GUÍA DIDÁCTICA DE LA EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA

DE LA TIERRA AL *Universo*

La belleza de la evolución del Cosmos

Organizan:

Patrocina:

Promueven:

RECTA
RED DE ESPACIOS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA DE ANDALUCÍA

TIERRA Universo

2009

JUNTA DE ANDALUCIA
CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPRESA

Calar Alto

PRINCIPIA
centro de ciencia

ÍNDICE

1. Introducción. Justificación y concepto expositivo 3
1.1 La belleza de la evolución del Cosmos 3
1.2 Tres niveles de lectura 3

2. Objetivos 4

3. Contenidos 4
3.1 Introducción, ¿Qué vamos a ver? 4
3.2 ¿Por qué esta exposición? 4
3.3 Antes de comenzar … 4

4. Resumen de la exposición 6

5. Esquema de la exposición 7
5.1 Las galaxias como bloques básicos del Universo 8
5.2 Nuestra Galaxia 10
5.3 La materia prima para las estrellas 13
5.4 Las estrellas: crisol de los elementos químicos 15
5.5 El Sol 19
5.6 Los planetas (y cometas) 22
5.7 Muerte estelar: el origen de la vida 28
5.8 El eterno retorno 31

1. Introducción. Justificación y concepto expositivo

La exposición se adapta en forma y espíritu al proyecto internacional «From Earth to the Universe» y por tanto incorpora su filosofía, su estética y las imágenes de la selección oficial. La implementación concreta se ha elaborado aplicando además una serie de criterios:

- La exposición de imágenes se dota de un discurso, mensaje o contenido que queda reflejado en el subtítulo: «la belleza de la evolución del Cosmos».
- La organización del material y su presentación permiten tres niveles diferentes de «lectura».

1.1 La belleza de la evolución del Cosmos

Sobre un material seleccionado ante todo por su impacto visual («belleza»), se ha organizado un discurso centrado en la evolución química del Universo. De este modo la exposición comunica al público más general y de una manera básica y esquemática uno de los conceptos centrales de la astrofísica moderna: el de evolución a partir de un Universo primigenio muy sencillo (compuesto solo de hidrógeno y helio) hasta un Universo actual y futuro enriquecido y complejo (con todos los demás elementos químicos) que permite la existencia de planetas y vida. Se resalta el hallazgo sorprendente de que todos los elementos químicos que nos rodean, salvo el hidrógeno y el helio, son en realidad subproductos generados en el corazón de las estrellas y esparcidos luego por el Cosmos en procesos a veces tranquilos, o a veces violentos.

1.2. Tres niveles de lectura

La exposición admite tres niveles de lectura: visual, general y detallado. El nivel visual corresponde a la mera contemplación de las imágenes. De este modo el contenido evolutivo no se comunica, pero las fotografías por sí mismas son capaces de sorprender al público general y llamar su atención sobre la belleza de la ciencia.

El nivel general implica tan solo leer una frase brevísima en cada panel, a modo de titular. Estos titulares, junto con las imágenes, conforman una sucesión que brinda al público un discurso esquemático y elemental pero clarísimo acerca de la evolución química del Universo. Sin esfuerzo, un visitante ocasional capta de inmediato que los planetas y la vida son un producto de las estrellas, que somos parte del Cosmos en un sentido muy profundo e insospechado.

El nivel detallado implica la lectura de algunos o todos los pies de figura. Estos pies son los textos oficiales de «From Earth to the Universe» traducidos al castellano y con algunas modificaciones menores para adaptaros al discurso evolutivo (dado que en su origen estos textos están concebidos como piezas totalmente independientes). El público más motivado accede así a detalles adicionales acerca de la naturaleza de los cuerpos celestes y el lugar que les corresponde en la evolución del Cosmos. Como complemento, en esta versión de la exposición cada imagen se acompaña de una gragea informativa adicional en la que se ofrecen pistas acerca del tamaño aparente de los objetos representados y las condiciones en las que se pueden observar (a simple vista, con telescopios o con medios sofisticados).

2. Objetivos

- Estimular el interés por la astronomía y la ciencia.
- Animar a la ciudadanía en general a replantearse su lugar en el Universo.
- Analizar el Universo como un todo del que formamos parte.
- Comprender que el mundo complejo en el que vivimos, y el Universo en general, es producto de un Universo inicial muy sencillo compuesto de hidrógeno y helio.
- Entender la evolución cósmica como un proceso dinámico de miles de millones de años.
- Captar que el estado actual (y la vida en la Tierra) no suponen la culminación del proceso de evolución cósmica, sino que este continúa en la actualidad y seguirá en el futuro.

3. Contenidos

3.1 Introducción, ¿qué vamos a ver?

De la Tierra al Universo: la belleza de evolución del Cosmos

Se trata de una exposición de imágenes astronómicas en el marco del Año Internacional de la Astronomía 2009 (AIA 2009). Esta celebración fue promovida por la Unión Astronómica Internacional y por la Unesco. La organización internacional del AIA 2009 propuso esta exposición como uno de los proyectos pilar. La exposición en Andalucía está organizada por la Red de Espacios de Divulgación Científica y Técnica de Andalucía y patrocinada por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía. La muestra descubre la evolución del Cosmos a través de fotografías impactantes.

3.2 ¿Por qué esta exposición?

En 1609, Galileo Galilei dirigió por primera vez su telescopio hacia el cielo. 400 años después se celebra el Año Internacional de la Astronomía bajo el lema: "El Universo para que lo descubras". Con la exposición 'De la Tierra al Universo: la belleza de la evolución del Cosmos' podrás ver mediante imágenes obtenidas con telescopios modernos cómo ha evolucionado el Cosmos hasta nuestros días.

3.3 Antes de comenzar…

¿Qué es la astronomía?

La astronomía es la ciencia que se ocupa del Universo en general, de los cuerpos celestes que contiene, su evolución, su naturaleza y sus interacciones. La astronomía estudia por tanto los planetas y sus satélites, los cometas y meteoroides, las estrellas y la materia interestelar, los sistemas de estrellas llamados galaxias, los cúmulos de galaxias y el Universo en su conjunto.

La astronomía es una de las ciencias más antiguas. En los albores de la civilización, el ser humano se dio cuenta que la repetición regular de los fenómenos celestes constituía el reloj natural de sus múltiples actividades: la jornada de labor se medía

por la salida y la puesta del sol; el mes, por el ciclo lunar; las siembras, las cosechas y el trabajo agrícola en general eran regulados por la aproximación de las estaciones.

En los pueblos antiguos, los astros se consideraban como divinidades y el estudio de sus posiciones resultaba esencial para determinar sus influencias sobre los acontecimientos, terrenales. Por este conjunto de razones la astronomía fue, en todas las civilizaciones del pasado, una ciencia tanto al servicio del poder civil como del religioso.

La astronomía moderna se divide en dos ramas: la astronomía clásica y la astrofísica. La astronomía clásica incluye la astrometría (el estudio mediante la observación de las posiciones y los movimientos de los cuerpos celestes) y la mecánica celeste (el estudio matemático de sus movimientos explicados por las teorías de la gravitación). La astrofísica, por su parte, abarca el resto de campos de estudio, entre los que se cuenta el análisis de la composición química de los astros y sus condiciones físicas, su evolución, y el estudio del Universo como un todo (objeto este último de la disciplina conocida como cosmología).

Origen del Universo

El Universo tiene aproximadamente unos 15 000 millones de años. Hace ese tiempo el Universo se hallaba en la fase inicial conocida como Gran Explosión (Big Bang en inglés). En esa época tienen su origen el espacio y el tiempo.

En la fase inicial, la de la Gran Explosión, la materia y el espacio del Cosmos estaban comprimidos en estado de altísimas densidades, presiones y temperaturas. A partir de ese estado se produjo la expansión del espacio, con el consiguiente enfriamiento progresivo de la materia.

Un instante después de la gran explosión se formaron los átomos de hidrógeno y helio, que son los elementos más comunes que hay y de los que están compuestas las estrellas. La materia supercaliente se fue expandiendo y enfriando, y a partir de ella se formaron estrellas, galaxias, etc...

¿Qué es un telescopio?

Es un instrumento óptico que tiene la función de recoger la luz proveniente de un objeto lejano y ampliarlo, permitiendo ver objetos lejanos o débiles con mucho más detalle que a simple vista. Es herramienta fundamental de la astronomía y cada desarrollo o perfeccionamiento del telescopio ha sido seguido de avances en nuestra comprensión del Universo.

Tan importantes como los telescopios son las cámaras que se colocan tras ellos para captar las imágenes. En esta exposición se ofrecen imágenes obtenidas con los telescopios (espaciales y terrestres) y las cámaras astronómicas mejores del mundo.

¿Cómo se expresan las distancias en astronomía?

En astronomía profesional se usan sobre todo dos unidades de medida poco conocidas entre el gran público: la unidad astronómica (equivalente a la distancia entre la Tierra y el Sol) y el pársec, una longitud enorme que se emplea para medir distancias entre estrellas.

Pero en obras de astronomía divulgativa es muy frecuente expresar las distancias en tiempos de luz. En lugar de dar la distancia a los objetos en kilómetros (o en unidades astronómicas, o en pársecs), damos como dato el tiempo que la luz tardaría en llegar desde un punto a otro determinado, a una velocidad de casi 300 000 km/s.

Así, el año-luz es la unidad de longitud más adecuada para expresar grandes distancias en astronomía divulgativa. Es igual a la distancia recorrida por la luz en un

año solar medio, o más específicamente, la distancia que recorrería un fotón que se moviera por el vacío y bien apartado de cualquier perturbación, en un año juliano (365.25 días de 86400 segundos).

