

Astrofísica (Semestre 2 2025)

La escalera de distancias cósmicas (VI)

Nina Hernitschek

Centro de Astronomía CITEVA
Universidad de Antofagasta

Octubre 3, 2025

Revisión

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

Las estrellas variables pulsantes nos permitieron resolver un misterio: ¿Qué es la Vía Láctea? ¿Qué tamaño tiene?
Encontramos **distancias galácticas**.

Tambien, nos permitieron hacernos una idea de las **distancias extragalácticas**.

Revisión

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

Las estrellas variables pulsantes nos permitieron resolver un misterio: ¿Qué es la Vía Láctea? ¿Qué tamaño tiene?
Encontramos **distancias galácticas**.

Tambien, nos permitieron hacernos una idea de las **distancias extragalácticas**.

Pero para observar más profundamente el universo, necesitamos fuentes mucho más brillantes: **las supernovas**.

Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

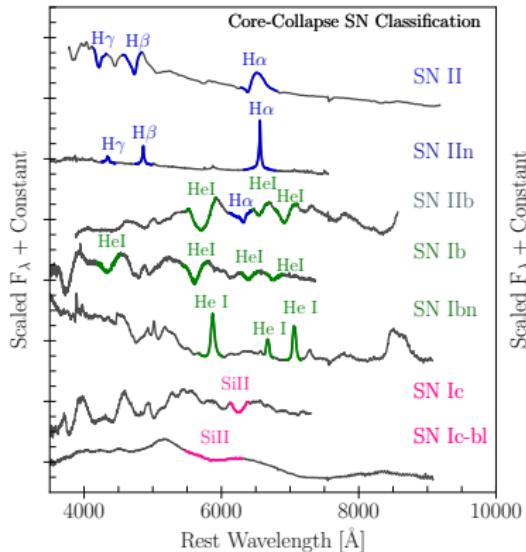
La escalera de
distancia

Las supernovas son explosiones estelares violentas causadas por diferentes mecanismos físicos.

Supernovas de tipo I y tipo II

La escalera de distancias cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo
La escalera de distancia



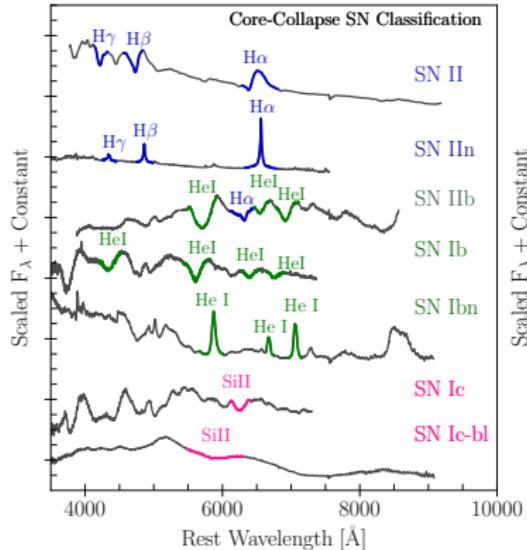
Las supernovas se clasifican como **Tipo I** si no tienen líneas H en sus espectros. Suelen producirse en galaxias elípticas, probablemente a partir de estrellas de Población II.

La subclase **Tipo Ia** se refiere a aquellas que tienen una línea fuerte de Si (615 nm). Son de **Tipo Ib** si tienen líneas fuertes de He, y de **Tipo Ic** si no las tienen.

Supernovas de tipo I y tipo II

La escalera de distancias cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo
La escalera de distancia



Las supernovas de **Tipo II** muestran líneas H intensas. Sus curvas de luz tienen picos menos intensos, se atenúan más rápidamente que las de tipo I y muestran una meseta.

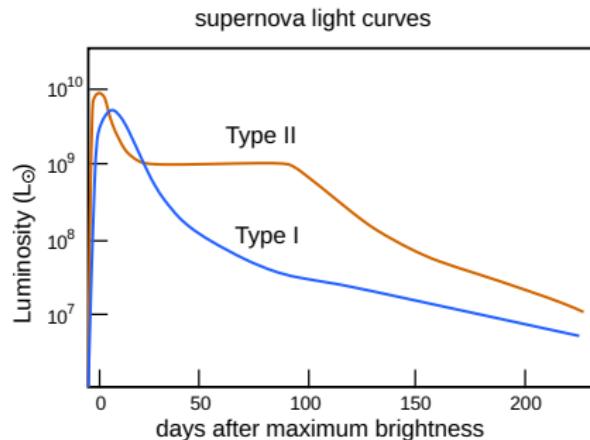
Dado que no se producen en galaxias elípticas, se cree que son eventos de implosión-explosión de una estrella masiva de tipo Población I en el brazo espiral de las galaxias.

Supernovas de tipo I y tipo II

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo
La escalera de
distancia

Los diferentes tipos de supernovas tambien tienen curvas de luz distintos:



Supernovas termonucleares - Tipo Ia

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

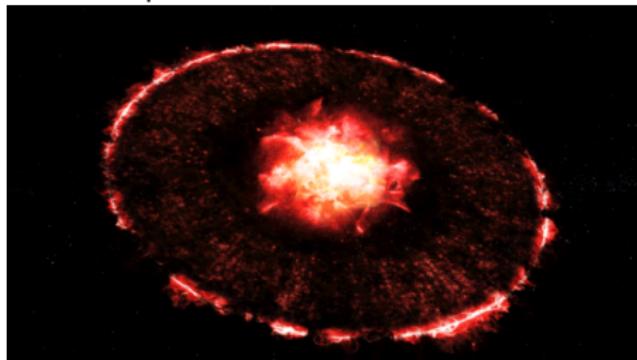
Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

Una **supernova de tipo Ia** (léase: *tipo uno-A*) es una supernova que se produce en sistemas binarios en los que una de las estrellas es una **enana blanca**. La otra estrella puede ser cualquier cosa, desde una estrella gigante hasta una enana blanca aún más pequeña.

Físicamente, las enanas blancas de carbono-oxígeno con una baja velocidad de rotación están limitadas a menos de $1,44 M_{\odot}$, la masa de Chandrasekhar.

