Astronomía General

APUNTES DE TRABAJOS PRÁCTICOS

PRÁCTICA 7 parte I
Sistemas de coordenadas absolutos

María Laura Arias y Roberto Venero
Jefes de trabajos prácticos de la cátedra

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

La Plata, Argentina
- 2021 -

Apuntes para resolver la PRÁCTICA 7 - parte I

Sistemas de coordenadas absolutos:
Sistema ecuatorial celeste y Sistema ecliptical

En las prácticas anteriores vimos que existen dos sistemas de coordenadas: el horizontal y el ecuatorial local, que son sistemas locales, es decir que sus coordenadas dependen del lugar y momento de observación. Las coordenadas acimut (A) y altura (h) del sistema horizontal y ángulo horario (t) del sistema ecuatorial local correspondientes a un astro dado, son diferentes para distintos observadores y varían con el movimiento diurno.

En este apunte vamos a definir dos **sistemas de coordenadas absolutos**, es decir cuyas coordenadas no dependen del observador y son casi constantes en el tiempo. Estos son el **sistema ecuatorial celeste** y el **sistema ecliptical**. Las **coordenadas absolutas**, son prácticamente las mismas para cualquier observador en cualquier momento, es por ello que son usadas para referenciar la posición de los astros en los **catálogos**[1].

1. Sistema ecuatorial celeste

El sistema ecuatorial celeste tiene como plano fundamental el **ecuador celeste** y como eje perpendicular la **línea PNC-PSC** (polo norte celeste-polo sur celeste). Las coordenadas en este sistema son **ascensión recta,** α y **declinación,** δ (ver figura 1).

ascensión recta:

- Se simboliza con la letra α.
- Se mide sobre el ecuador celeste, desde el punto vernal o punto Aries (♈), en sentido directo (contrario al movimiento diurno), hasta el meridiano celeste que pasa por el astro.
- Va desde 0^h a 24^h.

declinación:

- Se simboliza con la letra δ.
- Se mide desde el ecuador celeste hasta el astro, sobre el meridiano celeste que pasa por el astro.
- Va de $0°$ a $90°$ hacia el PNC y de $0°$ a $-90°$ hacia el PSC.

  (Notar que δ es la misma coordenada que la del sistema ecuatorial local.)

Como vimos en el apunte de *Movimiento anual aparente del Sol*, el **punto vernal o punto Aries (♈)** es uno de los dos puntos de intersección entre el ecuador celeste y la eclíptica (plano de la órbita de la Tierra). Este punto se toma como el **origen de medida para la coordenada ascensión recta**.
Dado que el punto vernal se puede tomar, en primera aproximación, como un punto fijo e independiente del observador, la coordenada ascensión recta de un astro no varía con el observador ni con el movimiento diurno. Como vimos en el apunte de *Sistema ecuatorial local*, ocurre lo mismo con la coordenada declinación[1].

[1]Estrictamente hablando las coordenadas en estos sistemas no son constantes, sino que tienen pequeñas variaciones debido a los fenómenos de **precesión y nutación.**