El año-luz no es una unidad de tiempo, sino de distancia. La luz tarda 8 minutos en viajar desde el Sol hasta la Tierra. Nuestra Galaxia tiene 100 000 años-luz de diámetro.

Tomando para la velocidad de la luz un valor de 300 000 km/s, un año-luz equivale en números redondos a 9 461 000 000 000 km (casi diez billones de km), o bien a 63 240 unidades astronómicas, o también a 0.3066 pársecs (dicho de otro modo, un pársec es igual a 3.26 años-luz).

Nada puede viajar más rápido que la luz, ni los objetos materiales ni la energía en ninguna de sus formas.

4. RESUMEN DE LA EXPOSICIÓN

Como se ha indicado en la introducción, la exposición cuenta con tres niveles de lectura. Cuando se sigue el nivel general, los títulos de los paneles conforman un mensaje que sintetiza los conceptos esenciales sobre evolución química del Cosmos. En el resumen siguiente se ofrece un texto basado en ese nivel general de lectura y ofrece, por tanto, una visión sintética de los contenidos de la muestra.

El Universo observable aparece repleto de galaxias, que suelen agregarse en grupos de tamaño moderado o en cúmulos que alcanzan millares de miembros.

Existe una diversidad enorme de galaxias. La nuestra es de forma espiral. Las Nubes de Magallanes, las galaxias más cercanas a la nuestra, son irregulares, mientras que la de Andrómeda, la mayor del Grupo Local, es otra espiral normal. Nuestra Galaxia contiene cientos de miles de millones de estrellas, así como grandes nubes de polvo y gas. La Vía Láctea representa el panorama de nuestra Galaxia vista desde el interior.

Las nubes de polvo y gas se llaman nebulosas y se componen casi solo de hidrógeno. Las nebulosas se concentran y en su seno nacen estrellas de diversos tamaños, pero que casi siempre se forman en grupos: los cúmulos estelares. Hay cúmulos estelares jóvenes, que pueden contener miles de estrellas, y también los hay antiguos. Las estrellas convierten el hidrógeno en otros elementos químicos por medio de procesos nucleares: aquí está la clave de la evolución química del Universo.

El Sol es una estrella normal que, a pesar de ser bastante tranquila, exhibe una cierta actividad que afecta a su entorno. El Sol va acompañado de planetas gigantes como Júpiter o Saturno (el más bello de todos), hechos sobre todo de gas. Los planetas pequeños (como Venus, Marte o la Tierra con su Luna) son rocosos. Los cometas son cuerpos pequeños y helados que forman parte del Sistema Solar. Muchas estrellas poseen planetas a su alrededor desde el mismo momento de su nacimiento.

Las estrellas como el Sol mueren de forma tranquila, pero otras lo hacen en explosiones cataclísmicas. La muerte estelar enriquece el Universo con elementos más pesados que el hidrógeno, átomos forjados en los interiores estelares. Así, las estrellas aportan al Cosmos los elementos necesarios para la vida. La formación y muerte de estrellas y planetas se mantiene activa en nuestra Galaxia y en otras, aunque es más intensa en galaxias que colisionan. Somos testigos de un proceso de evolución cósmica impulsado por las estrellas y que está alterando la composición del Cosmos. Cada galaxia contiene una multitud inmensa de estrellas y hay cientos de

miles de millones de galaxias en el Universo observable: una inmensidad quizá infinita de mundos en evolución.

5. ESQUEMA DE LA EXPOSICIÓN

Las galaxias como bloques básicos del Universo

La primera sección de la muestra pretende situar al público en el contexto cósmico más general: el Universo consta de galaxias que se agregan en grupos y cúmulos. Nuestra Galaxia es una más entre todas ellas.

Nuestra Galaxia

Se centra ahora la vista en nuestra propia Galaxia y en el aspecto que ofrece cuando la observamos desde su interior.

La materia prima para las estrellas

Este grupo de paneles presenta al público las nebulosas: nubes de gas y polvo que flotan libres en el seno de las galaxias y que constituyen la materia prima para la formación de estrellas.

Las estrellas: crisol de los elementos químicos

Se presentan las estrellas en su papel de máquinas cósmicas que convierten hidrógeno en elementos químicos más pesados.

El Sol

Nos acercamos al Sol como ejemplo de estrella ordinaria pero cercana, en la que podemos contemplar todos los fenómenos energéticos de las estrellas con gran detalle.

Los planetas (y cometas)

Muchas estrellas están acompañadas de planetas. Los paneles siguientes nos aproximan a los mundos opacos del Sistema Solar.

Muerte estelar: el origen de la vida

Se completa el ciclo de la evolución química del Universo con los mecanismos que hacen que las estrellas moribundas entreguen al espacio los elementos pesados forjados en sus interiores.

El eterno retorno

Después de la visión en detalle de la producción de elementos químicos en las estrellas y su difusión por el Universo, el punto de vista se aleja para mostrar que los procesos de nacimiento (y, por tanto, muerte) de las estrellas se mantienen activos en el Universo actual a las mayores escalas. Los procesos que han dado lugar a la aparición del Sol, los planetas y la vida se están produciendo ahora, y lo seguirán haciendo, a todo lo ancho y largo de un Universo cuya vastedad supera la capacidad de la imaginación.

5.1 Las galaxias como bloques básicos del Universo

Paneles 2, 3, 4 y 5

La primera sección de la muestra pretende situar al público en el contexto cósmico más general: el Universo consta de galaxias que se agregan en grupos y cúmulos. Nuestra Galaxia es una más entre todas ellas.

El Universo observable aparece repleto de galaxias[1], que suelen agregarse en grupos de tamaño moderado (entre dos y varias decenas de miembros) o en cúmulos. Los cúmulos están formados por cientos y hasta miles de galaxias: son los sistemas más grandes unidos por la gravitación que se conocen en el Universo. Curiosamente, la mayor parte de su materia luminosa no está en las galaxias, sino entre ellas, en forma de un gas a temperaturas de millones de grados atrapado por la fuerza gravitatoria del conjunto.

Ejemplos de estas agrupaciones los tenemos en el cúmulo de galaxias de Hércules, que está formado por 100 miembros (panel 2), 'Los Ojos', que es un grupo formado por dos miembros (panel 3), o el Quinteto de Stephan con tan solo cuatro miembros, aunque aparece antepuesta una quinta galaxia que no pertenece al grupo. El grupo compacto de Hickson 44 también consta de cuatro galaxias (panel 4).

En los cúmulos de galaxias, que como hemos comentado están formados por millares de miembros, la enorme atracción gravitatoria sumada de todos sus componentes puede desviar la luz de objetos aún más lejanos que aparecen como arcos de luz, un fenómeno que se denomina lente gravitatoria.

Existe una diversidad enorme de galaxias: elípticas, espirales e irregulares[2]. NGC 5128 es una galaxia elíptica anómala, ya que posee una banda pulverulenta a causa de la colisión con otra galaxia (las elípticas normales no contienen polvo), y M106 es una galaxia espiral (panel 5).

---

[1] *Una galaxia es un sistema masivo de estrellas, nubes de gas, planetas, polvo y materia oscura, unidos gravitatoriamente.*

[2] *Tipos de galaxias: A principios del siglo XX, Hubble y Lundmark clasificaron las galaxias en tres tipos fundamentales: elípticas, espirales e irregulares, lo que resultó en el esquema básico que aún se utiliza hoy día. Las galaxias espirales, como la nuestra, están formadas por un núcleo envuelto en una esfera central llamada bulbo, y un disco con brazos espirales. Se ven en el cielo en una variedad de inclinaciones, con bulbos mayores o menores, y con diferentes tipos de brazos espirales (mejor o peor trazados, más o menos enrollados); en ellas se aprecian otras componentes, como anillos o barras (estructuras aproximadamente rectas que se extienden a ambos lados del núcleo de la galaxia). Las galaxias irregulares, por el contrario, no tienen núcleos dominantes y tienen formas asimétricas; un claro ejemplo son las Nubes de Magallanes, las dos galaxias más próximas a la nuestra, visibles a simple vista desde el hemisferio sur. Las galaxias elípticas, en tres dimensiones, son sistemas semejantes, grosso modo, a un balón de rugby. No presentan detalles estructurales, aparte de un núcleo concentrado alrededor del cual se observa una nebulosidad cuyo brillo decrece suavemente hacia el exterior. Las galaxias elípticas constituyen la población dominante de las partes centrales de los cúmulos de galaxias y, al menos algunas de ellas, podrían formarse por la fusión de dos o más galaxias espirales tras una colisión violenta.*

Panel 2: El Universo observable aparece repleto de galaxias

Al mirar al Universo, este aparece ante nosotros lleno de galaxias. El cúmulo de galaxias de Hércules está formado por 100 miembros de todo tipo, elípticas, espirales e irregulares.

Panel 3: Las galaxias suelen agregarse y forman grupos de tamaño moderado...

El grupo de galaxias más pequeño tendría solo dos miembros. Un ejemplo es el par llamado 'Los ojos'. Otro grupo de galaxias es 'El Quinteto de Stephan' con tan solo cuatro miembros, aunque aparece antepuesta una quinta galaxia que no pertenece al grupo, de ahí su nombre.

Panel 4: …o cúmulos que pueden reunir hasta millares de miembros

Además de los grupos de galaxias, como el grupo compacto de Hickson 44 que consta de cuatro galaxias, existen los cúmulos que cuentan con millares de miembros. Por la gravitación combinada de un cúmulo se puede desviar la luz de objetos aún más lejanos que aparecen como arcos de luz, es lo que se conoce como lente gravitatoria.