Si una enana blanca acumula suficiente materia como para superar el límite de Chandrasekhar, colapsará al no poder resistir más la gravedad, lo que provocará una explosión.



Supernovas termonucleares - Tipo Ia

La escalera de distancias cósmicas (VI)

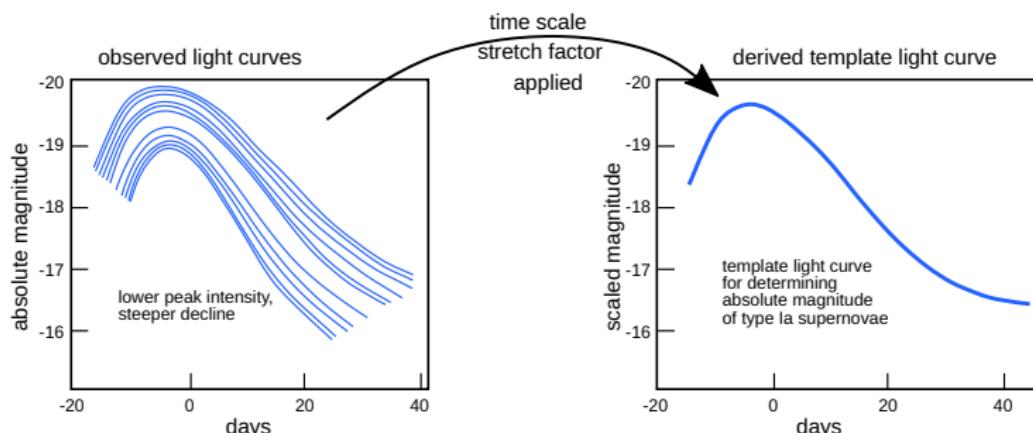
Revisión
Supernovas

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

Las supernovas de tipo Ia alcanzan en su máximo brillo una magnitud máxima media en las bandas de longitud de onda azul y visible de -19,3, con una dispersión típica inferior a aproximadamente 0,3 magnitudes.

Las curvas de luz difieren de manera sistemática: los picos de brillo y su posterior tasa de decaimiento son inversamente proporcionales.



Esta ilustración se basa en Perlmutter (2023), un minucioso estudio de las curvas de luz de las supernovas de tipo Ia que ha dado lugar a enfoques para su estandarización.

Supernovas termonucleares - Tipo Ia

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

El rápido aumento de brillo y el lento desvanecimiento de una explosión de supernova tipo Ia en la galaxia NGC 1365.

Las imágenes fueron captadas por el pequeño telescopio robótico TAROT, ubicado en el Observatorio La Silla de ESO en Chile.



Estimar Distancias con Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

Para **estimar distancias** con supernovas, se utilizan principalmente las supernovas de **tipo Ia**.

El Tipo Ia son explosiones con un **brillo máximo muy constante**, lo que las convierte en **candelas estándar**.

Estimar Distancias con Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo
La escalera de
distancia

Para **estimar distancias** con supernovas, se utilizan principalmente las supernovas de **tipo Ia**.

El Tipo Ia son explosiones con un **brillo máximo muy constante**, lo que las convierte en **candelas estándar**.

Los astrónomos miden la magnitud aparente (qué tan brillantes se ven) de estas supernovas y la comparan con su magnitud absoluta conocida para calcular la distancia usando el módulo de distancia.

Este método permite **determinar la distancia a la supernova y a su galaxia anfitriona**, siendo una herramienta crucial en la escalera de distancias cósmicas.

Estimar Distancias con Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

¿Cómo funciona el método?

1. Identificación de Supernovas de Tipo Ia:

Se observan supernovas que provienen de la explosión de una enana blanca y que tienen un pico de brillo máximo muy similar y predecible.

Estimar Distancias con Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

¿Cómo funciona el método?

1. Identificación de Supernovas de Tipo Ia:

Se observan supernovas que provienen de la explosión de una enana blanca y que tienen un pico de brillo máximo muy similar y predecible.

2. Candelas Estándar:

Dado que se conoce la luminosidad real o "magnitud absoluta" de estas supernovas, pueden ser consideradas como candelas estándar, es decir, su brillo intrínseco es conocido.

Estimar Distancias con Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

¿Cómo funciona el método?

1. Identificación de Supernovas de Tipo Ia:

Se observan supernovas que provienen de la explosión de una enana blanca y que tienen un pico de brillo máximo muy similar y predecible.

2. Candelas Estándar:

Dado que se conoce la luminosidad real o "magnitud absoluta" de estas supernovas, pueden ser consideradas como candelas estándar, es decir, su brillo intrínseco es conocido.

3. Medición de la Magnitud Aparente:

Los astrónomos miden cuán brillante aparece la supernova en el cielo, o su "magnitud aparente".

Estimar Distancias con Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

¿Cómo funciona el método?

1. Identificación de Supernovas de Tipo Ia:

Se observan supernovas que provienen de la explosión de una enana blanca y que tienen un pico de brillo máximo muy similar y predecible.

2. Candelas Estándar:

Dado que se conoce la luminosidad real o "magnitud absoluta" de estas supernovas, pueden ser consideradas como candelas estándar, es decir, su brillo intrínseco es conocido.

3. Medición de la Magnitud Aparente:

Los astrónomos miden cuán brillante aparece la supernova en el cielo, o su "magnitud aparente".

4. Cálculo de la Distancia:

Al comparar la magnitud aparente (lo brillante que se ve) con la magnitud absoluta (lo brillante que es realmente), se puede deducir qué tan lejos está la supernova. Cuanto más tenue parezca, más lejos estará.

Estimar Distancias con Supernovas

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

Importancia del método:

Medición de grandes distancias:

Las supernovas de tipo Ia son extremadamente luminosas y pueden observarse **en cualquier tipo de galaxia**, permitiendo medir distancias a objetos cósmicos muy lejanos.