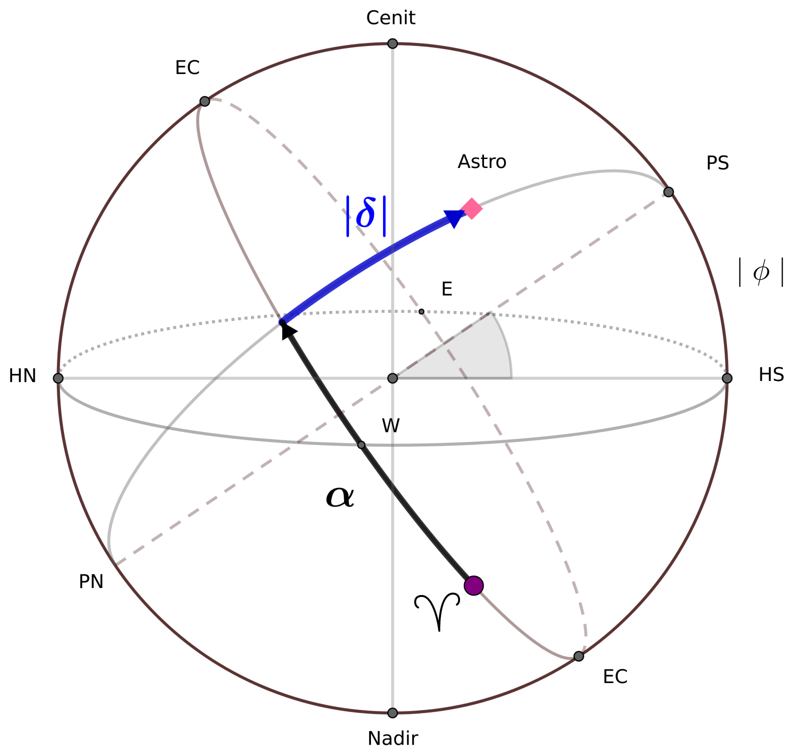


Figura 1. *Coordenadas* **ecuatoriales celestes**, *α y δ de un astro, para un observador ubicado en latitud sur ϕ. La* **ascensión recta** *α se mide sobre el ecuador celeste, desde el punto ♈ y en sentido directo, hasta el meridiano que pasa por el astro. La* **declinación** *δ, se mide sobre el meridiano que pasa por el astro, desde el ecuador celeste hasta el astro.*

¿Cómo determinamos la posición del punto vernal?

Para poder indicar la coordenada **ascensión recta** en la esfera celeste, debemos primero saber donde está ubicado el **punto vernal**. Al ser uno de los dos puntos de intersección entre la eclíptica y el ecuador celeste, lo encontraremos siempre **sobre el ecuador celeste**, que es un plano siempre presente en la esfera celeste de cualquier observador.

Además, el **punto vernal**, que en primera aproximación puede considerarse como fijo, seguirá el **movimiento aparente diurno**, cómo lo hacen el resto de los astros. Es decir, sale, culmina y se pone, describiendo su arco diurno coincidente con el ecuador celeste.

Para saber exactamente en qué punto sobre ecuador celeste se encuentra el punto vernal, en el momento que realizamos nuestra observación, debemos conocer el valor de lo que llamamos **tiempo sidéreo**. La escala de tiempo sidéreo es muy usada en astronomía y se merece un capítulo aparte. Por ahora, y a los fines de poder definir la coordenada ascensión recta en forma completa, diremos que el tiempo sidéreo equivale al **ángulo horario del punto vernal, $t_{♈}$**.

Al conocer la coordenada ángulo horario del punto vernal, $t_{♈}$, podemos determinar la posición de este punto sobre el ecuador celeste. Y una vez conocida esta posición, es posible marcar a partir de allí la coordenada ascensión recta de un astro dado.

Existe una relación fundamental entre el valor del tiempo sidéreo local ($T_{sid\ local}$), la ascensión recta y el ángulo horario de un astro dado. Esta se expresa como:

$$\boxed{T_{sid\ local} = t_{\Upsilon} = t_{astro} + \alpha_{astro}} \tag{1}$$

La suma de la coordenada ascensión recta y la coordenada ángulo horario de un mismo astro, equivale al valor del tiempo sidéreo en el momento y en el lugar donde se realiza la observación de dicho astro (que es también el lugar y el momento donde se mide t_{astro}).

Esto puede entenderse mejor si representamos las coordenadas del astro y del punto vernal en una esfera celeste.
Veamos un ejemplo concreto. Consideremos un astro cuyas coordenadas ecuatoriales celestes son:

$$\boxed{\alpha = 8\ hs} \quad y \quad \boxed{\delta = -33°}$$

¿Cómo podemos marcar estas coordenadas en la esfera celeste para un observador en La Plata?

Para poder marcar la **coordenada** α**, es imprescindible conocer la posición del punto vernal**. Como ya dijimos, el ángulo horario del punto vernal, t_{Υ}, está dado por el valor del tiempo sidéreo en el lugar y en el momento de la observación.

