

University of Texas Rio Grande Valley  
Center for Gravitational Wave Astronomy  
Nompuewenu Observatory

# **Curso de Astronomía Observacional con CCD – UTRGV – CGWA – 2016**

---

**Instrumental Astronómico**

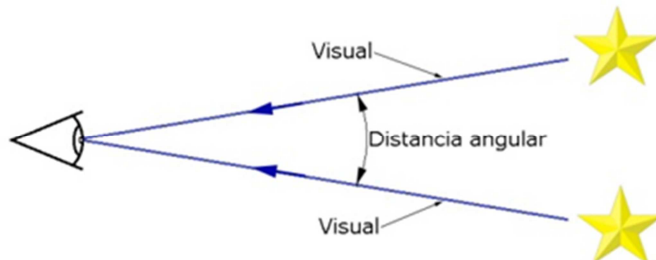
**29/09/2016**

Este apunte contiene una apretada síntesis de conceptos básicos y útiles para quien se inicia en la observación astronómica, utilizando pequeños telescopios equipados con cámaras CCDs. Sirve de guía para orientar al estudiante en su proceso de aprendizaje, quien deberá consultar bibliografía específica si pretende profundizar cada tema propuesto aquí.

**Instrumental astronómico.**

1. **Visual:** Es el segmento que une a el ojo del observador o el instrumento con un objeto puntual o un punto ubicado en la esfera celeste.

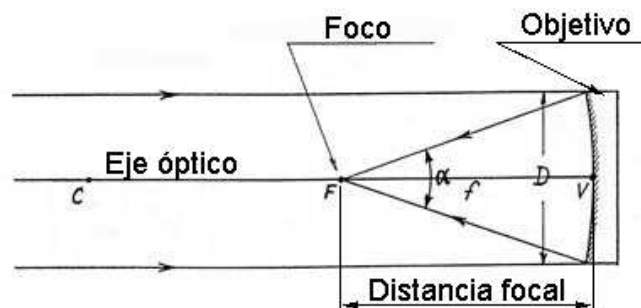
Distancia angular: Es el ángulo formado entre dos visuales. Si las dos visuales coinciden con los extremos del diámetro de un objeto, la distancia angular recibe el nombre de “diámetro angular”. Por ejemplo: El diámetro angular de la Luna es de 30 arcseg, porque ese es el ángulo de dos visuales dirigidas a dos puntos opuestos sobre un diámetro de la Luna.



2. **Parámetro principal del telescopio.** Para calcular la región del cielo que es posible observar con una cámara CCD montada en un telescopio, necesitaremos conocer algunos parámetros útiles, tanto del telescopio como del sensor del CCD. Acá algunos conceptos referidos al telescopio:

- **Objetivo:** Es el elemento principal del telescopio, encargado de capturar la luz del objeto. En el caso del telescopio refractor, es un conjunto de lentes. En el caso del telescopio reflector, es un espejo cóncavo. Cuanto mayor sea el diámetro del objetivo, mejor será la señal del objeto a medir.

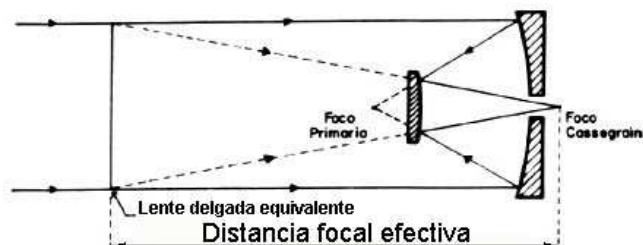
- **Foco:** Es el punto del eje óptico donde convergen los rayos del objeto, luego de pasar por el objetivo del telescopio.



- **Plano focal:** Es el plano perpendicular al eje óptico que pasa por el foco.

- **Distancia focal:** Es la distancia entre el objetivo y el foco.

- **Distancia focal efectiva:** Es la distancia focal de una lente delgada equivalente, con la misma abertura de entrada, que produzca un haz de luz convergente, con el mismo ángulo ( $\alpha$ ) que el producido por el sistema óptico del telescopio de que se trate.



