustible y así se van sintetizando los elementos en el interior estelar. El núcleo de una estrella es en el fondo, un horno donde se cuece los elementos químicos que conocemos.

En este punto ya podremos iniciar la construcción de nuestro modelo de estrella. El ordenador es una máquina que hace muchas cosas y además rápidamente pero antes hay que enseñarle a hacerlas. Toda la información de la cual hemos hablado anteriormente es introducida en un programa con instrucciones específicas. Así, finalmente, el ordenador estará dispuesto para el cálculo. Las propiedades de cada modelo generado son guardadas en la memoria porque tendrán mucha influencia en el próximo modelo.

El radio estelar, la composición química, las propiedades físico-químicas de cada capa, a veces la masa debida a pérdidas por vientos estelares o por intercambio de masa en sistemas binarios cerrados, cambian con el tiempo. Nuestro modelo de estrella evoluciona. Va de la secuencia principal, donde pasa gran parte de su vida quemando hidrógeno, a las gigantes rojas con radios muchas veces mayores que la órbita de la Tierra. Luego el camino se bifurca: o termina sus días como una enana blanca, o se transforma en un pulsar después de explotar como supernova o se transforma en un agujero negro. Todo este camino evolutivo final depende de su masa: si las estrellas fuesen humanas, diríamos que su masa dicta su destino. La Figura 1 muestra la evolución de una serie de modelos con masas entre 0.8 y 125 masas solares (Claret 2007). En este diagrama las temperaturas efectivas (aproximadamente la temperatura de la superficie) crecen de derecha a la izquierda y la luminosidad, de arriba abajo. Las escalas son logarítmicas.

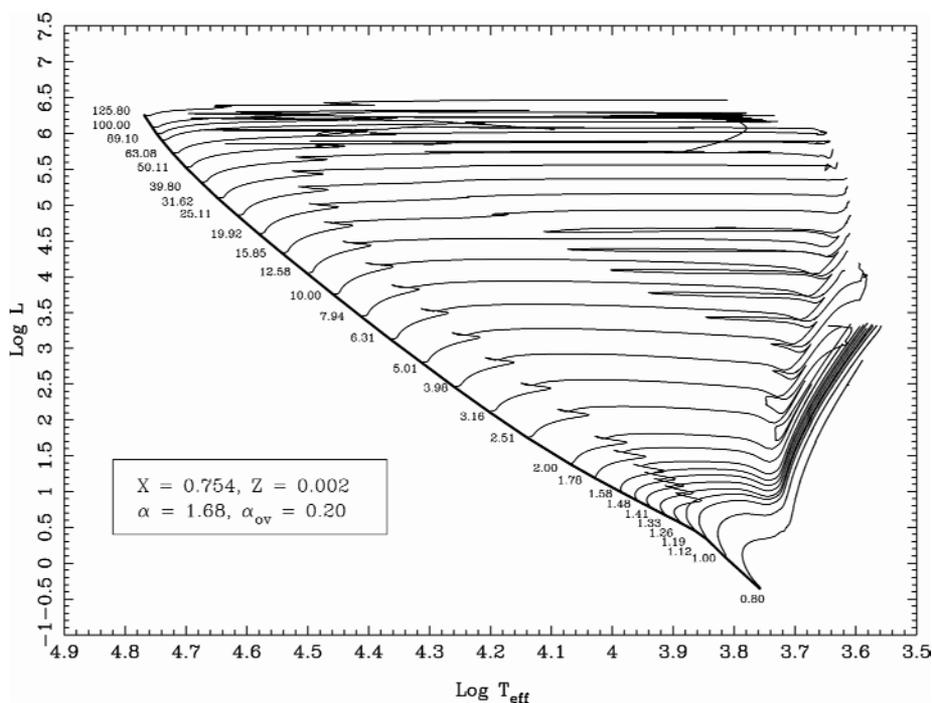


Figura 1. Diagrama evolutivo de una serie de modelos estelares con masas variando entre 0.8 y 125 masas solares. Las temperaturas efectivas - T_{eff} - están en escala logarítmica. Las luminosidades - L - están en unidades solares y la escala también es logarítmica. Los números debajo de cada traza indican la masa del modelo en unidades solares.

Una estrella masiva va progresivamente quemando hidrógeno, luego helio, carbono, etc. formando elementos cada vez más pesados en su interior. Al llegar al hierro, no es posible sacar más energía de los procesos nucleares de fusión (Figura 2). El núcleo estelar de hierro que queda debe soportar el peso de las capas superiores y se contrae formando un núcleo de neutrones. Las capas externas caen sobre este núcleo neutrónico y al tocarlo tiene lugar un rebote que envía este material al exterior con velocidades altísimas. ¡Tenemos la supernova! La energía asociada es enorme: del orden de 10^{51} ergios o sea, un uno seguido de 51 ceros. Pero quizá la mejor forma de tener una idea real de esta cifra es observar en la Figura 3 la explosión de la supernova SN2002fk en la galaxia NGC 1309. La foto de la izquierda, aunque subexpuesta, muestra claramente que la

supernova brilla tanto cuanto una buena parte de la galaxia. En algunos casos puede casi oscurecer todo el brillo proveniente de la galaxia que la abriga. La onda de choque generada por el rebote podría alterar el campo magnético terrestre. Pero no solo la onda de choque es peligrosa para los seres vivos. La radiación gamma generada puede tener también consecuencias para la vida si una supernova explotara cerca de la Tierra. D. Russel y W. Tucker (1971) fueron de los primeros en atribuir la extinción de los dinosaurios a una supernova cercana, aunque anteriormente O. Schindewolf en 1962 atribuyó otra extinción en masa (la del Pérmico) a la misma causa.

Cercana o no. Pues en la distancia radica uno de los problemas con la supernova. No se tiene constancia de explosiones de este tipo en las cercanías de la Tierra hace 65 millones de años. Por otra parte, la explosión generaría un isótopo del Plutonio (Pu^{244}) que no ha sido detectado en el límite KT (ver el apartado sobre colisiones con cometas/asteroides). Además, el patrón de destrucción causado por la explosión de una supernova cercana no puede explicar por qué, por ejemplo, algunos animales tales como pequeños mamíferos, cocodrilos o aves sobrevivieron. Los cálculos indican que la probabilidad de que una supernova explote a 100 años-luz es de una cada 750 millones de años. Todo esto nos lleva a pensar que esta alternativa no es muy probable.

Queda una variante de la supernova que son los GRBs. Estos objetos son todavía unos desconocidos para la Astrofísica. Fueron descubiertos en la década de los 60 por satélites norteamericanos de la serie VELA que vigilaban si la antigua Unión Soviética realizaba pruebas nucleares. Tales satélites estaban pensados para detectar radiación gamma y a raíz de este diseño específico fueron capaces de detectar explosiones de muy alta energía en el cielo.

Desde entonces se han establecido dos tipos diferenciados de GRBs: los de corta duración (orden de segundos o menos) y de larga duración (pulsos de varios segundos). Los GRBs de larga duración parecen estar asociados con la explosión de una hipernova (más energética que la supernova ordinaria) mientras se piensa que los de corta duración están asociados a la coalescencia de un sistema binario formado, por ejemplo, por estrellas de neutrones. En este caso la energía liberada a través de radiación gamma y ondas gravitacionales puede llegar a ser comparables a la de una supernova pero en solo unos pocos segundos.

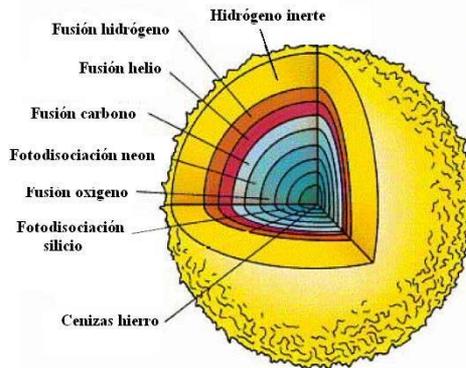


Figura 2. Esquema del interior de una estrella masiva muy evolucionada a punto de explotar como una supernova (corresponde a los modelos finales de la traza con 31.62 masas solares de la Figura 1). Notar la estructura en capas, como en una cebolla.