Por lo tanto, es necesario conocer, para el ejemplo dado, el **tiempo sidéreo en La Plata en el momento de la observación**, para poder marcar el ángulo horario del punto vernal en la esfera celeste. Supongamos entonces que en el momento de la observación:

$$\boxed{T_{sid\ LP} = t_{\Upsilon} = \ 11 \text{ hs}}$$

En la figura 2 se muestra la esfera celeste para un observador en La Plata ($\phi = -\ 34°\ 54'$), y en ella está indicado el arco que representa t_{Υ} que, en este ejemplo, vale 11 hs. Como todo ángulo horario, se mide sobre el ecuador celeste, desde el meridiano superior del lugar, hacia el oeste.

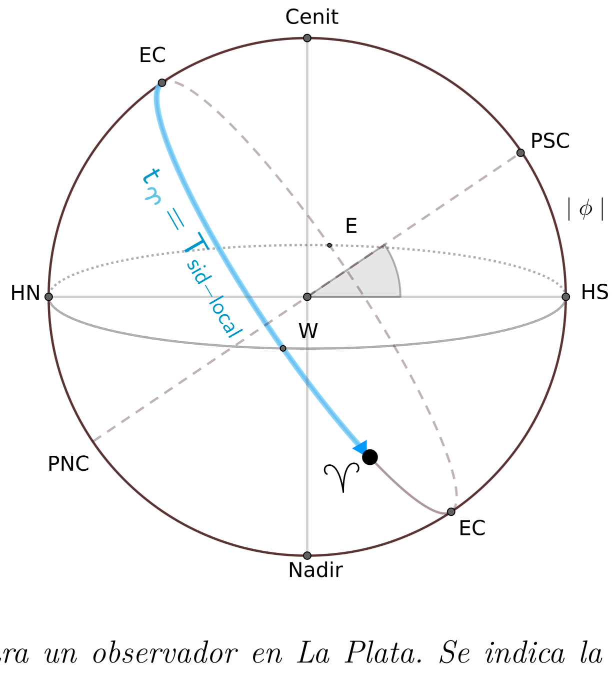


Figura 2. *Esfera celeste para un observador en La Plata. Se indica la ubicación del punto vernal, cuando el tiempo sidéreo en La Plata es 11 hs, es decir* t_{Υ} *= 11 hs* .

Una vez ubicado el punto vernal, podemos marcar a partir del mismo, la ascensión recta α del astro, sobre el ecuador celeste y en sentido directo (contrario al de la coordenada t). En este ejemplo α tiene un valor de 8 hs (ver figura 3).

Luego pasamos un meridiano por el punto sobre el ecuador celeste hasta donde llegó la coordenada α y sobre el mismo marcamos $\delta = -33°$, desde el ecuador celeste hacia el PS ya que, en este ejemplo, δ es negativa.

Vemos también que, desde el meridiano superior del lugar hasta el meridiano que pasa por el astro, es posible indicar la coordenada ángulo horario del astro (t_{astro}) .

Observando la figura 3 podemos comprobar gráficamente la relación (1): $T_{sid-local} = t_{\Upsilon} = t_{astro} + \alpha_{astro}$