- Por ejemplo: El telescopio del Nompuewenu Observatory es un MEADE Cassegrain y tiene una longitud focal efectiva de:

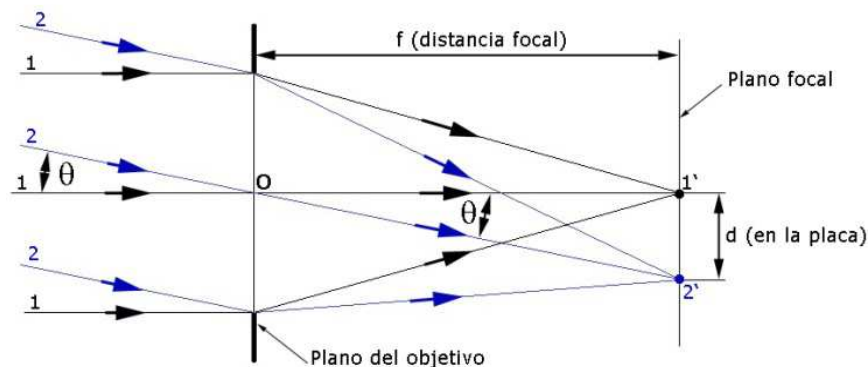
$$f = 4064 \text{ mm}$$

3. **Parámetros principales del CCD.** En el caso del sensor de una cámara CCD, los parámetros útiles están referidos a las dimensiones, tanto del ancho y el alto del píxel como del ancho y alto del mismo sensor. Por ejemplo: la cámara del Nompuewenu Observatory es una APOGEE F16M con las siguientes características publicadas por el fabricante:
- Los píxeles del sensor de un CCD tienen dimensiones:  
Ancho = 9  $\mu\text{m}$  y Alto = 9  $\mu\text{m}$ .
  - El manual de la cámara indica que el sensor tiene:  
Ancho = 4096 píxeles y Alto = 4096 píxeles.  
Calculando las dimensiones del sensor:  
Ancho = 36,8 mm y Alto = 36,8 mm.
4. **Campo de la placa.** Es el tamaño angular de la región de cielo que se puede observar con un sensor. También se lo conoce como “campo de visión” o “FOV” (Field Of View). Para calcular el tamaño del FOV, imaginemos una placa en el plano focal de un telescopio que tiene una distancia focal “f” [mm]. Dos objetos puntuales en la esfera celeste, separados por una distancia angular “ $\theta$ ” (las visuales pasan por el centro óptico “O” del objetivo), proyectan sus imágenes en la placa, separadas por una distancia “d” [mm]. El cálculo de esa distancia angular  $\theta$  se hace con las siguientes fórmulas:

$$\theta = d / f \text{ [radianes]}$$

$$\theta = 180/\text{PI} * d / f \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$\theta = 206264,8 * d / f \text{ [arcseg]}$$



Si la placa es rectangular y se conocen: el ancho [mm] y el alto [mm] del sensor, y la distancia focal del telescopio [mm], el campo de la placa se calcula así:

$$\theta(\text{ancho}) = 206264,8 * \text{ancho} / f \text{ [arcseg]}$$

$$\theta(\text{alto}) = 206264,8 * \text{alto} / f \text{ [arcseg]}$$

Por ejemplo: Si utilizamos los datos del telescopio y la cámara de los ejemplos anteriores, el cálculo del FOV será:

$$\theta(\text{ancho}) = 206264,8 * 36,86 \text{ mm} / 4064 \text{ mm} \rightarrow \theta(\text{ancho}) = 1870''$$

$$\theta(\text{ancho}) = (1870/60)' = 31,2'$$

$$\theta(\text{alto}) = 206264,8 * 36,86 / 4064 \text{ mm} \rightarrow \theta(\text{alto}) = 1870''$$

$$\theta(\text{alto}) = (1870/60)' = 31,2'$$

5. **Escala de la placa.** En la época de las placas fotográficas, se caracterizaba un instrumento con la distancia angular entre dos objetos o puntos del cielo que formaban sus imágenes con una distancia igual a 1 mm en el plano focal.
6. **Escala del píxel.** Desde la aparición de la fotografía digital se utiliza el concepto de “escala del píxel”, para definir la distancia angular entre dos puntos en la esfera celeste que forman sus imágenes separadas por el ancho de un píxel. La escala del píxel es la porción del cielo representada en un píxel del sensor. Podemos calcularla con la expresión:

$$\theta = 206264,8 d / f, \text{ donde } d \text{ [mm] es la dimensión del píxel.}$$

$$\text{Escala del píxel} = 206264,8 * d / f \text{ [arseg/píxel]}$$

Por ejemplo: en el telescopio del ejemplo anterior, la escala del píxel es:

$$\text{Escala del píxel} = 206264,8 * 0,009 \text{ mm} / 4064 \text{ mm}$$

$$\text{Escala del píxel} = 0,46 \text{ ''/píx}$$

7. **Resolución espacial.** Es la cantidad de píxeles por cada 1 arcseg. A mayor resolución espacial, permite apreciar mayor cantidad de detalles del objeto que se observa. Se calcula con la inversa de la escala del píxel:

