

LA PRECESIÓN DE LOS EQUINOCCIOS y LA NUTACIÓN

Ederlinda Viñuales Gavín

Precesión de los equinoccios.

La forma achatada de la Tierra en sus polos y la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna provocan un lentísimo balanceo en nuestro planeta durante su movimiento de traslación que se conoce con el nombre de precesión y tiene un sentido retrógrado. El eje de rotación terrestre describe alrededor del eje de la eclíptica un cono cuyo vértice está situado en el centro de la Tierra, el diámetro de la base es de 47° y tarda unos 26.000 años en describirlo (Fig. 1).

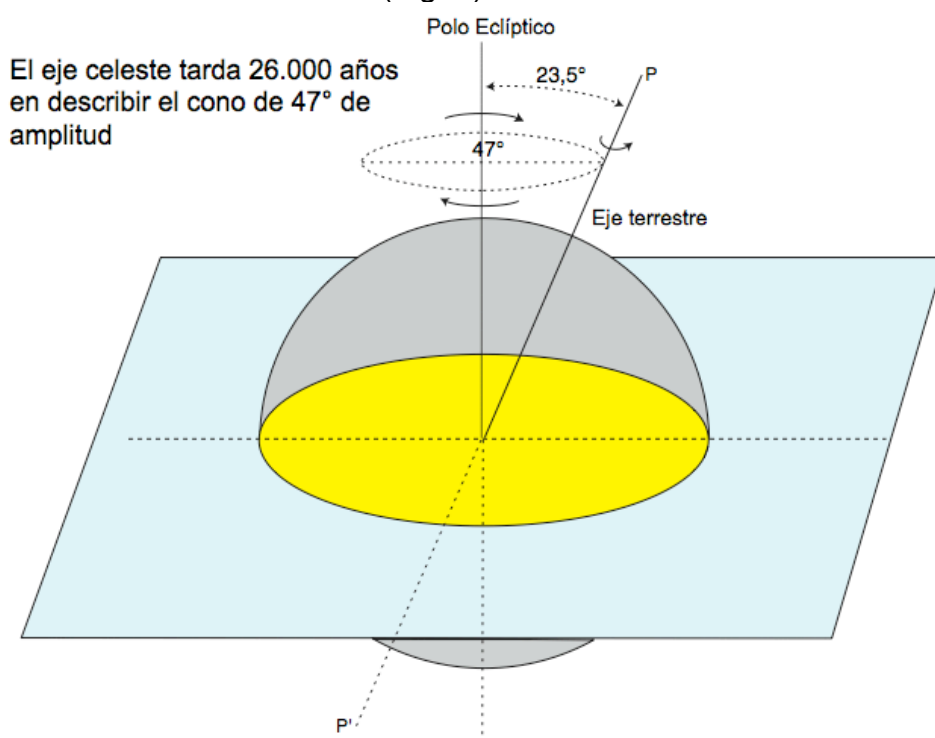


Figura 1: Cono que describe el eje de rotación terrestre en torno a la eclíptica.

Este fenómeno fue descubierto por Hiparco en el siglo II a. C., al comparar observaciones realizadas por él, con otras anteriores de los caldeos hechas unos 700 años a. C y dedujo un cierto valor para esa variación. Pero fue Newton quien demostró que la precesión se debía a la atracción gravitatoria del Sol y la Luna sobre una Tierra rotante no esférica.

Debido a la precesión de los equinoccios se dan las siguientes consecuencias:

1. La posición de Polo Celeste P va cambiando a través de los siglos. La estrella Polar (α -Ursa Minor) recibe este nombre porque su distancia al Polo Celeste es de 1° aproximadamente. La Polar y el Polo Norte Celeste se irán acercando hasta el año 2100 llegando a estar tan sólo a una distancia de $28'$. Luego se irán alejando poco a poco describiendo un gran círculo para volver a ocupar una posición similar a la actual dentro de 25.765 años.

La proyección de la estrella Polar (en realidad del Polo Norte Celeste) sobre el horizonte del lugar determina el punto cardinal Norte. Al variar la posición de P en la esfera celeste, también variará su proyección dando lugar, a su vez, a un desplazamiento del punto cardinal Norte. Este desplazamiento se realiza en dirección contrario a las agujas del reloj. Esto es, sufre un corrimiento hacia el Oeste.