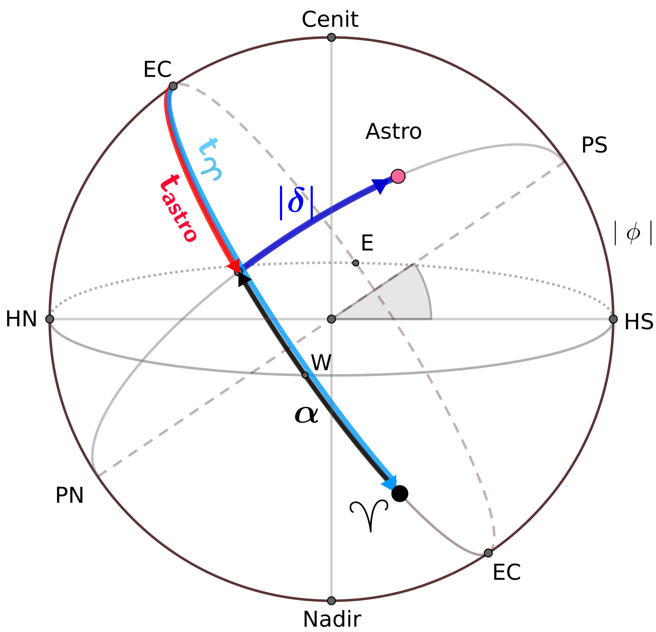


Figura 3. *Coordenadas ecuatoriales celestes α (negro) y δ (azul) de un astro, para un observador en una latitud sur ϕ. Se puede comprobar gráficamente la relación entre el tiempo sidéreo o ángulo horario del punto vernal (t_{Υ})(celeste), el ángulo horario del astro t_{astro} (rojo) y la ascensión recta α_{astro} del astro (negro).*

2. Transformación entre coordenadas celestes y locales

- **Sistema ecuatorial local ⇆ sistema ecuatorial celeste**

Como ya vimos, es posible relacionar, para un mismo astro, sus coordenadas del sistema ecuatorial celeste con las del ecuatorial local.

Ambos sistemas tienen una coordenada en común que es la declinación δ_{astro}.

La otra coordenada del sistema ecuatorial celeste es la ascensión recta α_{astro} y está vinculada con el ángulo horario t_{astro} (coordenada del sistema ecuatorial local) a través de su relación con el tiempo sidéreo, dada por la expresión (1): $T_{sid-local} = t_{\Upsilon} = t_{astro} + \alpha_{astro}$

Entonces, por ejemplo, conociendo las coordenadas de un astro en el sistema ecuatorial local δ_{astro} y t_{astro} y el tiempo sidereo local (t_{Υ}), podemos calcular α_{astro} como:

$$\alpha_{astro} = t_{\Upsilon} - t_{astro}$$

y así obtener sus coordenadas ecuatoriales celestes: α_{astro} y δ_{astro}

- **Sistema horizontal ⇆ sistema ecuatorial celeste**

Veamos ahora como transformar las coordenadas del sistema horizontal en las del ecuatorial celeste o viceversa.

. . . .

- EJEMPLO 1: Supongamos que conocemos las coordenadas horizontales acimut (A) y altura (h) de un astro, para un observador en una latitud ϕ, para un instante dado, y queremos calcular sus coordenadas ecuatoriales celestes α y δ.

Consideremos, por ejemplo, un astro de coordenadas horizontales A = 60°, h = 50° para un observador en La Plata $\phi =-34°$ 54', sabiendo además que, en el instante de observación, el tiempo sidéreo en La Plata vale $T_{sid\ LP}$ = 1h 43min.

¿Cuáles serán las coordenadas α y δ del astro?

Dados A = 60°, h = 50° y $\phi = -\ 34°54'$ podemos calcular las coordenadas ecuatoriales locales t y δ resolviendo el triángulo esférico de posición, tal como se explica en el apunte explicativo de la practica 5.

Haciendo los cálculos se encuentra que las coordenadas ecuatoriales locales resultan:

$$t = 3h\ 25m\ 36s \text{ y } \delta = -\ 44°34'41''$$

Sabiendo ahora que el tiempo sidéreo en La Plata, en el momento de observación vale 1h 43min y usando la expresión (1) obtenemos:

$$\alpha_{astro} = T_{sid\ LP} - t_{astro} = 1h\ 43m - 3h\ 25m\ 36s = -1h\ 42m\ 36s$$

Como la coordenada α_{astro} se mide de 0h a 24hs, cuando el valor resulta negativo le sumamos 24hs (el valor negativo de α significa, en este caso, que la coordenada se está midiendo en sentido contrario al definido como positivo). Así, resulta:

$\alpha_{astro} = -1h\ 42m\ 36s + 24h = 22h\ 17m\ 24s$

Entonces, las coordenadas ecuatoriales celestes del astro serán:

$$\delta = -\ 44°34'41'' \text{ y } \alpha = 22h\ 17m\ 24s$$

. . . .

