

OASIS

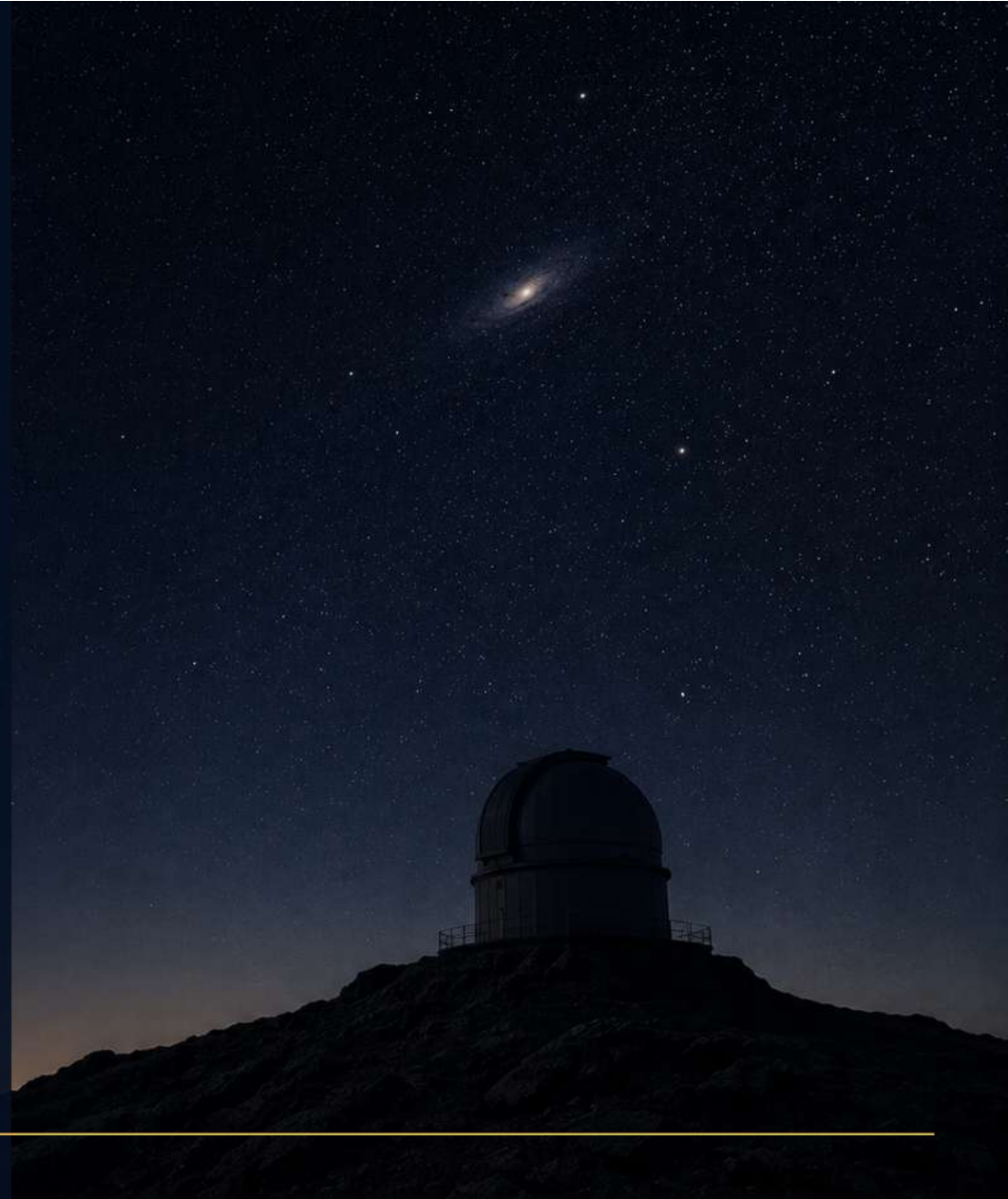
Actividad 3. Tiempo de exposición en astronomía

4ºESO, 1º y 2º de Bachiller

unir LA UNIVERSIDAD
EN INTERNET

OASIS

<https://uniroasis.es/>



¿Por qué hace falta integrar tiempo?

- ✦ El **ojo humano** integra luz durante fracciones de segundo.
- ✦ El cerebro adapta el brillo y contraste, aumentando mucho la sensibilidad, pero no acumula luz.
- ✦ Los objetos de cielo profundo están extremadamente lejos, y son débiles. Se necesita tiempo de exposición para poder detectarlos sobre el fondo ("ruido").

