

# Proyecto: COLORES

## • INTRODUCCIÓN

Observa las tres estrellas de la imagen inferior. ¿De qué color son las tres estrellas? ¿Son de color rojo, azul y blanco? ¿O acaso son naranja, turquesa y crema?

Claramente, “color”, como lo conocemos usualmente, es una idea subjetiva. Lo que una persona llama “azul”, por ejemplo, ¡Puede ser completamente diferente a lo que otra persona entiende por “azul”!



Si queremos aprender algo sobre las estrellas, lo primero que deberíamos hacer es ponernos de acuerdo, de alguna manera, para definir los colores. Ésto será tu gran desafío:

**¿Podemos de algún modo definir lo que es “color”?**

**¿Lo podemos medir de alguna manera?**

**¿Qué información nos puede entregar?**

## • EL COLOR DE LAS ESTRELLAS EN EL SDSS

En el primer ejercicio (pág3) revisarás la base de datos del Skyserver en busca de estrellas, para tratar de encontrar tu objetivo: la definición matemática de “color”.

## ¡PREPÁRATE PARA ENTRAR AL MARAVILLOSO MUNDO DE LA ASTRONOMÍA!



Fuente: Astronomy Picture of the Day (NASA)  
Credit & Copyright: Adam Block, Mt. Lemmon SkyCenter, U. Arizona

La cantidad de colores que podemos observar en el Universo es enorme, **¡Cada objeto de distinto color tiene distintas propiedades!**

En la imagen, la región **NGC 6559**.





## EJERCICIO 1.

Explora el cielo en busca de varias estrellas cuyos colores se vean diferentes. Para buscar estrellas, usa la herramienta de navegación del Skyserver: la "Navigation Tool" ([has clic aquí para abrir la "Navigation Tool"](#)). Con este Tutorial ([has clic aquí para ver el tutorial](#)) aprenderás a explorar el espacio usando esta poderosa herramienta.

Encuentra algunas estrellas de color azul, rojo, amarillo y blanco.

Tu objetivo es encontrar las "magnitudes" de esas estrellas. Las magnitudes están designadas con las letras "u", "g", "r", "i" y "z". Aprenderás en profundidad sobre magnitudes más adelante; por ahora, buscarás patrones en ellas.

Cuando encuentres una estrella que te interese, registra su información en el libro de trabajo ([has clic aquí para descargarlo](#)). Anota su posición (Ra y Dec), su color en palabras y sus cinco magnitudes ("u", "g", "r", "i" y "z"). Anota la información de 10 o 15 estrellas, pues la usarás en la actividad siguiente. (Importante: Los números decimales deben escribirse con comas si usas Microsoft Excel. Así, si en el SkyServer leemos "18.2" en la planilla de Excel debemos escribir "18,2").

El libro de trabajo es una "Planilla de cálculo". Si no tienes Microsoft Excel, puedes abrirlo usando programas gratuitos como [Google Spreadsheets](#) u [OpenOffice Calc](#).

Opcionalmente, puedes aprender a usar la herramienta "Add to Notes" y "Show Notes" siguiendo el [siguiente link](#).



## EJERCICIO 2.

Ahora, intenta descubrir un patrón en los colores.

Lee la información que recopilaste en tu libro de trabajo. Las instrucciones a continuación te dirán cómo analizar la información en **Microsoft Excel**; para analizar la información en otros programas de cálculo deberás seguir pasos similares.

Selecciona todos tus datos manteniendo presionado el clic izquierdo desde la esquina superior izquierda de tu planilla, hasta el último dato que tengas anotado. Selecciona ahora la opción Ordenar del menú Datos.

Ordena la columna "u" en orden ascendente.

**¿Ves si los colores se ordenan siguiendo algún patrón?**

Ahora ordena las columnas "g", "r", "i" y "z".

**¿Ves algún patrón ahora?**

A continuación, crea una nueva columna a la derecha de los colores. Etiqueta esta columna como "**u-g**". Haz clic en la celda de la columna "**u-g**" que corresponde a la fila de la primera estrella.

Escribe un signo igual (=). Haz clic en la celda que corresponde a la magnitud "u" de la primera estrella, luego escribe un signo menos (-). Ahora haz clic en la celda que corresponde a la magnitud "g" de la primera estrella. Finalmente presiona enter. Luego, haz clic en el pequeño cuadrado en la esquina inferior de la celda en la acabas de trabajar y arrástralo hasta la última fila de información.

Excel repetirá la sustracción para las otras estrellas de manera automática.

Repite este procedimiento para obtener las columnas con los valores de "**g-r**", "**r-i**" y "**i-z**". Ahora, ordena la información de las nuevas columnas "**u-g**", "**g-r**", "**r-i**" y "**i-z**".

**¿Qué patrones ves ahora al ordenar tus estrellas según estas columnas?**

**¿Cuál columna de información entrega el patrón más claro?**

## • DEFINICIÓN DE COLOR EN ASTRONOMÍA

En los ejercicios que acabas de realizar pudiste observar el color de algunas estrellas junto con sus magnitudes. Aún así, probablemente tuviste problemas decidiendo cuáles eran exactamente los colores de las estrellas, ¿Rojo o naranjo? ¿Amarillo o blanco?

Si queremos aprender algo sobre el color de las estrellas, primero debemos definir color de alguna manera que todos estemos de acuerdo, de forma universal: ¡Una medición que todos puedan realizar en cualquier parte del mundo! La medición que define el color es justamente la que encontraste en los ejercicios:

¡El color es la diferencia entre dos magnitudes distintas! Observa que cuando comparas la diferencia entre las magnitudes de las estrellas obtienes estrellas de colores similares. Por ejemplo, las estrellas rojas tienen valores similares para la diferencia de sus magnitudes, las estrellas azules tienen valores similares para la diferencia de sus magnitudes y las estrellas blancas tienen valores similares para la diferencia de sus magnitudes. El orden no es perfecto, pero nada en la naturaleza lo es completamente.

Cuando un astrónomo habla de "color"; él o ella, realmente está hablando de las diferencias de magnitud g-r, u-r, i-z y así sucesivamente. Si le preguntaras a un astrónomo cuál es el color de una estrella, él o ella no respondería "rojo" o "blanco"; él o ella te diría algo como: "esta estrella tiene un color g-r de 1,3".

## • MAGNITUDES

Ya establecimos que el color de una estrella se mide a través de su magnitud. Ésta indica qué tan brillante se ve un objeto astronómico desde la Tierra.

La escala de magnitudes utilizada en astronomía es un poco confusa, pero es la que se ha utilizado durante miles de años. En esta escala los números más grandes corresponden a objetos que emiten luz más tenue y números pequeños corresponden a objetos más brillantes: éstos tienen magnitudes negativas.

El incremento de magnitud en una unidad, corresponde a una disminución del brillo en un factor de aproximadamente 2,51. Un objeto de magnitud 5 es 2,51 veces menos brillante que un objeto de magnitud 4.

