

## CICLOS ORBITALES JURÁSICOS REGISTRADOS EN ROCAS SEDIMENTARIAS AFLORANTES EN LA GARGANTA DE BREGGIA (TICINO-SUIZA) A PARTIR DE LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

María Andrea Van Zele, Haroldo Vizán y Miriam Gabriela Nieto

CONICET. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Cs. Exactas y Naturales (U.B.A.). Pabellón 2.  
Ciudad Universitaria. Buenos Aires.

### RESUMEN

Algunas sucesiones estratigráficas sedimentarias se desarrollan en plataformas estables epicontinentales. Durante el Jurásico se formaron tales plataformas en el mar abierto denominado Tethys, y actualmente sus secuencias sedimentarias se localizan en Europa. A través de diferentes métodos se han reconocido ciclos orbitales en los sedimentos organogénicos precipitados en las plataformas del Mar de Tethys. Algunas de estas sucesiones registran ciclos orbitales terrestres denominados de precesión (de aproximadamente 20 ka), de oblicuidad (de aproximadamente 40 ka) y de excentricidad (de aproximadamente 100 ka).

En la garganta de Breggia sobre la base de la repetición rítmica (margas, calizas y lutitas) también se determinaron dichos ciclos orbitales.

El objetivo del presente trabajo es analizar si la susceptibilidad magnética de campo bajo medida en rocas jurásicas aflorantes en dicha garganta, es también un indicador de los ciclos mencionados. Para ello se compilaron 153 datos de susceptibilidad de un estudio preexistente que corresponden a las biozonas *Uptonia jamesoni* y *Tragophyloceras ibex* (aprox. 189 Ma a 187 Ma). Estas determinaciones se corrigieron debido a un incremento lineal observado, luego se calcularon los coeficientes de Fourier, el espectro de potencia y la variación del error cuadrático. De estos resultados se infiere que pueden haberse registrado los ciclos que corresponden a la precesión y oblicuidad del eje de rotación terrestre y la excentricidad de la órbita del planeta.

El incremento lineal observado en la susceptibilidad podría deberse a un aumento gradual de minerales paramagnéticos y/o ferromagnéticos en la secuencia de las rocas sedimentarias analizadas. Es de destacar que en secuencias sedimentarias estudiadas en Dorset y Yorkshire (Inglaterra) se reconoció un decrecimiento lineal de la relación  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  para el lapso que corresponde a las biozonas *Uptonia jamesoni* y *Tragophyloceras ibex*. Este decrecimiento fue interpretado como resultado de un aumento en la actividad hidrotermal en el fondo marino. Se interpreta que el aumento lineal en la susceptibilidad observado en la garganta de Breggia tendría el mismo origen.

**Palabras claves:** Jurásico - ciclos orbitales – susceptibilidad magnética

### ABSTRACT

Some stratigraphic sedimentary sequences are developed in epicontinental stable platforms. During the Jurassic time there were formed such platforms in the open sea named Tethys, and now their sedimentary sequences are located in Europe. Through different methods orbital cycles have been recognized in the organogenic sediments precipitated in the platforms of Tethys Sea. Some of these sequences register orbital terrestrial cycles called precession (of approximately 20 ka), obliquity (of approximately 40 ka) and eccentricity (of approximately 100 ka). In Breggia gorge on the basis of sedimentary rocks (marls, limestones and shales) that are rhythmically repeated, these orbital cycles were determined.

The aim of the present work is to analyze if the low field magnetic susceptibility measured in Jurassic rocks outcropping in this gorge, is also an indicator of the mentioned cycles. For this work 153 susceptibility data that belong to *Uptonia jamesoni* and *Tragophyloceras ibex* biozones (aprox. 189 Ma to 187 Ma) were compiled from a pre-existing study. These determinations were corrected because a linear increase was observed; then Fourier's coefficients, the spectrum of power and the variation of the quadratic error were calculated. From these results it was inferred that cycles belonging to the precession and obliquity of the axis of the terrestrial rotation and the eccentricity of the orbit of the planet, can be recorded.

The linear increase observed in the susceptibility might be due to a gradual increase of paramagnetic and/or ferromagnetic minerals in the rocks of the analyzed sedimentary sequence. It is noteworthy that in sedimentary sequences studied in Dorset and Yorkshire (England) a linear decrease of  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  relation was recognized for the time span that belongs to *Uptonia jamesoni* and *Tragophyloceras ibex* biozones. This decrease was interpreted

as a consequence of an increase in the hydrothermal activity in the sea floor. It is interpreted that the linear increase in the susceptibility observed in Breggia gorge would have the same origin.

**Key words:** Jurassic – orbital cycles – magnetic susceptibility.

## INTRODUCCIÓN

La forma de la órbita de la tierra, varía de ser casi circular (**excentricidad** (E) baja de 0,005) a ser ligeramente elíptica (excentricidad alta de 0,067, según Brower and Clemence, 1961). Hay ciclos de variaciones que ocurren entre 95.000 y 136.000 años, siendo el ciclo más conocido de unos 100.000 años (i.e. Weedon, 2003).

