

## Las variaciones del ritmo de rotación terrestre

Juan Tomé

Amonaria cosmológica / Libros / Los relojes no miden el tiempo: textos complementarios

[www.cosmologica.amonaria.com](http://www.cosmologica.amonaria.com)



Este texto se concibió como complemento del libro “Los relojes no miden el tiempo”. Aunque puede leerse como separata, gana sentido en relación con él.

El estudio de las variaciones del ritmo de rotación de la Tierra es relativamente reciente.

Torroja, en “Nuevas definiciones en el problema de la medida del tiempo”, p 2-4, hace una breve síntesis de la evolución del conocimiento acerca de la constancia o la variación del ritmo de rotación terrestre. Dice:

“[...] en 1678 Flamsteed creyó poder afirmar el isocronismo de la rotación terrestre, afirmación que se siguió aceptando a lo largo de doscientos cincuenta años, si bien con serias reservas a causa de una serie de argumentos que se fueron esgrimiendo a lo largo de los años, pero que no encontraron una confirmación experimental hasta que no se pudo disponer de relojes más precisos que los de péndulo.”

Y a continuación cita trabajos que fueron evidenciando la variación de la duración del día, desde Halley, ya en 1695, hasta De Sitter en 1927, pasando por Laplace en 1787. A mediados del siglo XX era generalizado el consenso sobre el carácter variable del ritmo de rotación del planeta, es decir, de la duración del día. Ese consenso se hace patente al cambiar, en 1956, la definición de segundo. Desde 1792, “bajo el impulso racionalista de la Revolución Francesa” (Jou, El laberinto del tiempo, p 88), el segundo era *la fracción 1/86400 del día solar medio*, definición inconsistente cuando se reconoce que la duración del día va cambiando. En 1956, el segundo se definió (CIPM, “Procès-verbaux Session de 1956, p 77) como *la fracción 1/31.155.925.9747 de la duración del año trópico para 0 de Enero de 1900 a las 12 horas del tiempo de efemérides*. Dejando al margen las sutilezas astronómicas de ambas definiciones, lo importante es que se cambia la definición basada en la duración de un día, de cualquier día, por otra basada en la duración de un año; ¡pero no la de cualquier año!, sino la duración del año al principio de 1900, porque la duración del año, como la del día, va cambiando.

Mientras tanto, aumentaron los estudios no astronómicos que encontraban evidencias de las variaciones del ritmo de rotación de la Tierra. Grow Rhythms and the history of the Earth's rotation, de 1975, es una publicación seminal en ese campo de estudio, que tiene el valor de interesar a muchos científicos (geólogos, geofísicos, fisiólogos de moluscos y corales, paleobiólogos, especialistas en relojes biológicos, especialistas en paleoclimatología, paleontólogos, arqueólogos, arqueoastrónomos, astrofísicos, metrólogos de la hora), de forma que el carácter variable del día es, actualmente, bien conocido en cualquier campo científico. No es fácil, sin embargo, encontrar referencias al carácter cambiante del ritmo de rotación de la Tierra, ni siquiera en obras divulgativas

sobre las propiedades del planeta Tierra y sobre su historia. Quizás que la rotación de la Tierra fuera hasta 1956 el ritmo de referencia para el establecimiento de la hora planetaria, junto a la utilidad educativa de la definición de segundo de 1792, sean hechos que han influido en su consideración común de ritmo invariante.

La velocidad de rotación de la Tierra sobre sí misma puede variar por causas internas y externas. Las alteraciones de la distribución de masas en el planeta y la fricción del núcleo líquido con el manto sólido de la corteza terrestre son causas internas. Las fuerzas de marea Tierra-Luna es la principal causa externa.