**EJERCICIO 3.** Sabemos que un objeto de magnitud 4 es **2,51** veces más brillante que un objeto de magnitud 5.

**¿Cuántas veces más brillante será un objeto de magnitud 4 de un objeto de magnitud 6?**

**¿Y de un objeto de magnitud 7?**

**¿Y de un objeto de magnitud arbitraria x?**



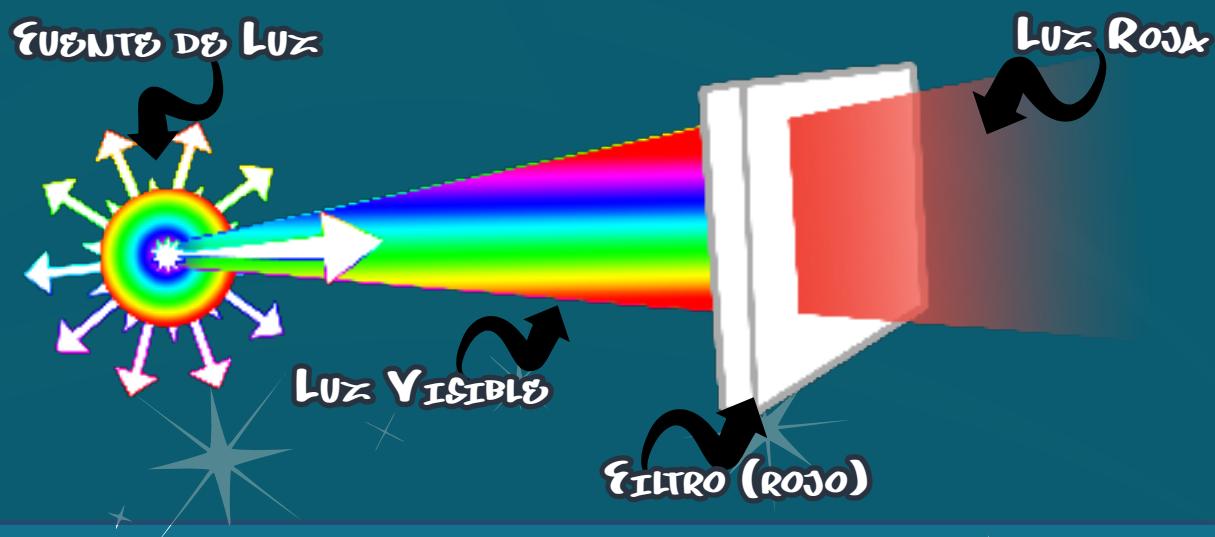
El **SDSS** mide magnitudes en cinco colores distintos tomando imágenes a través de cinco filtros de colores distintos. Un filtro es algo como una pantalla que bloquea toda la luz excepto la de un color específico:

Es un “colador” de luz. Los filtros del **SDSS** son verde (**g**), rojo (**r**) y tres colores que corresponden a luz no visible por el ojo humano:

El ultravioleta (**u**) y dos longitudes de onda infrarrojas (**i** y **z**) (**en la siguiente sección aprenderás más sobre la luz y su longitud de onda**). En el **SkyServer**, las cinco magnitudes de una estrella son simbolizadas por **u, g, r, i y z**. Los astrónomos que planearon el **SDSS** escogieron estos filtros para poder observar una amplia gama de colores desde los objetos interesantes del cielo.

El color es, entonces, simbolizado substrayendo magnitudes: **u-g, g-r, r-i**, etc. Aún así, recuerda que todos estos valores involucran magnitud, por lo que disminuyen a medida que la intensidad de luz incidente es mayor.

Si deseas aprender más sobre magnitudes, cómo se calculan y porque son un buen indicador del color de una estrella, visita el **FAQ** haciendo **clic aquí**.



#### EJERCICIO 4

Los valores del color **g-r** de tres estrellas son:

- Estrella 1: 1,2
- Estrella 2: 0,9
- Estrella 3: 1,12

¿Puedes ordenarlas desde la más rojiza hasta la más azul?



## • ¿Qué es el Color?

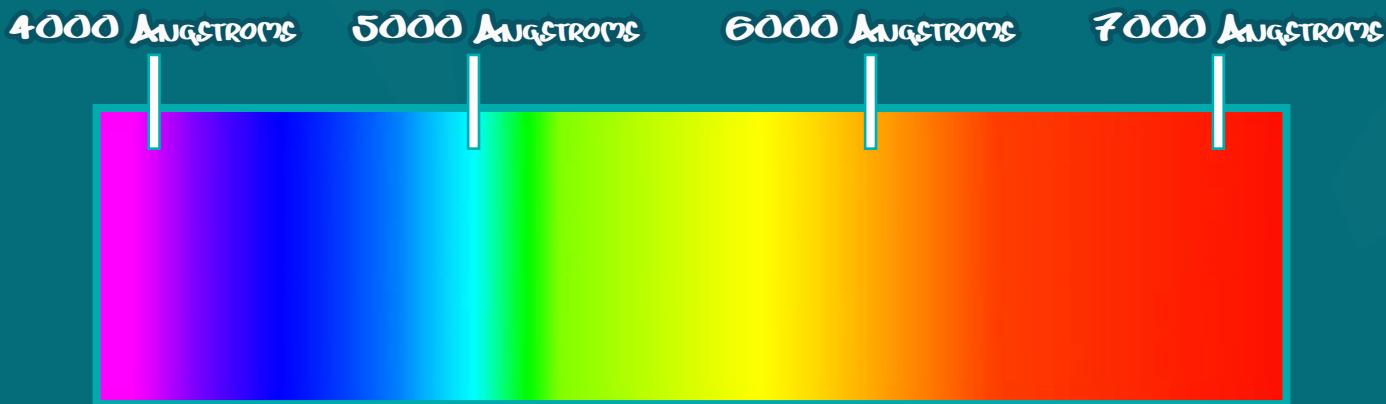
La luz es una onda – un movimiento ondulatorio como las olas en el océano. Pero a diferencia de las olas en el océano, que viajan a través del agua, las ondas de luz viajan a través del espacio vacío. Cuando una estrella emite una onda de luz, ésta viaja por el espacio vacío hasta la Tierra, donde vemos la luz de la estrella.

Las ondas de luz, como las olas en el océano, se pueden medir por la distancia entre las crestas de dos ondas sucesivas – distancia conocida como “longitud de onda”.

Diferentes longitudes de onda aparecen ante nuestros ojos como colores distintos. Las longitudes de onda más cortas se ven azul o violeta, mientras que las longitudes más largas se ven de color rojo. ¡Así es, simplemente, como lo percibimos nosotros!

Nuestros ojos son detectores de longitud de onda, ¡La luz que reflejan los objetos que observamos es captada por nuestros ojos e interpretada como un color!