Aunque no se sepa con detalle cuales son los mecanismos desencadenantes de los GRBs, lo cierto es que si uno de ellos explotara en la proximidades de la Tierra los efectos serian desde luego catastróficos, principalmente la intensa radiación ultravioleta (UV) proveniente del Sol (ver más adelante). Se estima que la tasa de GRBs está entre 3 y 10 GRBs por cada mil millones de años por kpc⁵ (Thorsett, 1995; Scalo y Wheeler 2002). Los efectos directos de los rayos gamma no serían tan desastrosos dado que este tipo de radiación es parcialmente degradado en la atmósfera y solo afectarían, en primera aproximación, al hemisferio expuesto. Sin embargo, los efectos a largo plazo sí que serían más dañinos y serían diseminados por todo el globo terrestre. Uno de los efectos más perniciosos sería una disminución substancial del ozono debido a su descomposición por la acción catalizadora de los óxidos del nitrógeno. Sin este escudo protector, los organismos vivos estarían expuestos a una intensa radiación UV solar. Además, el dióxido de nitrógeno (NO₂) formado por la disociación de las moléculas de O₂ y N₂ absorbería gran parte de la luz visible, conllevando a un enfriamiento global. Harían acto de presencia también la lluvia acida (por el acido nítrico) y la producción de radionuclídeos. ¡Una gama de fenómenos perfectamente diseñados para la destrucción! Y como resultado final, tendríamos un cielo oscuro en luz visible pero muy brillante en UV.

⁵ El parsec (pc) es una unidad de longitud utilizada en Astrofísica. Equivale a 3.26 años-luz.

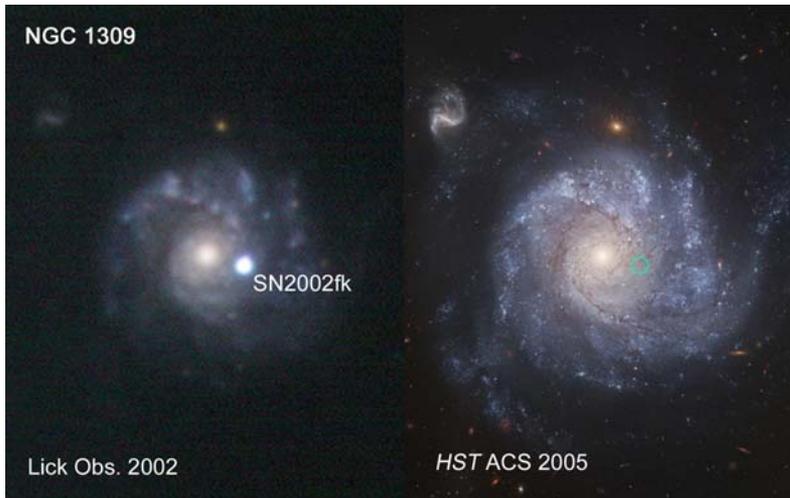


Figura 3. La supernova SN2002fk en la galaxia NGC 1309.
Cortesía del Lick Observatory y del Hubble Space Telescope.

Dada la escasez de datos relacionados con los GRBs (recordad que han sido descubiertos a finales de la década de los 60) y principalmente con datos relevantes concernientes a su distancia espacial y temporal, es arriesgado relacionarlos directamente con la extinción del KT. Sin embargo, recientemente Mellot et al. (2004) han investigado la posibilidad de que un GRB fuese el responsable de por lo menos una de las extinciones en masa conocidas. Se trata de la extinción ocurrida a finales del Ordovícico, hace unos 440 millones de años. Estos autores han argumentado que varias características de dicha extinción son compatibles con los efectos causados por un GRB. La extinción de los organismos acuáticos superficiales y del fitoplancton así como la “glaciación” causada por la opacidad del dióxido de nitrógeno son consistentes con los patrones aceptados para la extinción del Ordovícico.

A pesar del rastro de destrucción y muerte que las supernovae y los GRBs pueden dejar, hay que tener en cuenta que son, por otra parte, los responsables por el Universo tal cual lo conocemos y por ende, de la vida también. Los elementos químicos más pesados que el helio sólo pueden ser

sintetizados en el interior de las estrellas. Éstas, al explosionar, diseminan el material procesado que, a su vez, da lugar al nacimiento de estrellas de nueva generación con más metales en su composición química. El hierro de la hemoglobina de la sangre o el calcio de los huesos son productos de la nucleosíntesis estelar. Mejor muchas veces que los investigadores, los poetas expresan con más acierto determinados hechos científicos. Whitman (1819-1892), resume bien la situación: *Creo que una hoja de hierba no es más que un día de trabajo de las estrellas*. Note que estos versos fueron escritos bastante antes de que se conocieran las fuentes estelares de energía nuclear y la nucleosíntesis.

Efectos de marea y orbitales

La conexión entre los efectos de marea y la paleontología es más estrecha de lo que a primera vista pueda parecer. El sistema Tierra-Luna-Sol servirá muy bien a nuestros propósitos. La gente que reside cerca del mar está acostumbrada a las mareas altas y bajas que regulan muchas de las actividades pesqueras y portuarias. Hay también efectos muy finos para ser detectados por nuestra percepción común, como por ejemplo, que el día aumenta 2 milisegundos por cada 100 años, debido a los efectos de frenado de las mareas.

Una pregunta bastante lógica es: ¿la órbita de la Luna ha sido siempre la misma a lo largo de los tiempos geológicos? La respuesta es no. Pero no vamos a profundizar en los aspectos teóricos de la evolución por mareas para demostrar este hecho. Buscaremos otros testigos (en algunos casos muy directos) en los fósiles. Se sabe que algunos ciclos vitales de los animales están dictados por las condiciones astronómicas. De una forma similar a los anillos de crecimiento en los árboles, algunos animales presentan estrías de crecimiento que reflejan, *grosso modo*, la rotación de la Tierra y los elementos orbitales del sistema Tierra-Luna. Los corales y los bivalvos son particularmente susceptibles a estas variaciones.

S. J. Gould relata un caso muy estrechamente relacionado con lo que acabamos de decir. Vayamos a la historia: en los años 60, West Wells (1963), trabajando con corales actuales, encontró 360 líneas muy delgadas y concluyó que estas eran diarias (crecimiento lento nocturno y rápido diurno). Ya tenía su calibración. Así que aplicó el análisis a corales fósiles muy bien preservados de 370 millones de años y contó cerca de 400 líneas de crecimiento. ¿Indica este hecho que el año era de 400 días en esta época? Vayamos despacio. Desde luego que este es un descubrimiento de capital importancia pero hay que tener en cuenta diversos factores. Por

ejemplo, al calibrar su método con los corales actuales, West encontró 360 y no 365 líneas, como era de esperar. ¿Qué ocurre? Pues que los animales están sujetos a otras influencias del medio que nada tiene que ver con los ciclos astronómicos: días nubosos o de mar muy agitado pueden influir directamente en la producción de las líneas de crecimiento. En cuanto a los fósiles, las mareas no eran las mismas en aquella época dado que la distribución de tierras y aguas eran diferentes de las actuales debido a la deriva de los continentes, aparte de que la Luna se encontraba más cerca. De todas formas, la contabilidad de líneas indica que la rotación de la Tierra está disminuyendo y eso está plenamente confirmado por la teoría de la evolución por mareas así como a través de medidas directas.