Como la tierra no es esférica sino abultada en el ecuador y achatada en los polos (resultado de su rotación), el momento de la fuerza de atracción del sol y la luna produce un cambio lento y gradual en la orientación del eje de rotación de la tierra. Este cambio es la **precesión** (P) de su eje de rotación alrededor de la normal a la eclíptica; su período es de aproximadamente 25.800 años (Goldstein, 1963; Udías Vallina y Mezcúa Rodríguez, 1986; Weedon, 2003). El eje de giro de la tierra cambia también su inclinación lentamente con el tiempo (**oblicuidad de la eclíptica** (O)). Este movimiento varía entre los 22° 30' y los 24° 30' (Bertotti and Farinella, 1990); esta oblicuidad del eje sigue un ciclo de aproximadamente 41.000 años (Weedon, 2003).

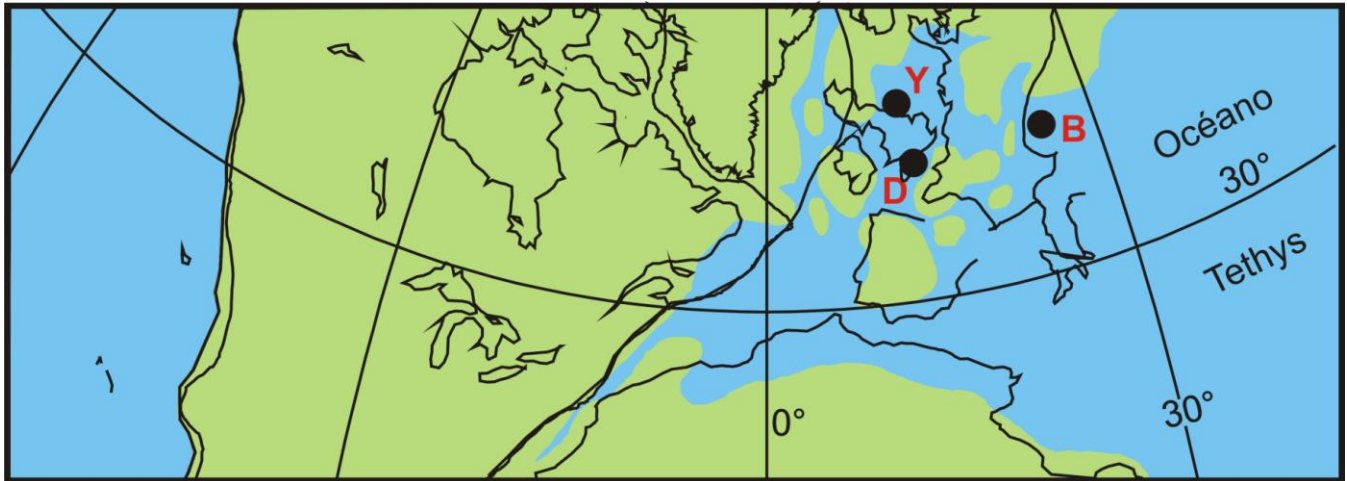
Desde comienzos del siglo XIX varios investigadores de ciencias de la Tierra reconocieron que distintos ciclos sedimentarios podrían corresponder a cambios climáticos relacionados con procesos orbitales como los mencionados (véase Weedon, 1993). La denominada Teoría de Milankovitch podría sustentarse a través de datos determinados en antiguas secuencias sedimentarias (i.e. Weedon, 2003). Es de destacar que el trabajo original del matemático serbio Milankovitch (1879- 1958) era teórico y sugería que las oscilaciones orbitales podían afectar la distribución de la radiación solar sobre la superficie terrestre (Milankovitch, 1912). Sin embargo debieron pasar algunos años hasta que se aceptara universalmente que datos registrados en rocas sedimentarias de secuencias estratigráficas podrían sustentar este modelo. Recién a mediados de la década del setenta se comenzó a reconocer masivamente que la causa de la ciclicidad estratigráfica determinada por depósitos de rocas sedimentarias que se repiten secuencialmente, correspondería al modelo teórico de Milankovitch, dado que se empezaron a obtener dataciones cronoestratigráficas cada vez más precisas de litologías marinas del Cenozoico Tardío.

De diferentes secuencias sedimentarias se han tomado diferentes parámetros con los que se generan series temporales para reconocer la periodicidad de los ciclos orbitales mencionados. Los datos o parámetros que generalmente se miden son %CaCO<sub>3</sub>, % de carbón orgánico, % total de sal,  $\delta^{18}\text{O}/\delta^{13}\text{C}$  (medidos en conchillas fósiles), tamaño de grano del sedimento, cambios rítmicos en espesores de estratos o en tipos litológicos, cambios en la susceptibilidad magnética, etc.(i.e. Weedon, 1993).

Las evidencias de que en el Cenozoico Tardío los ciclos propuestos por Milankovitch se relacionan con el clima y la sedimentación son numerosas, sin embargo en secuencias sedimentarias antiguas aún existen controversias. Por ejemplo, la utilización de estratos dispuestos rítmicamente de calizas y margas o calizas y pelitas como parámetro indicador de los ciclos orbitales, puede ser problemático. Esta disposición rítmica de tipos litológicos diferentes podría deberse a un proceso diagenético durante el cual se segrega CaCO<sub>3</sub> que constituye estructuras concrecionales extendidas lateralmente (i.e. Hallam, 1986). Puede ocurrir que durante la identificación de los ciclos orbitales se suponga que todos los bancos de caliza de una secuencia registran un evento determinado por el ambiente de depositación. Si por lo menos algunos de estos bancos corresponden a un proceso diagenético que no fue identificado, el análisis de ciclos orbitales generará resultados espurios (i.e. Hallam, 1986).