El orden de los colores de la luz, desde la magnitud más corta hasta la más larga se llama “Espectro visible de luz”. La imagen de abajo muestra el espectro visible de luz, el cual va de violeta a rojo. Podrías reconocer el espectro como el orden de los colores del arco iris. Las longitudes de onda están marcadas en el espectro y medidas en Angstroms; 1 Angstrom =  $10^{-10}$  metros.



**EJERCICIO 5.** Los punteros láser usualmente tienen indicados la longitud de onda a la que emiten la luz: De éste modo, podemos saber de qué color será al usarlo. En cierta tienda nos presentan 3 láser, uno que emite luz con una longitud de onda de 6500 Å, otro con 5320 Å y finalmente uno con 4730 Å.

**¿Podrías identificar cual es el láser azul, el verde y el rojo, respectivamente?**



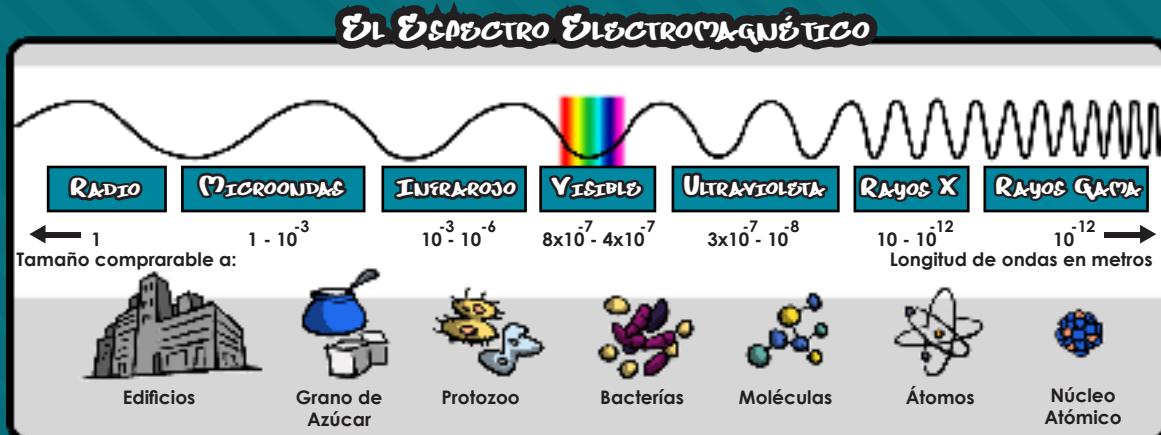
Fuente: Astronomy Picture of the Day (NASA)  
Credit & Copyright: Thomas V. Davis (tvdavisastropix.com)

Con solo observar el color de las estrellas podemos obtener información valiosa sobre sus propiedades físicas. En la imagen, el cúmulo estelar (agrupación gigantesca de estrellas) Omega Centauri.



No obstante, las ondas pueden tener longitudes mayores o menores que aquellas que son visibles en el espectro, y varias otras radiaciones que conoces son simplemente ondas de luz con otras longitudes de onda. El ultravioleta y los rayos X tienen una longitud de onda más corta que la de la luz violeta, y el infrarrojo (calor) y también las ondas de radio tienen longitudes de onda más largas que el rojo.

El rango completo de todas las longitudes de onda para la luz se llama "espectro electromagnético". La imagen y tabla siguientes muestran el rango de longitud en el espectro electromagnético correspondiente a cada tipo de luz.



TIPO DE LUZ	LONGITUD DE ONDA
Ondas de radio	> 30 cm
Microondas	1mm – 3cm
Infrarrojo	700nm – 1mm
Luz visible	350nm – 700nm
Ultravioleta	10nm – 350nm
Rayos X	0,01nm – 10nm
Rayos gamma	< 0,01nm



## • Los Filtros del SDSS

Sabiendo que el color de una estrella se relaciona con la longitud de onda de la luz que obtenemos de ella podemos entender el significado de los filtros del SDSS.

Cada filtro está diseñado para dejar pasar luz sólo alrededor de ciertas longitudes de onda lo que podemos ver en la siguiente tabla:



FILTRO	(Angstrom) LONGITUD DE ONDA
Ultravioleta (u)	3543
Verde (g)	4770
Rojo (r)	6231
Infrarrojo Cercano (i)	7625
Infrarrojo (z)	9134

Los filtros funcionan bloqueando la luz en todas las longitudes de onda, exceptuando aquellas cercanas a la longitud de onda del filtro en uso, ¡Ésto nos clarifica más aún que significa cada magnitud!

Si sabes las longitudes de onda de los filtros del **SDSS** y observas las magnitudes en cada filtro (y, por tanto, la cantidad de luz en esa longitud de onda que se obtiene de la estrella), podrías hacer un gráfico de la cantidad de luz que emite una estrella a diferentes longitudes de onda.

Pero... ¿No sería mejor tener cientos o miles de filtros entre los **3543** y los **9134** Angstroms? De esa manera... **¡Podríamos obtener un gráfico más refinado de la luz que nos llega desde las estrellas!**

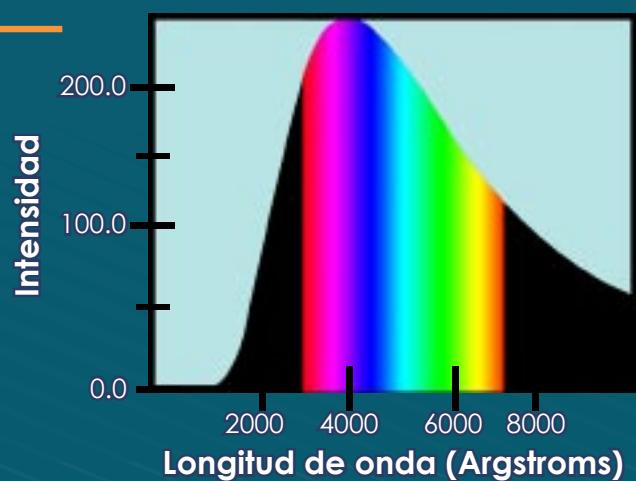
De hecho, esto último es posible: los astrónomos tienen las herramientas para poder observar la cantidad de luz que llega desde las estrellas como función de la longitud de onda.

Este gráfico, una herramienta muy poderosa en Astronomía, es llamado el **espectro**. Aprenderás más sobre el **espectro** en breve, mientras tanto, piensa en como debería verse este gráfico: Si hicieramos un gráfico de la cantidad de luz que nos llega en función de la longitud de onda de alguna estrella rojiza del **Ejercicio 1**, **¿Cómo crees que se vería? ¿Y si fuera una estrella azul?**

## • La Luz de las Estrellas

El gráfico en la figura de la derecha es justamente una idealización de los gráficos que hablábamos en la sección anterior: los espectros. Éstos muestran cómo varía la cantidad de luz emitida (Intensidad) en función de la longitud de onda.

Observa que, en particular, ésta curva muestra un máximo a los 4000 Angstroms, ¿Podrías deducir qué color tendría esta estrella ante tus ojos?