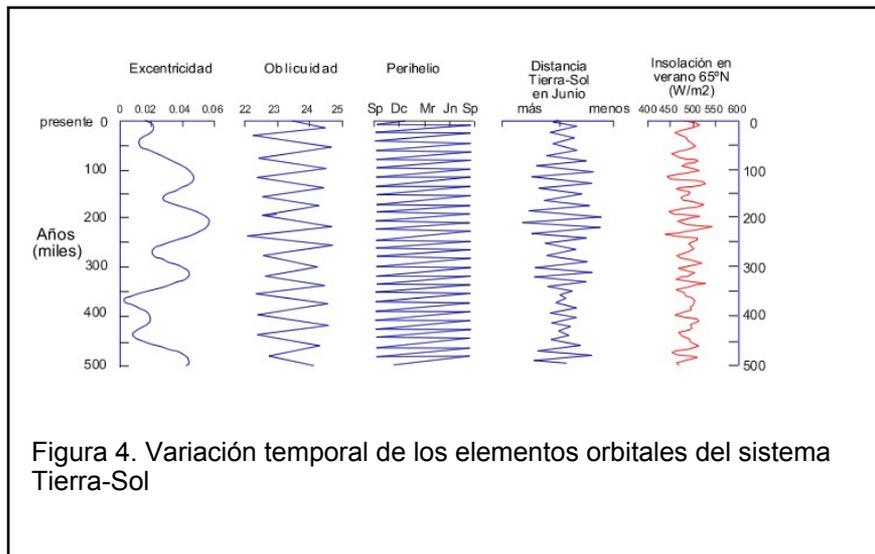
Como indica Gould, se debería detectar también la otra parte de la historia. Al frenar la Tierra, la Luna se aleja simultáneamente y este hecho debería repercutir en los ciclos mensuales, y no sólo en los ciclos diarios. Parece ser que los datos a este respecto no son todavía concluyentes aunque en mi opinión, son como mínimo atrayentes. Es interesante notar que según la Luna se aleja de la Tierra habrá dos consecuencias en un larguísimo plazo de tiempo: 1) la Luna ya no servirá como un elemento estabilizador del eje de rotación de la Tierra y eso tendrá consecuencias muy funestas para la vida (si ésta todavía existiera). 2) como curiosidad, vale la pena resaltar que no tendremos eclipses totales del Sol; solo anulares.

¿Podrían los efectos de mareas o cambios en la órbita de la Tierra explicar el patrón de la extinción del KT? Antes de intentar responder a esta pregunta hay que tener en cuenta que las ecuaciones diferenciales que rigen los elementos orbitales del sistema están acopladas, o sea, un determinado elemento, por ejemplo, la excentricidad, no puede variar libremente ya que su variación depende de los demás parámetros orbitales. Es como si se tratara de una telaraña: un cambio en una determinada posición repercutirá en las demás regiones. En el caso de los elementos orbitales, su cambio neto repercutirá en variaciones de la radiación solar que llega a la Tierra. De los elementos orbitales que pueden jugar un papel importante podemos destacar: a) la excentricidad (la órbita de la Tierra es una elipse con baja excentricidad, o sea, es casi un círculo) b) oblicuidad de la eclíptica (la inclinación que presenta el eje de rotación de la Tierra con respecto al plano de la eclíptica) c) La precesión de los equinoccios (cambio en la dirección del eje de la Tierra).

Las variaciones de estos parámetros hacen que la órbita de la Tierra no sea una constante en el tiempo (Figura 4). La conjunción de estas variaciones puede producir cambios apreciables en el clima. M. Milankovitch (1941) no fue el primero en intentar explicar los cambios climáticos a través del

estudio del movimiento orbital terrestre pero sí el primero en sistematizarlo. Estas perturbaciones orbitales reciben en su conjunto el nombre de Ciclos de Milankovitch. La escala de tiempo de estos cambios es de miles de años, como se puede averiguar en la Figura 4. Sólo recientemente Hays et al. (1976) fueron capaces de extraer información relevante para contrastar con las predicciones teóricas de Milankovitch. De hecho, hoy día nos son familiares los períodos glaciares, que parecen estar relacionados con los Ciclos de Milankovitch.

En 1997 Evans, Beukes y Kirschvink presentaron evidencias de que hubo una glaciación en zonas tropicales hace unos 500 millones de años. Estos autores han supuesto que la oblicuidad de la eclíptica fuera superior a 55 grados (el valor actual es de aproximadamente 23 grados) en períodos anteriores a estos 500 millones de años y que los cambios en las placas de hielo llevarían a cambios en la forma de la Tierra que a su vez llevarían a cambios en la precesión. De esta retroalimentación se ha propuesto que un cambio drástico de la inclinación del eje de rotación fuera finalmente el responsable de las condiciones propicias para la explosión cámbrica (Williams 1993; Williams, Kasting y Frakes 1998; Kirschvink, Ripperdan y Evans 1997).



¿Cómo era el clima durante el Cretácico? Durante casi todo el Cretácico el clima era calido y húmedo pero a finales de este período hubo un enfriamiento (Wilf et al. 2003). El lector preguntará: ¿Como saben como era el clima de hace tantos millones de años? Los isótopos de un determinado elemento químico, debido a su diferencia en masa, se comportan de forma ligeramente distinta. En el caso del Oxígeno, tal comportamiento diferencial es una función de la temperatura. Así que la relación entre O_{18}/O_{16} es normalmente utilizada para estimar las temperaturas. Hasta aproximadamente 5-10 millones de años antes del fin del período Cretácico, la vegetación era la típica de ambientes tropicales y subtropicales. Sin embargo, en las últimas etapas del mencionado período, las cosas cambiaron mucho. Debido a la deriva de los continentes, la separación de las masas de tierra probablemente hizo cambiar el curso de las corrientes oceánicas y el patrón de circulación de los vientos, que intervienen directamente en las pautas del clima. Los Ciclos de Milankovitch puede que también hayan actuado en este cambio, no sólo debido a su carácter cíclico sino también por el cambio en el momento de inercia de la Tierra, aunque muy probablemente ejerciendo un papel secundario.

Por otra parte, he estado estudiando el movimiento apsidal de estrellas relativistas (similar al avance del perihelio de Mercurio pero en escala estelar, ver Claret 1997). Este fenómeno relativístico tiene como efecto neto que la órbita no está fija en el espacio y gira con un período que depende esencialmente de las masas involucradas y de la excentricidad orbital. La ventaja de utilizar las estrellas binarias es que contamos con un par de docenas en lugar de un solo punto (Mercurio). Al contrario de lo que algunos puedan pensar, el efecto relativista en las órbitas de algunas estrellas dobles cerradas puede predominar sobre la contribución clásica (que depende de la estructura interna estelar y de su grado de evolución).

En la década de los 80 aparecieron en la literatura especializada una serie de artículos sobre DI Her que cuestionaban las predicciones de la Relatividad. Incluso, se llegaron a formular dos teorías no simétricas que aparentemente resolvían el problema. Hemos detectado algunos fallos en dichas teorías: entre otros, la dependencia de la calibración con los sistemas que debía explicar a priori o la presencia de muchos parámetros libres (Claret 1998). La Relatividad sigue siendo válida para todos los sistemas con excepción de DI Her. Aunque se postulara un grado de concentración de masa infinita, la discrepancia (en este caso solamente relativista) permanecía, ya que era dos veces menor que lo teóricamente predicho. En un artículo de 1998, hemos mostrado que tal discrepancia está probablemente relacionada con una base temporal inadecuada o con la presencia de un tercer cuerpo en el sistema, todavía no detectado. En

ningún caso las teorías alternativas mencionadas son capaces de predecir el movimiento apsidal de DI Her a priori.

Como resultado de una rápida investigación llevada a cabo por el autor después de la realización de las II Jornadas Paleontológicas de Galve donde se conmemoraron los 50 años del descubrimiento del *Aragosaurus* y 20 años de su definición, he analizado el papel de las variaciones orbitales terrestres debido a la Teoría de Relatividad General. He encontrado que hay una coincidencia entre los períodos de las extinciones en masa establecidos por Raup y Sepkoski y el período del avance de perihelio de la Tierra (aproximadamente 30 millones de años). Hay que considerar que tanto la excentricidad de la órbita terrestre como su semi-eje no eran los mismos que hace 65 millones de años. Sin embargo, el período del avance del perihelio aunque dependiente del tiempo, no debería ser muy distinto del actual. La ventaja de esta hipótesis es que no hay que postular nada a priori, ya que el efecto relativista *siempre existió*. Como desventaja, podemos decir que todavía no he analizado con más detenimiento el papel de los cambios orbitales provocados por los efectos relativistas. Es muy poco probable que haya podido inducir una lluvia de meteoritos pero puede que haya intervenido en los cambios climáticos o incluso orientando la órbita, aumentando la probabilidad de los impactos. Sin embargo, también es factible que la coincidencia sea solo eso: una coincidencia numérica con los períodos de extinción en masa.