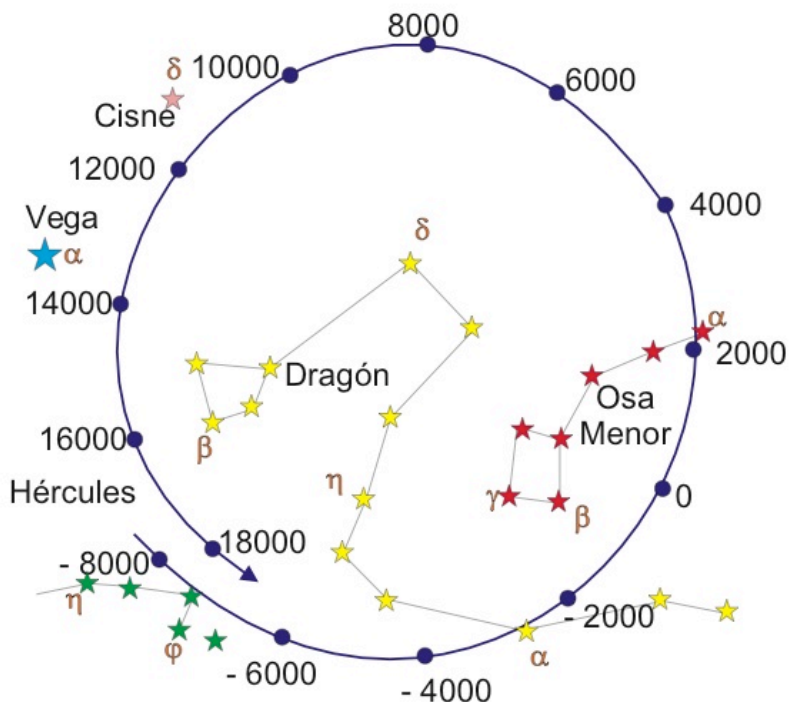


Figura 2: Posiciones del Polo Norte Celeste a lo largo de los siglos.

Observando la Fig.3 podemos entender el por qué de la precesión de los equinoccios por el efecto de la atracción del Sol y la Luna (un efecto muy complejo que no entramos a describir aquí).

El lentísimo balanceo en nuestro planeta que provocan la atracción gravitatoria del Sol y la Luna hacen que el eje de rotación de la Tierra cambie su dirección (se representan por P y P' dos posiciones distintas de esa dirección en la figura 3; pero el eje de rotación es perpendicular al ecuador por lo tanto el ecuador también cambia su posición para mantener esa perpendicularidad. Esto es normal puesto que el balanceo que provocan sobre nuestro planeta los tirones gravitacionales del Sol y de nuestro satélite afectan a todo él. Eso da lugar a que cuando el eje de rotación apunte a P el ecuador sea E y cuando apunte a P' el ecuador sea E'. Puesto que suponemos que el plano de la eclíptica está fijo, el punto de intersección de ese plano con el ecuador, al balancearse éste, también cambia dando lugar sobre la figura 7 a los puntos γ y γ' .

2. El desplazamiento de la retícula de coordenadas astronómicas Ascensión recta y Declinación (α , δ) respecto de las estrellas.

El Punto Aries y las coordenadas de las estrellas varían continuamente y aunque son imperceptibles, estos desplazamientos son significativos en

periodos largos de tiempo y requiere corregir constantemente las coordenadas celestes para un año en concreto. El patrón actual está establecido en el año 2000.