Panel 5: Existe una diversidad enorme de galaxias

En el Universo existe una enorme diversidad de galaxias: elípticas, espirales e irregulares. NGC 5128 es una galaxia elíptica anómala ya que posee una banda pulverulenta a causa de la colisión con otra galaxia. Las elípticas normales no contienen polvo. Si miras la galaxia M106 verás que es una espiral con un núcleo abultado rodeado de un disco con varios brazos espirales.

5.2 Nuestra Galaxia

Paneles 6, 7, 8, 9, 10, y 11

Se centra ahora la vista en nuestra propia Galaxia y en el aspecto que ofrece cuando la observamos desde su interior.

Nuestra Galaxia, al igual que la NGC 7331, es de forma espiral (como hemos visto, las galaxias espirales tienen un bulbo central rodeado de un disco plano surcado por brazos espirales). Otra galaxia espiral es la galaxia Remolino (panel 6). Las Nubes de Magallanes (panel 7), las galaxias más cercanas a la nuestra, son irregulares, mientras que la de Andrómeda[3] (panel 8), la mayor del Grupo Local[4], es otra espiral normal.

[3] La galaxia de Andrómeda se distingue a simple vista bajo un cielo verdaderamente oscuro; dicho cielo sólo lo podemos encontrar en relativamente pocos lugares, normalmente zonas aisladas lejos de los núcleos de población y fuentes de contaminación lumínica. A simple vista parece bastante pequeña, pues sólo la parte central es suficientemente brillante para ser apreciable por el ojo humano, pero el diámetro angular completo de la galaxia es en realidad de siete veces el de la Luna llena visto desde la tierra.

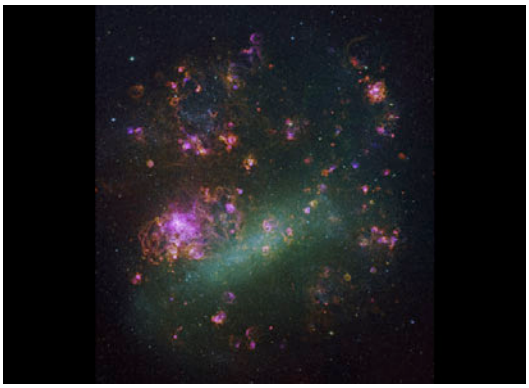
[4] Grupo Local: un grupo de aproximadamente treinta galaxias próximas entre sí (astronómicamente hablando), del cual también forma parte la nuestra.

Nuestra Galaxia contiene cientos de miles de millones de estrellas. Su zona central se sitúa hacia la constelación de Sagitario, en el hemisferio sur celeste, aunque se puede observar desde casi todo el mundo (panel 9). Junto a la zona de Sagitario está la constelación de Escorpio, que incluye la estrella rojiza Antares, una de las más luminosas que se conocen (panel 10). El disco de la Galaxia, visto de perfil y desde su interior, traza en el firmamento la banda lechosa de la Vía Láctea (panel 11)[5,6].

Panel 6 Nuestra Galaxia tiene forma espiral

Nuestra Galaxia, al igual que NGC 7331 tiene forma espiral. Las galaxias espirales tienen un bulbo central rodeado de un disco plano surcado por brazos espirales. Esta forma la puedes ver claramente en la imagen de galaxia Remolino.

Panel 7 Las Nubes de Magallanes son las galaxias más cercanas a la nuestra



Las Nubes de Magallanes (Nube Mayor y Nube Menor) son galaxias que orbitan alrededor de la nuestra. Son los sistemas estelares más cercanos.

---

5 La Vía Láctea fue uno de los primeros objetos celestes que Galileo Galilei examinó con el telescopio. Descubrió que su apariencia nebulosa se desgrana en multitud de estrellas en ciertos lugares. Galileo concluyó, correctamente, que la Vía Láctea se compone de estrellas.

6 ¿De dónde procede el nombre de la Vía Láctea? Cuenta el mito griego que Zeus se hizo pasar por el marido de una mujer llamada Alcmena y de su encuentro nació un niño al que llamaron Hércules. La esposa de Zeus, Hera, se enteró de lo ocurrido e intentó matar a la criatura enviando dos serpientes, pero el pequeño las estranguló sin dificultad. Siguiendo instrucciones de Zeus, el dios Hermes esperó a que Hera cayese dormida y depositó a Hércules en su regazo para que el niño pudiese mamar el alimento que lo haría inmortal. Hera despertó y separó bruscamente al niño de su pecho, lo que dejó escapar un reguero de leche que se derramó por el firmamento: la Vía Láctea.

Panel 8 La galaxia de Andrómeda es la mayor del Grupo Local

El miembro mayor del Grupo Local de galaxias es la espiral de Andrómeda. Esta galaxia tiene un bulbo central que se compone de astros más antiguos y fríos, de color amarillento, mientras que los brazos espirales del disco contienen estrellas más jóvenes y calientes, de color azulado.

Panel 9 Nuestra Galaxia contiene cientos de miles de millones de estrellas...

Si observas el centro de nuestra Galaxia podrás ver la gran multitud de astros que la forman. Esta región del cielo se sitúa hacia la constelación de Sagitario, en el hemisferio sur celeste. Se puede observar desde casi todo el mundo.

Panel 10 ... y grandes nubes de polvo y gas

Al mirar al cielo podrás ver junto a la zona de Sagitario a la constelación de Escorpio, que incluye la estrella rojiza Antares, una de las más luminosas que se conocen. La

banda brillante de la Vía Láctea aparece a la izquierda de la imagen, donde se entrelazan nubes de estrellas con acumulaciones de polvo y gas.

Panel 11 La Vía Láctea es la imagen que brinda nuestra Galaxia al verla desde su interior

Si miras al cielo en una noche oscura verás la Vía Láctea como una banda brillante: consiste en acumulaciones de estrellas y nebulosas en el plano del disco central de nuestra Galaxia. Esta imagen de la Vía Láctea completa se ha compuesto a partir de fotografías obtenidas desde Alemania y Namibia.

5.3 La materia prima para las estrellas

Paneles 12, 13 y 14

Este grupo de paneles presenta al público las nebulosas: nubes de gas y polvo que flotan libres en el seno de las galaxias y que constituyen la materia prima para la formación de estrellas.

En el seno de las galaxias flotan nubes de polvo y gas que se llaman nebulosas (panel 12). Se componen sobre todo de hidrógeno[7], aunque contienen también cantidades pequeñas de otras sustancias[8] (panel 13). Las nebulosas se concentran bajo el influjo de su propia atracción gravitatoria y en su seno nacen estrellas nuevas. Las nebulosas son la materia original a partir de la que se forman las estrellas (panel 14).

---

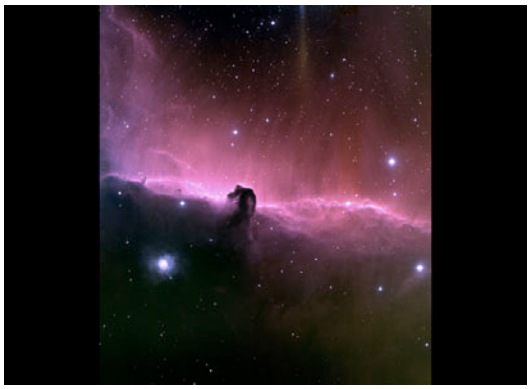
[7] El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H y con un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura en la Tierra, es un gas diatómico (H_2) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Con una masa atómica de 1.00794(7) u, el hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, pues constituye aproximadamente el 75% de la materia del Universo. En el espacio interestelar se encuentra hidrógeno molecular (H_2) o también en estado atómico. Fue Cecilia Payne (1900-1979) quien demostró que el hidrógeno es el principal componente de las estrellas, algo asumido hoy en día, pero que representó un auténtico cambio de paradigma en 1925. Pese a mantenerse ligada a Harvard durante casi dos décadas, no fue considerada como astrónoma oficial hasta el año 1938. En 1956 se convirtió en la primera mujer profesora asociada de dicha universidad. Cita: 'La recompensa del científico joven consiste en la emoción de ser la primera persona en la historia del mundo que considera algo o que comprende algo. Nada se puede comparar con esa experiencia… La recompensa del científico mayor es el sentimiento de abarcar en un vago bosquejo todo un gran paisaje'.

[8] Muchas nebulosas muestran colores rojizos. Esto se debe a que están compuestas de hidrógeno atómico que se encuentra ionizado en parte. Los átomos de hidrógeno en estado normal constan de un protón y un electrón que gira a su alrededor. En el átomo ionizado el electrón se desprende del protón. Cuando un electrón vuelve a quedar atrapado por un protón, emite una cierta cantidad de luz con el color característico de estas nebulosas de hidrógeno ionizado.

Panel 12 Las nubes de polvo y gas se llaman nebulosas

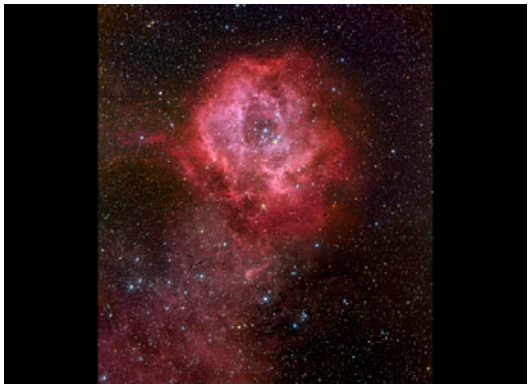
En la imagen verás diversos objetos astronómicos en la constelación boreal del Cisne. La estrella más brillante es Deneb y a su izquierda aparecen las nebulosas de Norteamérica y del Pelícano, nubes de polvo y gas. Abajo a la derecha, junto a la estrella Sadr, está la nebulosa Mariposa, una de las regiones más brillantes del complejo nebular del Cisne.