Capturar imágenes durante más tiempo

Acumulamos luz durante un largo periodo para observar objetos tenues

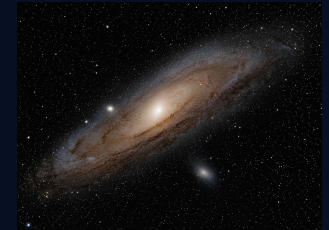
☾ 1 s



☾ 30 s



☾ 10 min total



Integrar tiempo = recoger más luz

¿Por qué hace falta integrar tiempo?

- ✦ No necesariamente son pequeños: la galaxia de Andrómeda ocupa más de 5 veces el tamaño de la Luna en el cielo.
- ✦ Sin embargo, en esta composición la Luna se tomó con < 0.1 s, y Andrómeda con 30s.

Composición fotográfica de la Luna y Andrómeda sacadas con el mismo equipo (mismos aumentos) la noche del 22 de Agosto de 2019.



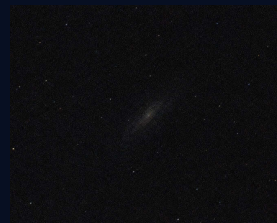
¿Qué es el tiempo de exposición?

- Es la duración de una toma
- ✦ individual: cuánto tiempo recoge luz el sensor.
- ✦ En astronomía, se hacen muchas tomas y luego se apilan.
- ✦ La exposición total, o tiempo de integración, es la suma de todos los tiempos de exposición de las tomas individuales.
- ✦ Se busca evitar que las zonas brillantes, como las estrellas, no saturen el detector.

$$t_{total} = N \times t_s$$

Ejemplo: 20 tomas $\times$ 180 s = 3600 s = 1 hora

Imagen subexpuesta



Captura individual
con el tiempo de
exposición adecuado



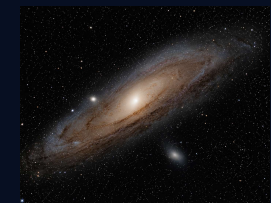
Por canal de color:

$$R_t = N \times R_s$$

$$G_t = N \times G_s$$

$$B_t = N \times B_s$$

Resultado final tras apilado



Magnitud y tamaño aparente

Brillo y tamaño de los objetos astronómicos

Magnitud aparente (m)

- ♦ Mide el **brillo recibido en la Tierra**: menor magnitud = más brillante.
- ♦ Es una escala logarítmica: 5 magnitudes = factor 100 en flujo.

Tamaño aparente

- ♦ Es el ángulo que **ocupa el objeto en el cielo**: arcsec, arcmin o grados.
- ♦ Determina cuántos píxeles del sensor reciben su luz.

Misma magnitud total... pero distinto reparto de fotones

Puntual / compacto



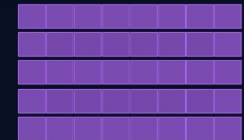
Toda la luz en unos pocos píxeles...



Extendido / difuso



Misma luz repartida en mucha extensión



La idea principal: brillo por pixel

Cuanto menor sea, mayor tiempo de exposición necesitaremos...

;; y más nos afectará el ruido !!

Señal, ruido y SNR

Proporción señal-ruido, SNR = signal noise ratio

$$SNR = \frac{S}{\sqrt{S + n_{pix}(B + D + R_N^2)}}$$

S

señal del objeto
que estamos
observando

B

fondo de cielo
por pixel

D

corriente oscura
(crece con la
temperatura)

R_N

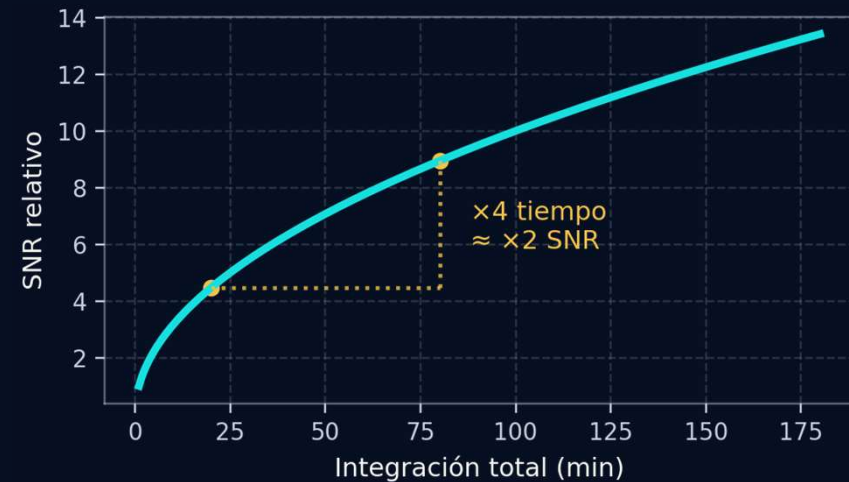
ruido de lectura
(electrónico)

La señal crece casi linealmente con el tiempo t

El ruido crece aproximadamente con $\sqrt{t}$

Más tiempo mejora, pero con rendimiento decreciente...