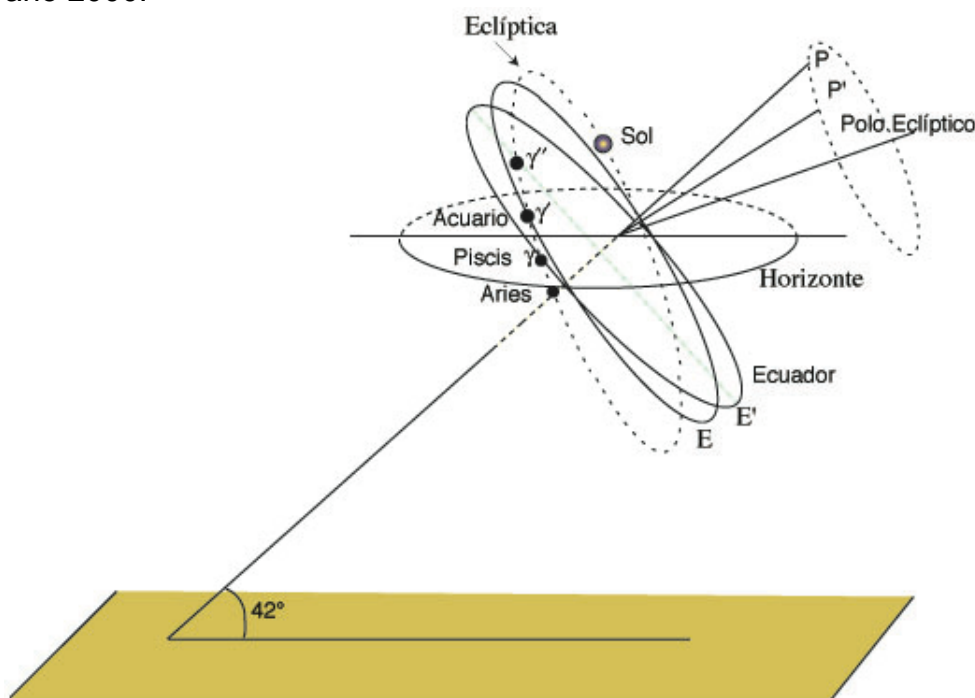


Figura 3: El movimiento de precesión de los equinoccios.

El Primer Punto Aries estaba realmente en Aries cuando se le dio este nombre hace ya 2000 años. Ahora este Punto se encuentra entre las estrellas de Piscis debido, justamente, a este movimiento de precesión que estamos analizando: ese leve corrimiento en la orientación del eje de rotación de la Tierra con respecto al resto del Universo.

3. El lento pero continuo deslizamiento que tiene lugar entre las constelaciones y los signos del Zodiaco que vinculados a las estaciones siguen a la Tierra en su movimiento.

Mientras ahora observamos unas constelaciones determinadas en el cielo nocturno de invierno, el Sol se encuentra en las constelaciones estivales pero dentro de 13.000 años en las noches de invierno se observarán las constelaciones que ahora vemos en verano y viceversa.

Debido a las variaciones de las posiciones relativas del Sol y la Luna respecto a la Tierra, así como a las variaciones de las distancias, el par de atracción no es constante y da lugar a un segundo fenómeno que se superpone con la precesión que es la **nutación**, un pequeño movimiento de vaivén del eje de la Tierra por el que el Polo Norte en lugar de una circunferencia describe una línea sinuosa.

Nutación.

Hay otro movimiento que se superpone con la precesión, es la **nutación** (la palabra nutación proviene del latín *nature* que significa cabecear u oscilar). Es como un pequeño vaivén del eje de la Tierra.

Como la Tierra no es esférica, la atracción de la Luna sobre el abultamiento ecuatorial de la Tierra provoca el fenómeno de nutación. Para hacernos una idea de este movimiento, podemos suponer que mientras el eje de rotación de la Tierra

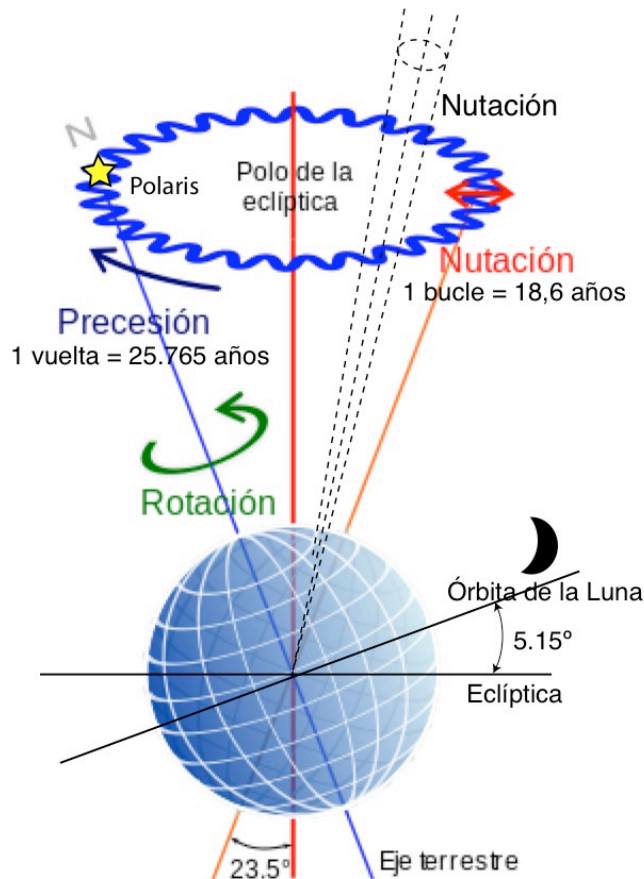


Figura 4: Movimientos de la Tierra: Rotación, precesión y nutación.

describe el movimiento cónico de precesión, describe a su vez una pequeñas semielipses o bucles sinusoidales. El periodo de cada uno de esos bucles es de 18,6 años. En una vuelta completa de precesión (25.767 años) la Tierra realiza más de 1.300 bucles de nutación.