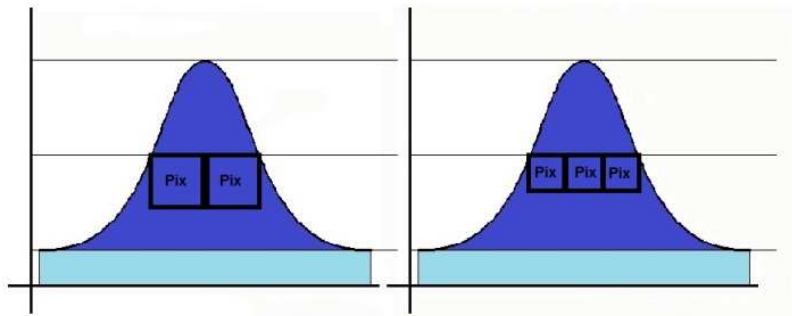
$$\text{Resolución espacial} = 1 / \text{Escala del píxel [píxeles/arcseg]}$$

Muchas veces se suele hablar de resolución espacial, expresando el valor de la escala del píxel, preferimos acá hacer esa distinción de conceptos.

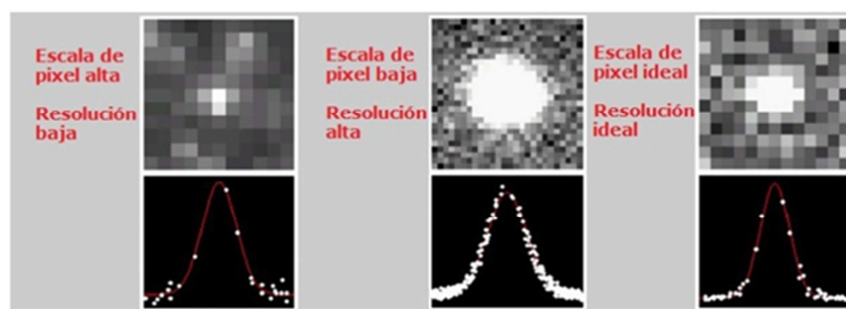
8. **Seeing.** Es un parámetro que mide el efecto distorsionador que la atmósfera. Las turbulencias atmosféricas (por convección, relieve, cúpula, etc.) causan variaciones de densidad que deforman el camino óptico recorrido por los rayos de luz. El seeing nos indica la calidad de la atmósfera y su efecto en la calidad de la imagen. La atmósfera es el principal factor, pero hay otros que hacen su aporte: el domo, el relieve del lugar, el mismo instrumento, etc. Todos producen distorsiones sobre el recorrido de la luz proveniente de objetos exteriores. Por el seeing, la imagen de

una estrella deja de ser puntual. El seeing es diferente para diferentes longitudes de onda: empeora hacia las ondas cortas (hacia el azul). También varía en un mismo lugar con el cambio de las condiciones atmosféricas. La consecuencia del seeing es la variación del ancho de la imagen las estrellas, por ello se suele usar el valor de FWHM, para medir el valor del seeing. Se puede expresar en pixeles, pero resulta conveniente pasar ese valor a arcosegundos ["], aplicando la escala del píxel. En sitios urbanizados, el seeing suele valer entre 4" y 6". En sitios de muy buenas condiciones, el seeing es menor a 1".

9. **Relación entre: Escala de píxel y Seeing.** La escala del píxel ideal -para que el PSF adquiera la forma típica- se corresponde entre la mitad y el tercio del seeing. Es decir: cuando el FWHM ocupa 2 a 3 píxeles. Por ejemplo: El seeing típico de un centro urbano es de 6". Es decir: el FWHM=6". La escala del píxel ideal deberá estar comprendida entre 3"/pix (2 píxeles en el FWHM) y 2"/pix (3 píxeles en el FWHM).