Corrimiento al Rojo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

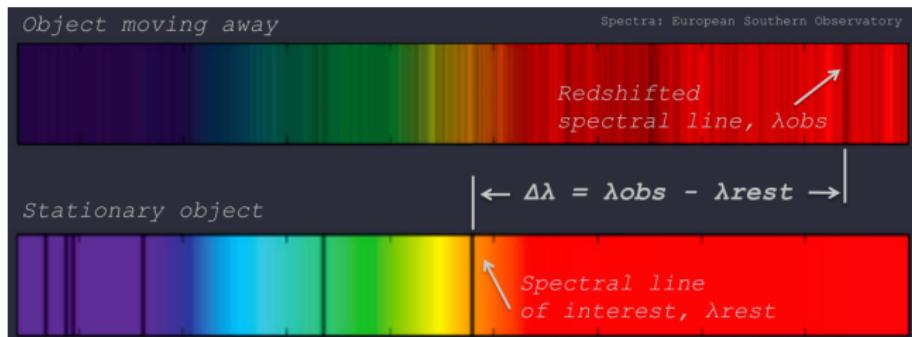
Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

En física, el **corrimiento al rojo** (inglés: *redshift*) es un aumento en la longitud de onda de la radiación electromagnética (como la luz). El cambio opuesto, una disminución en la longitud de onda, se conoce como **corrimiento al azul**.

Los términos derivan de los colores rojo y azul, que forman los extremos del espectro de luz visible.



Corrimiento al Rojo

La escalera de distancias cósmicas (VI)

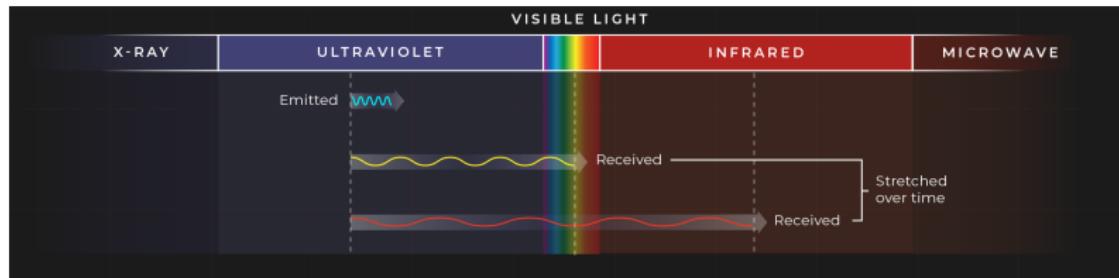
Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

La longitud de onda visible más larga es el rojo.

Más allá del rojo hay longitudes de onda más largas que son invisibles para nosotros, empezando por el infrarrojo.

Cuando la luz se estira por la expansión del espacio, puede desplazarse hacia el infrarrojo y más allá. Para observarla se necesitan telescopios especializados.



Corrimiento al Rojo

La escalera de distancias cósmicas (VI)

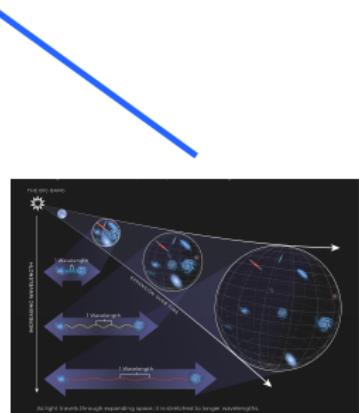
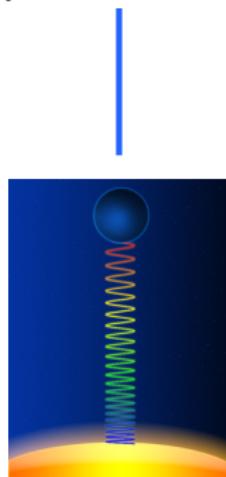
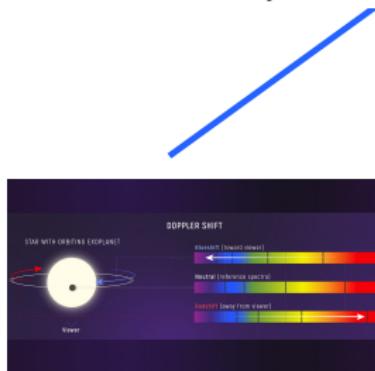
Revisión

Supernovas

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

Se existen **tres tipos de desplazamiento al rojo:**



los desplazamientos al rojo Doppler, debidos a los movimientos relativos de las fuentes de radiación e.g.: estrella binaria, estrella con exoplaneta

los desplazamientos al rojo gravitacionales, cuando la radiación escapa de los potenciales gravitacionales

los desplazamientos al rojo cosmológicos, causados por la expansión del universo

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancias cósmicas (VI)

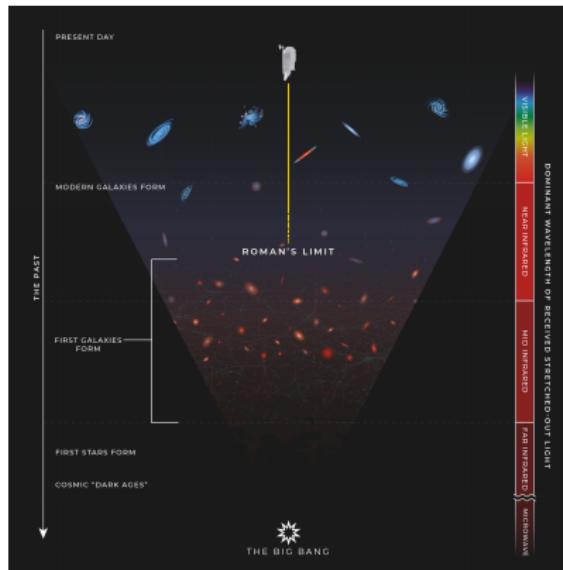
Revisión

Supernovas

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

Podemos detectar galaxias con un gran desplazamiento al rojo con telescopios infrarrojos. El nuevo **telescopio espacial Nancy Grace Roman** (lanzamiento: 2027) estará especializado en esta tarea.



Corrimiento al Rojo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

La escala de distancias cósmicas utiliza una secuencia de técnicas astronómicas, comenzando por el paralaje para objetos cercanos, para medir las distancias a los cuerpos celestes.

El desplazamiento al rojo cosmológico, el efecto causado por la expansión del universo, se convierte en un indicador de distancia crucial para las galaxias lejanas, donde otros métodos fallan.

Al **calibrar** las mediciones de distancia locales con las relaciones entre el desplazamiento al rojo y la distancia, los astrónomos pueden determinar la escala del universo y estudiar su expansión.