El movimiento de nutación de la Tierra fue descubierto por el astrónomo británico James Bradley en 1728.

Hasta 20 años más tarde no se supo que la causa de este movimiento extra del eje de la Tierra era la atracción gravitatoria ejercida por la Luna.

El movimiento de precesión del eje terrestre o celeste se es aún más compleja si se considera el movimiento de la nutación. Esto sucede con cualquier cuerpo simétrico o esferoide girando sobre

su eje; una peonza es un buen ejemplo, pues cuando cae comienza la precesión.

Como consecuencia del movimiento de

caída, la punta de la peonza se apoya en el suelo con más fuerza, de modo que aumenta la fuerza de reacción vertical, que finalmente llegará a ser mayor que el peso. Cuando esto sucede, el centro de masa de la peonza o trompo comienza a acelerar hacia arriba. El proceso se repite, y el movimiento se compone de una precesión acompañada de una oscilación del eje de rotación hacia abajo y hacia arriba, que es a lo que se le da el nombre de nutación.

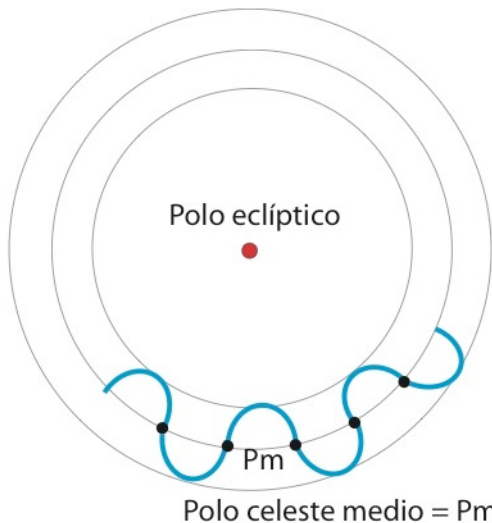
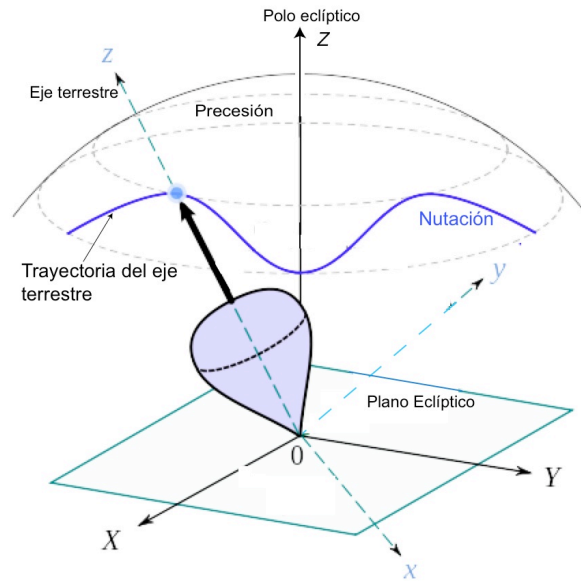
Para el caso de la Tierra, la nutación es la oscilación periódica del polo de la Tierra alrededor de su posición media (Pm en la figura 6) en la esfera celeste, debido a las fuerzas externas de atracción gravitatoria entre la Luna y el Sol con la Tierra y esta oscilación es similar al movimiento de una peonza cuando pierde fuerza y está a punto de caerse como hemos comentado en el párrafo anterior.

Como ya se ha explicado anteriormente, la precesión de los equinoccios es producida solamente por la acción del Sol y de la Luna sobre el ensanchamiento ecuatorial de la Tierra.

En la Tierra la nutación se superpone al movimiento de precesión y al balanceo de la oblicuidad de la eclíptica de forma que no sean regulares los teóricos conos que dibujaría la proyección en el espacio del desplazamiento del eje de la Tierra debido al movimiento de precesión, sino un poco ondulados.