De manera que la identificación de ciclos orbitales en una secuencia sedimentaria geológicamente antigua es confiable cuando se usan varios parámetros diferentes. En otras palabras, es más confiable que una secuencia estratigráfica haya registrado a los ciclos mencionados cuando su estudio está compuesto por datos que provienen de diferentes disciplinas que en análisis de series temporales definen periodicidades similares (Weedon, 1993).

Durante el Jurásico Temprano gran parte de la sección occidental de Europa estuvo cubierta por un mar epicontinental en latitudes cercanas al actual trópico de Cáncer. Es decir, regiones de Italia, Francia, Suiza, la península Ibérica y Gran Bretaña (Fig. 1) tuvieron condiciones ambientales propicias para que se generaran secuencias rítmicas condicionadas climáticamente por ciclos orbitales. En la Fig. 1 se muestra una reconstrucción absoluta de un sector de Pangea basado en Torsvik *et al.* (2008), Schettino y Turco (2011), Mitchell *et al.* (2011) y Rosenbaum *et al.* (2002).



**Fig.1:** Sección de Pangea en latitudes cercanas al actual trópico de Cáncer durante el Jurásico Temprano. En celeste áreas cubiertas por mares, en verde áreas emergidas. Los círculos llenos corresponden a localidades mencionadas en el texto (B: garganta de Breggia, D: Dorset, Y: Yorkshire).

**Fig.1:** Section of Pangea in latitudes close to the present Tropic of Cancer during the Early Jurassic. In blue: areas covered by sea, in green: landupheaval. Filled circles correspond to locations mentioned in the text (B: Breggia throat, D: Dorset, Y: Yorkshire).

En Dorset (Fig. 1), actualmente sur de Inglaterra, se reconocen intercalaciones de fangolitas calcáreas (margas) y pelitas ricas en carbón orgánico constituyendo una sucesión cicloestratigráfica cuyos depósitos corresponderían a ciclos orbitales (Weedon y Jenkyns, 1999). En esta sucesión además de reconocerse la regularidad de los bancos de margas y pelitas, se determinaron secuencialmente porcentajes de  $\text{CaCO}_3$  y de cantidad total de materia orgánica; análisis de series temporales indican que los depósitos de la sucesión tienen un origen relacionado con los ciclos orbitales de precesión y excentricidad (Weedon y Jenkins, 1999).

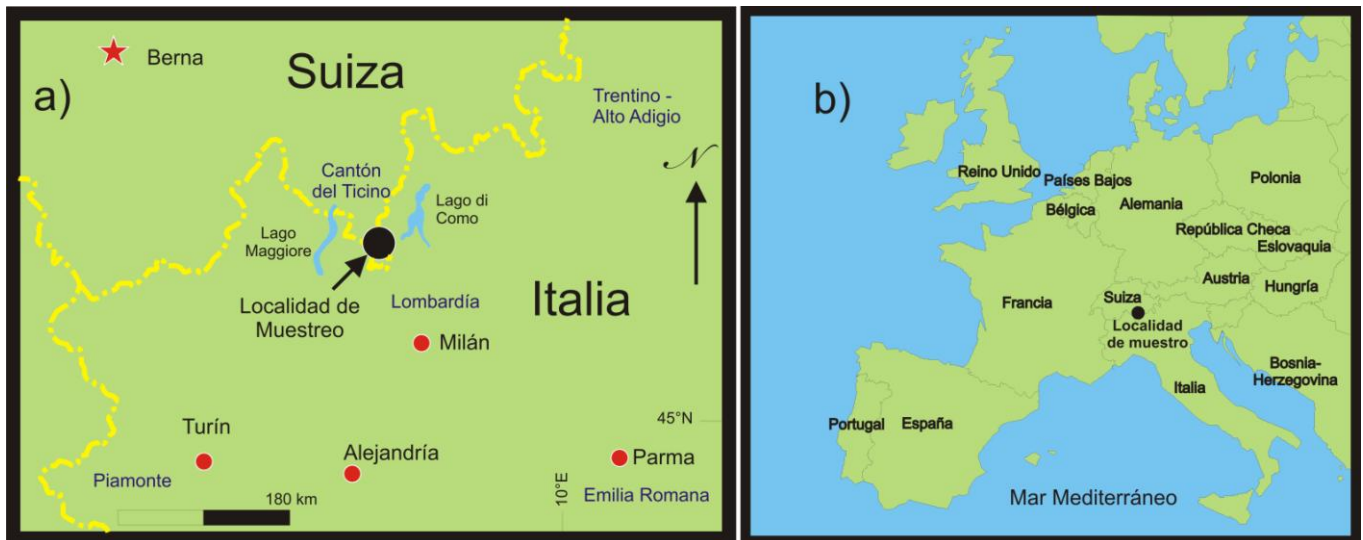
Es de destacar que en la sección estratigráfica de Dorset también se determinaron en microfósiles isótopos de estroncio que se compararon con los obtenidos en Yorkshire (Fig. 1), por Jones *et al.* (1994a). La relación entre los isótopos ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) de ambas localidades presenta un decrecimiento constante en el tiempo que estaría relacionado a la actividad hidrotermal asociada a la generación de corteza oceánica durante el desmembramiento de Pangea (Jones *et al.*, 1994b; Jones y Jenkins, 2001).