Si la escala del píxel es grande (FWHM menor que 2 píxeles): mejora la relación Señal-Ruido (al tener mucha señal en cada píxel) pero la forma del PSF es deficiente porque la resolución espacial es baja y queda definido con demasiado pocos píxeles.



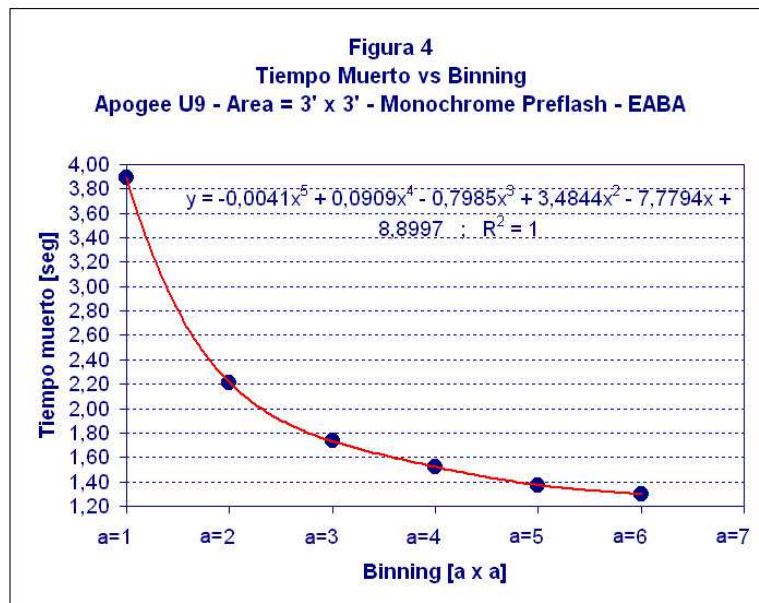
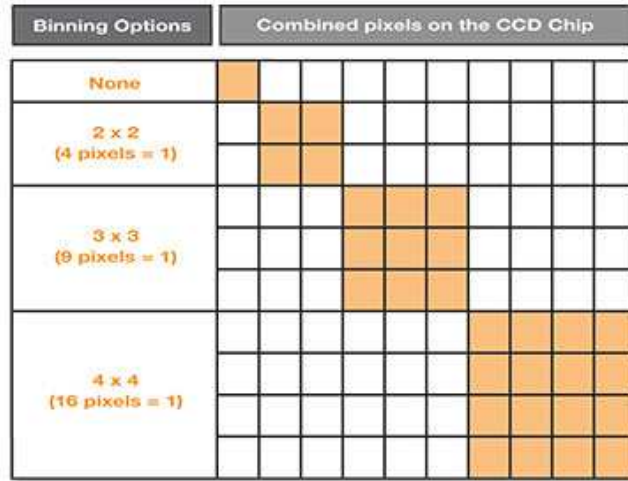
Si la escala del píxel es pequeña (FWHM mayor que 3 píxeles): se dispone una resolución espacial alta, por lo que muchos píxeles definen mejor la forma del PSF, pero al distribuir la señal entre muchos píxeles, disminuye la relación Señal-Ruido.

10. **Binning.** Es el proceso de combinar los píxeles vecinos de un sensor en un "super píxel". En ese super píxel, todos los píxeles individuales contribuyen con sus cargas. Por ejemplo, en binning 2 x 2, la carga de un cuadrado de 4 píxeles adyacentes se

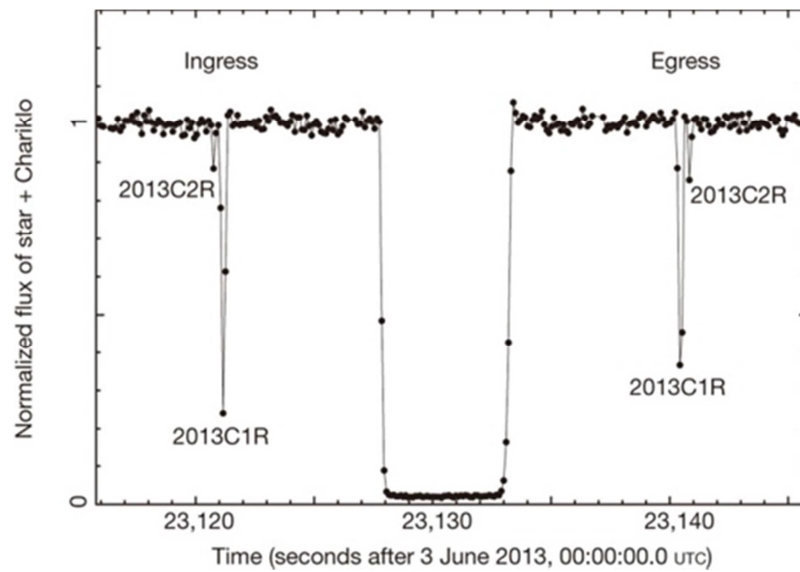
combina en 1 super píxel, y en binning 3 x 3, la carga de un cuadrado de 9 píxeles adyacentes se combina en 1 super píxel.

