

El Universo en mi bolsillo

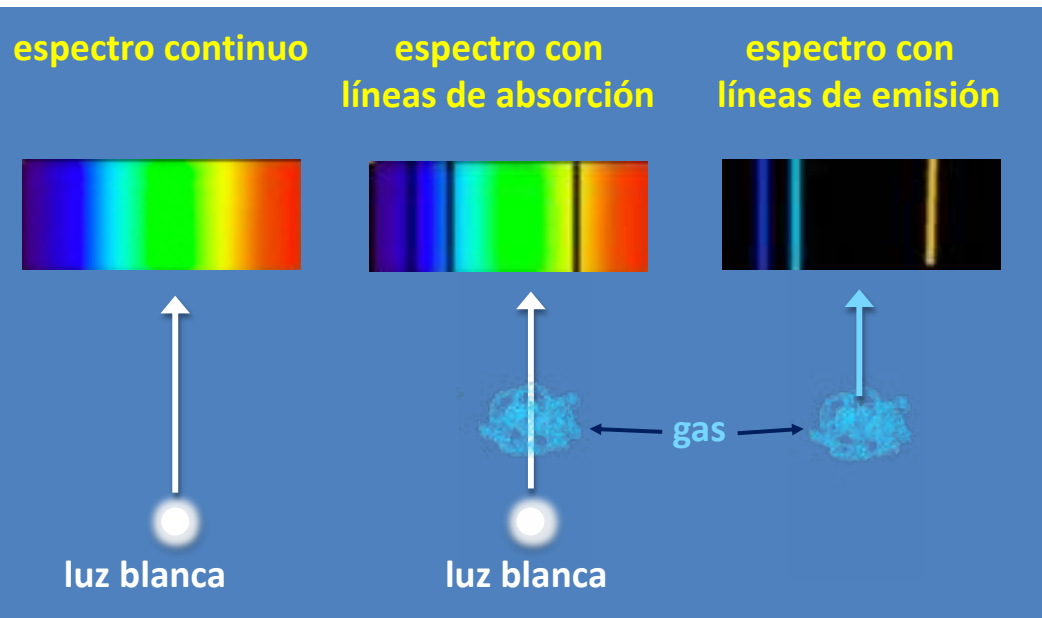
A vertical rainbow spectrum background, transitioning from red at the top to blue at the bottom, with a dark blue/black base. The text is centered over this background.

Descifrando la luz
de las estrellas



Grażyna Stasińska
Observatorio de París

Tipos de espectros



Un fotón (un "grano de luz") puede excitar un átomo desplazando un electrón a un nivel de energía superior. Si el fotón tiene suficiente energía, puede **ionizar** el átomo, es decir, sacar al electrón del átomo. En ambos casos, el fotón es **absorbido**.

En el proceso inverso, la desexcitación o **recombinación**, se **emite** un fotón.



En 1835, el filósofo francés Auguste Comte afirmó que nunca sabríamos de qué están hechas las estrellas.

Sin embargo, Isaac Newton ya había demostrado que si se descompone un haz de luz del Sol mediante un prisma, se obtiene una mancha con los colores del arco iris: un "**espectro**" (véase TUIMP 2).

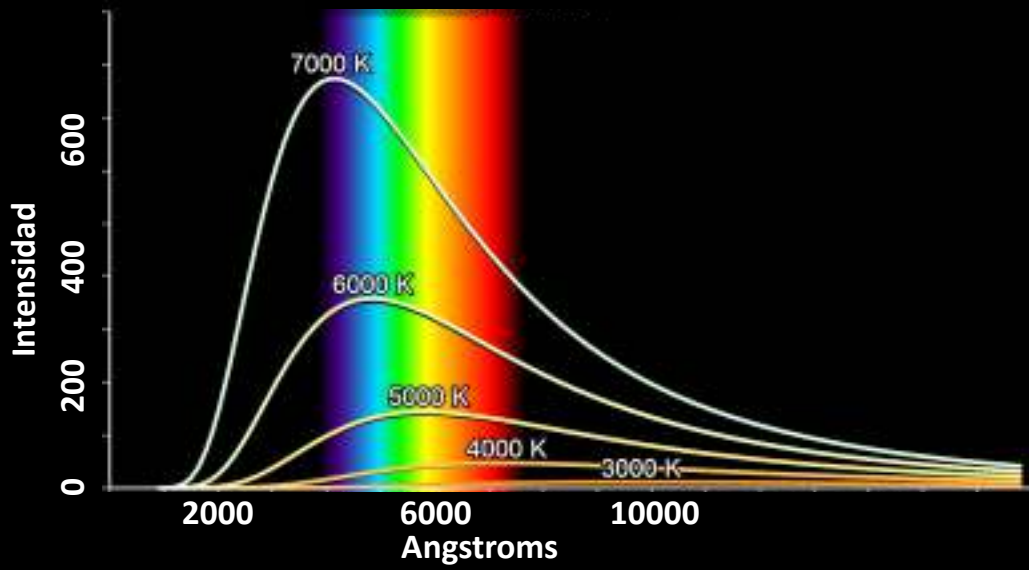
En 1814, Joseph von Fraunhofer construyó un espectrógrafo que descubrió más de 500 **líneas** oscuras en el espectro del Sol. Pero no fue hasta 1860 cuando Gustav Kirchhoff demostró que estas líneas se originaban en elementos químicos de las capas superiores del Sol. La identificación de estas líneas comenzó poco después, contradiciendo la pesimista predicción de Comte.