Analizar entonces las longitudes de onda de la luz que observamos de las estrellas nos da una respuesta a nuestra pregunta sobre el porqué las estrellas tienen colores distintos: ésto sucede debido a que ellas emiten distintas cantidades de luz en distintas longitudes de onda.



### EJERCICIO 6

Algunas estrellas tienen máximos de intensidad en la parte infrarroja del espectro, ¿Podremos ver esas estrellas? ¿Por qué? ¿Qué color tendrían? ¿Qué hay de las estrellas que tienen máximos en el ultravioleta?

¡Ahora sabemos que las estrellas tienen distintos colores porque tienen máximos de intensidad de luz en distintas longitudes de onda! Pero... quizás te preguntas porqué las estrellas tienen máximos en distintas longitudes de onda. Además, si la única información que podemos obtener de las estrellas es la luz que nos llega a la Tierra... ¿Servirá de algo importante saber dónde se encuentra este máximo para aprender algo de ellas?

## • COLOR Y TEMPERATURA

Como pudiste apreciar anteriormente, el color de un objeto determina en qué longitud de onda se ubica el máximo de intensidad de su espectro. Esto nos hace pensar sobre como esto puede estar relacionado con la temperatura de los objetos. Si alguna vez has observado los quemadores de la cocina de tu casa, sabrás que es así.

Al principio no se ve ninguna luz que emane desde éstos, pero se siente el calor.

Cuando el quemador se calienta un poco, comienza a verse de un color rojo pálido.

Mientras más se calienta; éste brilla más; y su color comienza a cambiar: primero naranja, luego amarillo y finalmente azul.

Si apagas la fuente de calor, se enfriá y la secuencia de colores va en reversa.

Las ilustraciones a tu derecha muestran la secuencia de colores que verías cuando el quemador se calienta o enfriá.

**CALENTE**



### ¿QUÉ SUCEDIÓ AQUÍ?

Un quemador de cocina o una olla, como todo en el universo, está formado de átomos. Los átomos del quemador, al recibir calor (esto es, al recibir energía) vibran constantemente emitiendo luz.

Mientras éste se calienta, sus átomos vibran más rápidamente y emiten más energía lumínica.



La luz que emiten los cuerpos debido al movimiento de sus átomos se llama “radiación térmica”. El quemador emite radiación térmica en todas las longitudes de onda de luz, pero emite la mayoría de su radiación a una cierta longitud de onda máxima, la cual se acorta a medida que la temperatura del quemador se incrementa.

A temperatura ambiente, la radiación emitida es infrarroja, invisible para tus ojos. A medida que se calienta, su longitud de onda máxima se mueve hacia longitudes más cortas: de rojo a anaranjado, luego amarillo, luego azul. Si continuarás calentando el quemador (más de lo que realmente es posible en una cocina convencional) éste resplandecería de color violeta brillante.

Debido a que todos los objetos del Universo están formados por átomos, todos emiten radiación térmica. Así que las estrellas, por supuesto también emiten radiación térmica – la misma clase de radiación que emiten los quemadores y ollas en la Tierra. Diferentes estrellas tienen diferentes longitudes de onda máxima de radiación térmica, porque tienen diferentes temperaturas.

### EJERCICIO 7

Los espectros de las estrellas en el **SDSS** están ordenados por **Plates** y **Fibers** (“coordenadas” para encontrar un determinado espectro en la base de datos del SDSS). Los espectros de 5 estrellas se encuentran en la tabla de abajo.

Haciendo clic en la columna “**Fiber**”, podrás acceder a la Object Explorer Tool desde donde podrás observar el espectro (parte inferior).

Haz clic en el espectro para verlo más grande, **¿Puedes ordenar las estrellas desde las de mayor temperatura a las de menor temperatura simplemente por sus espectros? ¿Tienen relación los espectros de las estrellas con sus colores?**

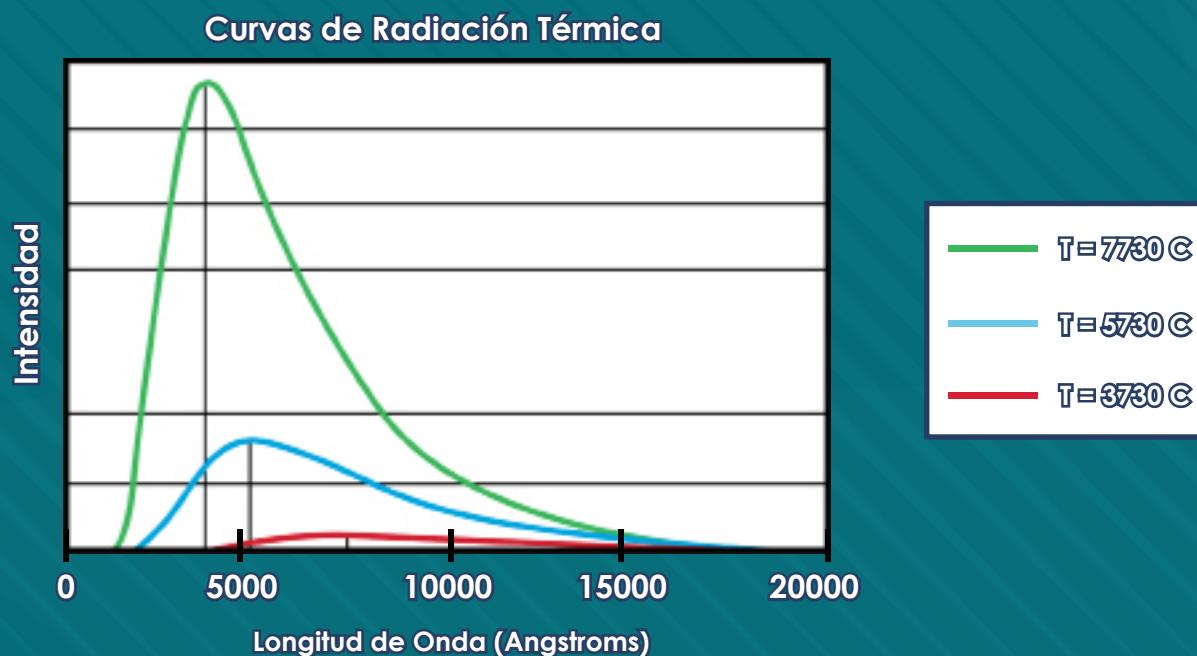
PLATE	FIBER
266/51630	<b>275</b>
266/51630	<b>365</b>
273/51597	<b>589</b>
273/51597	<b>245</b>
281/51614	<b>3</b>



### • CURVA DE RADIACIÓN TÉRMICA

Tal como se estudió anteriormente, el color va directamente relacionado con la energía interna de los átomos del objeto (lo que medimos como temperatura). Si la intensidad está también relacionada directamente con la temperatura, ¿qué color crees que tendrá una mayor intensidad de radiación?