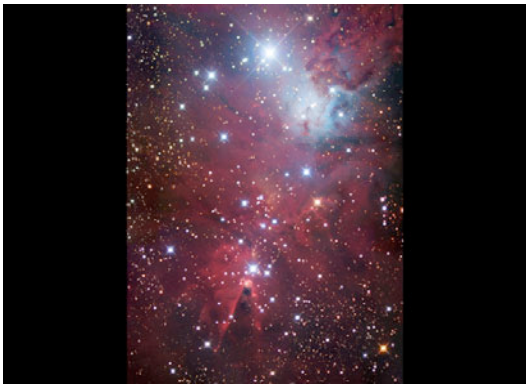
Panel 13 Las nebulosas se componen sobre todo de hidrógeno



Otras nebulosas llamativas son la Cabeza de Caballo o las nebulosidades de la constelación de Orión, compuestas esencialmente de gas hidrógeno.

Panel 14 Las nebulosas se condensan y en su seno nacen estrellas





Las nubes de polvo y gas conocidas como nebulosas se condensan y de ellas nacen estrellas. Este hecho lo puedes ver en la nebulosa del Cono, donde aparece en la parte superior una estrella muy brillante, 5 Monocerotis, junto a otras estrellas que acaban de nacer. En la nebulosa Rosetón verás las estrellas jóvenes en el ojo central del rosetón.

5.4 Las estrellas: crisol de los elementos químicos

Paneles 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21

Se presentan las estrellas en su papel de máquinas cósmicas que convierten hidrógeno en elementos químicos más pesados.

Las estrellas se forman en nubes de gas que se concentran por efecto de su propia gravitación. El proceso es violento y lleva consigo la formación de discos[9], que alimentan de materia a la estrella naciente (o protoestrella), y expulsiones de materia a cientos de kilómetros por segundo. La temperatura y densidad en el centro de la protoestrella aumentan conforme se acumula la materia hasta permitir que los átomos de hidrógeno, el elemento más abundante del Universo, se fusionen para formar átomos de helio en un proceso que libera grandes cantidades de energía ($E=mc^2$).

Se forman estrellas de diferentes tamaños. Eta Carinae, por ejemplo, es una de las más luminosas que se conocen en nuestra Galaxia (panel 15).

Las estrellas casi siempre se forman en grupos: los cúmulos estelares10[10] (panel 16 y 17). Todas las estrellas de un cúmulo se forman al mismo tiempo y, aunque coinciden en edad, no todas evolucionan al mismo ritmo: los procesos internos son lentos en las estrellas con poca masa -que pueden vivir miles de millones de años- y más rápidos

[9] El proceso de colapso de una nube interestelar hasta formar una protoestrella se conoce actualmente con bastante precisión y suele implicar la aparición de un disco de materia circunestelar que a largo plazo termina por desaparecer.

10 Parece muy probable que el Sol naciera en el seno de uno de estos grupos de estrellas. Sin embargo, los cúmulos estelares abiertos tienen poca masa (pocos miembros) y los avatares que sufren en su vida en el seno del disco galáctico terminan por disgregarlos en a lo sumo mil millones de años. Por lo tanto hay esparcidas por toda la Galaxia estrellas que son hermanas del Sol, aunque no tengamos manera de identificarlas.

en las estrellas de mayor masa, que completan su ciclo vital en pocos millones de años.

Hay cúmulos estelares jóvenes, que pueden contener miles de estrellas, y también los hay antiguos. Un ejemplo de cúmulo estelar joven es Las Pléyades o Siete Cabrillas (panel 18). La mitología griega identifica a sus siete miembros más brillantes con las siete hijas de Atlas y Pléyone. Este cúmulo se encuentra a 440 años-luz y está formado por estrellas jóvenes y calientes. El cúmulo Doble de Perseo consta de dos cúmulos estelares que se encuentran entre los más luminosos, densos y cercanos. Se cree que nacieron de una misma nube interestelar hace 13 millones de años. Los cúmulos de estrellas jóvenes se denominan también cúmulos abiertos o cúmulos galácticos (panel 19).

Los cúmulos antiguos, o globulares, son las agrupaciones de estrellas más viejas de la Galaxia. NGC6752, en la constelación austral del Pavo, y el cúmulo globular de Hércules, con una edad estimada de más de diez mil millones de años, son cúmulos estelares antiguos (panel 20).

Las estrellas convierten el hidrógeno en otros elementos químicos más pesados[11] por medio de procesos nucleares (fusión nuclear): aquí está la clave de la evolución química del Universo. La energía generada emerge a la superficie y atmósfera estelares. En la imagen ultravioleta puedes ver la región más externa del Sol, la corona solar (panel 21).

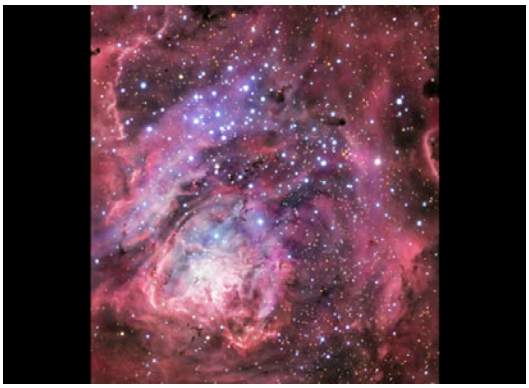
Cuando comienza este proceso, que constituye el motor de una estrella durante su vida, decimos que se ha formado una nueva estrella: una enorme esfera gaseosa cuya parte más externa, la atmósfera, podemos ver de forma directa. Poco queda ya alrededor de la estrella de la materia que la formó. Sin embargo, la materia del disco circunestelar puede condensarse y formar planetas, cometas o asteroides, es decir, un sistema planetario.

Panel 15 Se forman estrellas de tamaños diversos

La nebulosa de eta Carinae se encuentra en la constelación de la Quilla (Carina). A partir de estas nubes se forman estrellas de todos los tamaños, entre ellas la estrella eta Carinae, una de las más luminosas que se conocen en la Galaxia.

[11] Elementos químicos pesados: se denominan elementos pesados (o «metales» en la jerga astronómica) a todos los elementos químicos más pesados que el hidrógeno y helio. Constituyen una fracción mínima de la composición del Universo, frente al 80% en masa de hidrógeno y el 20% en masa de helio. Se originan a partir de procesos de fusión en el interior de las estrellas. Su presencia y abundancia es un indicador de la edad de éstas y del medio interestelar.

Panel 16 Las estrellas nacen en grupos



Las estrellas nacen en grupos. Estos grupos los puedes ver en la nebulosa Laguna, una región de intensa formación estelar. El grupo de estrellas que acaba de nacer a partir de esta nebulosidad se denomina NGC 6530 y su energía hace brillar con tonos rojizos el hidrógeno de la nebulosa. Otra región de formación estelar es el cúmulo estelar NGC3603. Contiene uno de los grupos de estrellas jóvenes más impresionantes de la Galaxia.

Panel 17 Las estrellas que nacen juntas forman un cúmulo estelar

Cuando una nube de polvo y gas se condensa, comienza la formación de estrellas. Estas nacen en grupo y forman cúmulos estelares como NGC 6520, que surgió hace 200 millones de años de la nebulosa oscura Barnard 86.

Panel 18 Hay cúmulos estelares jóvenes

En el Universo puedes encontrar cúmulos estelares jóvenes, como Las Pléyades o Siete Cabrillas. Este cúmulo está formado por estrellas jóvenes y calientes. La mitología griega identifica a sus siete miembros más brillantes con las siete hijas de Atlas y Pléyone.

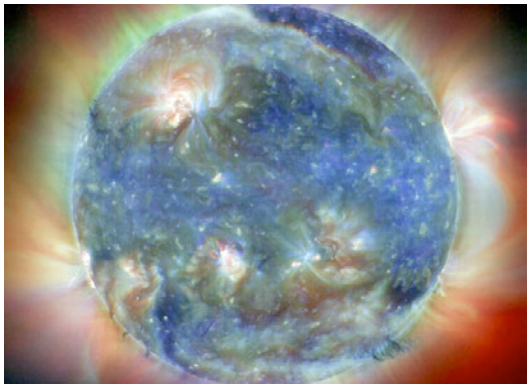
Panel 19 Los cúmulos jóvenes pueden tener miles de estrellas

Los cúmulos jóvenes llegan a contener miles de estrellas. Este es el caso del cúmulo Doble de Perseo. Estos dos cúmulos estelares se encuentran entre los más luminosos, densos y cercanos. Se cree que nacieron de una misma nube interestelar hace 13 millones de años. Los cúmulos de estrellas jóvenes se denominan también cúmulos abiertos o cúmulos galácticos.

Panel 20 También hay cúmulos estelares antiguos

En el Universo puedes encontrar también cúmulos estelares antiguos. Entre los cúmulos estelares antiguos está el cúmulo globular NGC6752, en la constelación austral del Pavo, y el cúmulo globular de Hércules, con una edad estimada de más de diez mil millones de años. Los cúmulos globulares son las estructuras más antiguas que se conocen en nuestra Galaxia.