Este fue el comienzo de la astrofísica, la rama de la astronomía que estudia la naturaleza de las estrellas analizando la radiación que emiten.

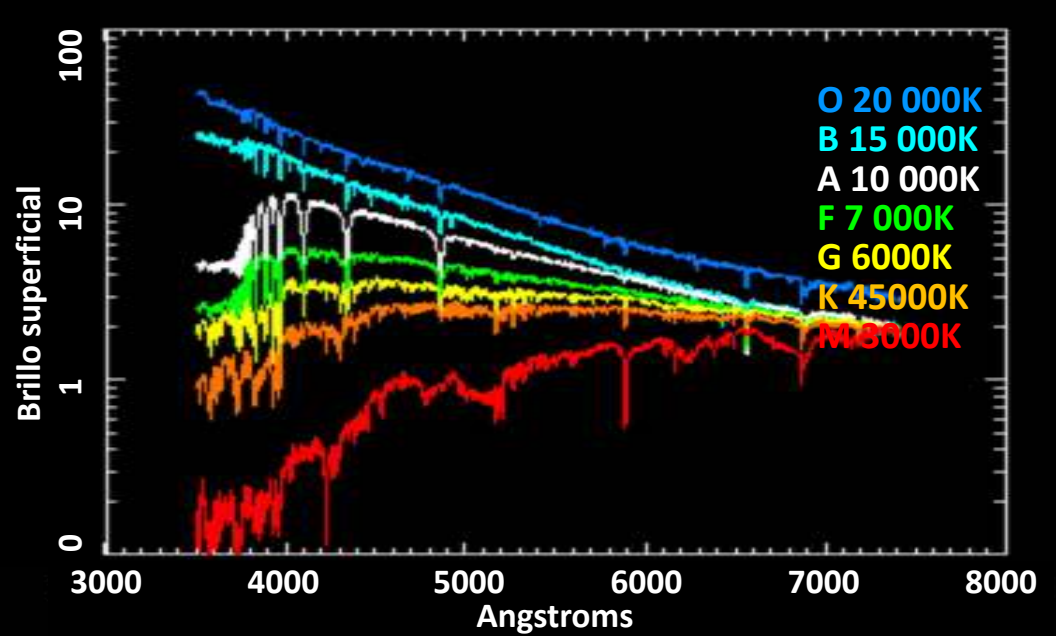
Las temperaturas de las estrellas

No todas las estrellas tienen el mismo color. Las más frías son rojas. Las más calientes son azules. El Sol, con una temperatura superficial de 5500°C (5800 K), es amarillo. Estas diferencias de color se deben al modo en que la forma del espectro de radiación de una estrella varía con la temperatura, como se muestra en la figura de la página opuesta.

A continuación se muestran los espectros visibles de estrellas reales de diferentes tipos (O, B, A, F, G, K, M). Cada tipo tiene su propia temperatura. Además de la distribución global de la intensidad de la radiación, también hay líneas de **absorción** de distinta profundidad debidas a los elementos presentes en la atmósfera de las estrellas en forma de átomos o iones.



Intensidad de radiación de un cuerpo caliente en función de la longitud de onda para distintos valores de la temperatura.



Espectros de estrellas de diferentes tipos en el rango de luz visible del espectro electromagnético.