A mayor binnig:

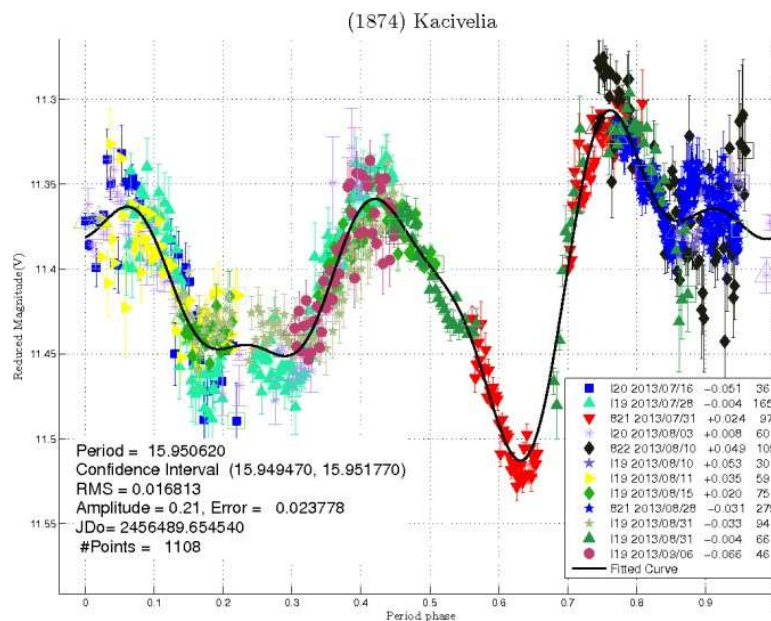
- Aumenta la escala del píxel, por lo que disminuye la resolución espacial.
- Aumenta la señal, permitiendo detectar señales débiles con menor tiempo de exposición.
- Reduce el número de píxeles a medir y consecuentemente: el tamaño del archivo.
- Reduce el tiempo de lectura en los CCD, aumentando la resolución temporal.



11. **Resolución temporal.** Cuando se quiere observar la evolución de un evento, se toman muchas imágenes sucesivas. La resolución temporal es la cantidad de imágenes tomadas por unidad de tiempo. Una mayor resolución temporal permite contar con mayor densidad de puntos, lo cual permite detectar fluctuaciones de brillo que se producen en poco tiempo. Los eventos de corta duración requieren de resolución temporal elevada. Un telescopio de la Silla (Chile) pudo discriminar que Chariklo tiene dos anillos, gracias al uso de una cámara de alta velocidad, con una resolución temporal de 10 imágenes por segundo, casi sin tiempos de lectura (el sensor es un CMOS).



12. **Tiempo de exposición adecuado.** La elección del tiempo de exposición deberá ser lo suficientemente corto como para no se superar el límite de linealidad. Deberá considerarse el valor de cuentas máximas en el momento de la elección del tiempo de exposición, para evitar la pérdida de linealidad cuando disminuya la distancia cenital. También deberá ser corto para lograr mayor resolución temporal, especialmente si se esperan eventos de corta duración. Pero deberá ser suficientemente largo como para lograr la mayor SNR posible procurando alcanzar la menor dispersión de puntos posible. Como se puede percibir, la elección del tiempo de exposición requiere de mucha práctica observacional.



13. **Recortes del campo para reducir el tiempo de lectura.** Según el tipo de observación a realizar, hay varios motivos para grabar sólo una porción del campo. La razón más importante, suele ser la de lograr mayor resolución temporal: una

imagen pequeña tiene un tiempo de lectura menor. Otra ventaja es la disminución del tamaño del archivo.