Contexto histórico

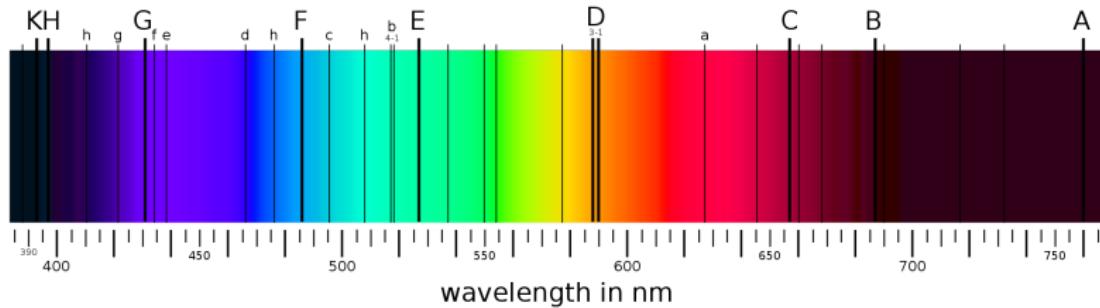
La escalera de distancias cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo
La escalera de distancia

El efecto Doppler lleva el nombre del matemático austriaco Christian Doppler, quien ofreció la primera explicación física conocida del fenómeno en las ondas sonoras en 1842.

Doppler predijo correctamente que el fenómeno se aplicaría a todas las ondas y, en particular, sugirió que los colores variables de las estrellas podían atribuirse a su movimiento con respecto a la Tierra.

En 1871, se confirmó el **desplazamiento al rojo óptico** cuando se observó el fenómeno en las líneas de Fraunhofer, utilizando la rotación solar, aproximadamente 0.1 \AA (Angstrom, $1\text{\AA} = 0.1\text{nm}$) en el rojo.



Contexto histórico

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

El corrimiento al rojo cosmológico se descubrió cuando Edwin Hubble demostró en 1929 que la luz de las galaxias lejanas se desplazaba hacia el extremo rojo del espectro, lo que indicaba que se estaban alejando de la Tierra.

En trabajos anteriores, Vesto Slipher observó grandes desplazamientos al rojo en la mayoría de las galaxias. Basándose en esto, en sus propias observaciones y en la base teórica del efecto Doppler, Hubble estableció una relación entre el desplazamiento al rojo de una galaxia y su distancia - llegando a la conclusión de que el **universo mismo se estaba expandiendo**.

Hubble, E. (1929). *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 15(3), 168-173.

Ley de Hubble

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

La ley de Hubble es la observación en cosmología física de que las galaxias se alejan de la Tierra a velocidades proporcionales a su distancia.

En otras palabras, cuanto más lejos está una galaxia de la Tierra, más rápido se aleja. La **velocidad de recesión** de una galaxia se determina normalmente midiendo su desplazamiento al rojo, un cambio en la frecuencia de la luz emitida por la galaxia.

El descubrimiento de la ley de Hubble se atribuye al trabajo publicado por Edwin Hubble en 1929, pero la noción de que el universo se expande a una velocidad calculable fue derivada por primera vez de las ecuaciones de la relatividad general en 1922 por Alexander Friedmann.

Ley de Hubble

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo
La escalera de
distancia

En ecuaciones, la ley de Hubble se escribe como:

$$v = H_0 \times d \quad (1)$$

donde $v = c \times z$ es la velocidad de recesión, H_0 es la constante de Hubble y d es la distancia a la galaxia.

En astronomía, el valor de un corrimiento al rojo a menudo se denota con la letra z , que corresponde al cambio fraccional en la longitud de onda (positiva para corrimientos al rojo, negativa para corrimientos al azul), y con la relación de longitud de onda $1 + z$ (que es mayor que 1 para corrimientos al rojo y menor que 1 para corrimientos al azul).

$$z = (\lambda_{obs} - \lambda_0) / \lambda_0 \quad (2)$$

Ley de Hubble

La escalera de distancias cósmicas (VI)

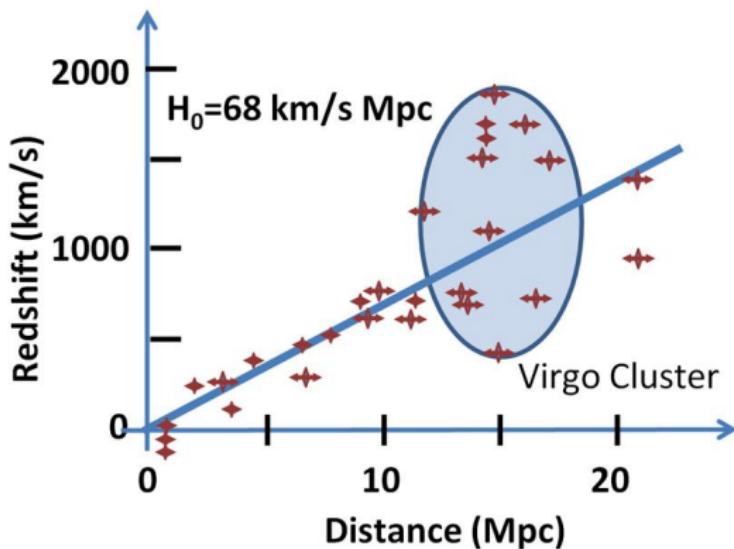
Revisión

Supernovas

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

La ley de Hubble se considera la primera base observational de la expansión del universo y es una de las pruebas más citadas en apoyo del **modelo del Big Bang**.