La composición de las estrellas

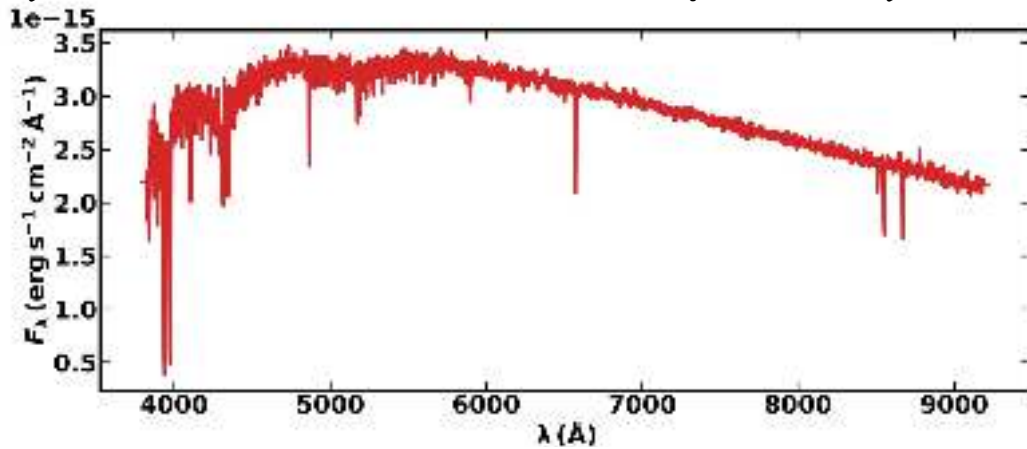
Hoy en día, gracias a las líneas de **absorción** observadas en los espectros de las estrellas, los astrónomos saben qué elementos están presentes en sus atmósferas y pueden medir su abundancia.

La composición química de una atmósfera estelar es, en general, idéntica a la de la nube molecular en la que se formó. El interior de la estrella tiene una composición química diferente a la de la atmósfera debido a las reacciones de nucleosíntesis que allí se producen (véase TUIMP 14), pero esto no se mide directamente.

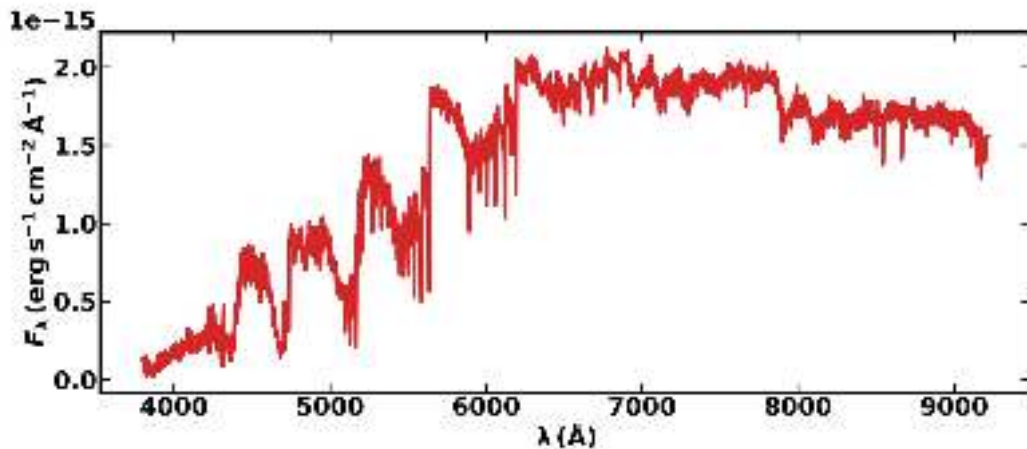
A grandes rasgos, las estrellas tienen una composición química similar a la del Sol. Aunque, las estrellas de las zonas más externas de la galaxia suelen ser menos ricas en elementos más pesados que el helio, porque están menos enriquecidas por productos de nucleosíntesis.

7

Aquí están los espectros de dos estrellas que sólo se diferencian en su composición química.



Arriba: una estrella de tipo G de composición normal (similar al Sol).



Arriba: una estrella de tipo G con una superficie muy rica en carbono (producido en el interior de la estrella y llevado a la superficie por convección). Las líneas profundas y anchas y la depresión en longitudes de onda más cortas se deben a las moléculas de carbono.

