

LA TIERRA SE MUEVE

(EXPERIMENTO DE FOUCAULT, EN COLOMBIA)

JOSE IGNACIO RUIZ

Para llegar a esta sencilla verdad, hoy aprendida desde los bancos de la primera escuela, los hombres demoraron mucho más de mil siglos.

Parece exagerado este lapso, y no lo es. Veámoslo:

Los telescopios modernos, que están verificando un profundo sondaje en el espacio-tiempo no encuentran fondo, no llevan trazas de hallarlo, en el abismo cósmico. Y la sonda tiene ya una longitud de DIEZ MIL TRILLONES DE KILOMETROS, en el espacio, y de MIL MILLONES DE AÑOS, en el tiempo.

Dentro de este Universo, asaz viejo, el hombre habita la Tierra desde una fecha remotísima, la cual fecha se va retirando, al compás de los nuevos descubrimientos científicos, hasta esfumarse en una lejanía de milenios. Recientes publicaciones hablan ya de varios millones de años.

Y sin embargo, solamente ayer (hace apenas 25 siglos) un hombre se atrevió a sugerir que tal vez el planeta giraba sobre sí mismo y que no parecía ser el centro del orbe sideral. Empero, la vanidosa humanidad se rió de Pitágoras y 3 siglos más tarde de Aristarco de Samos, que así se llamaban los precursores del sistema heliocéntrico. Cuatro siglos más tarde que Aristarco, decía Tolomeo en su Almagesto: "Hay gentes que pretenden que nada impide suponer que, estando el cielo inmóvil, la Tierra gira alrededor de su eje de Occidente a Oriente, pero estas gentes no comprenden cuan SOBERANAMENTE RIDICULA es su invención... Los cuerpos más ligeros suspendidos en el aire deberían tener entonces un movimiento contrario al de la Tierra".

Diecisiete siglos después de Aristarco, otro valiente, un polonés de origen alemán, médico y clérigo, resucitó la doctrina del hombre de Samos. Por miedo a la mofa de las gentes, Nicolás Copérnico escondió sus papeles durante treinta años. Al fin los publicó en 1543 bajo el título "De revolutionibus corporum celestium".

Incomprendido por su generación, sólo encontró eco en Galileo, ochenta años después. Obligado este sabio a retractarse públicamente, cuentan que murmuraba en privado: E PUR SI MUOVE...

Para contentar a tirios y troyanos el astrónomo danés Tycho-Brahé ideó un sistema intermedio entre el de Tolomeo y el de Copérnico. Otra vez la Tierra debía considerarse inmóvil en el centro del Universo. Los planetas girarían alrededor del sol,

pero éste se movería en derredor de la esfera que habitamos.

Por mucho tiempo se enseñaron en las Universidades del mundo los dos sistemas, el de Copérnico y el de Tycho-Brahé, paralelamente. Al llegar Mutis a Santa Fé de Bogotá enseñó en el Colegio de Nuestra Señora del Rosario el sistema heliocéntrico, lo cual le acarreó serias dificultades como antes al clérigo y médico polonés, su colega. Esto aconteció ayer nada más: hace dos siglos escasos. (En 1774).

Fue, pues, muy oportuno el célebre experimento de Bernardo León Foucault (médico y físico francés, quien en compañía de Luis Fizeau determinó la velocidad de la luz en el agua) realizado hace un siglo (en 1855) en la sala del meridiano del Observatorio Astronómico de París, con un péndulo de once metros de longitud. Según algunos, el experimento se realizó en el Panteón de París, con un peso de 28 kilogramos y un hilo de 67 metros. (Flammarión repitió el experimento en 1902, en el mismo sitio).



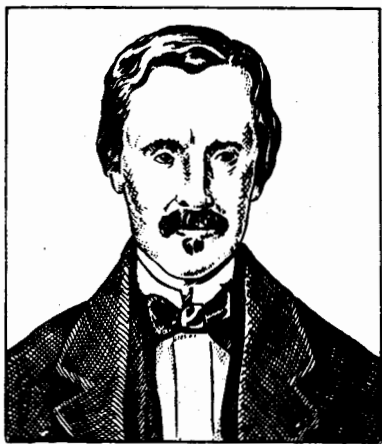
CLAUDIO TOLOMEO

(J. A. Astudillo)

Dibujo reproducido de la "Margarita Philosophica", Gregorio Reisch, Argentinem, 1504.