- EJEMPLO 2: Si ahora sabemos que un astro posee coordenadas ecuatoriales celestes α y δ, ¿cómo calculamos sus coordenadas horizontales en La Plata en un cierto instante? Para ello debemos conocer también, el tiempo sidéreo en La Plata en el momento de la observación $T_{sid\ LP}$.

Consideremos, por ejemplo, un astro de coordenadas ecuatoriales celestes α = 12h 20m y δ = 13° 28'. ¿Cuáles serán sus coordenadas horizontales para un observador en La Plata, cuando el tiempo sidéreo vale $T_{sid\ LP}$ = 17h 52m?

Calculamos primero al ángulo horario del astro t_{astro}, para el observador en La Plata en el instante de observación :

$$t_{astro} = T_{sid\ LP} - \alpha_{astro} = 17\text{h } 52\text{m} - 12\text{h } 20\text{m} = 5\text{h } 32\text{m}$$

Conociendo ahora que las coordenadas ecuatoriales locales del astro y la latitud del observador son:

$$\text{t} = 5\text{h } 32\text{m y } \delta = 13° \ 28\text{' y } \phi = -34° \ 54$$

podemos resolver el triángulo de transformación de coordenadas locales correspondiente, tal como se explica en el apunte explicativo de la practica 5.

Calculando entonces A y z, resulta:

$$\text{A} = 105°0\text{'}33\text{" y z} = 92° \ 3\text{'}55\text{"}$$

Notar que como h = 90° - 92° 3'55" = -2° 3'55", este astro está por debajo del horizonte en La Plata para el instante dado y por lo tanto no podrá ser observado en ese momento.

3. Sistema ecliptical

El sistema ecliptical es otro sistema absoluto, que tiene como plano fundamental la **eclíptica** y como eje perpendicular la **línea PNϵ-PSϵ** (polo norte ecliptical-polo sur ecliptical). Las coordenadas en este sistema son **longitud ecliptical** λ y **latitud ecliptical** β (ver figura 4).

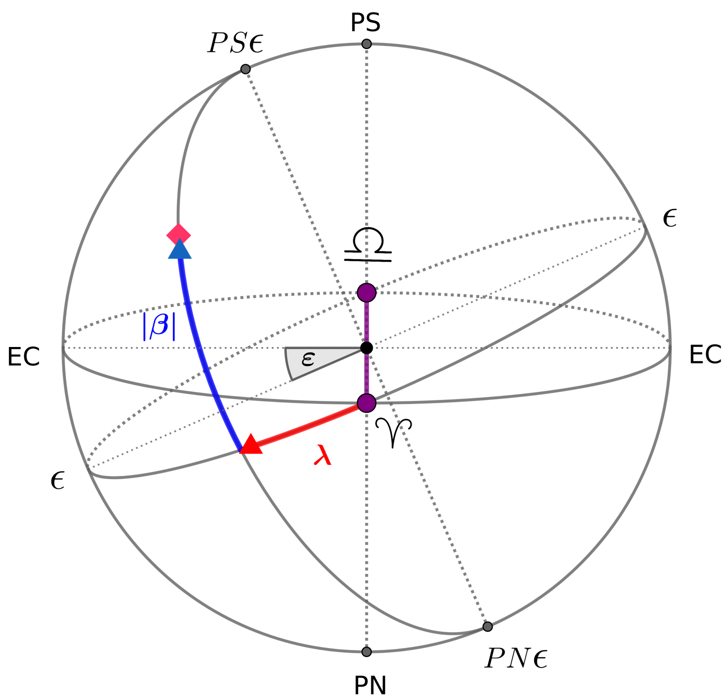


Figura 4. *Coordenadas eclipticales, λ (rojo) y β (azul) de un astro. La longitud ecliptical λ se mide sobre la eclíptica, desde el punto ♈ y en sentido directo, hasta el círculo máximo que pasa por los polos eclipticales y el astro. La latitud ecliptical β, se mide sobre círculo máximo que pasa por los polos eclipticales y el astro, desde la eclíptica hasta el astro. ε = 23° 27' es la oblicuidad de la eclíptica.*