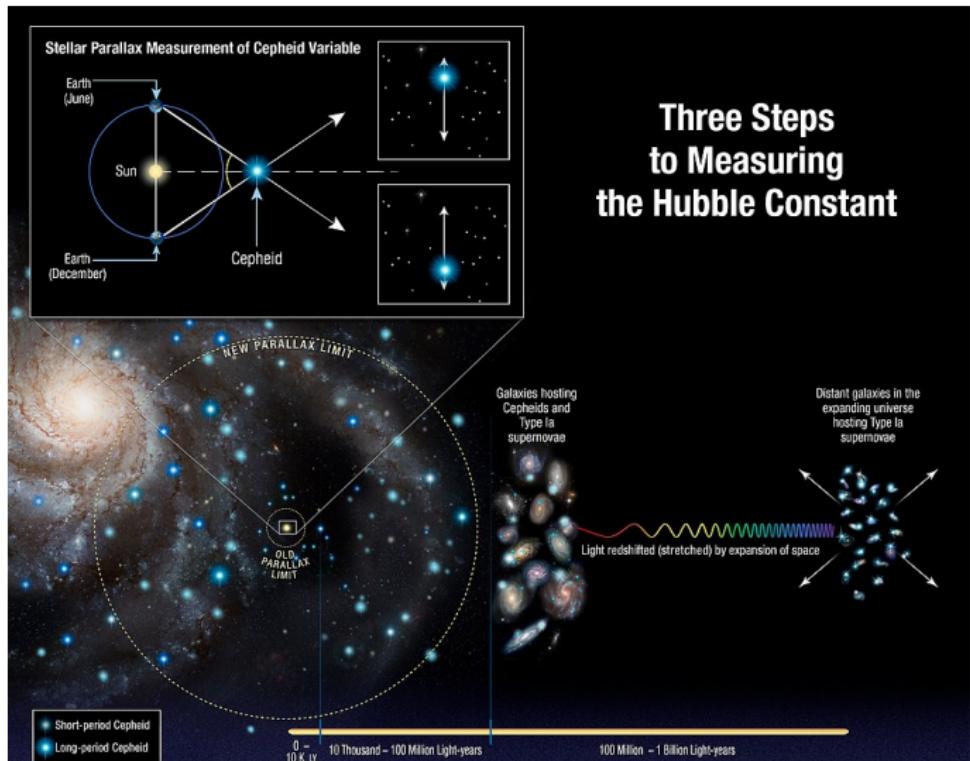
Tres pasos para medir la constante de Hubble

La escalera de distancias cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

Three Steps
to Measuring
the Hubble Constant

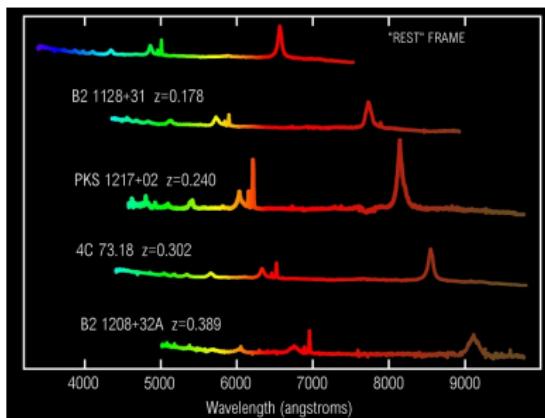


Medición del corrimiento al rojo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo
La escalera de
distancia

Unos espectros de **objetos quasi-estelares (QSOs)**:



El espectro superior, denominado "Recuadro de Reposo" (inglés *rest frame*), muestra el espectro de un objeto quasi-estelar (QSO) que se mueve a velocidad cero con respecto a la Tierra.

Se muestran cuatro espectros adicionales de QSO con un "desplazamiento al rojo" creciente, tal como los perciben los observadores terrestres.

A pesar del desplazamiento, el patrón de líneas se mantiene prácticamente igual, lo que facilita su identificación.

Medición del corrimiento al rojo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

El corrimiento al rojo se mide típicamente mediante espectroscopia, donde la luz de una galaxia se divide en los colores que la componen y se mide el desplazamiento de la longitud de onda con respecto a un espectro en reposo.

Medir un corrimiento al rojo (o al azul) requiere cuatro pasos:

- 1) Obtener el espectro de algo (por ejemplo, una galaxia) que muestra líneas espectrales.
- 2) A partir del patrón de líneas, identificar qué línea corresponde a qué átomo, ion o molécula.
- 3) Medir el desplazamiento de cualquiera de esas líneas con respecto a su longitud de onda esperada, medida en un laboratorio en la Tierra.
- 4) Aplicar la fórmula que relacione el desplazamiento observado con la velocidad a lo largo de la línea de visión:
$$z = (\lambda_{obs} - \lambda_0)/\lambda_0$$

Medición del corrimiento al rojo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

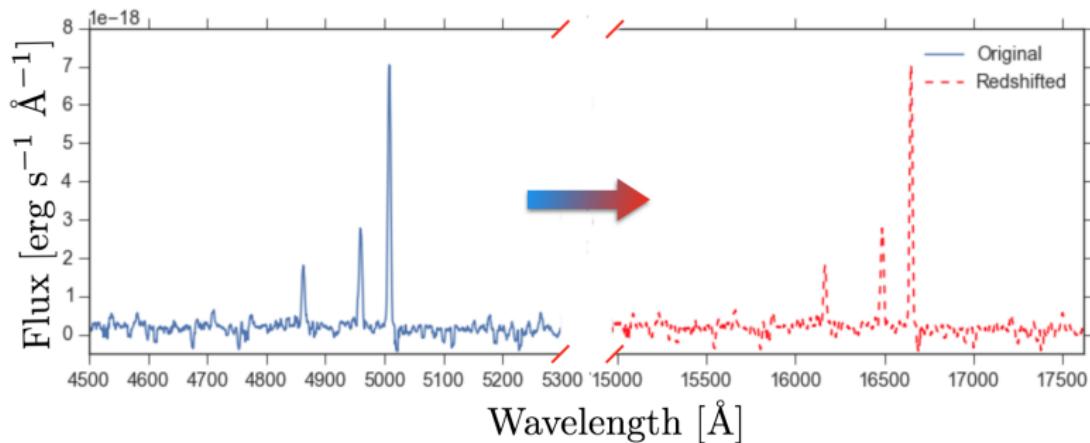
Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

Un ejemplo para que los pruebes:



Corrimiento al rojo cosmológico observado en una galaxia con el MOSFIRE Deep Evolution Field Survey.