Figura 5: A la precesión le acompaña una oscilación del eje de rotación hacia arriba que recibe el nombre de nutación.

La nutación hace que cada 18,6 años el eje de rotación de la Tierra oscile hasta unos nueve segundos de arco a cada



lado del valor medio de la oblicuidad de la eclíptica y hasta unos 17 segundos a cada lado del valor medio de desplazamiento del punto Aries sobre la eclíptica debido a la precesión de los equinoccios.

Este giro del polo terrestre (o celeste) alrededor del polo de la eclíptica sigue una línea sinuosa, bastante compleja al combinarse los efectos de la precesión y nutación con la variación de las posiciones y distancias al Sol y a la Luna.

Figura 6: Movimiento sinusoidal de nutación visto desde encima del polo eclíptico.

A continuación comentamos brevemente las tres nutaciones (o anomalías) que provocan el Sol, la Luna y los nodos lunares sobre las oscilaciones del polo verdadero, dando lugar la unión de todas ellas la ese movimiento sinusoidal que hemos llamado nutación.

El movimiento aparente del Sol, produce lo que llamamos la nutación solar que es una oscilación cónica del eje terrestre en torno a una posición media de éste, por lo que en la esfera celeste el polo verdadero describe alrededor del polo medio (Pm en la Fig. 6) una elipse cuyo eje mayor pasa por el coluro solsticial¹ con un arco de 0',55. La oscilación se realiza en medio año trópico².

¹ En Astronomía se llama **coluro** a cada uno de los dos meridianos principales de la esfera celeste, uno de los cuales pasa a través de los polos celestes y los equinoccios (**coluro equinoccial**), y el otro pasa a través de los polos celestes y los solsticios (**coluro solsticial**).

² Llamamos **año trópico** al tiempo preciso para aumentar la longitud media del Sol en 360 grados sobre la eclíptica; es decir, en completar una vuelta completa. Su duración es de 365d 5h 48m 45s de tiempo solar medio. Debido a la precesión de los equinoccios y a la nutación este tiempo es distinto al que media entre dos pasos consecutivos del Sol por el equinoccio de primavera o Punto Aries.

La nutación lunar es producida por el movimiento aparente de la Luna entorno a la Tierra. El polo verdadero describe alrededor del polo medio una elipse cuyo eje mayor tiene un arco de 0,089 segundos. La oscilación tarda la mitad de la revolución trópica de la Luna, esto es, 13,66 días.

La nutación de los nodos lunares es causada por la retrogradación de los puntos de encuentro de la órbita lunar con la eclíptica (a estos puntos se llaman nodos lunares). Estos se desplazan sobre la eclíptica en 18 años y 214 días. En este tiempo el polo verdadero describe alrededor del polo medio una elipse cuyo eje mayor tiene una amplitud de 18,4 segundos de arco y dirigido hacia el polo de la eclíptica. La amplitud del eje menor de esta elipse es de 13,8 segundos de arco.

La combinación de estas tres nutaciones son la causa de los efectos siguientes:

1. Oscilaciones de Aries en la eclíptica y en el Ecuador.
2. Oscilaciones en la oblicuidad de la eclíptica.
3. Pequeñas variaciones periódicas en las coordenadas uranográficas ecuatoriales (Ángulo Sidereo y Declinación)

Los demás planetas también producen variaciones, denominadas perturbaciones, pero que carecen de importancia por su pequeñísimo valor.

En cada ciclo de 18.6 años la diferencia de ubicación entre trópicos y círculos polares medios y verdaderos puede alcanzar hasta cerca de 300 m y la ubicación de los trópicos y círculos polares verdaderos puede superar los 700 m de distancia en 10 años, período máximo de alejamiento antes de empezar el siguiente ciclo.

Como ejercicio práctico

Se propone jugar con una peonza.



Figura 7: Peonzas o trompos.

Este juguete ha sido uno de los preferidos de todos los niños del planeta. La peonza es un cuerpo rígido de forma cónica, con una punta de acero, a lo largo su eje longitudinal de simetría, alrededor del cual gira. Antes se fabricaban exclusivamente de madera, pero hoy en día con la aparición de los plásticos, se fabrica con estos materiales. Este juguete se conoce desde la antigüedad; algunos trompos o peonzas de arcilla fueron descubiertos a orillas del río Eufrates en la antigua ciudad de Ur (Mesopotamia) que datan de 4.000 A.C.