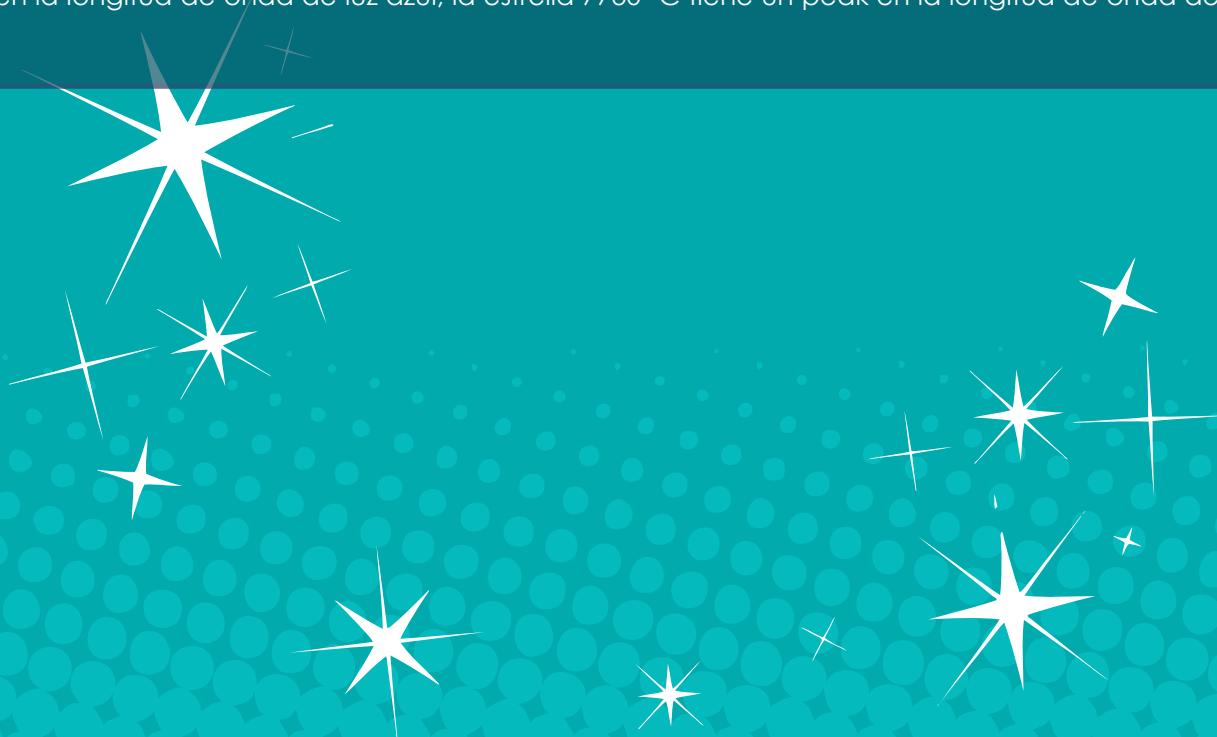
Si graficas la intensidad, es decir, la cantidad de radiación térmica entregada por una estrella en función de la longitud de onda, obtendrías un gráfico como este:



En el gráfico anterior vemos lo que se denominan "Curvas de radiación térmica". La curva roja muestra la radiación térmica en función de la longitud de onda para una estrella de  $3730^\circ C$ . La curva azul muestra esta relación para una estrella de  $5730^\circ C$  (un poco más caliente que el sol), y la curva verde para una estrella a  $7730^\circ C$ .

Las curvas muestran, que para estrellas más calientes hay más radiación térmica, tal como el quemador brilla más a medida que lo calientas. Las curvas también muestran el peak de la longitud de onda de la radiación térmica (la línea negra delgada), la cual se mueve más hacia longitudes de ondas cortas, a medida que la temperatura aumenta.

La estrella a  $3730^\circ C$  tiene un peak cerca del borde entre la luz roja e infrarroja, la estrella  $5730^\circ C$  tiene un peak en la longitud de onda de luz azul, la estrella  $7730^\circ C$  tiene un peak en la longitud de onda de luz violeta.



## • TEMPERATURA Y PEAK DE LONGITUD DE ONDA

Cuantitativamente la relación entre temperatura y peak de longitud de onda de radiación térmica - para un quemador caliente, una estrella, o cualquier cosa en el universo - es:

$$L_{\text{peak}} \times T = 2,897 \times 10^{-3} \text{ m } ^{\circ}\text{K}$$

Donde  $L_{\text{peak}}$  está medido en metros y  $T$  está medido en grados Kelvin.



**EJERCICIO 8** Una habitación está a temperatura 300 K; si en ella hay una cocina:

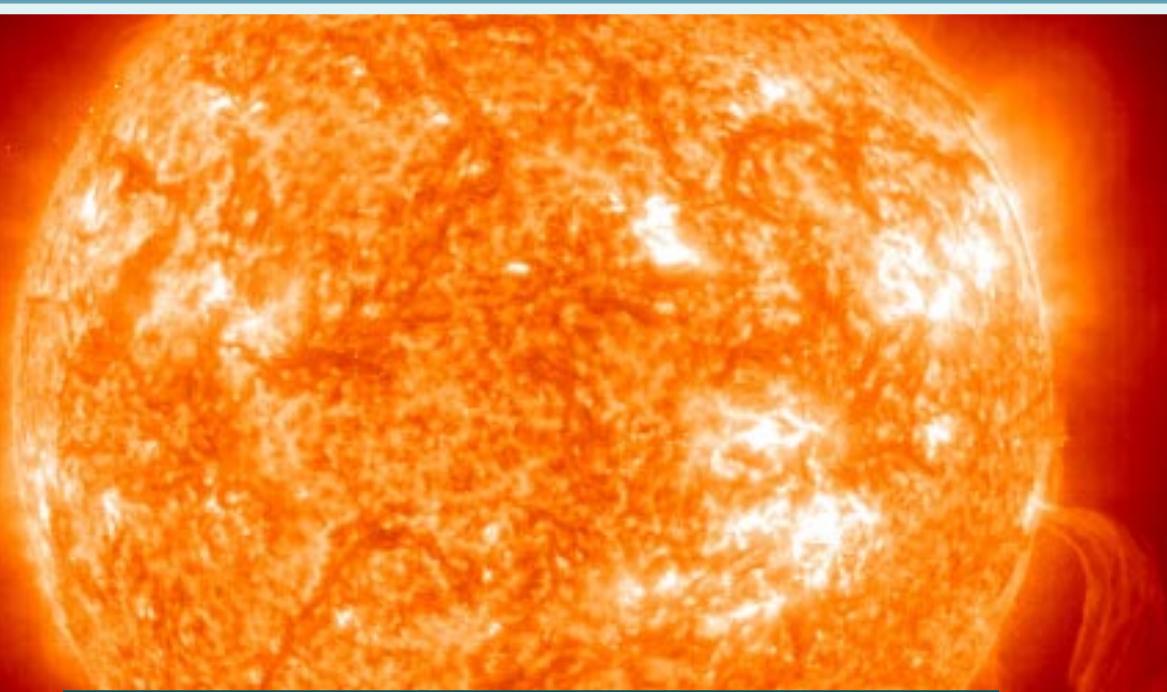
**¿Cuál es el peak de longitud de onda de radiación emitida por el quemador caliente en Angstroms (1 Angstrom =  $10^{-10}$  metros)?**