En la garganta de Breggia (Fig. 1), actualmente en el cantón suizo Ticino, se encuentran depósitos jurásicos parcialmente correlacionables a través de biozonas de amonites con los situados en Dorset. En esta localidad, Weedon (1989) reconoció los tres ciclos orbitales mencionados al comienzo de esta introducción, asignando un código numérico a los diferentes tipos litológicos que, en general, constituyen sucesiones de calizas, margas y lutitas. La garganta de Breggia presenta un registro sedimentario con relativamente pocos hiatus muy bien datado a través de amonites y por ello es utilizado como patrón magnetoestratigráfico global (i.e. Gradstein *et al.*, 2004). Sin embargo no se conocen otros estudios que hayan utilizado un método diferente al de Weedon (1989) para reconocer la presencia de depósitos controlados por variaciones orbitales y garantizar así su origen astronómico.

Uno de los objetivos de la presente contribución es, entonces, analizar si existe otro parámetro que indique si los ciclos mencionados pueden reconocerse en la garganta de Breggia. Para ello se compilaron datos de susceptibilidad magnética del trabajo de Horner y Heller (1983) que originalmente no fueron empleados para tal fin. El otro objetivo es reconocer si la actividad hidrotermal que se atribuye por mediciones de isótopos de Sr en los depósitos Dorset y Yorkshire, pudo haberse registrado en la susceptibilidad magnética medida en la sucesión sedimentaria de Breggia.

## SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA ESTUDIADA EN LA GARGANTA DE BREGGIA

La garganta de Breggia (coordenadas geográficas actuales: Lat.= 45° 51', Lon.= 9° 00') se encuentra cerca de Morbio Superiore, en el cantón del Ticino de los Alpes Australes, Suiza (Fig. 2). Allí aflora una secuencia de depósitos de plataforma jurásicos inferiores que se depositaron en la Cuenca Lombarda. La sección inferior de la secuencia, cuya susceptibilidad magnética se analiza en este trabajo, está compuesta fundamentalmente por calizas con escasos nódulos, margas y lutitas lateralmente continuas e intercaladas rítmicamente (Weedon, 1989). El componente carbonático predominante es micrita y microesparita que parecen portar un precursor de los coccolitos. Los microfósiles dominantes son amonites. Descripciones estratigráficas y bioestratigráficas detalladas se encuentran en los trabajos de Bernoulli (1964) y Wiedenmayer (1980).



**Fig. 2. a)** Mapa de ubicación de la localidad de muestreo garganta de Breggia. Como referencia se presentan, además del cantón suizo del Ticino, regiones y ciudades importantes de Italia. **b)** Ubicación relativa de la localidad de muestreo en un mapa actual de Europa.

**Fig 2. a)** Location map of the sampling locality Breggia gorge. For reference the Swiss canton of Ticino, regions and major cities in Italy are also shown. **b)** Relative location of the sampling site on a present map of Europe.

En la sección inferior no se observan deslizamientos, ni canales, ni contactos erosivos, ni estructuras que indiquen turbiditas (Weedon, 1989). Es decir, parecería que en la garganta de Breggia los estratos más cercanos a la base de la sucesión corresponderían a depósitos cíclicos de plataforma estable que directamente no presentan hiatus. Es por ello que resulta una sección adecuada para analizar si la susceptibilidad magnética medida en estos estratos, registra la influencia de forzantes astronómicos (ciclos orbitales).

La edad de la sección analizada del perfil de la garganta de Breggia, está basada en la presencia de las biozonas de amonites *Uptonia jamesoni* (parte inferior) y de *Tragophyloceras ibex* (parte superior) que pertenecen al Pliensbaquiano temprano (Carixiano). De acuerdo con las biozonas mencionadas, la sección analizada cubre un lapso desde los  $188.9 \pm 1,5$  Ma hasta los  $187.6 \pm 1,5$  Ma (Gradstein *et al.*, 2004). En adelante se señalará a las biozonas mencionadas como Jamesoni e Ibex.

## EL PARÁMETRO SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

La susceptibilidad magnética es un escalar que caracteriza la intensidad de la respuesta de un material (magnetización  $M$ ) a un campo magnético externo  $H$  (Petrovsky, 2007). Los materiales pueden ser clasificados como diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos; en estos últimos la curva de magnetización  $M(H)$  no es lineal sino que muestra histéresis; se define como susceptibilidad magnética inicial o reversible a

$$\chi = \lim_{H \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta M}{\Delta H} \right)_{H,M} = \left( \frac{\partial M}{\partial H} \right)_{H=M=0}$$

y representa el ángulo entre la tangente de la curva de magnetización  $M(H)$  y el eje  $H$  en  $H=0$ .

En el gráfico de Horner y Heller (1983) cada valor de la susceptibilidad lineal (registrada en unidades SI), se corresponde con la altura indicada en la columna estratigráfica. Los datos pertenecen a muestras que no se encuentran equiespaciadas y fueron medidos con una distancia media de 20 centímetros. Suponiendo que la velocidad de depositación del sedimento en el fondo marino ha sido uniforme y que no existen hiatus, puede establecerse el tiempo transcurrido entre muestras sucesivas. El intervalo total de tiempo que involucran los registros en el período Jamesoni (base de la columna estudiada) y el siguiente, Ibex, es  $T = 1.28368$  m.a., y en él han sido estudiadas 153 muestras. Considerando el 0 en la primera muestra de Jamesoni, son  $N=152$  las muestras que se utilizan para estudiar los posibles ciclos orbitales.