Atención del Dr.
Enrique Uribe White

Esta prueba física directa, independiente de la observación del cielo estrellado, basada en el principio de la conservación del plano de oscilación del péndulo, demuestra en forma objetiva, clara, que la Tierra, nuestra Tierra, gira sobre sí misma, alrededor de la línea de los polos, a razón de una vuelta completa cada 24 horas. Si el experimento se llevara a cabo exactamente en el polo Norte, dentro de un recinto cerrado, y si tomáramos puesto sobre la masa oscilante del péndulo veríamos el aula, con todos los espectadores, girar uniformemente en sentido contrario al movimiento de las agujas de un reloj. La velocidad angular de giro sería de 15° por hora. Es obvio que la persona que estuviera sobre el piso del salón vería desplazarse el plano descrito por la masa oscilante en sentido contrario, o sea de izquierda a derecha. La velocidad de rotación de dicho plano es función de la latitud del lugar, como se explica adelante. Tal velocidad es máxima en el polo y se anula en el ecuador terrestre.



Foucault (1819 - 1868)

Hay otras pruebas directas del movimiento de rotación de nuestro planeta, pero bastante más abstrusas. Ellas son: a)—el crecimiento de la intensidad de la pesantez del ecuador hacia el polo, crecimiento que por su magnitud demuestra, al par, la rotación diurna y el achatamiento polar; b)—la desviación al Este de un cuerpo que cae libremente; c)—la desviación hacia la derecha de un proyectil en el hemisferio Norte; d)—el estudio comparativo de las rayas del espectro del sol o de una estrella, en su orto y su poniente, por el método de Doppler-Fizeau.

Del aplanamiento polar, habida consideración del estado de fluidez inicial de la Tierra, podría colegirse la rotación del planeta, al menos en su período de juventud. El notable físico belga Fernando Plateau, contemporáneo de Foucault, hizo en su laboratorio un célebre experimento que consistió en hacer girar una masa de aceite dentro de una mezcla de agua y de alcohol (de la misma densidad del aceite). Inmediatamente tal masa, que en estado de reposo era una esfera perfecta, adoptó la forma de elipsoide, en el cual el eje menor se confundía con el de rotación. A medida que

la rotación aumentaba el aplanamiento polar se hacía más visible. (Otras pruebas interesantes son el giróscopo de Foucault y la balanza de Eotvos).

Si los antiguos (llamando antiguo, por ejemplo, a nuestro casi contemporáneo Cristóbal Colón) hubieran tenido la menor idea de las distancias a que se encuentran las estrellas, de la Tierra, aún las más próximas, no hubieran conjeturado por un solo instante que ellas giraban en nuestro contorno. Efectivamente, la más próxima estrella ecuatorial debería moverse con una velocidad varios miles de veces más grande que la velocidad de la luz para poder completar una vuelta en 24 horas, lo que es inverosímil. Esto sí que es SOBERANAMENTE RIDÍCULO para emplear la misma expresión del Almagesto, en relación con la idea de Aristarco.

Volvamos al péndulo de Foucault. Estudiando su movimiento con referencia a tres ejes rectangulares (la vertical, la meridiana y una normal al plano de éstas) se encuentra que la proyección horizontal del péndulo describe una elipse, en vez de una recta, o sea que el vástago del péndulo engendra una superficie cónica elíptica, en lugar de un plano. Es, en realidad, esta superficie cónica la que gira como un todo, alrededor de la vertical, en el sentido de las manecillas de un reloj, con la velocidad $\omega \text{ sen } \varphi$, siendo ω la velocidad de rotación de la Tierra y φ la latitud del lugar de observación.

Foucault comprobó todo cuanto la teoría prevé. Desde luego la longitud del péndulo debe ser grande y la masa oscilante muy densa y simétrica. El péndulo debe soltarse sin velocidad inicial con una amplitud de oscilación de pocos grados.

Se comprende fácilmente que si el experimento se desarrolla exactamente en el polo Norte y si la masa oscilante es el propio observador, él verá girar los objetos fijos al piso con la misma velocidad de rotación terrestre, y en el mismo sentido. Por el contrario, si la prueba se verifica sobre la línea ecuatorial, la mencionada persona no observará desplazamiento alguno alrededor de la vertical.