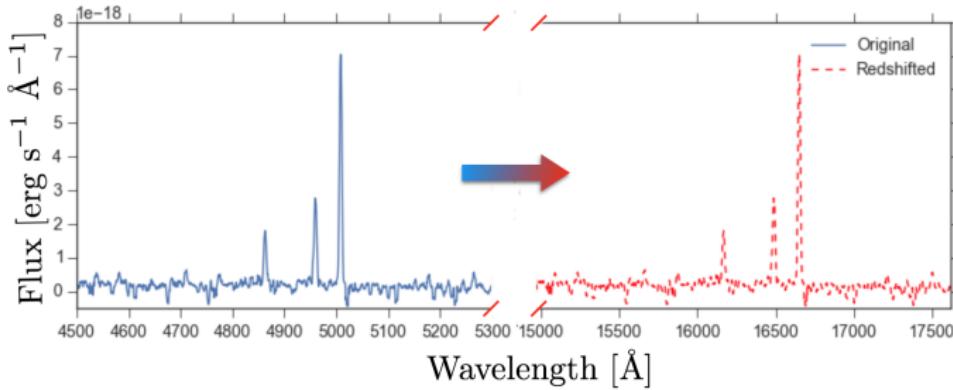


Medición del corrimiento al rojo

La escalera de distancias cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia



Solución:

Seleccionar una característica en el espectro de reposo, por ejemplo, en 5020 Å. Búsqueda en el espectro con desplazamiento al rojo, donde estaría en 16700 Å.

Aquí podemos ver que nuestras características espectrales observadas (corridas al rojo) están desplazadas hacia longitudes de onda rojas por un factor de 3,32; por lo tanto, nuestro corrimiento al rojo cosmológico medido es de 2,32 de la ecuación:

$$z = (\lambda_{obs} - \lambda_0)/\lambda_0$$

Desafíos asociados con la medición del corrimiento al rojo

La escalera de distancias cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo
La escalera de distancia

Medir el corrimiento al rojo en galaxias tenues o distantes puede ser un **desafío debido** a la limitada sensibilidad de los telescopios y espectrógrafos.

Las galaxias tenues suelen presentar relaciones señal-ruido bajas, lo que dificulta su detección y medición.

Además, las galaxias distantes pueden presentar corrimientos al rojo que superan los límites de detección de los instrumentos espectroscópicos actuales.

Para superar estos desafíos, los astrónomos emplean **diversas técnicas**, como:

- Uso de telescopios más grandes y espectrógrafos más sensibles
- Emplear técnicas espectroscópicas novedosas, como la espectroscopía multiobjeto
- Utilizar estimaciones fotométricas del corrimiento al rojo basadas en los colores y magnitudes de las galaxias

Una imagen 3D

La escalera de distancias cósmicas (VI)

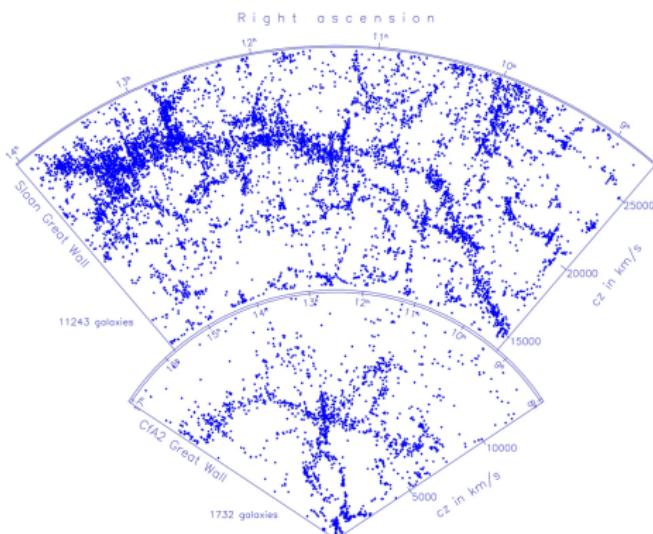
Revisión

Supernovas

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

Al medir los corrimientos al rojo de galaxias y cúmulos de galaxias, los astrónomos pueden crear mapas tridimensionales de la estructura a gran escala del universo.



La *Sloan Great Wall* (descubierto por SDSS) es una estructura a gran escala descubierta mediante mediciones del corrimiento al rojo. Se trata de una vasta red de filamentos de galaxias que se extiende a lo largo de 1370 millones de años luz a través del universo.

La escalera de distancia

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

La escala de distancias cósmicas permite a los astrónomos medir con precisión grandes distancias a estrellas y galaxias mediante técnicas superpuestas.

Con lo que hemos aprendido, podemos **completar la escala de distancias.**

La escalera de distancia

La escalera de distancias cósmicas (VI)

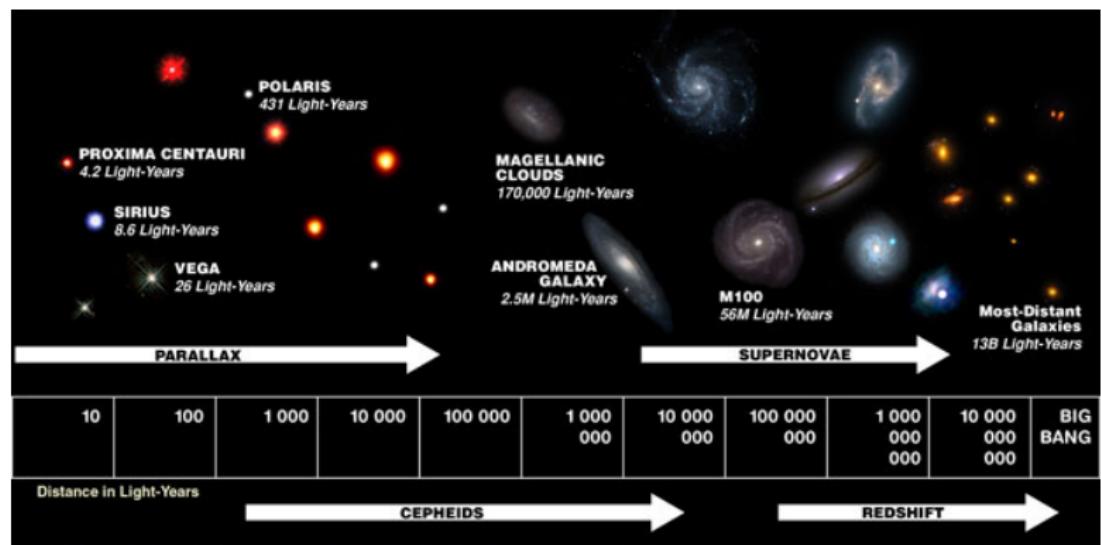
Revisión

Supernovas

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

La escala de distancias cósmicas permite a los astrónomos medir con precisión grandes distancias a estrellas y galaxias mediante técnicas superpuestas.