Heliosismología: variabilidad Solar

Hemos visto que el efecto principal para los seres vivos cuando los elementos orbitales de la Tierra sufren cambios apreciables es que el flujo de energía solar que llega al nivel del suelo varía. Al efectuar los cálculos no se ha considerado que el propio Sol pueda sufrir variaciones intrínsecas en su luminosidad. Se sabe desde hace siglos que el brillo de algunas estrellas no es constante al largo del tiempo. Estas variaciones pueden tener varias causas:

- 1) La estrella pulsa
- 2) En un sistema binario eclipsante, una estrella oculta la otra (y viceversa) periódicamente. Para que tal fenómeno tenga lugar, hace falta que el sistema tenga una determinada orientación respecto al plano del cielo.
- 3) La estrella rota muy rápidamente y como consecuencia, se achata en los polos y su temperatura es más alta allí. Dependiendo de su

orientación en el cielo, tal estrella mostrará áreas proyectadas diferentes y por lo tanto, diferentes flujos.

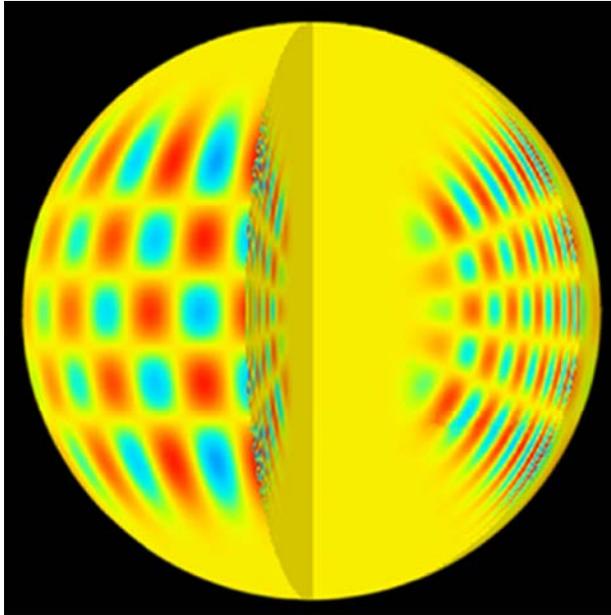


Figura 5. Oscilaciones solares de un modo-p generadas por ordenador.

Como en principio no estamos en un sistema binario (ver la sección relacionada con Némesis) ni el Sol es una estrella que rote muy rápidamente, podemos descartar las dos últimas alternativas para nuestros presentes propósitos. Nos quedamos con la pulsación estelar. Cuando se examina el interior de cada estado evolutivo (una edad dada) para cada traza representada en la Figura 1 con complejos códigos de ordenador uno llega a la conclusión que en determinadas fases de su vida la estrella puede ser inestable contra la pulsación. La forma con que una estrella pulsa es un reflejo de las propiedades físico-químicas de su interior. Tal predicción teórica es, en líneas generales, respaldada por la observación directa.

Hasta hace poco, se pensaba que el Sol era una estrella con luminosidad constante. En 1962 Leighton et al. descubrieron que en realidad el Sol oscila con varios períodos diferentes, siendo el principal el de 5 minutos (Figura 5). Pero, ¿cómo es que no somos capaces de detectar tales

oscilaciones? La razón de esto radica en que las amplitudes de las oscilaciones solares son pequeñas y sólo pueden ser detectadas con instrumentos muy sensibles. Hace algunos años unos colegas que trabajábamos en el Instituto de Astrofísica de Canarias (Tenerife) analizamos el espectro de las oscilaciones solares y utilizando las propiedades de los modelos evolutivos descritos en la sección 2 fuimos capaces de inferir la tasa de rotación en el interior del Sol (Jiménez et al. 1994). Aunque eso sea un buen ejemplo de cómo las propiedades del interior solar pueden darnos pistas de otros fenómenos que ocurren en su interior, tal dato también nos revela que difícilmente las oscilaciones solares han intervenido en la extinción a finales del Cretácico. Mis propios modelos del Sol indican que este no era muy diferente del Sol de hace 65 millones de años y por lo tanto, el patrón de oscilaciones no debería ser muy distinto del actual.

Si el interior del Sol parece que no tiene nada que ver con la catástrofe del KT, vamos a analizar el papel de su atmósfera. A veces escuchamos o leemos en los medios de comunicación que estamos en plena tormenta magnética del Sol y que las telecomunicaciones pueden ser altamente perturbadas. Ocurre que algunos fenómenos violentos pueden estar teniendo lugar en las capas más externas del Sol. Las manchas solares (son negras por el efecto del contraste con el fondo solar brillante y no porque sean negras de verdad) tienen mucho que ver con estas perturbaciones. Asociadas a las manchas están campos magnéticos muy intensos. El número y el tamaño de las manchas cambian con el tiempo y tiene un período de aproximadamente 11 años. Para nuestros propósitos, lo interesante es que la presencia de manchas en el disco solar implica que el flujo que llega a la Tierra disminuye, con consecuencias graves para la vida, si el déficit es alto. Igual que el caso de las oscilaciones, los modelos teóricos para el Sol indican que su atmósfera a finales del Cretácico no era muy diferente de la actual y por lo tanto cabe esperar que la fluctuación del flujo debido a las manchas no fuera significativa. Sin embargo, los datos provenientes de algunos sistemas binarios eclipsantes con componentes no muy diferentes de nuestro Sol indican que las manchas pueden ocupar algunos por ciento de la superficie de la estrella. Si eso ocurriera con nuestro Sol, desde luego los efectos serían catastróficos.

Cabe analizar aún con relación al Sol, un último fenómeno que no está directamente conectado con él. Se trata de las inversiones del campo magnético terrestre (Lerbekmo 1997). Este campo es producido por las corrientes de convección en el borde del núcleo de la Tierra que actúa como una pequeña dinamo. Eventualmente el polo magnético norte migra hacia el polo sur y viceversa. Es un fenómeno que se escapa a nuestra

total comprensión pero que ha sido ampliamente documentado y sirve en algunos casos como un auxiliar para la datación de los sedimentos. Actualmente estamos en un período de polaridad normal que dura unos 780.000 años.

El dicho popular de que todo lo que sube tiene que bajar, si se aplica a la inversión magnética, significa que en algún momento la Tierra se encontraría sin uno de sus escudos protectores contra la radiación cósmica y el viento solar (que son partículas muy energéticas emitidas por el Sol). Hay que aclarar que se trata de un fenómeno cíclico ya que se documentaron unos 34 magnetocronos (Lerbekmo 1997) que van desde el período actual hasta el Cretácico Inferior pero no necesariamente periódico. Hace algunos años, Raup (1985) aventó la hipótesis de que las inversiones magnéticas presentaban una periodicidad de aproximadamente 30 millones de años, que coincidencia o no, es del mismo orden del período establecido por el mismo autor y Sepkoski (1984) para la extinción en masa (ver sección sobre el impacto de meteoritos/cometas). Que el impacto de cometas/meteoritos tenga o no que ver con la inversión del campo magnético terrestre esta todavía por demostrar así como la periodicidad de tales cambios en la polaridad.

Volviendo sobre el punto principal de este apartado, la debilitación o completa desaparición de la protección del campo magnético (se piensa que eso ocurre muy rápidamente desde el punto de vista geológico, unos centenares de años o unos cuantos miles de años) conllevaría graves consecuencias para la fauna y flora aunque probablemente no serían suficientes por sí solas para explicar la magnitud y el patrón de la extinción del KT. Por otra parte, la magnetoestratigrafía se ha mostrado muy útil en torno al debate de la extinción de los dinosaurios como por ejemplo, para afinar la resolución temporal en las cercanías del límite KT (Lerbekmo et al. 1995).

El movimiento del Sol perpendicular al plano galáctico y su paso por los brazos espirales de la Galaxia

Adelantando un poco el contenido de la siguiente sección, a mediados de la década de los 80 dos paleontólogos, Raup y Sepkoski (1984) encontraron una periodicidad de aproximadamente 26 millones de años en las extinciones en masa. Aunque esta investigación ha recibido duras críticas no cabe duda que se trata de un trabajo bien hecho, a pesar de los problemas que pueda tener. Está basado en una concienzuda compilación de datos por J. Sepkoski (1982) y no era producto de un mero análisis estadístico de datos sueltos. Tal periodicidad desató la imaginación de algunos científicos (y eso es bueno) y en particular de los astrofísicos. Aparecieron durante el año 1984 diversos artículos que intentaban enlazar dicho período con los fenómenos astrofísicos. En esta primera parte de la presente sección analizaremos el movimiento del Sol perpendicular al plano galáctico.