6

Espectros de nebulosas ionizadas

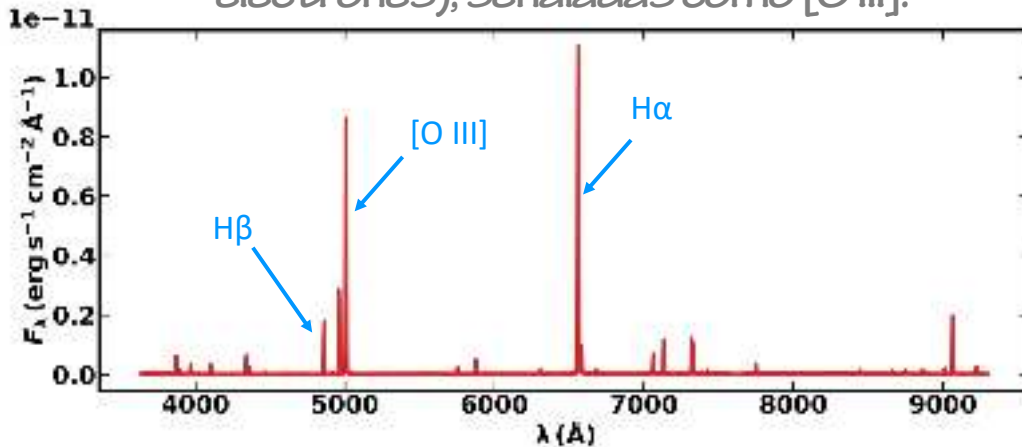
Las nebulosas son nubes de gas difuso. Pueden estar **ionizadas** por estrellas jóvenes y masivas con temperaturas de unos 40 000 K (las "regiones H II") o por estrellas evolucionadas menos masivas que pueden superar los 100 000 K (las "nebulosas planetarias").

Los espectros de las nebulosas **ionizadas** son muy diferentes de los espectros estelares. Mientras que estos últimos muestran sobre todo líneas de **absorción**, la mayor parte de la luz de las nebulosas se **emite** sólo en unas pocas líneas, que se originan por **recombinaciones** de hidrógeno y helio o por **colisiones** con electrones libres en el gas.

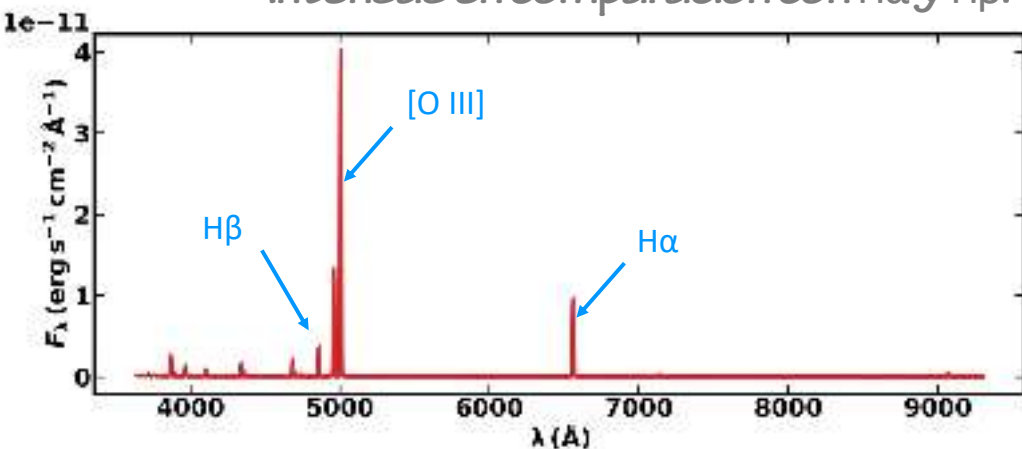
Estas líneas **colisionales** no se observan en las estrellas y primero se atribuyeron a un elemento desconocido, llamado "nebulium". No fue hasta 1928 cuando Ira Bowen demostró que estas líneas se originan en elementos conocidos, pero que sólo se producen a densidades muy bajas. Se denominan "**líneas prohibidas**".



La nebulosa planetaria Hb 12, ionizada por una estrella de 48 000 K. Las líneas más intensas de su espectro son las líneas de **recombinación** del hidrógeno H α y H β y las líneas **prohibidas** del ion O $^{++}$ (átomo de oxígeno que ha perdido dos electrones), señaladas como [O III].



La nebulosa planetaria NGC 7662 ionizada por una estrella de 130 000 K. Como esta estrella es más caliente, produce una mayor proporción de iones O $^{++}$, y las líneas [O III] son más intensas en comparación con H α y H β .