La escalera de distancia

La escalera de distancias cósmicas (VI)

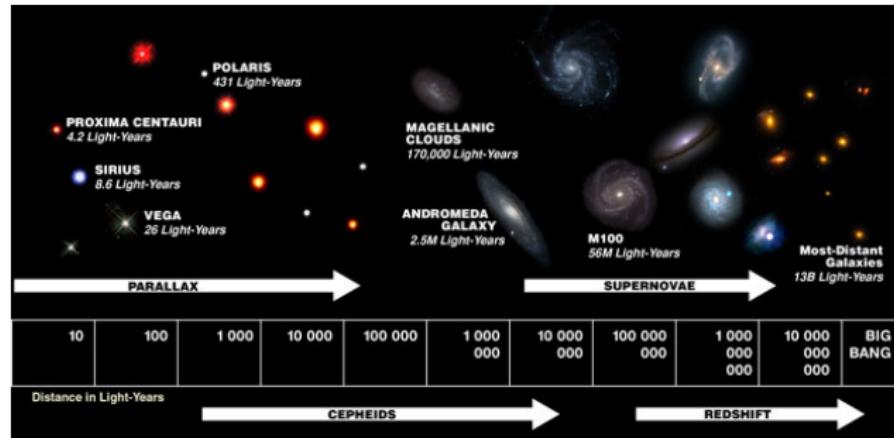
Revisión

Supernovas

Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

Paso 1: **Paralaje**, para estrellas de hasta unas pocas decenas de miles de años luz



El método se basa en observar las estrellas cercanas, ya que parecen moverse frente al fondo de estrellas más distantes, que parecen fijas. A partir de esto, se puede elaborar un diagrama H-R estándar (con magnitud absoluta y clase espectral).

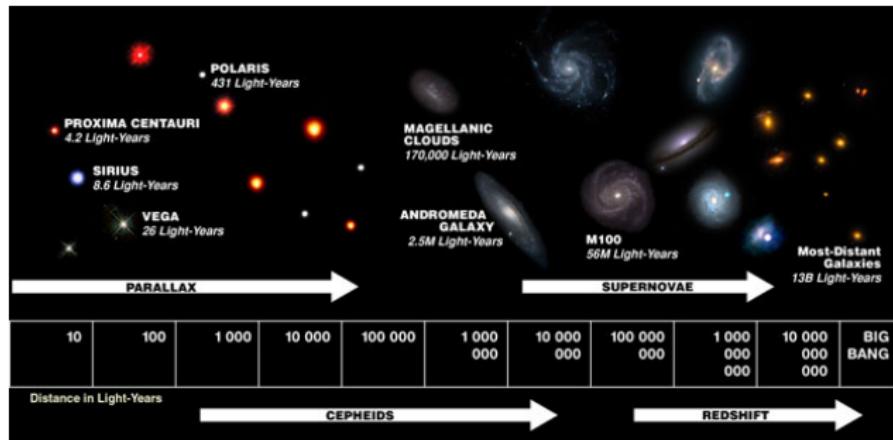
Las naves espaciales Hipparcos y Gaia cartografián la Vía Láctea midiendo paralajes.

La escalera de distancia

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo
La escalera de
distancia

Paso 2: Ajuste de la secuencia principal



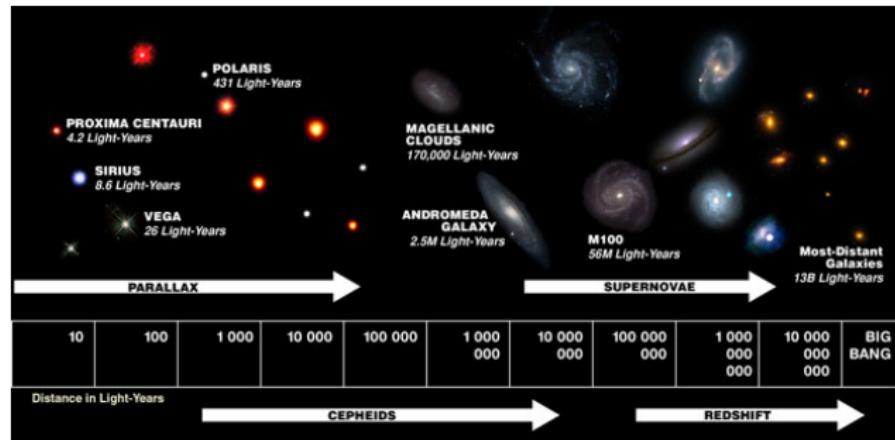
Se elabora un diagrama HR con la magnitud aparente y la clase espectral de un cúmulo (abierto o globular) de estrellas. Se superpone con el diagrama HR estándar del paso 1 (con la magnitud aparente y la clase espectral) para comparar las magnitudes aparentes y absolutas de la secuencia principal (MS). Esto se puede utilizar para hallar la distancia del cúmulo a partir del módulo de distancia: $m - M = 5 \log(d/10)$