Rampino y Stothers (1984), Schwartz y James (1984) publicaron un análisis de los efectos biológicos del paso del Sol por el plano del disco galáctico. Tal movimiento solar puede llevar a que éste se encuentre con nubes interestelares densas que podrían producir perturbaciones en la Nube de Oort, que es una especie de reservatorio de cometas situado más allá de la órbita de Plutón. Al verse perturbada, se podría desencadenar una verdadera lluvia de cometas, con algunos de ellos impactando sobre la Tierra. Ésta es la idea central de artículo de Rampino y Stothers. Schwartz y James, por otro lado, defienden que el movimiento del Sol perpendicular al plano galáctico conllevaría a un aumento de los niveles de la radiación (recordar que este viaje solar puede aumentar también las probabilidades de que una supernova explote cerca del Sol). Ambos planteamientos conducirían a importantes cambios climáticos y biológicos. Una característica importante de estas hipótesis es que el período de oscilación en torno al plano del disco galáctico no necesita ser asumido a priori, como en el caso de la hipótesis de Némesis. Es sabido que el tiempo necesario para que el Sol complete un ciclo completo es del orden de unos 60 millones de años, o sea, como este cruza dos veces el plano, el período efectivo es de aproximadamente 30 millones de años, sorprendentemente próximo del período establecido por Raup y Sepkoski pero completamente independiente de éste.

Una proposición alternativa a la que acabamos de describir es debida a Leitch y Vasisth (1998). En lugar de analizar el paso del Sol por el plano galáctico, se ha investigado el papel que jugaría el paso del Sol por los brazos espirales de nuestra Galaxia (Figura 6). Para tal análisis, se han tenido en cuenta los recientes datos sobre la localización y la cinemática de la estructura espiral de la Galaxia. Se ha demostrado que ésta puede ser una alternativa real a las extinciones en masa. Si hay que buscar problemas en esta hipótesis seguramente uno se fijaría en que, a pesar de ser capaz de explicar algunas extinciones en masa (incluyendo la del KT), otras no coinciden con el paso por los brazos espirales. Cabe, dentro de este planteamiento, la posibilidad de que no todas las extinciones en masa hayan sido provocadas por impactos cometarios.

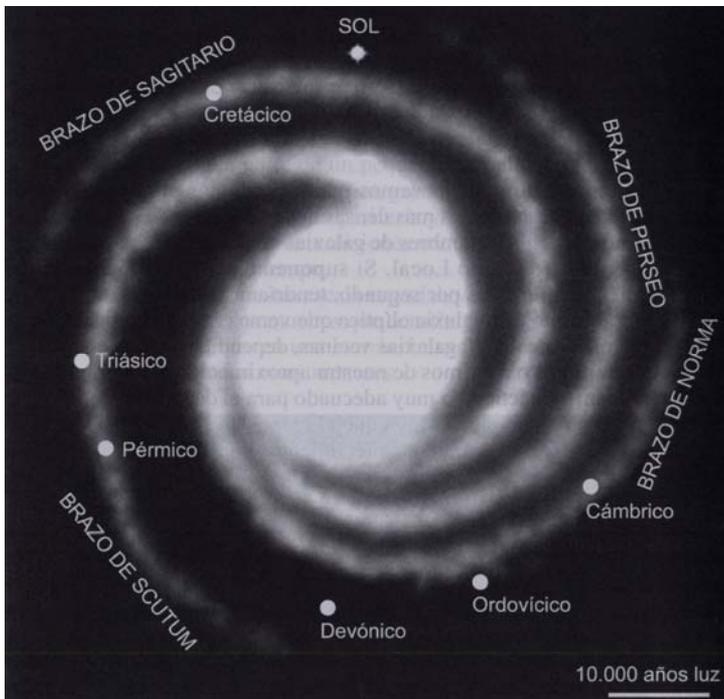


Figura 6. Paso del Sol por lo brazos espirales de la Galaxia según modelo de Leitch y Vasisth (1998) y reproducido de Vázquez y Martín (1999).

Impactos con cometas: el Sol como estrella doble y el planeta X

Mucho de lo que se discutirá en esta sección podría estar incluido en la sección anterior dado que la hipótesis del impacto cometario es común a los dos apartados. La división se rige únicamente por las escalas de distancias involucradas: mientras una de ellas trata de escalas galácticas, la presente se rige por escalas de unos cuantos años-luz.

Imaginar la posibilidad de que un cometa (o asteroide) impacte con la Tierra no es tan moderno como a la primera vista pueda parecer. De hecho, el primero astrofísico a sistematizar su estudio, Edmond Halley (1656-1742), fue de los primeros a plantearse la colisión de un cometa con la Tierra. Halley fue, sin embargo, más que un astrofísico. Se aventuró también en estudios históricos: la conquista de Gran Bretaña por Julio Cesar y la antigua ciudad oriental de Palmira son algunos ejemplos. También hizo incursiones por la geología. Su método, basado en la salinidad de los océanos, fue uno de los primeros con fundamentos científicos para inferir la edad de la Tierra. Pierre Simon de Laplace (1749-1827), también analizó las consecuencias de un probable choque del cometa Lexell con la Tierra en 1770.

Más modernamente, McLaren (1970) sugirió que la extinción del final del Devónico podía ser causada por un choque de un cometa. Básicamente lo que le movió a sugerir esta posibilidad fue el patrón de la extinción en cuestión. Posteriormente, Urey (1973) afirmaría que algunas extinciones podrían ser explicadas a través de impactos cometarios. Como tales artículos no contaban con ninguna evidencia observacional, pasaron sin pena ni gloria y muy poco se habló de ellos durante un buen tiempo. La situación no tardaría en cambiar.

Todo empezó cuando W. Álvarez intentaba establecer los ritmos de sedimentación de la arcilla KT en la localidad de Gubbio, norte de Italia con vistas a estudiar la extinción del final del Cretácico. Su padre, el físico L. Álvarez le sugirió que utilizara el Berilio-10 como reloj nuclear. Un error de interpretación en la vida-media del Berilio-10 echó por tierra tal posibilidad. El equipo entonces propuso el uso del Iridio, un metal con propiedades químicas muy parecidas a las del Platino. El Iridio es un elemento extremadamente raro en la corteza terrestre y relativamente abundante en los meteoritos y no se puede utilizar las técnicas de análisis químicos

convencionales cuando la concentración es demasiado pequeña. Se les ocurrió utilizar la activación por neutrones. Tal técnica consiste en bombardear las muestras con neutrones. Al incidir sobre determinados núcleos, éstos se tornan radioactivos, siendo por lo tanto mucho más fácilmente detectables. Es como buscar una aguja en un pajar, con la diferencia que cuentas con un imán. Lo que ocurrió fue que detectaron una concentración anómalamente alta de Iridio aunque muy pequeña para nuestros patrones (3 partes por cada mil millones).

Una de las explicaciones que el grupo encontró fue la vieja hipótesis de la supernova, que habría inyectado Iridio (procesado durante la explosión) en la atmósfera terrestre. Se buscó y se encontró, aunque erróneamente el Pu²⁴⁴. ¡El responsable de la mortandad del KT no era una supernova!

Se sugirió entonces la idea que el responsable por la anomalía del Iridio podría ser un impacto de un cometa (meteorito) de 10 ± 4 km de diámetro con la Tierra, justo en el límite KT (Álvarez et al. 1980). La anomalía del Iridio empezó a ser detectada en diversas regiones del globo terrestre, incluyendo España, en Caravaca (Smit y Hertogen 1980). La alta concentración del Iridio en el límite KT ya no podía seguir siendo considerado como un fenómeno local. La reacción de la comunidad científica presentó diversas facetas: unos apoyaban claramente la hipótesis del impacto, otros admitían el impacto pero no que fuera el responsable de la extinción (principalmente de los dinosaurios) y finalmente otros rechazaban tal posibilidad. Como comentamos en la introducción, se desató una nueva versión de la guerra gradualistas frente a catastrofistas, desafortunadamente. Una de las principales armas esgrimidas por los gradualistas era una pregunta dura pero necesaria: ¿dónde está el cráter?