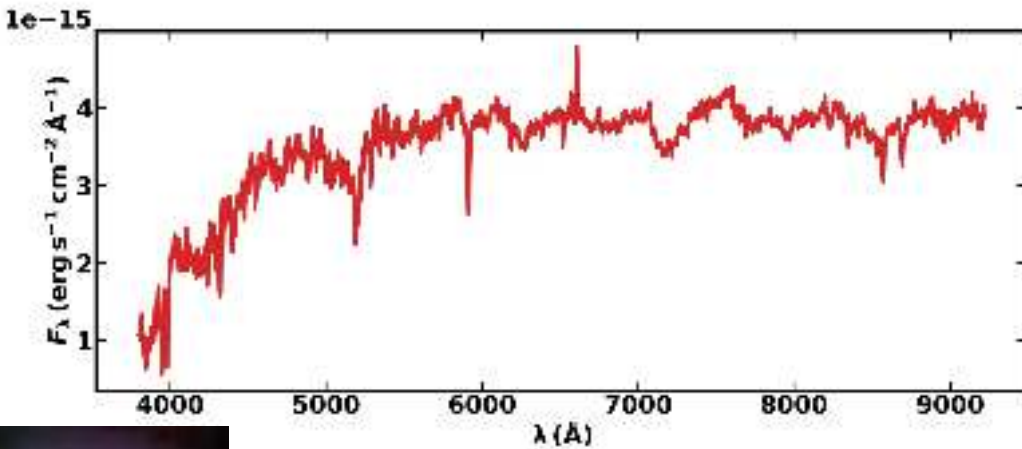
Los espectros de las galaxias

Una galaxia contiene millones o incluso miles de millones de estrellas y a veces gas. Por lo tanto, se espera que el espectro de una galaxia se parezca a una combinación de espectros estelares y posiblemente de espectros nebulares.

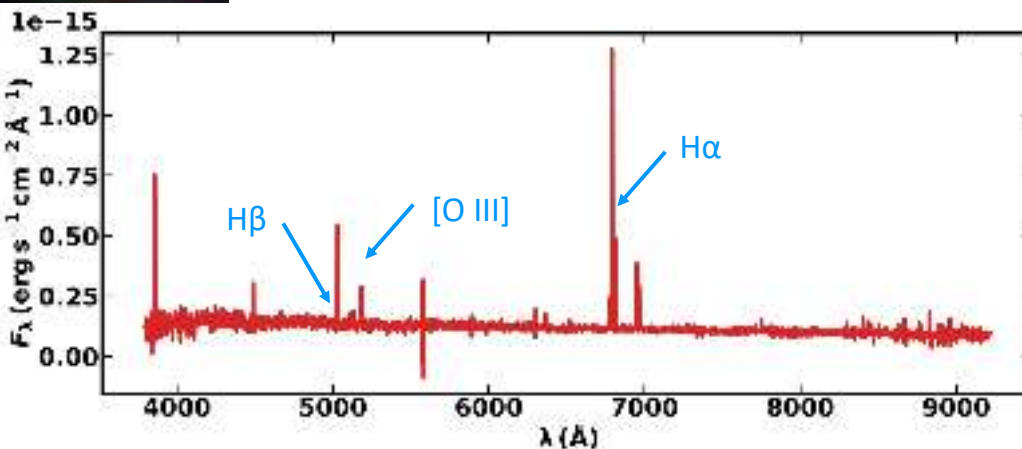
Las galaxias elípticas (ver TUIMP 3 y 23) no contienen gas y no se han formado nuevas estrellas en ellas durante mucho tiempo. Sólo están pobladas por estrellas viejas y rojas. Todas las estrellas masivas que contenían han explotado como supernovas. Sus espectros sólo muestran líneas de **absorción**.

Las galaxias espirales contienen gas y estrellas masivas (de tipo **O** y **B**) capaces de **ionizar** el gas. Por ello, sus espectros muestran líneas de **emisión** intensas, superpuestas a un espectro dominado por estrellas calientes.

Una galaxia elíptica. Su espectro, obtenido como parte del Sloan Digital Survey (SDSS), muestra una intensidad decreciente hacia longitudes de onda más cortas porque la mayor parte de las estrellas de la galaxia son de color rojo. Se pueden ver las líneas de **absorción** características de estas estrellas.