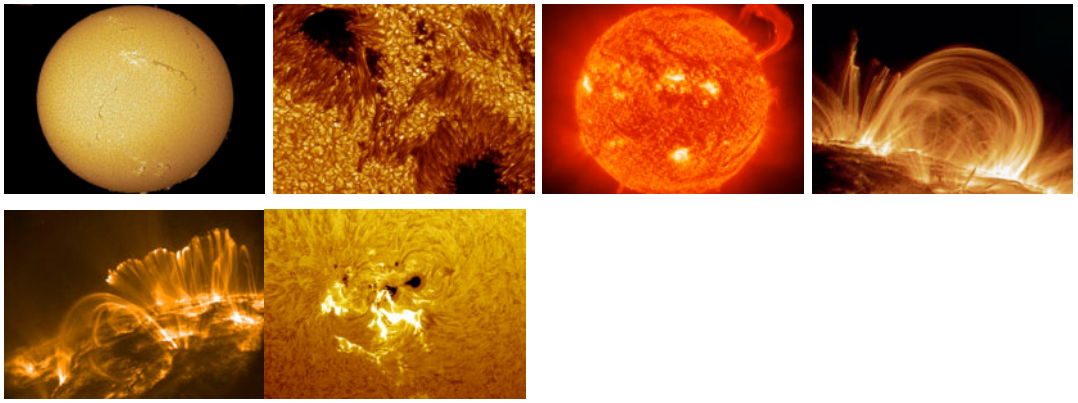
Panel 21 El hidrógeno se convierte en otros elementos químicos en el interior de las estrellas



Las estrellas tienen la misma composición química que las nebulosas de las que surgieron: principalmente hidrógeno y helio. En el centro de las estrellas, el hidrógeno se convierte en elementos químicos más pesados a través de reacciones de fusión nuclear. La energía generada en el proceso emerge a la superficie y atmósfera estelares. En esta imagen ultravioleta puedes ver la región más externa del Sol, la corona solar.

5.5 El Sol

Paneles 22, 23 y 24



Nos acercamos al Sol como ejemplo de estrella ordinaria pero cercana, en la que podemos contemplar todos los fenómenos energéticos de las estrellas con gran detalle.

Llamamos Sistema Solar al conjunto formado por nuestra estrella y los cuerpos que giran a su alrededor. El Sistema Solar consta del Sol, en el centro, ocho planetas, 97 satélites (conocidos, aunque pueden existir más), cuatro sistemas de anillos, millones de asteroides (con radio superior a 1 km), muchos millones de cometas, el viento solar (flujo de partículas cargadas procedentes del Sol que invaden el espacio interplanetario), y una gran nube de polvo. Estudiando estos cuerpos, tanto colectiva como individualmente, intentamos comprender el origen, formación y evolución del Sistema Solar; un proceso que comenzó, a partir de una nube de gas y polvo, hace 4600 millones de años.

El Sol es una estrella bastante común (panel 22), que emite la mayor parte de su radiación en luz visible y cuya atmósfera se compone, en lo que se refiere al número

de partículas, de un 95% de hidrógeno, un 3% de helio y el 2% restante de elementos pesados (como el hierro o el magnesio).

Produce energía mediante la fusión de átomos de hidrógeno para dar lugar a helio[12], de tal forma que esa energía se abre camino hasta la superficie de la estrella y se emite en forma de radiación visible. En la imagen, obtenida con la luz que emiten los átomos de hidrógeno, se pueden ver los detalles de la superficie solar o fotosfera.

La temperatura central del Sol, donde la fusión tiene lugar, asciende a 15 millones de grados, mientras que en la superficie es «tan solo» de 5600 grados. Una estrella con las características del Sol tiene una vida media de unos 9000 a 10 000 millones de años, de modo que nuestra estrella ha vivido ya la mitad de su existencia.

A pesar de ser bastante tranquila, exhibe una cierta actividad que afecta a su entorno. Las manchas solares[13] (panel 23) son la manifestación más frecuente de la actividad solar, son regiones de la fotosfera solar[14] que se enfrían porque el campo magnético solar bloquea la salida de energía (por eso aparecen más oscuras). La fotosfera tiene, en promedio, una temperatura de unos 6000 grados; las manchas tienen una temperatura de aproximadamente 1000 grados menos.

La cromosfera se extiende por encima de la superficie visible, la fotosfera, y está limitada superiormente por la atmósfera solar, o corona. Las imágenes se han obtenido con luz ultravioleta, ya que no se puede ver en condiciones normales debido a la débil luz que emite. En la imagen puedes ver una gran erupción solar que expulsa materia hacia la atmósfera exterior, aunque como hemos dicho anteriormente, el Sol es una estrella bastante tranquila y de brillo constante (panel 23).

---

12 La reacción de fusión básica de una estrella se puede representar sintéticamente así: 4H→He+E. Teniendo en cuenta las masas atómicas,

$4 \times 1.008 \rightarrow 4.003+(0.029 \times c^2)$

Esta energía proviene de la transformación de la masa perdida en esa reacción según la ecuación de Einstein. La energía liberada en estas reacciones nucleares es un millón de veces mayor que la liberada en una reacción química (combustión), lo que explica que se alcance una temperatura de 15×10^6 grados en el núcleo del Sol.

13 Las manchas solares aparecen más oscuras que su entorno porque están más frías, pero no debemos pensar por ello que se trate de verdaderas zonas negras. En realidad, si recortáramos una mancha solar y la colocáramos en el cielo de la noche resplandecería como una estrella. Nos parecen oscuras solo por contraste con los alrededores, más calientes.

14 Estructura del Sol:

Corona: tenue atmósfera exterior del Sol. Es visible en los eclipses totales. Se expande continuamente hacia el espacio en un 'viento' de partículas cargadas (principalmente protones y electrones), que se mueven con velocidades entre 300 y 600 km/s, el viento solar, y que es el responsable fundamental de las auroras boreales y de otros fenómenos magnéticos de la atmósfera terrestre. Este viento representa una pérdida de masa solar de unas 2 toneladas por segundo.

Cromosfera: fina capa (8000 km) irregular en la superficie, que se encuentra muy afectada por la actividad magnética. Se sitúa entre la corona y la fotosfera.

Fotosfera (significa esfera de luz) es la superficie visible del Sol. Es una capa de gas de la que procede casi toda la luz que recibimos del Sol, aunque la fuente de energía se encuentra en el núcleo solar. En ella podemos encontrar manchas solares, protuberancias y campos magnéticos.

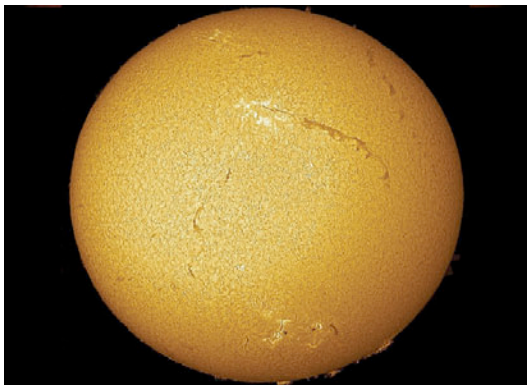
Zona de convección: zona en la que la energía procedente del núcleo se transporta por convección.

Zona de radiación: en la que la energía procedente del núcleo se transporta por radiación.

Núcleo: el gas del interior del Sol está formado por 75% en masa de H, 23% en masa de He y el resto por elementos más pesados. En él se dan las reacciones de fusión nuclear.

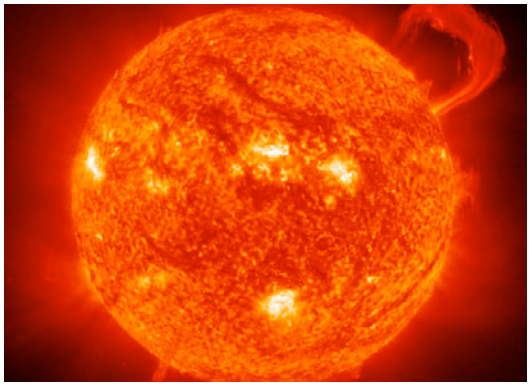
Otra de las manifestaciones de la actividad solar son los bucles coronales y las fulguraciones solares. Los bucles coronales son estructuras arqueadas formadas por gas extremadamente caliente y con carga eléctrica, en la corona solar. Este gas cae de nuevo y desencadena una fulguración explosiva conocida como lluvia coronal. En cambio, las fulguraciones solares son unas erupciones violentas que aparecen en los alrededores de las manchas solares (panel 24).

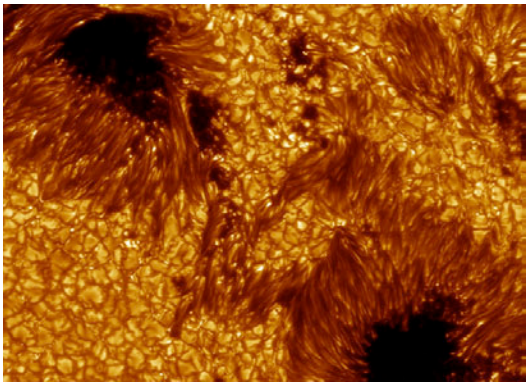
Panel 22 El Sol es una estrella normal...



El Sol es una estrella corriente. Se encuentra a 8.3 minutos-luz de nuestro planeta. En esta imagen, obtenida con la luz que emiten los átomos de hidrógeno, puedes ver detalles de la superficie solar o fotosfera solar.

