

EL SISTEMA DE REFERENCIA EN ASTRONOMIA DE POSICION

Por: EDUARDO BRIEVA BUSTILLO *

INTRODUCCION

La utilización de posiciones y movimientos propios de estrellas en una gran variedad de problemas astronómicos confiere al sistema ecuatorial de coordenadas particular importancia. En estas líneas se presentan algunos temas relacionados con su definición y materialización; se mencionan además ciertos desarrollos y tendencias actuales.

DEFINICION

Se acostumbra dar una definición geométrica formal de los sistemas de coordenadas astronómicas utilizando como base la observación de los movimientos aparentes del Sol y las estrellas en la esfera celeste; los círculos y puntos de referencia son entonces productos de la observación directa: el movimiento diurno define los polos y el ecuador celestes mientras que el movimiento anual aparente del Sol determina la eclíptica y los equinoccios. Tal enfoque no es del todo inapropiado ya que, en definitiva, la materialización de los círculos fundamentales solo puede lograrse, en la práctica, por la observación de los cuerpos celestes. No obstante, se adoptará aquí una aproximación diferente pero complementaria: interpretando los movimientos aparentes como resultado de los movimientos de la tierra es posible definir dinámicamente los puntos y círculos de referencia, lo que no modifica su definición geométrica formal y sí arroja luces sobre su naturaleza.

La Tierra es un cuerpo casi rígido, sin simetría esférica, en el cual ocurren complicados procesos geofísicos de los cuales las deformaciones y el transporte de masa son algunas manifestaciones. Su movimiento general se puede descomponer en dos: una rotación del sólido con respecto al centro de masa y una traslación de éste alrededor del Sol. Consideremos en primer lugar la rotación. La teoría de este movimiento está basada en la teoría general del movimiento de un cuerpo rígido;

para tener en cuenta la estructura interna y los fenómenos geofísicos ya mencionados; no del todo conocidos y para los que no existe aún una teoría adecuada, se introducen luego correcciones calculadas a partir de observaciones astronómicas y geofísicas.

La acción de las fuerzas de gravitación del Sol y la Luna sobre el sólido Tierra produce un movimiento complejo: en cada instante se trata de una rotación alrededor de un eje que pasa por el centro de masa, eje que cambia constantemente de orientación en el espacio. Para describirlo correctamente es conveniente descomponerlo en un movimiento lento y progresivo —la *precesión*— por el cual el eje de rotación describe un cono, cuyo ángulo es de $23,5^\circ$ aproximadamente, en un período cercano a los 26.000 años, al que se superpone una pequeña ondulación irregular llamada *nutación*, cuyo término principal tiene un período de 18,6 años.

Al eje instantáneo de rotación corresponde el ecuador instantáneo de rotación, plano perpendicular que contiene el centro de masa. De manera similar al eje de rotación medio, afectado únicamente por la precesión, corresponde el ecuador medio de rotación, o simplemente ecuador, que constituye el plano fundamental del sistema de coordenadas. Como el ecuador posee un movimiento progresivo se escoge por convención el plano correspondiente a una fecha dada, o *época*, como plano de referencia; en la actualidad se utiliza como época el comienzo del año 1950.

Es necesario ahora definir una dirección privilegiada sobre el ecuador para lo cual se recurre al movimiento de traslación alrededor del Sol. El plano de la órbita de la Tierra con respecto al Sol queda determinado en cualquier instante por el radio vector y el vector velocidad; este plano no permanece en la misma posición en el espacio debido a las perturbaciones planetarias. Como antes, se puede hablar de un movimiento lento y progresivo del plano, al que se superponen pequeños

* Director del Observatorio Astronómico Nacional. Universidad Nacional.

términos periódicos, análogos a la nutación pero de menor magnitud. El plano medio, afectado solamente por el movimiento progresivo, recibe el nombre de *eclíptica*.

La dirección privilegiada es la recta de intersección entre el ecuador y la eclíptica, orientada de modo que el sentido positivo apunte hacia el llamado equinoccio de primavera, punto del ecuador en donde el Sol pasa del hemisferio sur hacia el hemisferio norte. Como esta dirección está afectada por la precesión y el movimiento de la eclíptica, se escoge la correspondiente a la época. Se habla entonces del ecuador y equinoccio del comienzo del año 1950. Introducimos ahora un sistema de coordenadas cartesianas de modo que el plano x y coincida con el ecuador y el eje x esté dirigido hacia el equinoccio de primavera.