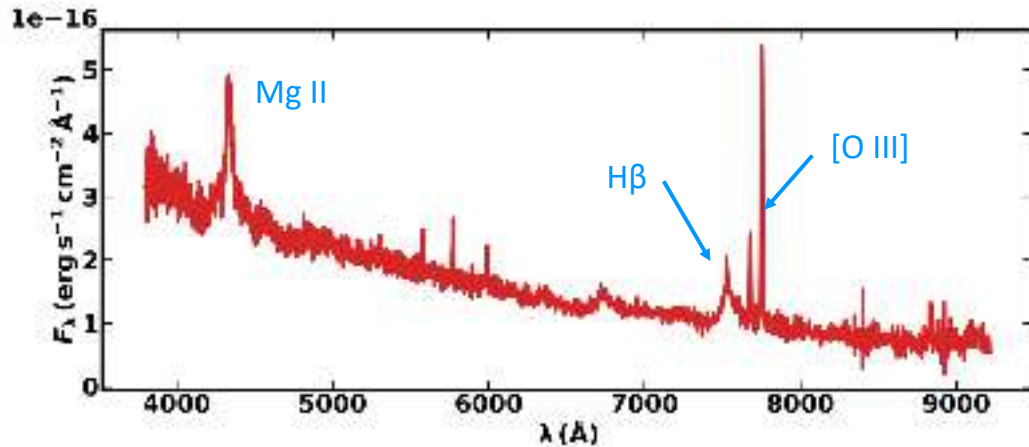


Una galaxia espiral. Su espectro, que muestra líneas de **emisión**, es similar al de una región H II.





Un cuásar situado a un desplazamiento al rojo, z , de 0,548, que corresponde a una distancia de unos 10.000 millones de años luz.



A este desplazamiento al rojo, las líneas se desplazan en longitud de onda más de un 50%. Por ejemplo, la línea $H\beta$ del hidrógeno se observa en 7524 \AA mientras que su longitud de onda en reposo es 4861 \AA . Incluso Podemos ver una línea de magnesio ionizado ($Mg \text{ II}$) que nunca aparece en los espectros ópticos de las galaxias cercanas.

Algunas líneas ($H\beta$, $Mg \text{ II}$) son muy anchas, porque se forman cerca del agujero negro en una zona donde la velocidad de rotación alcanza los $20\,000 \text{ km/s}$.

El espectro crece hacia el azul debido a la emisión del disco de acreción, que es muy caliente.

Espectros de cuásar

Los cuásares son objetos situados a distancias muy grandes y contienen un agujero negro supermasivo en su centro, que atrae la materia circundante (véase TUIMP 6). Antes de caer en el agujero negro, la materia se enrolla en un "disco de acreción" y se calienta a cientos de miles de grados. El resultado es un espectro muy azul.

Las líneas de **emisión** se ensanchan y se desplazan al rojo (este desplazamiento se denomina "corrimiento al rojo").

El ensanchamiento y el corrimiento al rojo se deben al efecto Doppler (véase TUIMP 15), que cambia la frecuencia de la onda de luz en función de la velocidad de la fuente respecto al observador. Las líneas se desplazan al rojo debido a la recesión de los cuásares por la expansión del Universo y se ensanchan por la rotación de la materia alrededor del agujero negro.



Test

¿Cuál de estos objetos tiene líneas de emisión en su espectro?



Sólo la nebulosa planetaria tiene **líneas de emisión** en su espectro.



Respuesta en el reverso



Todos los demás objetos tienen espectros **similares a los de las estrellas.**

Una imagen del Sol.
(Crédito NASA).

El cúmulo globular M80
(crédito AURA/STScI/NASA).

La nebulosa planetaria Abell 39
(Crédito NOAO).

La estrella Betelgeuse, una supergigante roja vista por el telescopio espacial Hubble
(Crédito NASA/AURA)

Europa, un satélite de Júpiter. Foto tomada por la sonda espacial Voyager.
(Crédito NASA).

El Universo en mi bolsillo nro. 30

Este librito fue escrito en 2021 por Grażyna Stasińska, del Observatorio de París, con la ayuda de Natalia Vale Asari (UFSC, Brasil).

Imagen de portada: El espectro del Sol cortado en bandas y apilado. Muestra todas las líneas de absorción que se forman en la atmósfera del Sol en el rango visible. Este es el "código de barras" del Sol. Este espectro se obtuvo con el telescopio solar del Observatorio Solar Nacional de Kitt Peak, Arizona (EEUU).



Para obtener más información sobre esta colección y los temas presentados en este folleto, puede visitar

<http://www.tuimp.org>

Traducción: Gloria Delgado Inglada
TUIMP Creative Commons