Las alteraciones de la distribución de masas varían el momento de inercia del planeta y, en consecuencia, su velocidad de rotación. Se deben a variaciones de superficie helada (diferente en períodos glaciares e interglaciares, diferente según las estaciones del año) y a las consiguientes variaciones del nivel del agua de los océanos; a las variaciones de movimiento de grandes masas de aire; a las alteraciones de la distribución de la litosfera en el globo, debida a movimientos de tectónica de placas; y a movimientos puntuales de masas relacionados con erupciones y terremotos. A causa de las variaciones en la distribución de masas la velocidad de rotación puede aumentar o disminuir, según disminuya o aumente el momento de inercia. En cambio, la fricción del núcleo líquido con el manto sólido de la corteza terrestre tiende siempre a disminuir la velocidad de rotación, porque disipa energía cinética de rotación.

Las fuerzas de marea Tierra-Luna frenan la velocidad de rotación de la Tierra y la velocidad de la Luna orbitándola. La dinámica orbital y la conservación del momento angular del conjunto conducen a que, como resultado de esas disminuciones de velocidad, la Luna se vaya alejando de la Tierra. El alejamiento de la Luna y el aumento de la duración del día a causa de la fuerza de marea Tierra-Luna son hechos relacionados. Si el proceso de frenado de la rotación terrestre y del orbitar de la Luna por las fuerzas de marea no se interrumpe por causas ajenas al sistema (por la evolución del Sol por ejemplo), el estado final del sistema Tierra-Luna será de bloqueo gravitatorio: Tierra y Luna se presentarán siempre la misma cara, esto es, los períodos de rotación de la Tierra y de la Luna, así como el período orbital de la Luna, serán todos iguales.

Poincaré, en “El valor de la ciencia”, p 37, dice: “No tenemos derecho a decir que, de dos relojes, uno marcha bien y el otro mal; solamente podemos decir que es ventajoso referirse a las indicaciones del primero.” De otra manera: es imposible, mediante la mera comparación de dos ritmos, decidir cuál es constante y cuál variable; se precisa un acuerdo sobre cuál se toma como patrón. La constancia de ritmo de un reloj solo se puede establecer comparando el ritmo del mismo reloj en dos épocas distintas, lo que requiere un ritmo auxiliar que tiene que postularse constante en ambas épocas. Del ritmo de rotación terrestre se ha demostrado su no constancia de ritmo por comparación de registros fósiles de distintas épocas que permiten inferir cuál era la relación entre el período de rotación diario de la Tierra y el periodo anual de su traslación alrededor del Sol en cada época. Tomando éste entonces como auxiliar y suponiéndolo invariante, se encuentra que el ritmo de rotación era distinto en distintas épocas.

Las evidencias lejanas (hasta más de dos mil millones de años atrás) de la variación del ritmo de rotación terrestre están basadas en el hecho de que muchos ritmos en el planeta están acoplados al ritmo de variaciones ambientales ligadas a la rotación diaria, a las mareas y a las estaciones del año.

Muchos vivos acoplan su actividad a los ritmos del planeta. Los que tienen interés para la determinación del ritmo de rotación terrestre en épocas pasadas son aquellos que quedan reflejados en fósiles. Es el caso de los crecimientos de estromatolitos, de esqueletos de coral o de conchas de moluscos, crecimientos que dejan marcas que se pueden asociar con el día solar, con las mareas y el día lunar, y con hechos estacionales. Además de ritmos de vivos, hay también ritmos geológicos acoplados a los del planeta. Es el caso de algunas rocas sedimentarias, que presentan pautas asociadas a las mareas, y otras asociadas a variaciones climáticas estacionales y anuales. Tanto en el caso de fósiles como de rocas sedimentarias, la relación entre el espaciado de las marcas diarias o de marea y las marcas estacionales o anuales, permite determinar la duración del día respecto a la del año. Como la del año se considera constante (suposición que descansa en las leyes físicas de la dinámica planetaria y en la ausencia de factores que afecten significativamente a la velocidad orbital de la Tierra alrededor del Sol) las variaciones encontradas en la duración del día respecto a la del año se achacan a la variación del ritmo de rotación terrestre. De forma que el conocimiento de las variaciones del ritmo de rotación de la Tierra es posible porque han quedado grabadas en estructuras biológicas y geológicas fósiles. Esos fósiles nos llegan como estructuras espaciales, pero reflejan estructuras temporales, ritmos. La realidad era un ritmo. Su huella es una estructura espacial. Es una metáfora que anticipa ideas que se desarrollan en el libro.