Veamos la influencia de la latitud del lugar:

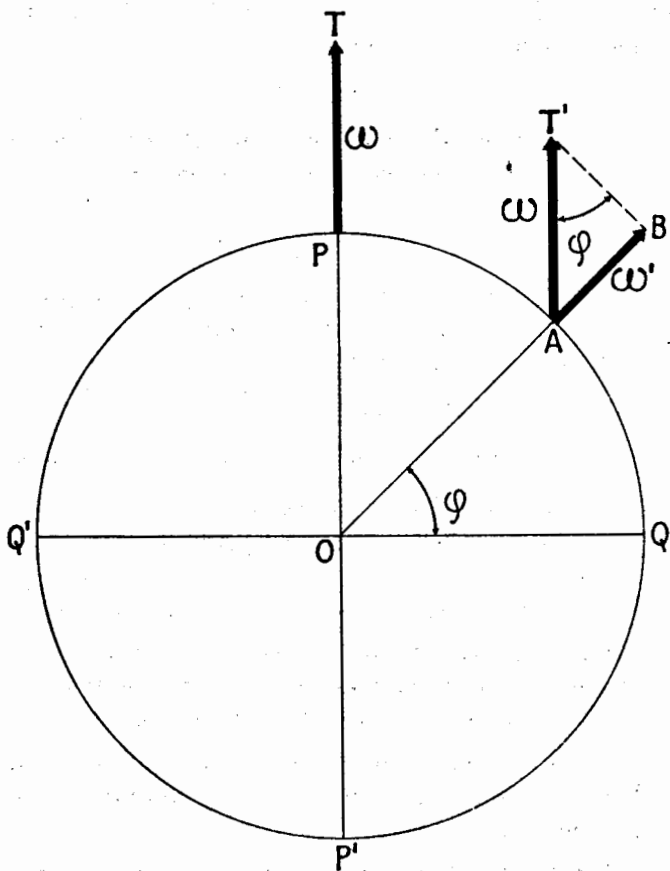
En la figura representamos por PP' la línea de los polos. Sea QQ' el ecuador. Representemos, en el polo Norte, la velocidad angular de rotación de la Tierra ω por el vector PT . En un lugar A de latitud φ sea AT' dicho vector.

La componente de ω alrededor de la vertical OB del lugar A , será en el triángulo ABT' :

$$\omega' = \omega \text{ sen } \varphi$$

Por este método, muy conocido, se obtiene un resultado inmediato, como se ve.

Podría llegarse a esta fórmula considerando que el lado Norte del piso del gabinete donde se hace el experimento, por estar más próximo al eje de la Tierra gira más lentamente. Esta diferencia de velocidades, función de φ , origina un movimiento



La distancia AC es invariable, y el punto C que pertenece al eje de la Tierra y al horizonte de A permanece fijo. Así, pues, A gira alrededor de C con la velocidad lineal v dada por la fórmula anterior, y con una velocidad angular ω' que vamos a determinar.

Al moverse A alrededor de C con velocidad angular ω' su velocidad lineal es:

$$v' = \frac{2\pi \cdot \overline{AC} \cdot \omega'}{360}$$

Pero $v = v'$

$$\therefore \overline{AB} \omega = \overline{AC} \cdot \omega' \quad \text{O sea: } \omega' = \frac{AB}{AC} \omega$$

El triángulo ABC da: $\frac{AB}{AC} = \text{sen } \varphi$

$$\therefore \omega' = \omega \text{ sen } \varphi$$

Este camino para deducir ω' es un poco más largo que el anterior, pero tiene la ventaja de dar una imagen muy clara del fenómeno.

Apliquemos ahora la fórmula en el polo y en el ecuador:

En el polo $\varphi = 90^\circ \quad \therefore \omega' = \omega$

En el ecuador $\varphi = 0^\circ \quad \therefore \omega' = 0$

Conocida la velocidad angular alrededor de la vertical de un lugar es fácil hallar el tiempo empleado t' para completar una vuelta.