Comportamiento típico del SNR



Mejora con el tiempo es integración, como $\sim \sqrt{t}$

¿De qué depende el tiempo necesario?

- **Objeto:** cuanto más tenue, más tiempo de exposición es necesario.
- **Telescopio:** cuanto más grande sea la apertura, más luz recoge. Cuanto más distancia focal, más luz es necesaria.
- **Cámara:** necesitamos buena eficiencia, bajo ruido de lectura, refrigeración...
- **Condiciones atmosféricas:** necesitamos un cielo limpio y oscuro.

Objeto

Magnitud y tamaño aparente

Telescopio

Apertura, transmisión óptica y distancia focal

Cámara

Eficiencia, ruido de lectura, refrigeración y tamaño de píxel

Filtro

RGB, banda ancha o banda estrecha...

Cielo

Contaminación lumínica, luz dispersada por la Luna, transparencia (calima)...

Atmósfera

Seeing y extinción: cómo de transparente y turbulenta es la atmósfera

Cómo se calcula en la práctica

Utilizamos herramientas online gratuitas que nos ayudan a hacer los cálculos:

- https://www.mirametrics.com/sn_calculator_mvn.php
- <http://spiff.rit.edu/richmond/signal.shtml>

Necesitamos recolectar todos los datos de la observación que queremos hacer:

- Equipo utilizado (características de la CCD, diámetro telescopio, ...)
- Objeto (magnitud, tamaño...)
- Atmósfera (seeing, brillo del cielo, calima...)
- Parámetros de la observación (tiempo de exposición, filtro...)

Astronomical SNR Calculator
Author: Michael Newberry, Ph.D., Mirametrics, Inc.

This form calculates the Signal to Noise Ratio (SNR) for aperture photometry of a point source. The SNR is calculated for filtered or clear observations using the properties of the sensor (CCD), instrument (telescope and filter), and the observation. Use this calculator to plan observations by estimating the effect of exposure time and other parameters. You also can work backward to determine what combination of parameters gives a target SNR. Click [Save] to save parameters, click [Load] to fetch saved parameters. Use [Default] to load reasonable default parameters. Also see the [Optimizer](#) tool. [\[Submit Comments\]](#)

Camera

Pixel Size microns	Binning 	Readout Noise electrons	Gain e- / ADU
Temp ° C	T doubling ° C	Tref ° C	Dark Current pA / cm ² @ Tref

Instrument

Focal Length mm	Diameter mm	Secondary diameter, mm	Efficiency percent
--	--	---	---

Bandpass

Name 	Filter Factor percent (100%)	QE percent	Extinction mags @ zenith	Airmass zenith = 1.0
------------------------------	---	---------------------------------------	---	---

Observations

Object Mag (bandpass)	Exp Time seconds	Seeing FWHM, arcsec	Aperture radius, binned pix	Sky Mag mag / arcsec ²
--	---	--	--	--

All results are in units of binned pixels.

Results

SNR 	Sigma(m) +/- mag
-----------------------------	---

Calculations

Dark Current e- / s / pix	Base Noise e- / pix	Image Scale arcsec / pix	Object Flux ADU / s
Sky Flux ADU / s / pix	Total BG Flux ADU / s / pix	Total BG SNR 	Sky / BG
Aperture diam (FWHM)	Aperture diam (arcsec)	Aperture Area arcsec ²	Noise Ratio
			Ap Integral percent

Ejemplo — Estrella con telescopio de AstroCuenca

Equipo de AstroCuenca

- ✦ Telescopio: RC 400 / 3200 mm
- ✦ Cámara: ZWO ASI6200MM Pro
- ✦ Sensor full frame 9576 × 6388
- ✦ Píxel: 3,76 μm
- ✦ QE máx.: ~80 %
- ✦ Cámara refrigerada y bajo ruido de lectura
- ✦ Escala de imagen $\approx 0,24''/\text{px}$

Características del cielo y objeto

Objeto:	estrella de magnitud 20
Cielo:	21,5 mag/arcsec ²
Seeing:	2"
Filtro:	R
Exposición:	300 s

Resultado de SNR

SNR ≈ 10

Signal-to-noise calculator for CCD photometry

Apr 6, 2003: fixed minor error in calculation of flux inside small apertures
Mar 2, 2004: fixed another error in calculation of flux inside very small apertures
Aug 30, 2004: now PSF centered on a pixel, rather than split at junction of 4 pixels

This form allows you to calculate the signal-to-noise ratio for a star observed with a telescope and CCD. You can

Assumptions:

- the star has the same spectrum as Vega, so it will give inaccurate results for very cool, red stars.
- the sky has the same spectrum as Vega
- the extinction coefficients are typical for sea-level sites; unfiltered observations are given the V-band extinction

If you want to see the calculations themselves, try reading [the Perl source code to the calculator](#). Or, if you just

Filter: This calculator uses Bessell filters, which are close to Johnson UBV, Cousins RI.