LONGITUD ECLIPTICAL:

- Se simboliza con la letra λ.
- Se mide sobre la eclíptica, desde el punto vernal o punto Aries (♈), en sentido directo (contrario al movimiento diurno, que se puede deducir con la regla de la mano derecha), hasta la circunferencia máxima que pasa por los polos eclipticales y el astro.
- Va desde 0^h a 24^h.

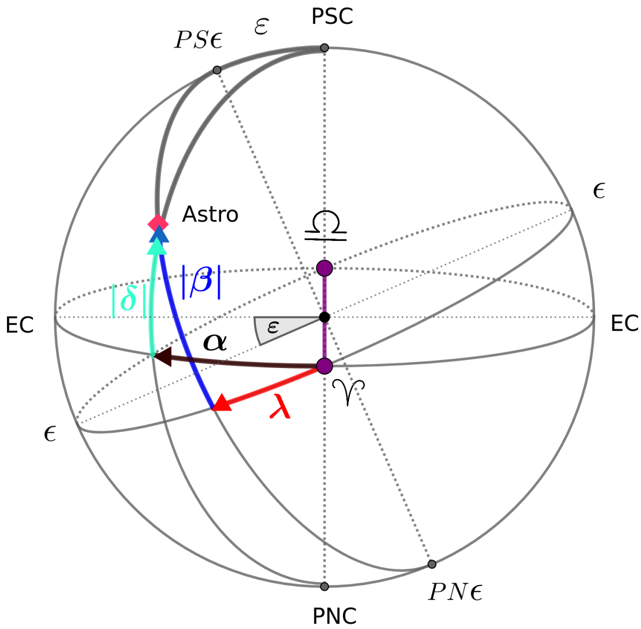
LATITUD ECLIPTICAL:

- Se simboliza con la letra β.
- Se mide desde la eclíptica hasta el astro, sobre la circunferencia máxima que pasa por los polos eclipticales y el astro.
- Va de $0°$ a $90°$ hacia el PNϵ y de $0°$ a $-90°$ hacia el PSϵ.

4. Transformación entre coordenadas celestes y eclipticales

Si conocemos las coordenadas absolutas de un astro en alguno de los dos sistemas definidos (ecuatorial celeste o ecliptical) es posible calcular sus coordenadas en el otro sistema resolviendo un triángulo esférico como el de la figura 5.

En esta figura se marcan las coordenadas ecuatoriales celestes α y δ y eclipticales λ y β para un astro dado y se indican los elementos del triángulo de posición PSϵ-astro-PSC. Aplicando el Teorema del seno, el Teorema del coseno y la Fórmula de los 5 elementos, es posible calcular las coordenadas del sistema ecuatorial celeste en función de las del sistema ecliptical o viceversa.



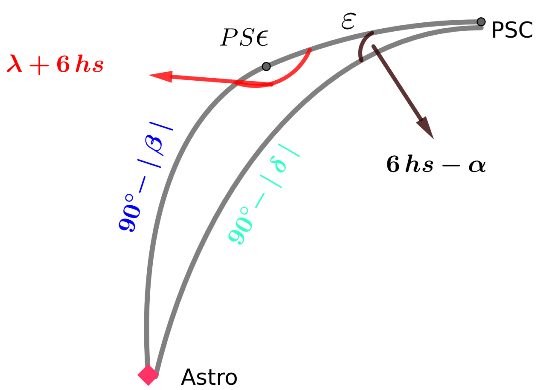


Figura 5. *Coordenadas eclipticales λ y β y ecuatoriales celestes α y δ de un astro. Se indica a la derecha el triángulo de posición correspondiente con todos sus elementos.*