En el polo será: $t = \frac{360}{\omega}$

En un lugar de latitud φ , $t' = \frac{360}{\omega \text{ sen } \varphi}$

$$\therefore t' = \frac{t}{\text{sen } \varphi}$$

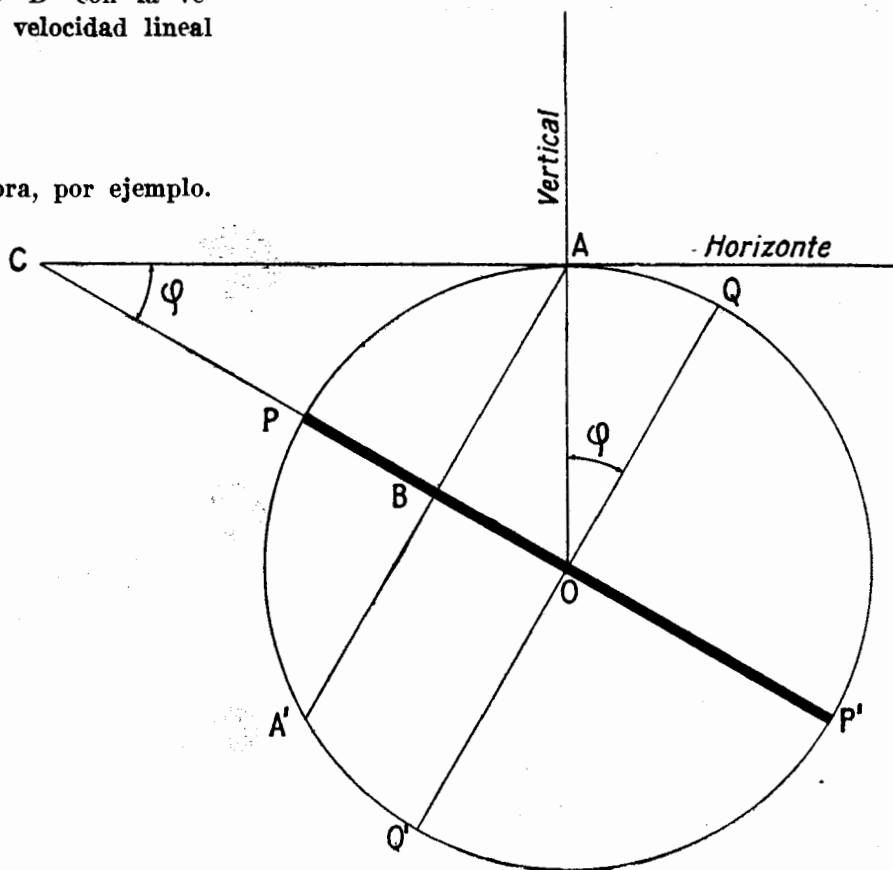
circular en el piso, de derecha a izquierda (contrario a las manecillas del reloj).

En desarrollo de lo anterior estudiaremos la figura siguiente en donde se ha prolongado el piso del lugar A hasta cortar el eje de la Tierra PP' en el punto C .

El lugar A de latitud φ , situado sobre el paralelo AA' gira alrededor de B con la velocidad angular conocida ω . Su velocidad lineal será:

$$v = \frac{2\pi \cdot \overline{AB} \cdot \omega^\circ}{360^\circ}$$

Midiendo ω en grados por hora, por ejemplo.



Pero $t = 24 \text{ horas}$ $\therefore t' = \frac{24}{\text{sen } \varphi}$

En el ecuador, siendo $\varphi = 0$ se obtiene $t' = \infty$

A la latitud de París, completa una revolución el plano del péndulo en 31 horas.

En Bogotá, en cerca de 300 horas.

Dentro de pocos días será instalado un péndulo de esta clase en el nuevo edificio, construido en la Ciudad Universitaria para el Instituto Geográfico de Colombia "Agustín Codazzi".

Las características de tal péndulo son:

Suspensión especial (de Cardan) que lo deja libre para oscilar en cualquier plano. Hilo de suspensión de acero al fósforo de longitud $l = 29.30$ metros, y de seis milímetros de diámetro. Amplitud de oscilación máxima 5° . Masa oscilante, de plomo y acero, de 850 kilogramos. El diámetro mayor de la corona, centrada sobre la proyección horizontal del punto de suspensión del péndulo, es de 4,50 metros. Sobre esta corona, cubierta de arena fina, puede seguirse el lento desplazamiento del plano de oscilación del péndulo, mediante la observación del barrido de dicha arena, por una fina aguja colocada en la parte inferior de la masa oscilante.

El período de oscilación del péndulo se obtiene aplicando la fórmula:

$$P = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

en la cual l es la longitud del hilo de suspensión, y g es la intensidad de la pesantez local (resultante de la atracción de la masa de la Tierra y de la fuerza centrífuga originada por la rota-

ción). En nuestro caso $l = 29.30$, y g , en Bogotá, vale 9.77. Así pues:

$$P = 5.435 \text{ segundos.}$$

El tiempo t' , empleado por el plano de oscilación en dar la vuelta completa, es, según vimos:

$$t' = \frac{24}{\text{sen } \varphi} \text{ horas}$$

En el nuevo edificio del Instituto Geográfico el centro de oscilación del péndulo tiene por latitud $\varphi = 4^\circ 38' 29''.4 \text{ N.}$

$$\therefore t' = 296.586 \text{ horas}$$

$$\therefore t' = 12 \text{ días, } 8 \text{ horas, } 35 \text{ minutos, } 10 \text{ segundos.}$$

Según vimos atrás, el diámetro de la circunferencia mayor de la corona situada bajo el plano de oscilación es de 4,50 metros. La longitud de la circunferencia será: $C = \pi D = 14.137$ metros.