14. **Balanceado del telescopio.** El mecanismo que permite hacer los movimientos del telescopio es -en general- muy delicado. Para un mejor funcionamiento y lograr mayor vida útil, es conveniente que los dos ejes de la montura ecuatorial estén bien balanceados. Se dispone la montura con el eje polar aproximadamente paralelo al eje del mundo. El balanceo se logra deslizando el tubo y/o las pesas destinadas para ese fin. La verificación se puede hacer de la siguiente manera:
  - Cuando el eje óptico del espejo primario se posiciona paralelo a la meridiana del lugar y se libera sólo el freno de declinación, el tubo debe quedar en reposo. Si se gira el eje de declinación  $90^\circ$ , apuntando al cenit con el freno de declinación liberado, también debe quedar en reposo. Ello ocurrirá cuando el centro de gravedad esté sobre el eje de declinación.
  - Cuando el eje óptico del espejo primario se posiciona paralelo a la meridiana del lugar y se libera sólo el freno de ascensión recta, el tubo debe quedar en reposo. Si se gira el eje de ascensión recta  $90^\circ$  con el freno de ascensión recta liberado, también debe quedar en reposo. Ello ocurrirá cuando el centro de gravedad esté sobre el eje de ascensión recta.
  
15. **Orientación de la cámara.** Se debe orientar la cámara de tal modo que al mover la montura en la dirección Este-Oeste, la traza de la estrella sea paralela al retículo horizontal de la imagen. Una vez logrado, deberá ocurrir que al mover la montura en la dirección Sur-Norte, la traza de la estrella sea paralela al retículo vertical de la imagen.
  
16. **Puntos cardinales en el campo visible.** Orientada la cámara, resultará conveniente identificar los puntos cardinales en la imagen.
  - Norte de la imagen. Se observa la boca del telescopio haciendo movimientos amplios hasta identificar la tecla que lo mueve hacia el Norte. Se toman sucesivas imágenes mientras se desplaza el telescopio hacia Norte. El lado de la imagen por donde aparecen estrellas es el Norte de la imagen. El lado opuesto, es el Sur de la imagen.
  - Este de la imagen. Se observa la boca del telescopio haciendo movimientos amplios hasta identificar la tecla que lo mueve hacia el Este. Se toman sucesivas imágenes mientras se desplaza el telescopio hacia Este. El lado de la imagen por donde aparecen estrellas es el Este de la imagen. El lado opuesto, es el Oeste de la imagen.
  
17. **Puesta en estación de la montura ecuatorial.** Es el procedimiento que permite ajustar la posición del eje de ascensión recta (RA) de la montura, para que quede paralelo al eje de rotación de la Tierra. Se supone que la montura ya tiene una puesta en estación aproximada orientándose con una brújula o un gnomon, e inclinando el eje de RA un ángulo similar al de la latitud del lugar. Se explicará acá el método de la deriva en declinación. Se hace en dos pasos:



- **Ajuste del acimut del eje de RA.** Se observa una estrella próxima al Ecuador celeste, pocos antes de culminar. Centrada la estrella en el retículo, se esperan varios minutos.
  - Si la estrella deriva hacia el Norte, eso significa que el telescopio se fue hacia el Sur. El Norte de la montura está al Oeste del Norte celeste. Se mover el Norte de la montura hacia el Este.
  - Si la estrella deriva hacia el Sur, eso significa que el telescopio se fue hacia el Norte. El Norte de la montura está al Este del Norte celeste. Se mover el Norte de la montura hacia el Oeste.
- **Ajuste de la altura del eje de RA.** Se observa una estrella próxima al meridiano que resulta de sumarle 06:00:00 al tiempo sidéreo (igual a la RA de una estrella que culmina a esa hora), pero que esté a no menos de 20° de altura. Centrada la estrella en el retículo, se esperan varios minutos.
  - Si la estrella deriva hacia el Norte, eso significa que el telescopio se fue hacia el Sur. El Norte de la montura está arriba de Norte celeste. Se mover el Norte de la montura hacia abajo.
  - Si la estrella deriva hacia el Sur, eso significa que el telescopio se fue hacia el Norte. El Norte de la montura está abajo de Norte celeste. Se mover el Norte de la montura hacia arriba.