El año 1984 fue pródigo en lo que a la teoría del impacto se refiere. Además de los dos artículos sobre el movimiento del Sol en la Galaxia, aparecieron tres trabajos más:

- 1- Whitmire y Jackson IV (1984): que interpretaba el ciclo de las extinciones de 26 millones de años como debido a una compañera del Sol, todavía por descubrir.
- 2- Davies, Hut y Muller (1984): que abogaba por la misma alternativa anterior.
- 3- Álvarez y Muller (1984): donde se establecía que los cráteres de impacto también presentaban una periodicidad de 28 millones de años. Hay que hacer constar que Rampino y Stothers (1984)

presentaban también un análisis similar con respecto a la periodicidad de los cráteres.

La periodicidad de las extinciones establecidas por Raup y Sepkoski y la periodicidad en la formación de los cráteres de impacto pueden llevar a una relación entre causa y efecto pero la predicción de que el Sol poseyera una compañera, con un período orbital de 26 millones de años explicaría la causa (o el paseo del Sol en la Galaxia). Alrededor del 66% de las estrellas de nuestro vecindario son dobles o múltiples. Así que no es extraño que el Sol también lo fuera. Esta hipotética compañera, erróneamente bautizada como Némesis, tendría una órbita muy excéntrica y se encontraría en su máxima distancia al Sol a 2.4 años-luz. A diferencia de los modelos del movimiento del Sol en la Galaxia, esta hipótesis necesita algunos ingredientes ad hoc, como el propio período de 26 millones de años. Mas esto es más una cuestión de elegancia matemática que de objetividad científica.

Las reacciones no tardaron en llegar, principalmente con relación a Némesis. Se ha criticado que su órbita no sería estable durante las eras geológicas (recordad que esta podría ser perturbada por el paso de otras estrellas próximas) pero la crítica más severa (y la más simple) es que a pesar de la intensa busca, todavía no se la ha encontrado. Eso no significa que Némesis no exista pero, sin duda, debilita mucho la credibilidad de su intervención en el límite KT.

Una variante de la hipótesis de Némesis se relaciona con el planeta X. Unos cuantos meses después de la serie de 5 artículos anteriormente comentados, Whitmire y Matese (1985) arguyeron que el planeta X podría perturbar el cinturón de Kuiper (una especie de Nube de Oort pero en menor escala). Estas perturbaciones provocarían una lluvia de cometas/meteoritos con el inevitable bombardeo a la Tierra de algunos de ellos. Esta hipótesis tenía a su favor que se podrían explicar algunas perturbaciones en la órbita de Neptuno. Sin embargo, hasta el momento no se ha detectado dicho planeta y la situación de la hipótesis esta en punto muerto.

Quedaba una cuestión importante, formulada como una crítica a la teoría del impacto. ¿Dónde está el cráter? Después de años y años de búsqueda finalmente se ha encontrado en la península de Yucatán (Chicxulub), en México un cráter que cumplía con los requisitos de la teoría: unos 170 km de diámetro. Unos de los primeros investigadores en dar una explicación coherente a este cráter fueron Penfield y Camargo (1981) solamente algunos meses después del artículo de Álvarez et al. Este hallazgo

desafortunadamente pasó desapercibido porque el análisis presentado tenía un carácter más técnico que científico dado que ambos autores eran funcionarios de la compañía mexicana de petróleo. Casi diez años más tarde la confirmación de Chicxulub vino de las manos de los mismos autores y otros colaboradores (Hildbrand et al. 1991). Pero ésta no fue la única evidencia favorable a la hipótesis del impacto. Se encontraron también signos de tsunamis (Bralower et al. 1998) y de microtectitas (Smit et al. 1992). Y más recientemente Kyte (1998) afirmó haber encontrado un micrometeorito que fue asociado al meteorito/cometa que impactó con la Tierra a finales del Cretácico. La cuestión parecía cerrada.

Por otra parte, ¿qué decía el registro fósil? Desafortunadamente no había un acuerdo sobre las indicaciones proporcionadas por los fósiles. Se presentaron resultados que respaldaban el patrón de una extinción abrupta, consistente con la teoría del impacto, mientras otros artículos respaldaban el patrón de extinción gradual (Sheehan et al. 2000; Sarjeant y Currie, 2001; Archibald 1997). Aún con respecto a la interpretación del registro fósil tampoco hubo acuerdo si hubo una disminución de la diversidad de los dinosaurios cerca del límite KT: mientras unos investigadores defendían que el número de géneros disminuyó – que sería una antesala de su extinción – otros abogaban por lo contrario. Hay que considerar, sin embargo, que una disminución de la diversidad no significa necesariamente que la extinción sea su final. Como un ejemplo, podemos citar el género *Homo*, del cual somos los únicos representantes actuales y no hay signos que nos vayamos a extinguir (si seguimos contaminando el planeta, no estoy tan seguro de esta afirmación).

En lo que refiere a los dinosaurios hay que tener en cuenta que sus fósiles son relativamente raros y justamente esta rareza puede jugar un papel primordial en la interpretación de su registro fósil. Es de todos sabido que no es una buena táctica hacer cálculos estadísticos con pocos datos. En los años 80 del pasado siglo, Signor y Lipps (1982) han demostrado que si el número de fósiles no es lo suficientemente grande, esta deficiencia puede llevar a conclusiones erróneas. En el caso específico de los dinosaurios, una extinción repentina puede parecer como gradual cuanto menos abundantes sean los restos fósiles. Un caso extremo del efecto Signor-Lipps es la aparición de un ejemplar vivo de Celacanto en 1938 en las costas de África del Sur. A otros fósiles, como los foraminíferos tal restricción no se aplica, visto que son muchísimo más abundantes que los fósiles de dinosaurios.

Pero hay otros factores que dificultan enormemente la tarea de dilucidar si hubo o no un decrecimiento en la diversidad dinosauriana: separar géneros

y especies a partir de restos aislados no es un ejercicio simple. Otro factor que puede influir en las conclusiones es que los únicos yacimientos continentales localizados cerca del límite KT que han sido razonablemente bien muestreados han sido los ubicados en Estados Unidos y Canadá. En principio, cualquiera que sea el resultado del escrutinio, no se debe extrapolar dichas conclusiones para el resto del mundo.

Uno de los puntos más importantes de toda esta polémica se refiere a la posibilidad de encontrarse dinosaurios por encima de la anomalía del Iridio. Precisamente en Hell Creek, Montana, se han encontrado dientes aislados de dinosaurios (Rigby et al. 1987) aunque fueron inmediatamente reinterpretados como reelaborados por Argast et al. (1987). Tal crítica no podía ser aplicada a los hallazgos efectuados en Nuevo México donde se encontró elementos articulados de un dinosaurio ornitíscuo (Hunt y Lucas, 1991). Éstas no parecen ser las únicas evidencias de que algunos géneros de dinosaurios hayan sobrevivido al impacto del meteorito. También en India y China se han documentado restos de dinosaurios en el inicio del Paleoceno. Si estos hallazgos se confirman (*y hay que confirmarlos*), la eficiencia del impacto se verá mermada y se recurrirá a otros factores como la recesión de los mares y/o el vulcanismo o a los tres conjuntamente.

Precisamente este fenómeno, el vulcanismo, ha sido invocado como uno de los causantes de la extinción KT en solitario o en conjunción con otros factores (Courtilot 1990). Los efectos de las erupciones volcánicas ocurridas a finales del Cretácico en la India (Deccan) no serían muy diferentes de aquellos provocados por un impacto. Sin embargo, el patrón de la extinción asociado sería gradualista. A todo eso hay que sumar que hubo una regresión marina documentada durante las postrimerías del Cretácico (Barrera 1994). Por lo tanto, hay razones suficientes para pensar que el concepto de simultaneidad debe jugar un papel importante. Desafortunadamente, tampoco hay acuerdo entre los investigadores sobre este punto. Como un ejemplo, en 2004 Keller et al. han señalado la posibilidad de que el impacto de Chicxulub ocurriese unos 300 mil años antes del fin del Cretácico. Por otra parte, como se ha visto, el desacuerdo sistemático encontrado por los diversos paleontólogos con relación al patrón de extinción todavía no permite distinguir claramente entre una desaparición abrupta o gradual de los dinosaurios, y por lo tanto, discernir entre un modelo de extinción u otro.