Para la mayoría de los estudios no relacionados con el sistema solar, es indiferente si el origen se considera colocado en el observador, en el centro de la Tierra o en el centro del Sol; además, sólo unos pocos centenares de estrellas poseen paralajes apreciables. Para fijar ideas supondremos que el origen de coordenadas está en el centro de la Tierra. Una dirección en el espacio queda determinada mediante dos ángulos: la ascensión recta, α , ángulo medido en el ecuador, entre el eje x y la proyección de la dirección del cuerpo celeste sobre el ecuador, y la declinación, δ , ángulo entre la dirección del cuerpo celeste y el plano del ecuador.

Las definiciones dadas tienen poca utilidad en vista de que el ecuador y el equinoccio no son directamente observables: en la práctica las observaciones se refieren al sistema de coordenadas a través de una red de estrellas, bien distribuidas sobre la esfera celeste, representada por un catálogo fundamental, en cuya construcción se realizan las operaciones siguientes:

- a) Medición de las posiciones de las estrellas, unas con respecto a las otras.
- b) Determinación de la posición del ecuador y el equinoccio con respecto a las estrellas, mediante la observación de los movimientos aparentes del Sol y los planetas.

El sistema así representado debe ser accesible en cualquier instante, para lo cual es necesario conocer, además de las posiciones de las estrellas, determinadas independientemente de valores anteriores mediante las llamadas observaciones absolutas o fundamentales de primer orden, los movimientos propios¹ y la constante de la precesión.

LAS OBSERVACIONES MERIDIANAS

El instrumento utilizado para la determinación de posiciones absolutas es el círculo meridiano.

Este instrumento consiste, esquemáticamente, en un círculo graduado montado de tal manera que su plano coincide con el plano del meridiano del observador; un telescopio sujeto rígidamente al círculo describe el meridiano cuando el instrumento gira sobre un eje orientado según la dirección este-oeste; el cenit del observador, y el cero de la escala, quedan definidos por un baño de mercurio; la distancia cenital de una estrella en el momento de su culminación está dada por la lectura del círculo. Si z es la distancia cenital de la estrella y ϕ la latitud del observador, la declinación de la estrella se encuentra mediante la fórmula,

$$\delta = \phi + z$$

para culminaciones al norte del cenit. Observando las culminaciones superior e inferior de una estrella circumpolar se halla la latitud del observador,

$$\phi = 90^\circ - \frac{1}{2}(z_s + z_i)$$

en donde z_s y z_i representan las distancias cenitales correspondientes a las culminaciones superior e inferior.

Las diferencias en ascensión recta se determinan mediante un reloj calibrado de modo que entre dos culminaciones sucesivas de la misma estrella el reloj marque 24 horas de diferencia. Entonces,

$$\alpha_1 - \alpha_2 = T_1 - T_2$$

en donde T_1 y T_2 representan las lecturas del reloj en el instante de las culminaciones respectivas. El origen de las ascensiones rectas se fija imponiendo la condición,

$$\alpha_0 = 0 \text{ cuando } \delta_0 = 0 \text{ en marzo,}$$

en donde (α_0, δ_0) designan las coordenadas del Sol.

En un instrumento ideal el tiempo sideral en el instante de la culminación de una estrella es igual a su ascensión recta; su distancia cenital, en el mismo instante, es igual a la diferencia entre su declinación y la latitud del observador. En la práctica es necesario introducir correcciones de diversos tipos y, aunque los principios básicos son los indicados arriba, el procedimiento es bastante más complicado y refinado².

El resultado de un programa de observaciones meridianas es un catálogo cuyas posiciones representan un sistema de referencia para la época promedio de las observaciones. La comparación de varios catálogos y su reducción a un sistema homogéneo, en el cual las posiciones y movimientos propios de las estrellas en diferentes partes del cielo representan el ecuador y el equinoccio con la misma precisión, produce un Catálogo Fundamental. Los catálogos de este tipo actualmente en uso son los siguientes:

¹ El movimiento propio de una estrella, μ , es la componente tangencial a la esfera celeste de su movimiento con respecto al Sol; se descompone en un movimiento perpendicular al ecuador, μ_δ , y en un movimiento paralelo a éste, μ_α .