Si el quemador brilla en rojo intenso ( $L_{\text{peak}} = 6500$  Angstroms)

**¿Cuál es la temperatura del quemador?**

**EJERCICIO 9** El sol tiene un peak de longitud de onda de radiación térmica de 5300 Angstroms.

**¿Cuál es la temperatura del sol?**

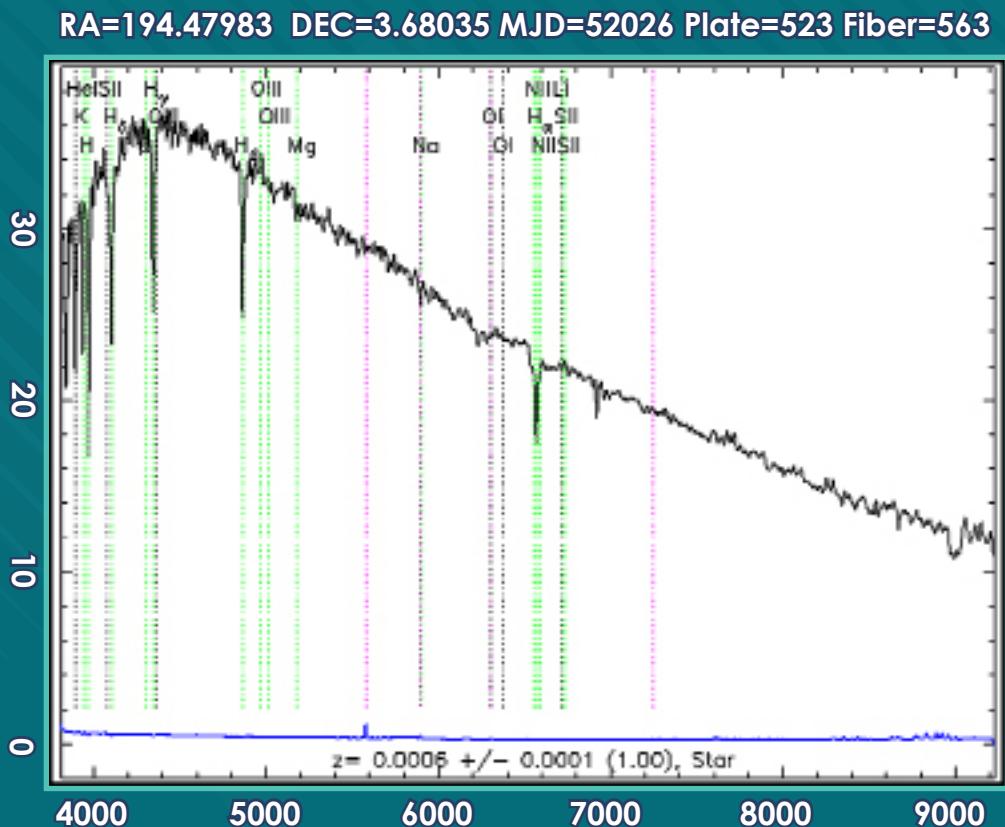


Fuente: Astronomy Picture of the Day (NASA)  
Credit: SOHO - EIT Consortium, ESA, NASA

## • **ESPECTRO**

Ya has visto gráficos de intensidad de luz emitida por estrellas como función de la longitud de onda de la luz. Los astrónomos tienen un nombre para tales gráficos: Espectro.

Estos son muy útiles para estudiar las estrellas. En este momento, el SDSS ha observado el espectro para 1.163.520 objetos en el cielo. Más abajo te mostramos un espectro para una típica estrella vista por SDSS:



**EJERCICIO 10** Encuentra el peak de la longitud de onda del espectro que está encima (la longitud de onda donde la tendencia general del espectro parece ser un máximo).

¿Cuál es el valor de la temperatura de la estrella?



**EJERCICIO 11** Busca el espectro de 10 a 20 estrellas, usando la **Plate Browser Tool** ([clic aquí para abrir la herramienta](#)). Escoge un código, y luego haz clic sobre los links de algunas estrellas, para que puedas observar su espectro (en la página web, si seleccionas distintos rangos de "Plate", puedes observar más objetos). Observando el peak térmico de éste, calcula la temperatura de las estrellas.

¿Cómo son con respecto al sol, más frías o calientes?

Guarda la información de la estrella en el siguiente libro de trabajo ([has clic aquí para descargarlo](#)).

## • UNA PALABRA DE ADVERTENCIA

¿Cómo se observa el espectro de la página anterior comparado con las curvas de radiación que viste en la sección anterior? ¿Qué similitudes y diferencias tienen?

La forma ancha del espectro de una estrella es causada por la radiación, pero **¿Cómo emiten luz las estrellas? ¡Fácil!** Cuando los electrones en los átomos de las estrellas pierden energía, con ésta emiten un **fotón** de luz. Todos esos fotones emitidos desde los electrones tiene la misma longitud de onda, así las estrellas pueden producir mucha luz con tan sólo pocas longitudes de onda.

Esa emisión de ondas de luz es la fuente de los peaks en el espectro. Similarmente, cuando los electrones en un átomo de estrella aumentan su energía, absorben fotones, dejando un valle en el espectro.

Cuando ves el espectro de una estrella, fácilmente puedes clasificar las contribuciones de la radiación térmica y la radiación no-térmica.

Sin embargo, el color de una estrella está determinado por las longitudes de onda de toda la luz que la estrella emite, desde ambas radiaciones. Por lo tanto, si quieras estimar el color de una estrella desde su curva de radiación térmica, probablemente no tengas una respuesta correcta.

Si la curva de radiación térmica para una estrella, se aproxima al espectro observado, es decir, si los peaks y valles no son tan altos, la estrella se denomina fuente térmica. Si la curva de radiación térmica no se approxima al espectro (si los peaks y valles son altos) la estrella se llama fuente no-térmica.

**"LA LUZ ESTÁ COMPUESTA POR PARTÍCULAS LLAMADAS FOTONES. CADA FOTÓN TIENE ASOCIADA UNA LONGITUD DE ONDA: ASÍ, UNA LUZ ROJA EN REALIDAD TIENE MUCHOS FOTONES CON LONGITUDES DE ONDA MUY GRANDES COLISIONANDO CON NUESTROS OJOS."**

### EJERCICIO 12

La estrella del espectro anterior...

¿Es fuente térmica o no térmica?

¿Por qué?