¿Un futuro impactante?

El solo hecho de mirar la Luna con un pequeño catalejo puede significar mucho. Aunque un catalejo sea un instrumento muy humilde, nos posibilita echar un vistazo al pasado de nuestra vecina. Y fue turbulento. Las marcas de los cráteres de impacto pude ser vistos incluso con un instrumento tan rudimentario como un catalejo. Seguramente nosotros también hemos sido bombardeados en el pasado aunque las marcas no son tan visibles como en la Luna debido a la erosión. El evento de Tunguska (probablemente el choque de un pequeño cometa en Siberia) en 1908 nos recuerda lo vulnerables que somos y que los eventos violentos cercanos pueden ocurrir. Hace unos 14 años, el cometa Shoemaker-Levi 9 se fragmentó por las fuerzas de marea e impactó con Júpiter, en Julio del 1994. Este hecho nos lleva a pensar en la posibilidad de que si el objeto que impactó con la Tierra en el KT fuese un cometa, probablemente habría habido más de un impacto. Alrededor del Sol giran miles y miles de asteroides, instalados entre las órbitas de Marte y de Júpiter y que eventualmente poden cruzar la órbita de la Tierra. Son los llamados NEA (Near Earth Asteroids). Su número está estimado entre 700 y 1500 con diámetros del orden de 1 km, y por lo tanto, potencialmente peligrosos.

Tales números nos llevan inevitablemente a reflexionar sobre la posibilidad de un impacto. ¿Qué hacer? Por ahora vigilar e investigar la población de asteroides. No sólo los grandes sino también los pequeños. Y eso cuesta dinero. ¿Cuánto estaríamos dispuestos a gastar para equipar observatorios especializados con telescopios de mediano y gran porte? ¿Se podría evitar? Puede que sea una de las pocas catástrofes en las que el hombre pueda intervenir para minimizar sus efectos. Artefactos nucleares podrían ser usados para desviar las trayectorias pero ¿deberíamos desarrollar la tecnología pertinente ya? Y en caso positivo ¿debería ser un esfuerzo mundial o sólo de las superpotencias?

Quedan los aspectos éticos de la cuestión. En caso de inminencia de un impacto ¿tenemos el derecho de interferir en el proceso evolutivo? Antes de tomar decisiones, hay que considerar algunos puntos clave y reflexionar sobre ellos:

1- Los impactos y las extinciones en masa siempre han estado presentes en la historia de la Tierra.

2- La vida en la Tierra fue y es posible debido a un impacto. De hecho, fue debido a un impacto el que se formara la Luna. Un cuerpo similar en tamaño a Marte chocó con la Tierra a 10 km/s en los primeros 30 millones de vida de esta. Al entrar en órbita, la Luna actuó (y actúa) como un estabilizador del eje de rotación terrestre. Si así no fuera, nuestras estaciones serían mucho más acentuadas y la vida difícilmente se podría desarrollar aquí. Marte, que no tiene un satélite masivo que estabilice su eje de rotación, es un ejemplo de lo que hubiera pasado a la Tierra, si no tuviéramos la Luna. Otro ejemplo *positivo* de los impactos.

3- Debemos nuestra existencia (los mamíferos y los humanos en particular) a otro impacto, aunque eso está por demostrar de forma inequívoca.

4- Un poco menos de chauvinismo, pues podríamos ser sustituidos por algo mejor.

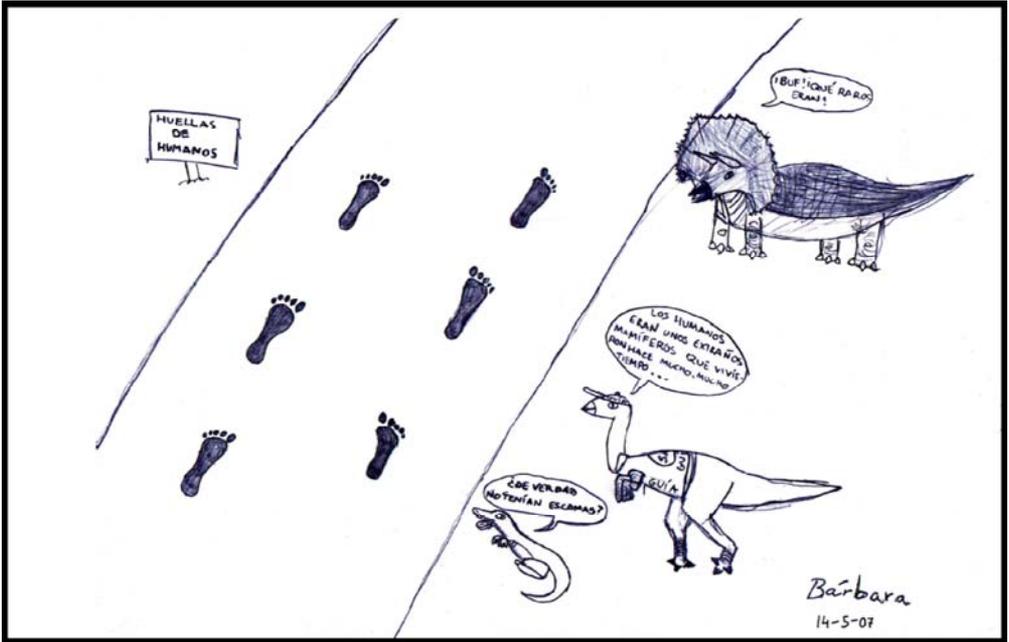


Figura 7

En este caso creo que la viñeta reproducida en la Figura 7 puede muy bien ilustrar esta hipotética situación aunque, probablemente, violaría la ley de Dollo⁶.

⁶ También llamada ley de la irreversibilidad evolutiva.

Agradecimientos:

Enrique García Lobo, Bárbara R. dos Santos Silveira, Víctor Costa y José María Quintana leyeron las primeras pruebas y Paco Rendón ha diseñado la portada. E. Martín y M. Vázquez han puesto a mi disposición la ilustración de la Figura 6. Gracias a todas las personas de Medicina Interna (Sala II Impar) del Hospital Universitario “San Cecilio” de Granada (médicos, enfermeras/os y personal administrativo) por la profesionalidad y gentileza con que me trataron durante mi ingreso allí. Por último, y no por ello menos importante, gracias a mi hija Bárbara, quien ha dibujado la viñeta correspondiente a la Figura 7. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto (MEC-AYA 2006-06375).

En 2009 se conmemorarán los 4 siglos desde que Galileo utilizó por primera vez el catalejo como instrumento astrofísico, y se ha instituido por ello el Año Internacional de la Astronomía. La conexión con la Biología viene de la coincidencia de fechas ya que en Febrero del 2009 se conmemorarán los 200 años del nacimiento de Charles Darwin, el padre de la Biología Evolutiva. Este libro pretende ser un pequeño término en la suma de estas conmemoraciones tanto como un manifiesto de agradecimiento a estos dos grandísimos científicos.