## METODOLOGÍA

La susceptibilidad  $\chi$  (en unidades SI) muestra un crecimiento lineal (Fig. 2); los parámetros de la recta de ajuste

$$\chi_i = m \cdot i + b \quad (\text{con } i = 1, \dots, 152) \quad (a)$$

son calculados por cuadrados mínimos. Con la diferencia ( $\chi_{0i}$ ) entre los valores ( $\chi_i$ ) registrados y los correspondientes a la recta de ajuste es posible estudiar la presencia de variaciones periódicas a través de la descomposición de  $\chi_{0i}$  en una suma de simples funciones senoidales, y de sencilla interpretación (método de Fourier (Chapman y Bartels, 1940)); considerando equidistantes a los valores de la sucesión susceptibilidad  $\chi_{0(i)}$  se busca aproximarla por una serie finita como combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras:

$$S_k(t_i) = a_0 + a_1 \cdot \cos(t_i) + b_1 \cdot \text{sen}(t_i) + \dots + a_k \cdot \cos(k \cdot t_i) + b_k \cdot \text{sen}(k \cdot t_i)$$

donde  $a_0$ , el promedio de los  $\chi_{0i}$ , es nulo;  $k=N/2$ ;  $t_i=2\pi i/T$

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \chi_{0i} \cdot \cos(k \cdot t_i) \quad \text{y} \quad b_j = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \chi_{0i} \cdot \text{sen}(k \cdot t_i).$$

A partir de la relación  $c_j^2 = a_j^2 + b_j^2$ , (b)

el periodograma (estimador del espectro de potencia) puede definirse como

$$P_S(j) = \frac{N}{4} \cdot c_j^2, \quad (c)$$

y es tradicionalmente evaluado sólo en las  $k = \frac{N}{2}$  frecuencias equiespaciadas.

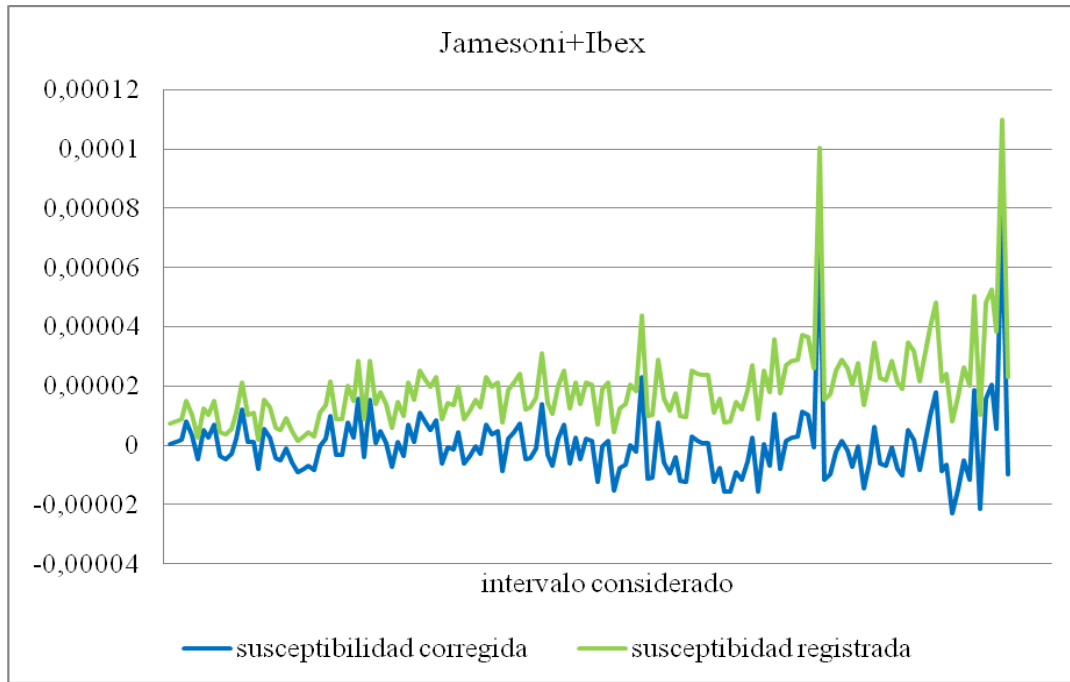
Si los datos no están equiespaciados, como en este caso, el periodograma debe ser algo modificado (Scargle, 1982), la redefinición es:

$$P_S(j) = \frac{1}{2} \left( \frac{(\sum_i S(t_i) \cdot \cos(k(t_i-\tau)))^2}{\sum_i \cos^2(k(t_i-\tau))} + \frac{(\sum_i S(t_i) \cdot \text{sen}(k(t_i-\tau)))^2}{\sum_i \text{sen}^2(k(t_i-\tau))} \right) \quad (d)$$

con  $\text{tg}(2 \cdot k \cdot \tau) = (\sum_i \text{sen}(2kt_i)) / (\sum_i \cos(2kt_i))$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