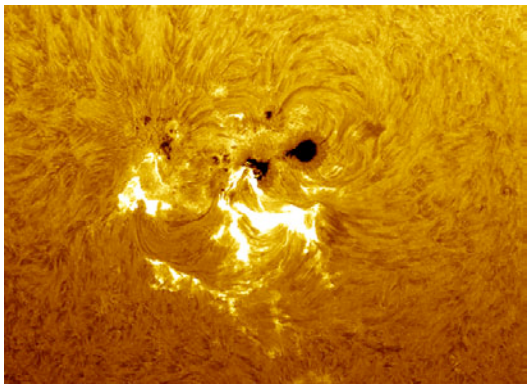
Panel 23 ...y bastante tranquila





Al mirar en detalle el Sol, se aprecian las manchas solares. Son regiones que se enfrían porque el campo magnético solar bloquea la salida de energía. Las manchas son la manifestación más frecuente de la actividad solar. En imágenes obtenidas con luz ultravioleta puedes ver detalles de la cromosfera solar. Esta es la capa intermedia entre la visible y la corona solar. En la imagen puedes ver una gran erupción solar que expulsa materia hacia la atmósfera exterior, aunque nuestra estrella es bastante tranquila y de brillo constante.

Panel 24 La actividad solar afecta al entorno de nuestra estrella



Entre las manifestaciones de la actividad solar se encuentran los bucles coronales. Son unas estructuras arqueadas formadas por gas extremadamente caliente y con carga eléctrica, en la corona solar. Este gas cae de nuevo y desencadena una fulguración explosiva conocida como lluvia coronal. Otras manifestaciones de la actividad solar son las fulguraciones solares, unas erupciones violentas que aparecen en los alrededores de las manchas solares.

5.6 Los planetas (y cometas)

Paneles 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31

Muchas estrellas están acompañadas de planetas. Los paneles siguientes nos aproximan a los mundos opacos del Sistema Solar.

El Sol va acompañado de ocho planetas que giran a su alrededor[15]. Según su composición podemos clasificarlos en dos grupos: terrestres o rocosos y los gigantes gaseosos o jovianos. En el grupo de los planetas gigantes, hechos sobre todo de gas, encontramos a Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Se caracterizan por tener una densidad media baja y una atmósfera de hidrógeno-helio muy densa, probablemente capturada de la nebulosa solar durante su formación. De hecho, la composición de estos planetas se parece a la del Sol, ligeramente enriquecida de elementos pesados (nitrógeno, carbono, fósforo, azufre…). Estos planetas carecen de una superficie sólida, aunque muy probablemente contienen un núcleo sólido de silicatos y hierro de unas diez veces la masa terrestre. Sus atmósferas presentan bandas de diferentes «colores», originadas por las capas de nubes a diferentes alturas y de diferente composición que reflejan la luz solar y se ven afectadas por ciclones y anticiclones.

Júpiter es el mayor del Sistema Solar y la imagen ha sido obtenida con luz infrarroja para mostrar la altitud de las nubes (panel 25). Algunos de estos ciclones y anticiclones presentes en las atmósferas de los planetas son tan estables que han permanecido durante decenas y centenares de años, como la gran mancha roja de Júpiter (panel 26), que en realidad es un anticiclón[16]. Otras bandas se desplazan de sur a norte sin perder su forma (la mancha oscura de Neptuno), o se engullen unas a otras, desaparecen y renacen.

Urano es el tercer planeta más grande y el séptimo en orden de distancia al Sol. Está rodeado por cinco finísimos anillos. En Urano el metano absorbe la luz roja y le confiere un tono verde-azulado (panel 26). Otro de los planetas gigantes que puedes ver en el cielo es Saturno (panel 27), el más bello de los mundos gaseosos del Sistema Solar[17]. Esta imagen fue captada por la sonda espacial Cassini y en ella se

---

15 A finales del siglo XVI Tycho Brahe había acumulado multitud de observaciones sobre el movimiento de los cuerpos planetarios. Fue su discípulo Johannes Kepler el que consiguió interpretarlos en forma de leyes, que expresan las condiciones que cumplen las órbitas de todos ellos. De manera esquemática son:

1ª. Los planetas se mueven describiendo elipses en uno de cuyos focos está el Sol. Esta ley es válida para todos los cuerpos planetarios (cambiando el Sol por un planeta, en el caso de los satélites); además, en el caso de los planetas esa elipse es, en general, muy poco excéntrica (o sea casi una circunferencia).

2ª. Las áreas barridas por los radios-vectores que unen al Sol con un planeta son iguales para tiempos iguales. La consecuencia inmediata de esta ley es que el planeta se mueve a velocidad tanto más alta cuanto más cerca está del Sol.

3ª. El cuadrado del periodo de revolución (T) de un planeta es proporcional al cubo del semieje mayor de su órbita (d): $T^2 = k \times d^3$

Los cuerpos planetarios giran en sus órbitas elípticas de modo que, contemplados desde el hemisferio norte celeste, el sentido de giro es opuesto al de las agujas del reloj (revolución directa). Al sentido contrario se le llama revolución retrógrada. Estas conclusiones permitieron entender muchas de las paradojas que habían creado las observaciones acumuladas.

El hecho de que unos cuerpos crucen en ocasiones las órbitas de otros se debe a que no todas las órbitas tienen la misma excentricidad. Estas órbitas irregulares se deben a interacciones entre los cuerpos planetarios, algunas producidas probablemente en el origen mismo del sistema, y otras más recientes.

Una interacción orbital muy importante, que deriva de la tercera ley de Kepler, tiene un significado especial; cuando la velocidad orbital de un cuerpo planetario está en una relación sencilla con la de otro próximo (1/2, 1/3, 1/4, etc.) los dos cuerpos coincidirán en las mismas posiciones orbitales cada cierto número de órbitas; y esa coincidencia determinará que la atracción gravitatoria expulsará al menor de su órbita. Estas perturbaciones repetidas se llaman “resonancias”; por tanto, las “órbitas resonantes” son órbitas “prohibidas” para los cuerpos pequeños. En cambio, otros cuerpos comparten la misma órbita de forma estable, como sucede con los grupos se asteroides “troyanos”, que preceden y siguen a Júpiter en su órbita, exactamente a 60º del planeta. Los “troyanos” están situados en puntos “lagrangianos”, en los que las combinaciones de fuerzas y movimientos del Sol, Júpiter y los asteroides inducen una "isla" de estabilidad orbital.

Por otra parte, además del movimiento alrededor del Sol (o del planeta) todos los cuerpos planetarios giran alrededor de sí mismos con un movimiento que se conoce como “rotación”. La velocidad de rotación es muy variada en cada caso dependiendo, tanto del valor que tuviera inicialmente al originarse el sistema, como del efecto de frenado que ejerce el campo gravitatorio de los cuerpos próximos. Así se explica que Mercurio tenga una velocidad muy baja debido a su proximidad al Sol; que la Luna haya llegado a igualar su velocidad de rotación a la de traslación, debido a la atracción de la Tierra.

16 La mancha roja de Júpiter la descubrió Christiaan Huygens en el siglo XVII y desde entonces se ha mantenido activa, aunque con notables cambios de color a lo largo del tiempo. Probablemente existía desde hacía siglos, y puede que dure varios siglos más.

17 En general, si un satélite está demasiado cerca de su planeta, la atracción mareal que sufre su parte próxima es mucho mayor que la de la parte opuesta, lo cual conduciría a su fragmentación. Por lo tanto, se puede calcular la distancia mínima necesaria para que esto no ocurra y el satélite pueda permanecer con suficiente estabilidad en su órbita; el cálculo indica que esta distancia mínima es,

aprecian las sombras que sus miles de anillos individuales proyectan sobre el hemisferio boreal del planeta. También se ven algunas zonas tormentosas en el hemisferio austral.

El grupo de los planetas rocosos está constituido por los planetas pequeños: Mercurio, Venus, la Tierra, y Marte, todos ellos con superficie sólida y un núcleo de hierro y rocas ricas en silicio. Marte es un planeta rocoso más pequeño que la Tierra que llega a acercarse a tan sólo 3 minutos-luz (panel 28). Es observable a simple vista si se dan las condiciones necesarias. En la imagen captada por la sonda Mars Global Surveyor puedes ver nubes formadas por cristales de hielo de agua. Abajo a la izquierda hay nubes que cubren las cumbres de los tres volcanes de Tharsis. En la parte superior se ve la cubierta de hielo del casquete polar norte.

Otro planeta rocoso es la Tierra (panel 29). La imagen muestra una vista sobre el Atlántico Norte. No se trata de una foto real, sino de una imagen sintetizada a partir de datos de satélites artificiales. Nuestro planeta cuenta con un satélite natural, la Luna. El paisaje lunar está formado por terrenos elevados claros y llanuras oscuras rellenas de lava solidificada conocidas como los mares lunares.

Los cometas también forman parte del Sistema Solar. Son bloques de hielo de cientos de metros o varios kilómetros que, cuando se subliman con la radiación solar, emiten gases y polvo que forman la cabellera y la cola (panel 30).

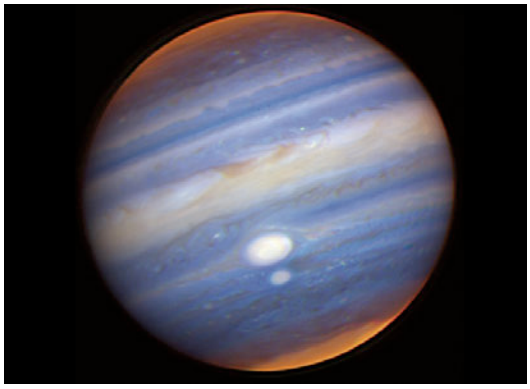
Muchas estrellas poseen planetas a su alrededor desde el mismo momento de su nacimiento[18]. En las nebulosas que poseen mayor cantidad de polvo muchas de las estrellas nacen acompañadas de planetas. Este es el caso de las nebulosas de la Corona Austral (panel 31), que se muestran como una larga cola de polvo interestelar que brilla alumbrada por las estrellas jóvenes cercanas. Aproximadamente un tercio de las estrellas posee planetas a su alrededor.