La escalera de distancia

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo
La escalera de
distancia

Paso 3: Cefeidas



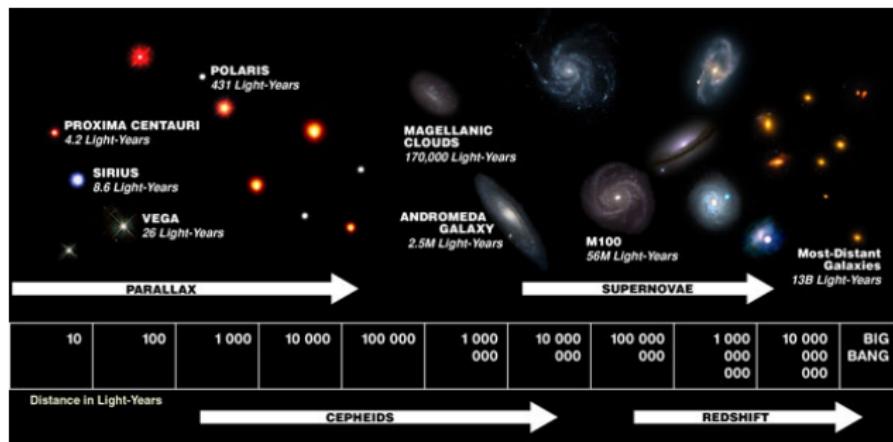
Algunas cefeidas se encuentran en cúmulos. Para ellas, la distancia se conoce a partir del ajuste de la secuencia principal. Por lo tanto, para las estrellas del cúmulo se conoce M para calibrar la relación período-luminosidad. Mida m y el período de las cefeidas en otros cúmulos o galaxias. Determine M a partir de la relación período-luminosidad y calcule la distancia utilizando el módulo de distancia.

La escalera de distancia

La escalera de distancias cósmicas (VI)

- Revisión
- Supernovas
- Corrimiento al Rojo
- La escalera de distancia

Paso 4: Supernova



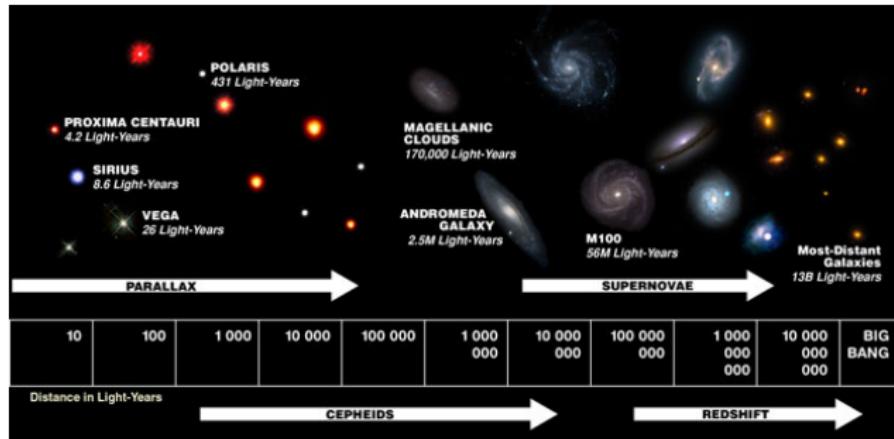
Al igual que las cefeidas, las supernovas (en particular las de tipo Ia) pueden utilizarse como candelas estándar para determinar las distancias a otras galaxias. Debido al brillo de las supernovas, esto es eficaz hasta varios miles de millones de años luz.

La escalera de distancia

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo
La escalera de
distancia

Paso 5: Redshift



Las galaxias distantes se alejan debido a la expansión del universo. Podemos medir este movimiento, que varía con la distancia: las galaxias más rápidas están más distantes. Es el método menos preciso porque depende de un modelo de cómo se expande el universo.

La expansión del universo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

En la década de 1980, Saul Perlmutter, del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), y sus colaboradores se dieron cuenta de que podían utilizar los datos sobre las supernovas de tipo Ia (cuyo brillo es extremadamente constante) para investigar la historia de la expansión del universo.

A lo largo de una década, el equipo de Perlmutter recopiló datos suficientes para buscar una relación entre el brillo de una supernova y su distancia.

La expansión del universo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas
Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

En la década de 1980, Saul Perlmutter, del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), y sus colaboradores se dieron cuenta de que podían utilizar los datos sobre las supernovas de tipo Ia (cuyo brillo es extremadamente constante) para investigar la historia de la expansión del universo.

A lo largo de una década, el equipo de Perlmutter recopiló datos suficientes para buscar una relación entre el brillo de una supernova y su distancia.



Los datos revelaron que todas las supernovas parecían más tenues de lo que deberían por su distancia.

La expansión del universo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

De hecho, los datos mostraban que el **universo se expandía cada vez más rápido.**

Revisión

Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

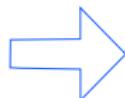
La expansión del universo

La escalera de distancias cósmicas (VI)

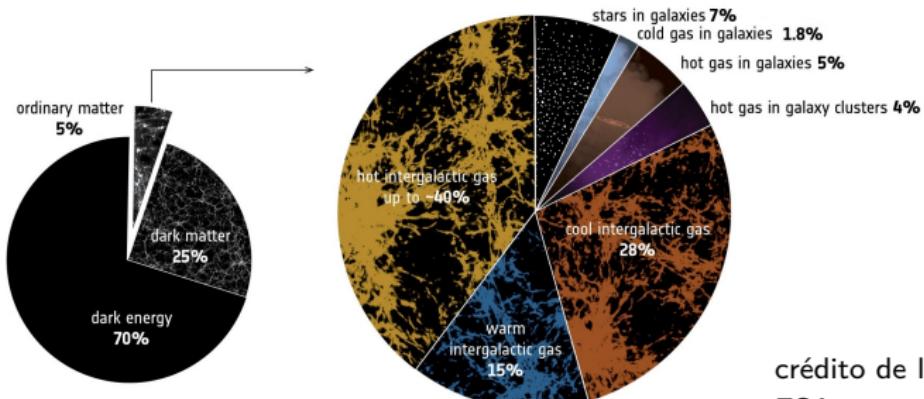
Revisión
Supernovas
Corrimiento al Rojo

La escalera de distancia

De hecho, los datos mostraban que el **universo se expandía cada vez más rápido**.



Una implicación dramática: para que los datos encajen con la teoría de la relatividad general de Einstein, alrededor del 70 % de la energía del universo debe proceder de alguna fuente desconocida: **la energía oscura**.



crédito de la imagen:
ESA

En 2011, Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Riess recibieron el **Premio Nobel** de Física por este descubrimiento.

La expansión del universo

La escalera de
distancias
cósmicas (VI)

Revisión
Supernovas

Corrimiento al
Rojo

La escalera de
distancia

Los datos del cielo austral obtenidos por la cámara Dark Energy Camera en Chile están ayudando a los científicos a comprender qué es la energía oscura y cómo influye en la expansión del universo.