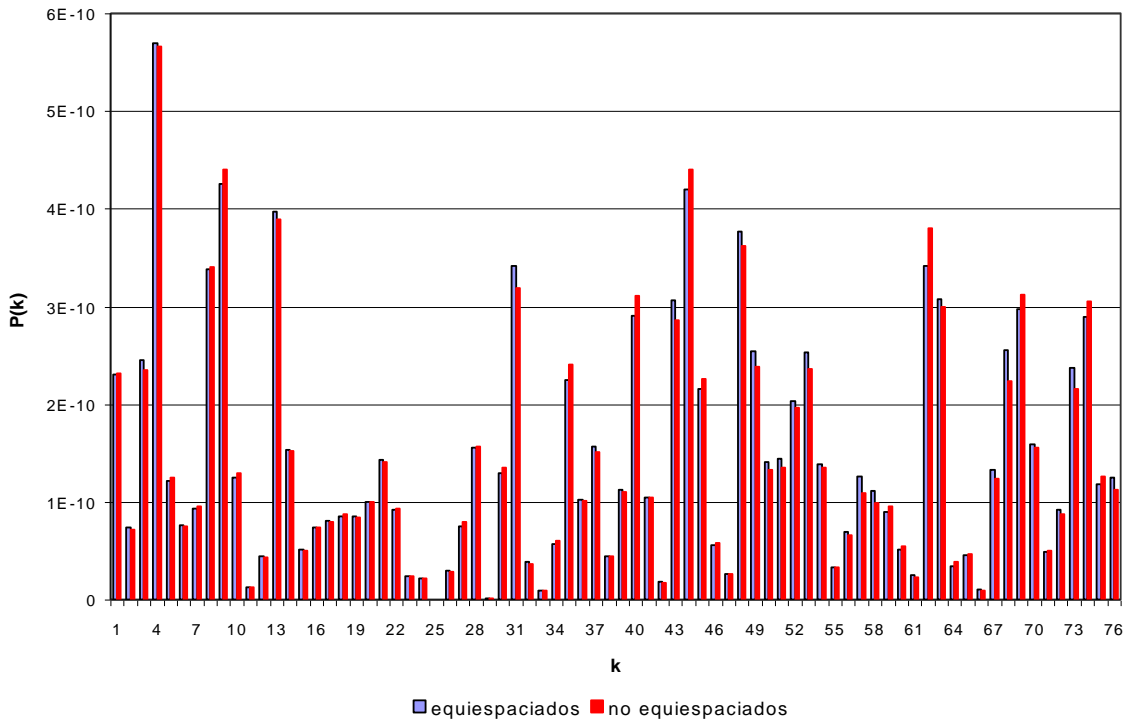
El incremento aproximadamente lineal de la susceptibilidad magnética en el intervalo que cubren las biozonas Jamesoni e Ibex (Fig.3) ajustado por cuadrados mínimos (ec. a) muestra  $m=2,655 \cdot 10^{-5}$  y  $b=6,216 \cdot 10^{-6}$ . Este incremento podría estar relacionado al aumento en los fenómenos hidrotermales generados por la apertura del océano Atlántico norte, tal como lo observado en la relación entre isótopos del Sr en Yorkshire y Dorset. Es de destacar que no se han realizado estudios detallados de magnetismo de rocas en la garganta de Breggia, sin embargo, los pocos experimentos de magnetización remanente isotérmica y las temperaturas de desbloqueo presentadas por Horner y Heller (1983) indican que entre los minerales magnéticos se encontraría magnetita. Se debe considerar que durante la generación de corteza oceánica, se producen fenómenos hidrotermales conocidos como fumarolas negras (black smokers). Estas fumarolas son emanadas a través de chimeneas con tamaños de orden métrico y presentan sulfuros de importancia económica, además de óxidos e hidróxidos de hierro entre otros minerales (Canet y Prol Ledesma, 2006). Jones and Jenkyns (2001) consideran razonable suponer que las emanaciones de fumarolas negras submarinas fueron proporcionales a la tasa de producción de corteza oceánica durante el pasado geológico.



**Fig.3:** susceptibilidad  $\chi$  (unidades SI) registrada en la garganta de Breggia en las biozonas *Jamesoni* e *Ibex* (período considerado entre 187.6 y 188.9 Ma); se muestran los valores con crecimiento lineal (en verde), y (en azul) los corregidos según un ajuste lineal.

**Fig.3:** susceptibility  $\chi$  (SI units) recorded at Breggia gorge in the *Jamesoni* and *Ibex* biozones (time span between 187.6 and 188.9 Ma); values with linear increase (in green), and corrected by a linear fit (in blue).

#### Periodogramas (J+I)



**Fig.4:** periodograma calculado a partir de la serie de Fourier obtenida de los 153 valores de la susceptibilidad registrada en la garganta de Breggia suponiendo valores equiespaciados (en negro), y el modificado por no serlo, según el método de Scargle (en rojo).

**Fig.4:** periodogram calculated from the Fourier series of the 153 values of susceptibility recorded at Breggia gorge assuming equispaced data (in black) and modified according to the method of Scargle (in red), because the data are not equispaced.

Por lo cual, se sugiere que el incremento observado en la susceptibilidad magnética podría deberse a un aumento paulatino de magnetita en el seno del mar epicontinental jurásico que cubría parte de Europa, siendo este mineral producido por fumarolas negras relacionadas con la apertura del Océano Atlántico. La tasa del incremento en la susceptibilidad observada en la garganta de Breggia en las biozonas Jamesoni e Ibex es de 0,00314862 por millón de años. De todas maneras se necesitarían más estudios de magnetismo de rocas para determinar con mayor seguridad qué minerales pudieron provocar el incremento en la susceptibilidad magnética observado.