## • LAS OTRAS 59,058,000 ESTRELLAS

Entonces, estamos de acuerdo en que si tienes el espectro de una estrella, puedes encontrar su temperatura desde el peak de su longitud de onda. Pero **SDSS** tiene el espectro de sólo 42.000 estrellas, mientras que tiene imágenes digitales de más de 60 millones.

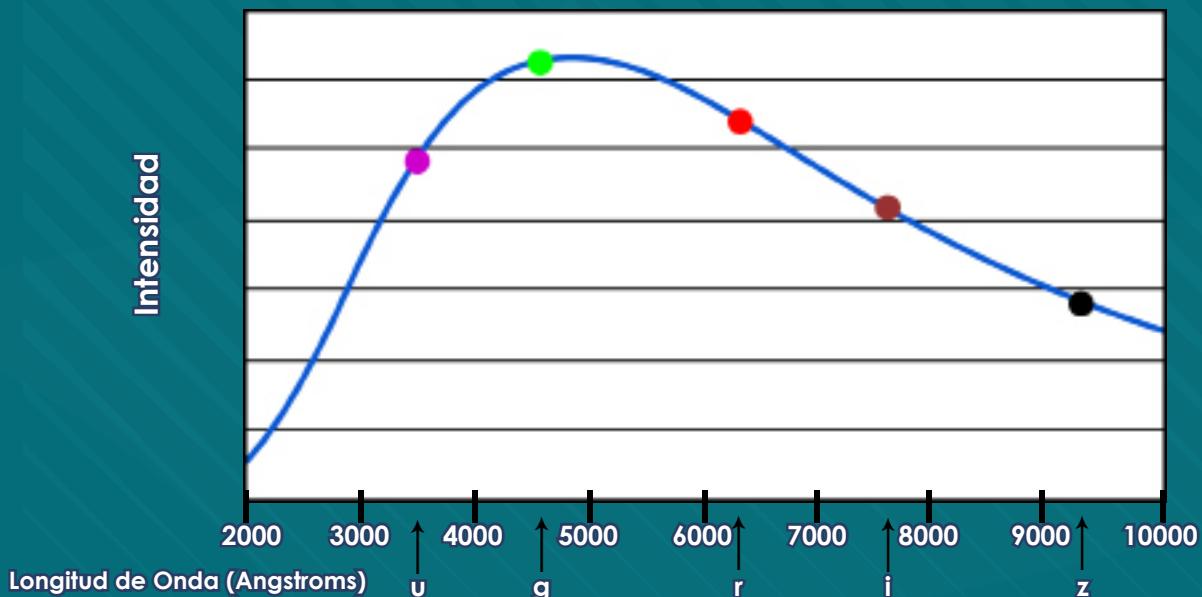
**¿Cómo los astrónomos encuentran las temperaturas de las demás 59.058.000 estrellas?**

Incluso sin conocimiento de detalles del espectro de una estrella, los astrónomos pueden sacar conclusiones sobre la temperatura de las estrellas. En la próxima sección aprenderás como los 5 filtros de SDSS permiten a los astrónomos aprender sobre cuál estrella es la más caliente.

## • DIAGRAMA COLOR-COLOR

Si es que los astrónomos carecieran del espectro de una estrella, entonces recurrirían a otra herramienta para encontrar su temperatura: el diagrama color-color. Si graficas las longitudes de onda de los cinco filtros del **SDSS** en una curva de radiación térmica, obtienes un gráfico como el siguiente:

**Curva de Radiación Térmica para T=5739 K**

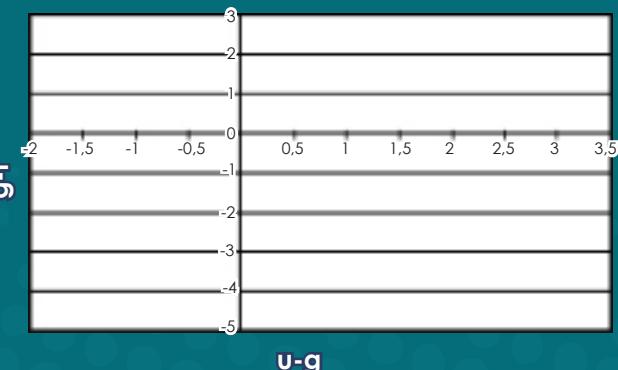


Para encontrar uno de los colores desde este diagrama, sustraе la magnitud de la estrella vista a través de un filtro, con la vista con otro filtro. La fuente térmica graficada encima tiene una curva cuyo peak está en el verde. Así, de acuerdo al gráfico, su color g-r será negativo (recuerda, objetos brillantes tienen bajas magnitudes). Su u-g será positiva. ¿Cómo serán los colores r-i y i-z?