Mag Limits: List values for magnitudes between: and at intervals of mag.

Telescope diameter: (cm)

Overall QE: (0.0-1.0): primarily determined by CCD

Pixel size: (arcsec/pixel)

CCD readout noise: (electrons)

Sky brightness: (mag per sq. arcsec)

Airmass:

Exposure time: (seconds)

FWHM: (arcsec)

Radius for photometry: area over which signal is measured (arcsec):

You may have to wait 10-20 seconds for result.

<http://spiff.rit.edu/richmond/signal.shtml>

Comparación entre telescopios

Usando Mirametrics como referencia conceptual para un mismo objetivo de SNR

Telescopio	Apertura	Área relativa	Tiempo orientativo
AstroCuenca RC 400	0,4 m	1×	~300 s
Hubble Space Telescope	2,4 m	36×	~8 s
Gran Telescopio Canarias	10,4 m	676×	~0,7 s



Y... ¿qué buscamos?

Depende de nuestro objetivo, necesitaremos un SNR más alto o más bajo.
¿Queremos hacer una imagen bonita y detallada de una nebulosa? ¿Queremos hacer fotometría precisa de una supernova? ¿Necesitamos tener un espectro de alta resolución del centro de una galaxia?

Como referencia, buscaremos normalmente $\text{SNR} > 10$.
Un valor de 20 o 25 nos va a dar una buena imagen, en general.

¿Cómo hacemos para lograr ese SNR?

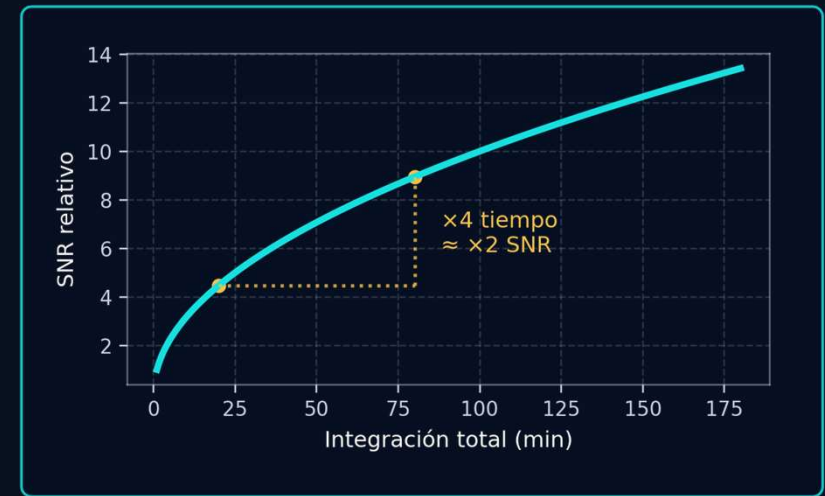
- No podemos modificar el telescopio, ni el brillo del objeto, ni la calidad del cielo...
- Pero sí el tiempo de exposición



Calculamos el tiempo de exposición necesario para el SNR deseado

Cosideraciones importantes

1. Aumentar el tiempo de exposición no siempre basta. El SNR mejora como $\sim \sqrt{t}$. Si el objeto es demasiado débil, podemos necesitar tiempos de integración enormes.
2. Los cálculos son aproximados: no siempre tenemos toda la información exacta de la respuesta del sensor, las condiciones atmosféricas... y puede que la noche de observación tengamos condiciones peores a las previstas: más vale ponernos en una situación algo peor de lo esperado.
3. Buscar ejemplos parecidos... ¿qué han hecho otros astrónomos con el mismo telescopio, o telescopios similares, para capturar objetos parecidos al nuestro?



Cómo preparar la sesión

Una vez hemos tenemos claro qué objeto queremos observar y con qué telescopio, debemos:

1. Escoger el SNR aproximado que buscamos.
2. Encontrar magnitud, brillo superficial, y demás propiedades del objeto.
3. Anotar todos los parámetros que caracterizan el telescopio y cámara.
4. Estimar las condiciones atmosféricas del lugar de observación en una noche promedio.
5. Escoger qué filtros vamos a usar (normalmente serán 3, RGB)

Cuando tengamos toda esta información, podemos usar los simuladores para calcular el tiempo de integración que necesitamos por filtro, y el tiempo de exposición por toma y número de tomas necesarias.

OASIS

4ºESO, 1º y 2º de Bachiller

unir LA UNIVERSIDAD
EN INTERNET

OASIS

<https://uniroasis.es/>