En la Fig.4 está graficado el periodograma (ec.c) a partir de los coeficientes (ec.b) calculados de la serie de Fourier obtenida de los 153 valores de la susceptibilidad registrada en la garganta de Breggia suponiendo valores equiespaciados (en negro), y el modificado (en rojo) por la corrección de cada armónico (ec.d) según el método de Scargle (1982). Considerando que no existen hiatus, y suponiendo que la velocidad de depositación ha sido constante, los depósitos estudiados en la garganta de Breggia parecen señalar variaciones orbitales a través de un análisis de sus registros de susceptibilidad magnética. De manera que a través de otro parámetro (susceptibilidad) se llega a las mismas conclusiones que Weedon (1989) que utilizó datos de otra naturaleza y otro método de análisis. Lo mencionado refuerza la idea de que los depósitos jurásicos de la garganta de Breggia hayan estado influidos por un forzante astronómico. En la Tabla 1 figuran los elementos más significativos de los periodogramas ( $P_s(j)$ ); el más notable es el de 320,9 k.a.; se destacan también el de 142,6 y el de 98,7 ka que pueden corresponderse con la excentricidad, el de 26,7 ka que puede corresponderse con la precesión, y el de 41,4 ka que puede corresponderse con la oblicuidad de la órbita. El máximo muy marcado de 320,9 ka observado en el periodograma (Fig. 4) no puede actualmente ser asociado a un ciclo orbital terrestre. Sin embargo, han sido reconocidos máximos semejantes en diferentes lugares y en distintas edades geológicas. Por ejemplo un análisis de series temporales efectuado en depósitos del testigo corona del Ocean Drilling Project (ODP) 846 localizado en 3°06'S y 90°49'W y que cubre un lapso que va desde 835 ka hasta 181.1 ka, aplicando el método de Fourier a la variación del  $^{18}O$ , presenta un máximo de 320 ka (Glushkov *et al.*, 2005). En depósitos del Cretácico "medio" de Umbría (Italia) a través de un estudio de series temporales utilizando contenido de carbonato, Herbert y Fischer (1986) reconocen un pico de 347 ka que consideran puede deberse a una superposición de diferentes ciclos, sin embargo no dan mayores detalles al respecto.

k	Pne(k)x10 <sup>10</sup>	Pe(k)x10 <sup>10</sup>	T (ka)
<b>4</b>	<b>5,66</b>	<b>5,69</b>	<b>320,9</b>
<b>9</b>	<b>4,40</b>	<b>4,25</b>	<b>142,6</b>
44	4,40	4,20	29,1
<b>13</b>	<b>3,89</b>	<b>3,97</b>	<b>98,7</b>
62	3,80	3,41	20,7
<b>48</b>	<b>3,62</b>	<b>3,76</b>	<b>26,7</b>
8	3,40	3,76	160,5
<b>31</b>	<b>3,19</b>	<b>3,42</b>	<b>41,4</b>
69	3,12	2,96	18,6
40	3,11	2,91	32,1

**Tabla 1:** coeficientes armónicos más significativos del periodograma de los datos equiespaciados (Pe) y no equiespaciados (Pne); en la primera columna figura la frecuencia asociada, en la cuarta el período correspondiente; se han destacado en negrita aquellos que pueden ser asociados a procesos orbitales.

**Table1:** more significant harmonic coefficients of the equidistant data (Pe) and not equidistant data (Pne) from the periodograma; in the first column the associated frequency is shown, in the fourth the corresponding period; in boldface those data that can be associated to orbital processes.

## CONCLUSIONES

- 1.- El aumento aproximadamente lineal observado en la susceptibilidad magnética que presentan los depósitos donde se encuentran las biozonas Jamesoni e Ibex en la garganta de Breggia, podría relacionarse con la actividad hidrotermal asociada a la apertura del océano Atlántico del mismo modo en que el decrecimiento en la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  observado en Dorset y Yorkshire.
- 2.- Se considera que a través de la susceptibilidad magnética en la garganta de Breggia se reconocen ciclos orbitales en las biozonas Jamesoni e Ibex. Los mismos pueden asociarse a la excentricidad (142,6 y 98,7 ka), la precesión (26,7 ka) y la oblicuidad (41,4 ka). De manera que a través de otro parámetro se llega a las mismas conclusiones que Weedon (1989) que utilizó datos de otra naturaleza y otro método de análisis. Se refuerza, entonces, la idea de que los depósitos jurásicos de la garganta de Breggia podrían haber estado influidos por un forzante astronómico.
- 3.- Existe en el periodograma un máximo muy marcado de 320,9 ka que no puede actualmente ser asociado a un ciclo orbital terrestre. Sin embargo, han sido reconocidos máximos semejantes en diferentes lugares y en distintas edades geológicas.