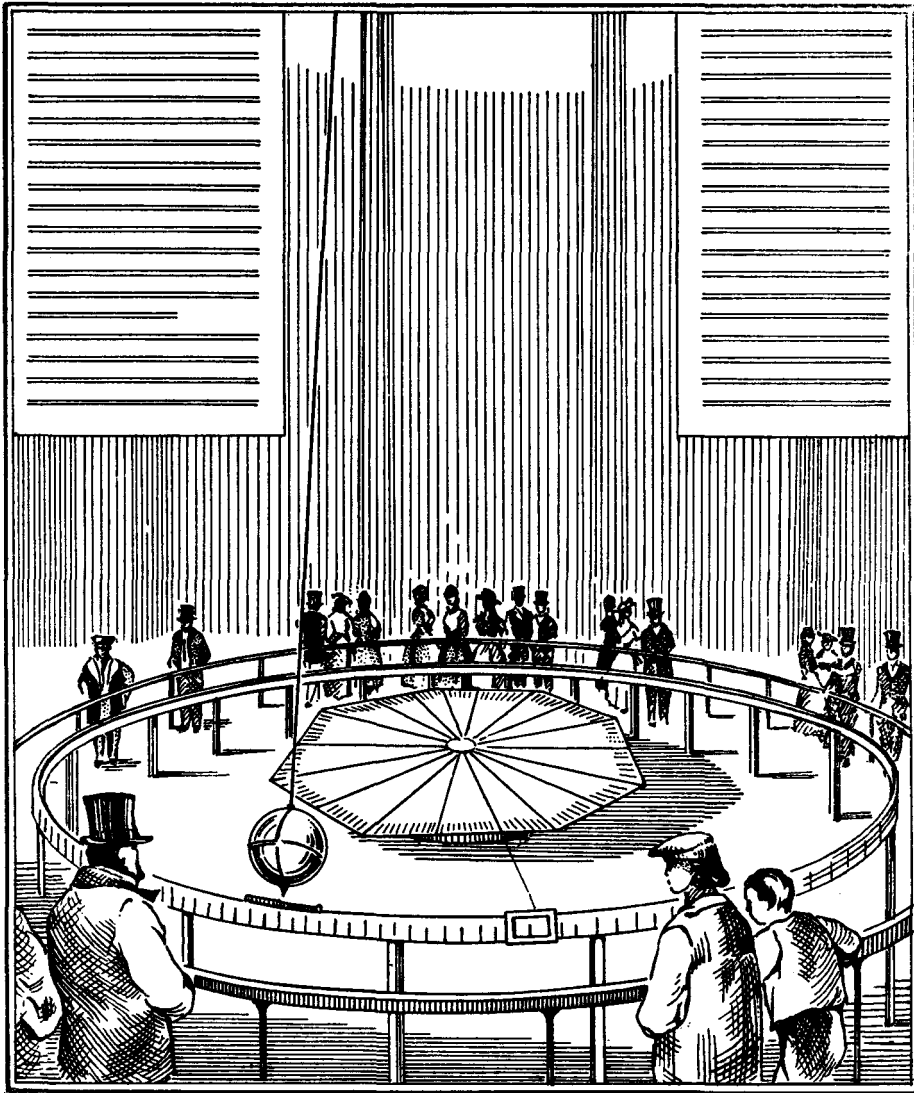
Este espacio debe ser recorrido en 296.586 horas. En una hora el péndulo recorrerá 47.7 milímetros, o sea, aproximadamente, 48 milímetros.

Un observador que permanezca un cuarto de hora delante del péndulo lo verá desplazarse en 12 milímetros.

Muchos péndulos de este género hay instalados en museos y academias de Europa y Estados Unidos, vale decir en altas latitudes.

El que se instala ahora en el Instituto Geográfico es el primero que se va a observar en la Zona Tórrida, donde la proximidad del Ecuador es adversa por el débil impulso rotatorio alrededor de la vertical. Por ello hay excepcional interés en los resultados científicos del experimento.

Noviembre de 1956.



(J. A. Astudillo)

Experimento del péndulo de Foucault

Este grabado es reproducción del publicado por un periódico de 1.851 y muestra el péndulo y la instalación accesoria.