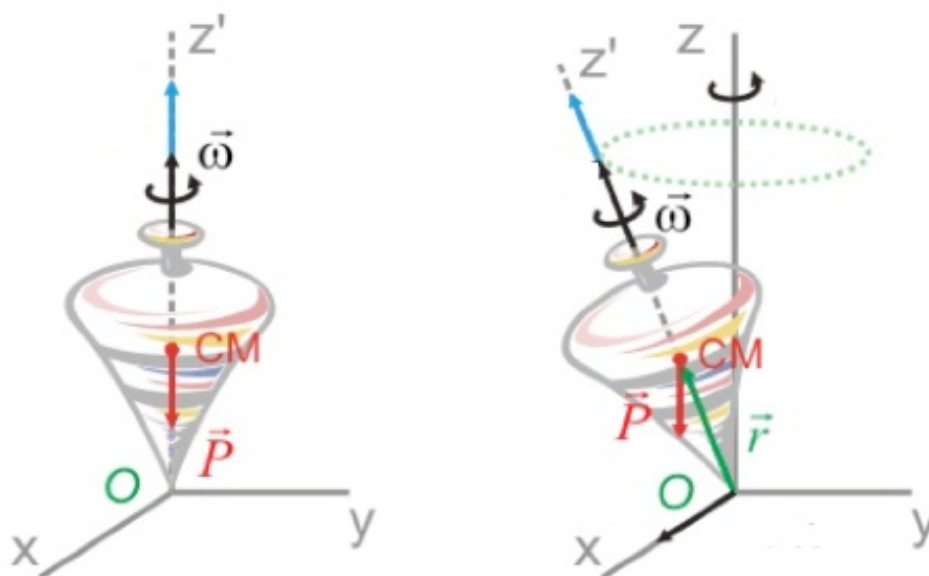


Figura 8: A la izquierda la peonza en posición vertical, a la derecha, tras ser lanzada, rota con respecto a su eje de simetría.

En la imagen 8 tenemos representada una peonza donde \vec{P} es el peso, CM el centro de masas, $\vec{\omega}$ velocidad angular, Z' su eje de simetría. En la parte izquierda de la figura, se ha representado situada en posición vertical que, tras ser lanzada, rota con respecto a su eje de simetría Z' .

Las fuerzas externas que actúan sobre ella son su peso (aplicado en el centro de masas) y la normal del suelo, que no está representada porque no afecta al movimiento de rotación.

Si la peonza estuviera siempre en posición vertical, su momento angular (el vector azul) permanecería constante, ya que, el peso no haría momento con respecto a O. El momento angular es además paralelo a Z' o eje principal y constante³. En esta situación la peonza rotaría indefinidamente con velocidad angular ω y momento angular constantes.

Si la peonza se desvía de su posición vertical, el momento del peso con respecto a O ya no es nulo (figura 8, derecha) y el momento angular varía.

El efecto de esta variación es que el eje de giro de la peonza empieza a su vez a rotar, describiendo una trayectoria como la representada por la curva verde

³ Aunque las ecuaciones que justifican lo que se está explicando son muy sencillas no se considera necesario expresarlas en este trabajo.

discontinua de la figura 8 derecha. Este movimiento **es la precesión**.

El eje de rotación de la Tierra tiene un movimiento de precesión producido por el momento de la fuerza gravitatoria que sobre ella ejercen el Sol y la Luna.

La peonza esta rotando. Observa y

1. Describe y muestra la existencia de tres movimientos: de rotación, precesión y nutación.
2. Explica la sucesión de las estaciones considerando a la Tierra como una gran peonza.
3. ¿Sabrías aplicar la peonza como herramienta de orientación?

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, A., Docobo, J.A. y Elipe, A.; Curso de Astronomía. Prensas Universitarias de Zaragoza. Zaragoza 2002.
- Diversas páginas web.
- Gaitano Játiva, M.; Astronomía de Posición. Publicado en la web.
- Ros, R. M. y Viñuales, E.; *Coordenadas y telescopios*. Equipo Sirius. Madrid 1992.
- Ros, R. M. y Viñuales, E.; *Movimientos astronómicos. Un enfoque con cuatro modelos*. Mira editores. Zaragoza 2003.
- Viñuales Gavín, E.; *EUROASTRO. Astronomía en la ciudad*. Proyecto Sócrates Comenius 1998-2001. Zaragoza. 2001.