**Agradecimientos:** Los autores desean agradecer a la Universidad de Buenos Aires (Subsidio UBACyT – 20020100100894) y al CONICET (Subsidio PIP – CONICET: 112 200801 02828). Las correcciones efectuadas por los doctores Carlos Alberto Vásquez y Ana María Walther mejoraron la presentación de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Bernoulli, D., 1964. Sur geologie des Monte Generoso. *Beitrag zur Geologischen Karte der Schweiz*, N.F. 118.
- Bertotti, B. and P. Farinella, 1990. Physics of the Earth and the Solar System. Dynamics and Evolution, Space Navigation, Space-Time Structure. Geophysics and Astrophysics Monographs, Kluwer Academic Publishers, 479 pp.
- Brower, D. and G.M., Clemence, 1961. Planets and satellites in The Solar System, vol. 3, G.P. Kuiper and B. Middlehurst (Eds.).
- Canet, C. y R. Prol-Ledesma, 2006. Procesos de mineralización en manantiales hidrotermales submarinos someros, ejemplos en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 58: 83-102. Volumen conmemorativo del Centenario. Revisión de algunas tipologías de depósitos minerales.
- Chapman, S. and J. Bartels, 1940. Geomagnetism. Volume II: analysis of the data and physical theories. The Clarendon Press. Oxford. 1049 pp.
- Glushkov, A.V., V.N. Khokhlov, N.S. Loboda, V.D. Rusov and V.N. Vaschenko, 2005. Orbital forcings of the Earth's climate in wavelet domain. *Climate of the Past Discussions*, 1: 193-214.
- Goldstein H; 1963; Mecánica Clásica. Editorial Aguilar. España. 456 pp.
- Gradstein, F., J. Ogg and A. Smith, 2004. A Geological Time Scale. Cambridge University Press, UK, 589 pp.
- Hallam, A., 1986. Origin of minor limestone-shale cycles: Climatically induced or diagenetic? *Geology*, 14: 609-612.
- Herbert, T.D. and A.G. Fischer, 1986. Milankovitch climatic origin of mid-Cretaceous black shale rhythms in central Italy. *Nature*, 321:739-743.
- Horner, F. and F. Heller, 1983. Lower Jurassic magnetostratigraphy at Breggia Gorge (Ticino, Switzerland) and Alpe Turati (Como, Italy). *Geophysical Journal of the Astronomical Society*, 73: 705-718.
- Jones, C.E., H.C. Jenkyns and S.P. Hesselbo, 1994a. Strontium isotopes in Early Jurassic seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 1285-1301.
- Jones, C.E., H.C. Jenkyns, and S.P. Hesselbo, 1994b. Strontium isotopic variations in Jurassic and Cretaceous seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 3061-3074.
- Jones, C.E. and H.C. Jenkyns, 2001. Seawater strontium isotopes, oceanic anoxic events, and seafloor hydrothermal activity in the Jurassic and Cretaceous. *American Journal of Science*, 301, 112-149.
- Milankovitch, M. (1920). *Theorie Mathématique des Phenomenes Thermiques produits par la Radiation Solaire*. Gauthier-Villars Paris.
- Mitchell, A. J., P.A. Allison, G.J. Gorman, M. Pigott, and C.C. Pain, 2011. Tidal circulation in an ancient epicontinental sea: The Early Jurassic Laurasian seaway. *Geology*, vol. 39 (3): 207-210, doi:10.1120/G31496.1
- Petrovsky, E. 2007. Susceptibility, pp. 931-933. En: *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Gubins D. and Herrero-Bervera E. (Eds.). Springer, The Netherlands. 1054.
- Rosenbaum, G., G.S. Lister and C. Doboz, 2002. Relative motions of Africa, Iberia and Europe during Alpine orogeny. *Tectonophysics* 359, 117–129.
- Scargle, J.D., 1982. Studies in astronomical time series analysis. II. Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*, 263: 835-853.



- Schettino, A. and E. Turco, 2011. Tectonic history of the western Tethys since Late Triassic. *Geological Society of America Bulletin*, 123 (1/2): 89-105. doi: 10.1130/B30064.1
- Torsvik, T. H., R. D. Müller, R. Van der Voo, B. Steinberger, and C. Gaina (2008), Global plate motion frames: Toward a unified model, *Rev. Geophys.*, 46, RG3004, doi:10.1029/2007RG000227.
- Udías Vallina A. y J. Mezcúa Rodríguez; 1986; *Fundamentos de Geofísica*. Editorial Alhambra S.A.. España; 419 pp.
- Weedon, G., P., 1989. The detection and illustration of regular sedimentary cycles using Walsh power spectra and filtering, with examples from the Lias of Switzerland. *Journal of the Geological Society, London*, 146: 133-144.
- Weedon, G., P., 1993. The recognition and stratigraphic implications of orbital forcing of climate and sedimentary cycles. In: *Sedimentology Review*, Ed. V.P. Wright, Blackwell, Oxford, pp. 31-50.
- Weedon, G., P. and H.C. Jenkyns, 1999. Cyclostratigraphy and the Early Jurassic timescale: Data from the Belemnite Marls, Dorset, southern England. *Geological Society of America Bulletin*, 111: 1823-1840.
- Weedon, G., P., 2003. *Time-Series Analysis and cyclostratigraphy: examining stratigraphic records of environmental cycles*. Cambridge University Press, 259 pp.
- Wiedenmayer, F., 1980. Die Ammoniten der mediterranen Provinz im Pliensbachian und untern Toarcian auf Grund neuer Untersuchungen im Generoso-Becken (Lombardische Alpen). *Denschriften der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft*, 93, Birkhäuser, Basel, 260 pp.

Recibido: 28-5-12

Aceptado: 6-8-12