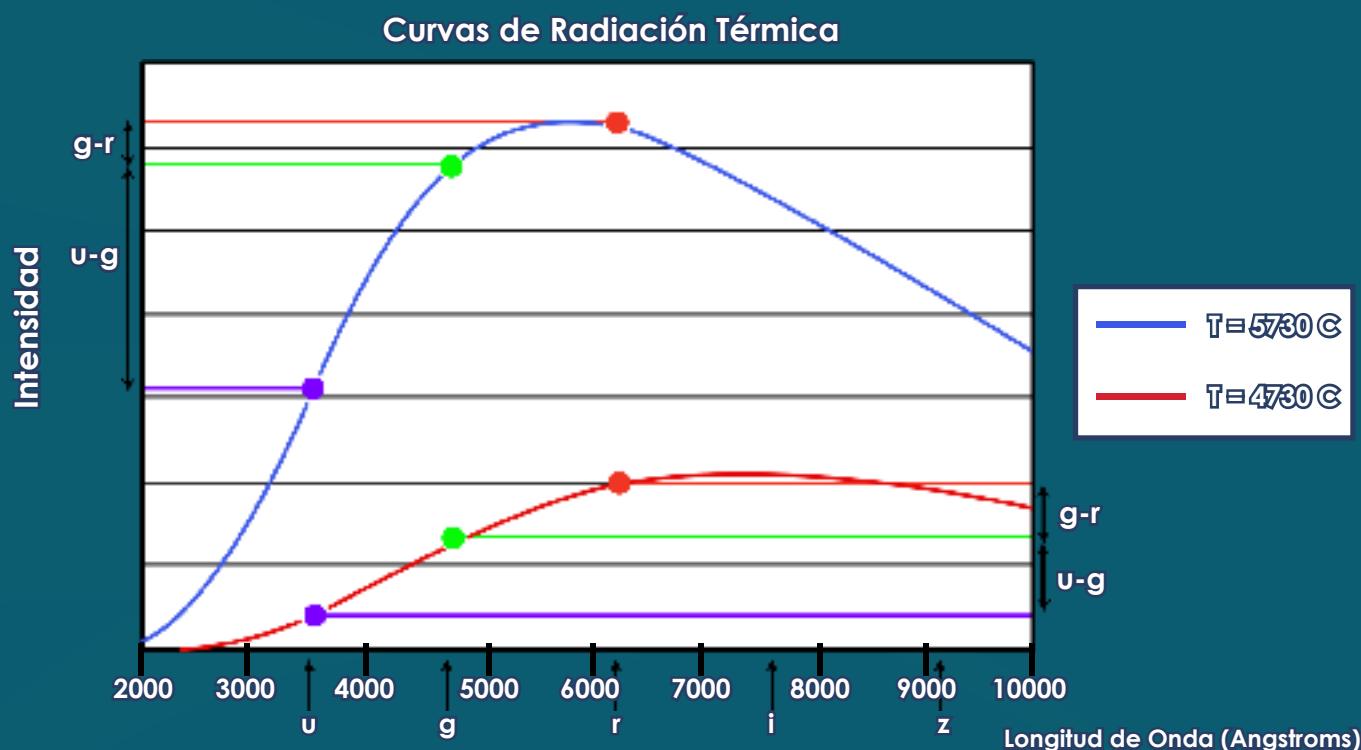
## • HACIENDO UN DIAGRAMA COLOR-COLOR

Para hacer un diagrama color-color, encuentra dos colores de una estrella sola, por ejemplo, g-r y u-g.

Luego, haz un gráfico con u-g en el eje x, y g-r en el eje y, tal como se observa en el gráfico de la derecha. Busca colores de otras estrellas, y graficalas en el mismo gráfico.



Para entender cómo la fuente térmica debería verse en un diagrama color-color, mira la curva de radiación térmica que está más abajo. La curva azul es para una estrella a temperatura  $5730^{\circ}\text{C}$ . La curva roja es para una estrella más fría, a  $4730^{\circ}\text{C}$ . El gráfico muestra una toma de los filtros ultravioleta, verde y rojo del SDSS.



En ambas curvas, la intensidad de la longitud de onda verde es mayor que la intensidad de la longitud de onda ultravioleta, o más bien, la magnitud verde es menor que la magnitud ultravioleta.

Descubrimos entonces, que mientras la magnitud decrece, la intensidad de luz emitida por una estrella aumenta, moviéndose la curva hacia el eje y en el gráfico. De esta manera, al observar u-g en ambas curvas, notamos que es positiva en ambos casos, pero más grande en la curva azul (que está a más temperatura que la roja)

Ahora bien, si hicieras un diagrama color-color de estas dos estrellas, con u-g en el eje x, y g-r en el eje y, ¿qué verías? Es más, ¿qué pasa si haces un diagrama color-color de muchas fuentes térmicas? Si cambias la temperatura, cambias la curva de radiación térmica. Como la curva cambia, el color cambia.

Ésto ocurre porque el filtro tiene longitud de ondas fijas, si un color (como u-g) disminuye, el próximo color (g-r) crecerá. Cuando haces un diagrama color-color para una fuente térmica de temperaturas diferentes, tendrás una línea recta, cuya pendiente estará determinada por los filtros que usas y las fuentes que examines.



### EJERCICIO 13

¿Qué tendrías si haces un diagrama color-color con g-r en el eje x, y r-i en el eje y?

¿Con r-i en el eje x, y i-z en el eje y?

Pista: Piensa cómo la curva de radiación térmica cambia a grandes longitudes de onda.

De este modo, el diagrama color-color es una manera simple para determinar si la estrella es una fuente térmica. Si la estrella baja a lo largo de la línea recta de tendencia, entonces es una fuente térmica. Al contrario, si la estrella no baja a través de la línea de tendencia, no es una fuente térmica.

## • **DIAGRAMA COLOR-COLOR PARA ESTRELLAS DEL SDSS**

Las fuentes térmicas grafican en una línea recta en el diagrama color-color. ¿Qué tendrás cuando grafiques los colores observados de las estrellas? Esta pregunta es otra manera de decir la que hicimos en la sección "Una palabra de advertencia": ¿cuán cerca están las estrellas de ser una perfecta fuente térmica?

**EJERCICIO 14** Usa el Explorador de objetos (\*Object Explorer\*) del SkyServer para encontrar las siguientes estrellas usando el ID de ellas.

OBJECT ID	RA	DEC
<b>587722982813794398</b>	179.88431	-0.28125
<b>587722982813794431</b>	179.94806	-0.2724
<b>587722982276923495</b>	179.97106	-0.82002
<b>588848899375759367</b>	179.8339	-0.55558
<b>588848899375759608</b>	179.89941	-0.61227
<b>588848899375759681</b>	179.97446	-0.55081
<b>588848899375759564</b>	179.85499	-0.4708
<b>588848899375759628</b>	179.91213	-0.50101
<b>588848899375759682</b>	179.97887	-0.57861
<b>587722982813728846</b>	179.789	-0.29908
<b>588848899375890575</b>	180.20067	-0.57081
<b>587722982813859948</b>	180.10892	-0.34719
<b>587722982276989066</b>	180.11286	-0.77366
<b>588848899375890572</b>	180.19612	-0.47336
<b>587722982276989042</b>	180.16034	-0.72755

Busca las magnitudes de los 5 filtros (u, g, r, z, i). Luego guárdalos en este libro de trabajo ([clic aquí para descargarlo](#)), para pasarlo a un archivo Excel. En éste, genera columnas con g-r, r-i, u-g y i-z para todos los datos obtenidos.



¡Procedemos entonces a realizar el gráfico color-color! Para aprender a graficar en una planilla de cálculo, observa el siguiente tutorial ([has clic aquí para ver el tutorial](#)).

Vamos al asistente de gráfico, y selecciona "XY (dispersión)", luego aprieta siguiente dos veces seguidas. Ahora, le darás título al eje x e y, con nombre "g-r" y "r-i" respectivamente. Aprieta siguiente y después, Finalizar.



## ¡APARECIÓ EL GRÁFICO!

¿Qué líneas en tu gráfico corresponden a estrellas calientes?

¿Cuáles a frías? ¿Cómo lo sabes?

Tu gráfico muestra que la estrella más caliente tiende a seguir la línea recta, pero la estrella fría diverge de esta línea. Esto significa que las estrellas calientes pueden ser pensadas como fuentes térmicas, mientras que las estrellas frías no.

### EJERCICIO 15

Haz otro diagrama color-color de las 15 estrellas usadas, con u-g en el eje x, y g-r en el eje y.

De nuevo, la estrella más caliente sigue la línea de tendencia, queriendo decir que ellas son fuentes térmicas. Pero en el diagrama u-g/g-r:

¿Dónde esta tendencia comienza a decaer?

¿Cuál es el significado de esta observación y cómo influye en si las estrellas son fuentes térmicas?

Ahora, si sabes algo de evolución estelar (cómo las estrellas cambian a través del tiempo) puedes responder esta pregunta.

¿Qué significado tiene la línea plana hasta el final en el diagrama u-g/g-r?

¿Qué tipo de estrellas son éstas?

Pista: ¿Qué significa que g-r sea constante para los cambios u-g?