² Véase por ejemplo, F. SCHMEIDLER, 1965, "Methods in Meridian Astronomy", *Vistas in Astronomy*, ed. A. Beer, 6, 69-91. Pergamon Press.

- a) El Catálogo General (GC) ³, basado en cerca de 250 catálogos observacionales producidos entre 1755 y 1932.
- b) El N 30 ⁴, basado en más de 70 catálogos observados entre 1920 y 1950.
- c) El Cuarto Catálogo Fundamental (FK4) ⁵, representa el sistema fundamental de posiciones y movimientos propios adoptado por la Unión Astronómica Internacional en 1961; contiene 1.535 estrellas fundamentales más brillantes que la magnitud 7,5.

REVISION DEL FK 4

Un catálogo fundamental cumple su cometido durante algo más de 20 años. Con el paso del tiempo la precisión de las posiciones calculadas a partir del catálogo se deteriora, debido principalmente a errores en los movimientos propios. El incremento en la precisión de las observaciones por la utilización de nuevos instrumentos y métodos, la necesidad de efemérides más confiables, la existencia de un cierto número de catálogos construidos después de la publicación del FK4, el descubrimiento de errores sistemáticos regionales, especialmente en las ascensiones rectas del hemisferio sur ⁶, son factores que justifican la revisión del FK4 y la compilación de un nuevo catálogo fundamental, el FK5, cuya realización estará con-

cluida hacia 1980. La Unión Astronómica Internacional ha recomendado esta revisión y le ha dado elevada prioridad (Transactions I. A. U., 1973, Vol. XV B, 83 - 84).

Con respecto a la revisión y extensión del FK4 merecen mencionarse dos programas internacionales de observaciones meridianas, cuyo propósito es establecer un sistema de referencia para la reducción de observaciones fotográficas: el AGK 3R, estrellas de referencia para el AGK3 ⁷, programa en el que participaron 10 observatorios del hemisferio norte, concluido en 1963 y el SRS, estrellas de referencia del sur, aún en curso. Estos programas prevén la observación de cerca de 40.000 estrellas, hasta la magnitud 9, bien distribuidas sobre la esfera celeste.

De acuerdo con los compiladores del nuevo catálogo ⁸, el FK5 incluirá entre 3.000 y 5.000 estrellas, hasta la magnitud 9. El AGK3R y el SRS, así como el suplemento del FK4, serán utilizados como fuente de selección de estrellas para la extensión del sistema fundamental. Además, el material que no pueda ser utilizado en el nuevo sistema servirá para la compilación de un suplemento del FK5, en el que habrá objetos débiles de gran interés, tales como contrapartes ópticas de radio-fuentes extragalácticas compactas y radio-fuentes estelares galácticas; tales objetos permitirán establecer una relación entre el sistema de estrellas brillantes y el sistema radio-astrométrico de fuentes extragalácticas.

³ "General Catalog of 33342 Stars for the Epoch 1950", Carnegie Institution of Washington, Publ. N° 468, Washington D. C., 1937.

⁴ H. R. MORGAN, 1952, "Catalog of 5268 standards stars, based on the normal system N 30", *Astr. Pap. Amer. Eph.* XIII, Pt. III.

⁵ "Fourth Fundamental Catalog", *Veröffentlichungen des Astronomisches Rechen-Instituts Heidelberg*, N° 10, Karlsruhe, 1963.

Véase la introducción del FK 4 para una descripción detallada de los criterios y métodos utilizados en su compilación.

⁶ ANGUIA, C., CARRASCO, G. et al., 1968, *Highlights of Astronomy*, ed. L. Perek, 292-96. Reidel, Dordrecht, Holland.

⁷ El AGK3, tercer catálogo de una serie iniciada por el Astronomische Gesellschaft, incluye posiciones y movimientos propios de 180.000 estrellas más brillantes que la magnitud fotográfica 12, con $\delta > -2$. Este catálogo proporciona un gran número de movimientos propios para estudios galácticos y posiciones de referencia para astrometría fotográfica.

⁸ FRICKE, W., 1974, "Plans for the improvement and extension of the FK4", en I.A.U. Symposium N° 61, *New problems in Astrometry*, ed. W. Gliese, C. A. Murray, R. H. Tucker, 23 - 29, Reidel, Dordrecht, Holland.