---

aproximadamente, 3 veces el diámetro del planeta, lo que se conoce como "límite de Roche". La hipótesis más aceptada acerca del origen de los anillos de Saturno consiste en que un cuerpo (quizá un cometa, quizá un satélite) se adentró más allá del límite de Roche y fue destruido: los anillos son sus restos.

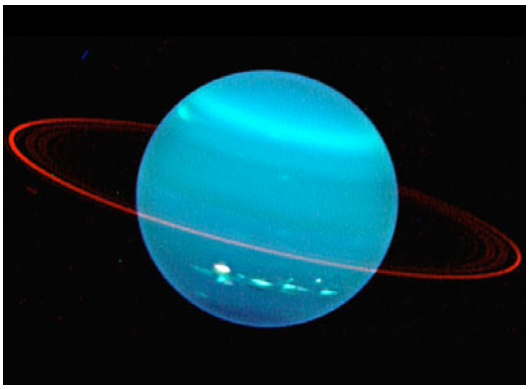
[18] Es evidente que no pueden formarse planetas rocosos (formados por silicatos, hierro, etc.) en un Universo donde sólo existan hidrógeno y helio. Pero los modelos indican que tampoco los planetas gaseosos se llegan a desarrollar en esas condiciones. Por tanto, un Universo de hidrógeno y helio es un Universo sin planetas. La fabricación de «metales» en el seno de las estrellas y su posterior devolución al medio interestelar constituye un paso crucial para la formación de los mundos y la vida. Cuantos más «metales» contenga una nebulosa, más probable es la aparición de planetas alrededor de las estrellas que nazcan en su seno.

Panel 25 El Sol va acompañado de planetas gigantes como Júpiter



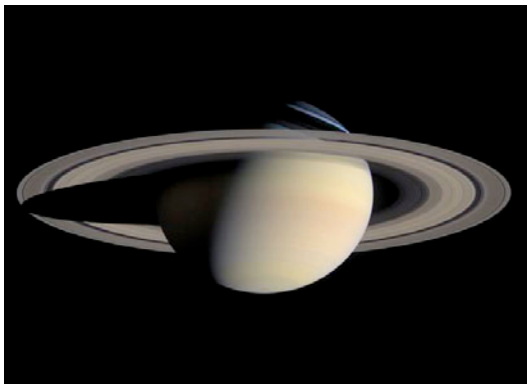
Nuestra estrella va acompañada de planetas, entre ellos el nuestro. El mayor de los planetas del Sistema Solar es Júpiter. Si se observa con luz visible Júpiter aparece con tonos marrones y crema. En esta imagen obtenida con luz infrarroja se muestra la altitud de las nubes, desde las más elevadas en blanco, pasando por las medias en azul, hasta las más bajas en rojo.

Panel 26 Los planetas gigantes están hechos de gas



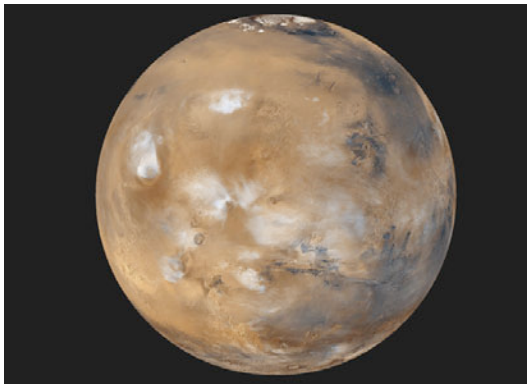
En Júpiter puedes observar una gran mancha roja. Se trata de un anticiclón del tamaño de la Tierra, ubicado en el hemisferio austral. Otro de estos planetas gigantes es Urano. Es el tercer planeta más grande y el séptimo en orden de distancia al Sol. Estos planetas gigantes están hechos de gas. En Urano el metano absorbe la luz roja y le confiere un tono verde-azulado.

Panel 27 Saturno es el más bello de los planetas gaseosos del Sistema Solar



Otro de los planetas gigantes que puedes ver en el cielo es Saturno, el más bello de los mundos gaseosos del Sistema Solar. Esta imagen fue captada por la sonda espacial Cassini y en ella se aprecian las sombras que los anillos proyectan sobre el hemisferio boreal del planeta. También se ven algunas zonas tormentosas en el hemisferio austral.

Panel 28 Los planetas pequeños son rocosos, como Marte...



Al mirar por la noche al cielo en las circunstancias adecuadas puedes ver Marte, un planeta rocoso más pequeño que la Tierra. En la imagen captada por la sonda Mars Global Surveyor puedes ver nubes formadas por cristales de hielo de agua. Abajo a la izquierda hay nubes que cubren las cumbres de los tres volcanes de Tharsis. En la parte superior se ve la cubierta de hielo del casquete polar norte.

Panel 29 ...o como la Tierra con su Luna

Otro planeta rocoso es la Tierra. La imagen muestra una vista sobre el Atlántico Norte. Esta imagen se generó mediante el sistema informático 'Blue Marble' de la NASA, que integra datos de varios satélites artificiales. Nuestro planeta cuenta con un satélite, la Luna que se encuentra a 1.25 segundos-luz. El paisaje lunar está formado por terrenos elevados claros y llanuras oscuras rellenas de lava solidificada conocidas como los mares lunares. Toda la superficie lunar muestra marcas de cráteres debidas a impactos de meteoritos.

Panel 30 Los cometas son cuerpos pequeños y helados del Sistema Solar

Los cometas que circulan por nuestro Sistema Solar son pequeños bloques de hielo de cientos de metros o varios kilómetros que, cuando se subliman con la radiación solar, emiten gases y polvo que forman la cabellera y la cola. Ejemplos de estos cometas son el cometa Machholz, C/2001 Q4 y el cometa Hale-Bopp.

Panel 31 Muchas estrellas nacen acompañadas de planetas

En las nebulosas que poseen mayor cantidad de polvo muchas de las estrellas nacen acompañadas de planetas. Este es el caso de las nebulosas de la Corona Austral, que se muestran como una larga cola de polvo interestelar que brilla alumbrada por las estrellas jóvenes cercanas. Aproximadamente un tercio de las estrellas posee planetas a su alrededor.

5.7 Muerte estelar: el origen de la vida

Paneles 32, 33, 34, 35

Se completa el ciclo de la evolución química del Universo con los mecanismos que hacen que las estrellas moribundas entreguen al espacio los elementos pesados forjados en sus interiores.

El agotamiento del hidrógeno en el centro marca el principio del fin en la vida de una estrella. Para mantener su equilibrio[19], la estrella crece desmesuradamente y se convierte en una gigante roja, con un tamaño similar a la distancia desde la Tierra -o incluso desde Júpiter- al Sol. Al final de esta etapa la estrella expulsa lentamente la atmósfera, que forma una envoltura gaseosa alrededor del núcleo. La masa inicial de la estrella desempeña un papel crucial en su final. Los modelos teóricos y las observaciones indican que, si la masa estelar no alcanza unas siete u ocho veces la masa del Sol, la estrella expulsará toda su atmósfera y dejará al descubierto un

[19] Las estrellas mantienen su estructura gracias al equilibrio entre la presión ejercida hacia fuera por la producción de energía y la compresión que ejerce hacia el interior el propio peso del astro. El equilibrio entre producción de energía y gravitación determina el tamaño de la estrella, que puede ir variando a lo largo de su vida a medida que se alteran las condiciones en el seno del objeto.

núcleo caliente que ilumina la envoltura. Se forma entonces una nebulosa planetaria cuyo núcleo, una enana blanca con temperaturas de decenas de miles grados y tamaño similar al de la Tierra, es incapaz de producir energía y se enfría lentamente hasta perderse de vista.

Las estrellas como el Sol, por ejemplo la que hay en el centro de la nebulosa planetaria Hélice (panel 32), mueren de forma tranquila. En la imagen se aprecia la nebulosa planetaria, la envoltura gaseosa que emiten las estrellas al final de su existencia, devolviendo al medio interestelar parte del material que conformó su interior.

Otras estrellas más pesadas mueren en explosiones cataclísmicas. Las estrellas que superan en unas siete u ocho veces la masa del Sol explotan como supernovas[20], uno de los fenómenos más violentos del Universo: lanzan la materia estelar al espacio a velocidades de miles de kilómetros por segundo y sólo queda el núcleo central, de pocos kilómetros de diámetro. Este núcleo puede desarrollarse como una estrella de neutrones que gira rápidamente -un púlsar- o, si su masa es mayor que 3.2 veces la del Sol, como un agujero negro, una concentración de materia tal que ni la luz puede escapar de la acción de su gravedad. La energía emitida por la estrella de neutrones que hay en el centro de la nebulosa del Cangrejo hace que el gas nebular emita además de luz, ondas de radio (panel 33).