Un tipo muy distinto de evidencia es el que se obtiene de fuentes históricas que describen eclipses de Sol o de Luna, que alcanzan a algo más de 3000 años atrás, hasta las más antiguas inscripciones acerca de eclipses de Sol en tablillas cuneiformes babilónicas. Las diferencias entre las duraciones calculadas para tales eclipses y las duraciones que figuran en las fuentes, permiten inferir variaciones en el ritmo de rotación de la Tierra en épocas históricas.

Además, la precisión alcanzada por los relojes atómicos ha permitido constatar que los ritmos del reloj Tierra y de los relojes atómicos, en nuestra época, se desajustan. Si no se dispusiera de las evidencias geológicas, paleontológicas y arqueoastronómicas de las variaciones del ritmo de rotación terrestre en épocas pasadas, no se podría decidir (hay que recordar el argumento de Poincaré) si los desajustes se deben a variaciones de uno u otro ritmo. Pero como sí existen esas evidencias, se concluye que los desajustes entre el “reloj Tierra” y los relojes atómicos se deben a variaciones del ritmo del “reloj Tierra”. Esa conclusión lleva a la elección, por convenio internacional, del ritmo de los relojes atómicos como patrón invariante al que referir el de cualquier otro reloj. Desde este punto de vista, la divergencia entre el ritmo de rotación terrestre y el ritmo de los atómicos es, más que una prueba de la no constancia del ritmo de rotación terrestre, una prueba de la constancia postulada del ritmo atómico patrón.

Todas las evidencias disponibles de variaciones del ritmo de rotación de la Tierra, las actuales, las históricas y las fósiles, se cruzan con datos geológicos de evolución del relieve y sedimentaciones, de glaciaciones, de dinámica de continentes, y sirven para ajustar modelos teóricos que permiten extender el conocimiento de las variaciones del ritmo de rotación terrestre más allá de las evidencias, hasta los primeros momentos de estabilidad del sistema Tierra- Luna. La Luna nació de un impacto catastrófico entre la Tierra y un objeto de masa similar a la de Marte, en fases tempranas de evolución del Sistema Solar. Por eso, los estudios de variaciones de velocidad de rotación de la Tierra tienen sentido desde que la Luna se considera formada y en órbita, hace más de 4500 millones de años.

“ [...] la duración del día terrestre no es regular —es modificada por tamaño de los casquetes polares y por la fricción entre el núcleo líquido y el manto sólido de la corteza terrestre— y se ha ido alargando desde que se formó la Tierra. Cuando la Luna empezó a orbitar alrededor de la Tierra, las mareas empezaron a frenar la rotación terrestre y alargaron el día: hace unos cuatro mil millones de años, el período de rotación de la Tierra sobre sí misma valía unas catorce horas; hace unos quinientos millones de años, unas veintitrés horas, y dentro de unos doscientos millones de años durará unas veinticinco horas.” (Jou, El laberinto del tiempo, p 89).

## **Bibliografía**

CIPM, 1956, “Procès-verbaux des séances” (Session de 1956), Ed Gauthier-Villars, París, 1957

Rosenberg & Runcorn eds, 1975, “Grow Rhythms and the history of the Earth’s rotation”, Ed John Wiley & Sons, London

Jou, D., 2014, “El laberinto del tiempo”, p 94, Ed Pasado y presente, Barcelona

Poincaré, H., 1905, “El valor de la ciencia”, Balsal Eds, Morelia-Mich. 1978

Torroja, J.M., 1984, Nuevas definiciones en el problema de la medida del tiempo, Ed Instituto de Astronomía y Geodesia, CSIC-UCM, Madrid.