Referencias

Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., Michel, H. V. 1980, *Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction*, Science, 208, 1095-1108

Alvarez, W., Muller, R. A. 1984, *Evidence from crater ages of periodic impacts on the Earth*, Nature, 308, 718–720

Archibald, J. D. 1997, *Paleomagnetic correlation*, in Encyclopedia of Dinosaurs, Edited by P. J. Currie y K. Padian, 221-230

Argast, S., Farlow, J. O., Gabert, R.M., Brinkman, D.L. 1987, *Transport induced abrasion of fossil reptilian teeth: Implications for the existence of Tertiary dinosaurs in the Hell Creek Formation, Montana*, Geology, 15, 927-930

Barrera, E. 1994, *Global environmental changes preceding the Cretaceous-Tertiary boundary; early-late Maastrichtian transition*, Geology, 22 (10), 877-880

Bralower, T. J., Paull, C. K., Leckie, R. M. 1998, *The Cretaceous-Tertiary boundary cocktail: Chicxulub impact triggers margin collapse and extensive sediment gravity flows*, Geology, 26, 331-334

Claret, A. 1997, *The apsidal motion test of stellar structure in relativistic systems*, Astronomy and Astrophysics, 327, pag. 11

Claret, A. 1998, *Some notes on the relativistic apsidal motion of DI Herculis*, Astronomy and Astrophysics, 330, pag. 533

Claret, A. 2006, *Azarquiel y otras historias: la Astronomía en al-Andalus*, Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC-Granada, 103-106

Claret, A. 2007, *New grids of stellar models including tidal-evolution constants up to carbon burning. IV. From 0.8 to 125 solar masses: High metallicities ($Z = 0.04-0.10$)*, Astronomy and Astrophysics, 467, 1389-1396

Courtillot, V. 1990, *A volcanic eruption*, Scientific American, 263, 85-92

Davis, M., Hut, P., Muller, R. A. 1984, *Extinction of species by periodic comet showers*, Nature, 308, 715–717

Editorial del New York Times, 2 Abril 1985

Evans, D. A., Beukes, N. J., Kirschvink, J. L. 1997, *Low latitude glaciation in the Palaeoproterozoic era*, Nature, 262, 262-266

Halley, E. 1705, *Astronomiae cometicae synopsis*, Philosophical Transactions of the Royal Society, 24, 1882-1889

Hays, J. D., Imbrie, J., Shackleton, N. J. 1976, *Variations in the earth's orbit: pacemaker of the Ice Age*, Science, 194, 1121-1132.

Hunt, A.P., Lucas, S.G. 1991, An associated Maastrichtian hadrosaur and a Turonian ammonite from the Naashoibito Member, Kirtland Formation (Late Cretaceous: Maastrichtian), northwestern New Mexico", New Mexico Journal of Science, 31, 27-35

Hildebrand, A. R., Penfield, G. T. Kring, D. A. Pilkington, M. Camargo, A. Jacobsen, S. B. Boynton, W. V. 1991, *Chicxulub Crater: a possible Cretaceous-Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula*, Geology, 19, 867-871

Jaffe, M., 2000, *The gilded dinosaur*, Three Rivers Press, New York

Jiménez, A., Pérez Hernández, F., Claret, A., Palle, P. L., Régulo, C., Roca Cortes, T. 1994, *The rotation of the solar core*, Astrophysical Journal, 435, 874

Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W., Rebolledo-Vieyra, R., Urrutia Fucugauchi, Kramar, U., Stüben, D., 2004, *Chicxulub impact predates the K-T boundary mass extinction*, PNAS, 101, 3753-3758

Kirschvink, J. L., Ripperdan, R. L., Evans, D. A. 1997, *Evidence for a large-scale reorganization of early Cambrian continental masses by inertial interchange true polar wander*, Science, 277, 541-545

Kyte, F. T. 1998, *A meteorite from the Cretaceous-Tertiary boundary*, Nature, 396, 237-239

Leighton, R. B., Noyes, R. W., Simon, G. W. 1962, *Velocity Fields in the Solar Atmosphere. I. Preliminary Report*, Astrophysical Journal, 135, 474

Leitch E.M.; Vasisht G. 1998, Mass extinctions and the sun's encounters with spiral arms, New Astronomy, 3, 51-56

Lerbekmo, J. F., Sweet, A. R., Duke, M. J. M. 1995, *A normal polarity subchron which embraces the K-T boundary: a measure of sedimentary continuity across the boundary and synchronicity of boundary events*, Geol. Soc. Am. Bull, 101, 1408-1419

Lerbekmo, J. F. 1997, *Paleomagnetic correlation*, in Encyclopedia of Dinosaurs, Edited by P. J. Currie y K. Padian, 520-521

McLaren, D. J. 1970. *Presidential address: Time, life, and the boundaries*, Journal of Paleontology, 44, 801–815

Melott , A. L., Lieberman, B. S., Laird, C M., Martin, L. D., Medvedev, M. V., Thomas, B. C., Cannizzo, J. K., Gehrels, N., Jackman, C. H. 2004, *Did a gamma-ray burst initiate the late Ordovician mass extinction?*, International Journal of Astrobiology, 3, 55-61

Penfield, G. T., Camargo, A. 1981 *Definition of a major igneous zone in the central Yucatán platform with aeromagnetism and gravity*, Society of Exploration geophysicists Technical Program, Abstracts, and Biographies, 51, 37

Rampino, M. R., Stothers, R. B. 1984, *Terrestrial mass extinctions, cometary impacts and the Sun's motion perpendicular to the galactic plane*, Nature, 308, 709-712

Raup, D. M. 1985, Nature, 314, 341-343

Raup, D. M., Sepkoski, J. J. Jr. 1984, *Periodicity of extinctions in the geologic past*, PNAS 81, 801–804.

Rigby, J. K., Newman, K. R., Smit, J., Vander Kars, S., Sloan, R. E. , 1987, *Dinosaurs from the Paleocene part of the Hell Creek Formation, McCone County, Montana*, Palaios, 2, 296-302

Russel, D., Tucker, W. 1971, *Supernovae and the extinction of the dinosaurs*, Nature, 229, 553-554

Sarjeant, W. A. S., Currie, P. J. 2001, *The great extinction that never happened: the demise of the dinosaurs considered*, Canadian Journal of Earth Sciences, 38, 239-247

Scalo, J., Wheeler, J.C. 2002, *Astrophysical and Astrobiological Implications of Gamma-ray Burst Properties*, Astrophysical Journal, 566, 723-737

- Sheehan, P. M., Fastovsky, D. E., Barreto, C., Hoffmann, R. G. 2000, *Dinosaur abundance was not declining in 3 m gap at the top of the Hell Creek Formation, Montana and North Dakota*, *Geology*, 28 (6), 523-526
- Schindewolf, O. H. 1962, *Neokatastrophismus?*, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 114, 430–435.
- Schwartz, R. D., James, P. B. 1984, *Periodic mass extinctions and the Sun's oscillation about the galactic plane*, *Nature*, 308, 712–713
- Sepkoski, J. J. 1982, *A compendium of fossil marine families*, Milwaukee Public Museum
- Signor, P. W., Lipps, J. H. 1982, *Sampling bias, gradual extinctions patterns, and catastrophes in the fossil records*, *Geological Society of America, Special Paper*, 190, 291-296
- Smit, J., Hertogen, J. 1980, *An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary*, *Nature*, 285, 198-200
- Smit, J. et al. 1992, *Tektite-bearing, deep water clastic unit at the Cretaceous-Tertiary boundary in northeastern Mexico*, *Geology*, 20, 99-102
- Thorsett, S. E. 1995, *Terrestrial Implications of Cosmological Gamma-Ray Burst Models*, *Astrophysical Journal*, 444, L53-L55
- Urey, H. C. 1973, *Cometary collisions and geological periods*, *Nature*, 242, 32–33
- Vázquez, M., Martín, E. 1999, *La búsqueda de vida extraterrestre*, 130, McGraw-Hill/Interamericana
- West Wells, J., 1963, *Coral Growth and Geochronometry*, *Nature*, 197, 948-950
- Whitman, Walt, *Hojas de Hierbas*, 1860
- Whitmire, D. P., Jackson, A. A. IV. 1984. *Are periodic mass extinctions driven by a distant solar companion?*, *Nature*, 308, 713–715
- Whitmire, D. P., Matese, J. J. 1985, *Periodic comet showers and Planet X*, *Nature*, 313, 36

Wilf, P., Johnson, K. R., Huber, B. T. 2003, *Correlated terrestrial and marine evidence for global climate changes before mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary*, PNAS 100(2), 599-604

Williams, G. E. 1993, *History of the Earth's obliquity*, Earth Science Reviews 34, 1-45

Williams, D. M., Kasting, J. F., Frakes, L. A. 1998, *Low-latitude glaciation and rapid changes in the Earth's obliquity explained by obliquity-oblateness feedback*, Nature, 396, 453-455