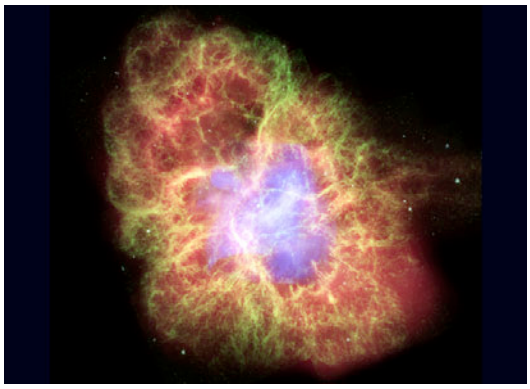
La muerte estelar enriquece el Universo con elementos más pesados que el hidrógeno, átomos forjados en los interiores estelares. Así, las estrellas aportan al Cosmos los elementos necesarios para la vida (panel 34). Tales elementos químicos son los que encontramos en la Tierra y que conforman el material del que estamos hechos los seres vivos. Tras largos procesos dinámicos, la materia expulsada por las estrellas se agrupará y desencadenará la formación de una siguiente generación de estrellas. En la nebulosa Trompa de Elefante tenemos un ejemplo de nebulosa muy enriquecida en elementos pesados, como lo evidencia su alto contenido de polvo. Se aprecia un fragmento nebular pequeño y brillante dentro de su región más oscura. Se trata de una estrella recién nacida (panel 35): probablemente estén surgiendo planetas a su alrededor.

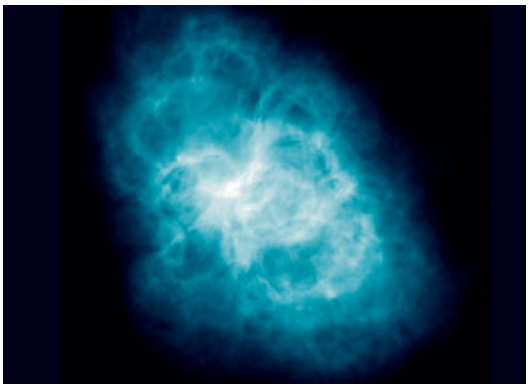
[20] Cuando las estrellas masivas entran en una crisis energética final debido al agotamiento absoluto de sus fuentes de energía interna, entonces ya no hay nada que contrarreste la tendencia a la contracción inducida por la gravitación. La estructura de la estrella se derrumba y esto induce la explosión de la supernova. Este es el proceso que desencadena las supernovas de tipo II, también llamadas supernovas gravitatorias. Existen otros tipos de explosiones estelares cataclísmicas, también llamadas supernovas termonucleares, que se producen a través de un mecanismo totalmente diferente, en concreto debido al intercambio de masa entre una estrella normal y una enana blanca que orbita a su alrededor. Las más importantes de las supernovas termonucleares son las conocidas como de tipo Ia. Hay que subrayar el hecho de que las estrellas, en el curso de su vida normal, solo llegan a sintetizar los elementos químicos más ligeros que el hierro o el níquel. Todos los demás se generan en el curso de las explosiones de supernovas. De ahí su importancia crucial para la evolución química del Universo.

Panel 32 Las estrellas como el Sol mueren de forma tranquila

En la nebulosa planetaria Hélice se aprecia la envoltura gaseosa resplandeciente y tenue que expulsan las estrellas semejantes al Sol al final de su existencia. Las estrellas como la nuestra mueren de forma tranquila devolviendo al medio interestelar parte del material que conformó su interior.

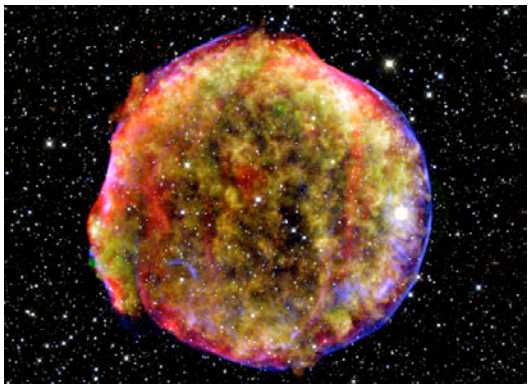
Panel 33 Otras estrellas mueren en explosiones cataclísmicas





Al Sol le espera un final tranquilo, pero existen otras estrellas que mueren en explosiones cataclísmicas o supernovas. Algunas explosiones de supernovas dejan tras de sí objetos compactos llamados estrellas de neutrones. La energía emitida por la estrella de neutrones que hay en el centro de la nebulosa del Cangrejo hace que el gas nebular emita además de luz, ondas de radio. Estas explosiones esparcen a gran velocidad por el espacio interestelar elementos químicos pesados creados a partir del hidrógeno a lo largo de la vida de la estrella.

Panel 34 Las muertes estelares enriquecen el Universo con elementos pesados



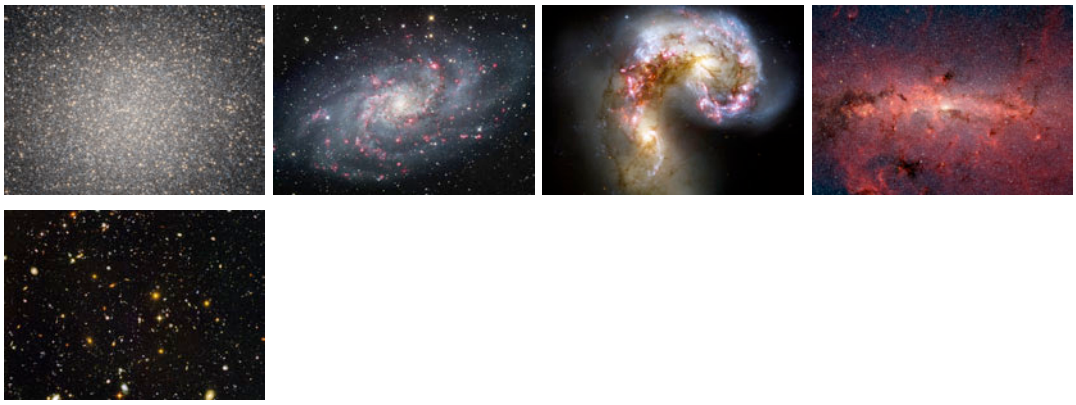
Las explosiones estelares son el único medio del que dispone el Universo para generar muchos de los elementos químicos necesarios para la vida. La nebulosa G292.0+1.8 se formó en una explosión de supernova cercana hace unos miles de años. En la supernova de Tycho se ve cómo el material se encuentra en expansión y se está mezclando con el medio interestelar para en el futuro formar parte de otras nebulosas.

Panel 35 Las estrellas aportan al Cosmos los elementos necesarios para la vida

Los materiales expulsados por las estrellas al final de sus vidas se incorporan a las nebulosas interestelares y nutren la formación de nuevas generaciones de estrellas y planetas. Las estrellas aportan al Cosmos los elementos necesarios para la vida. Las nuevas generaciones estelares surgen a partir del material enriquecido en elementos químicos pesados generados por estrellas que existieron y desaparecieron. En la nebulosa Trompa de Elefante puedes ver un fragmento nebular pequeño y brillante dentro de su región más oscura. Se trata de una estrella recién nacida.

5.8 El eterno retorno

Paneles 36, 37, 38, 39, 40



Después de la visión en detalle de la producción de elementos químicos en las estrellas y su difusión por el Universo, el punto de vista se aleja para mostrar que los procesos de nacimiento (y, por tanto, muerte) de las estrellas se mantienen activos en el Universo actual a las mayores escalas. Los procesos que han dado lugar a la aparición del Sol, los planetas y la vida se están produciendo ahora, y lo seguirán haciendo, a todo lo ancho y largo de un Universo cuya vastedad supera la capacidad de la imaginación.

La formación y muerte de estrellas y planetas se mantiene activa en nuestra Galaxia y en otras, como en la galaxia del Triángulo (panel 36). Esta es una galaxia espiral con los brazos tachonados de nebulosas rosadas que emiten luz con el color característico del hidrógeno ionizado[21], el signo más destacado de que se están formando estrellas en la actualidad. Esta galaxia es la tercera más grande del Grupo Local.

La mayor parte de las galaxias vive en comunidades, lo que provoca colisiones entre ellas que dan lugar a formas espectaculares. La formación estelar es más intensa en galaxias que colisionan. En la imagen puedes ver dos galaxias denominadas Las Antenas, en pleno proceso de colisión (panel 37). El choque violento de las masas nebulosas de los dos sistemas estelares comprime el gas e induce episodios intensos de formación de estrellas. En un futuro remoto nuestra Galaxia chocará con la galaxia de Andrómeda[22].

A lo largo de la exposición hemos recorrido los procesos de formación de estrellas, generación de elementos químicos pesados, su difusión por el espacio y el retorno de

---

[21] Las nebulosas de hidrógeno ionizado ya han aparecido a lo largo de la exposición, con sus formas imposibles y sus tonalidades características rosadas y rojizas. En otras galaxias se aprecian también estas nebulosidades rosadas, lo cual indica que en esos lugares se desarrolla en estos momentos una intensa formación estelar. Hay incluso galaxias que experimentan episodios violentos de formación estelar (las galaxias con formación estelar eruptiva, o starburst galaxies). El ritmo de formación estelar en nuestra Galaxia es algo menos intenso que en la galaxia del Triángulo.

[22] Una colisión de galaxias evoca una catástrofe de proporciones apocalípticas. Sin embargo, la situación no es tan grave como pudiera parecer en un principio. Cuando dos galaxias chocan, sus estrellas se entrecruzan como los naipes al barajar un mazo de cartas: jamás llega a producirse una colisión frontal entre estrellas, porque las estrellas son muy pequeñas comparadas con las distancias que las separan, incluso en las zonas más densas de cualquier galaxia. El panorama es diferente en lo que respecta al gas. Las nubes de gas sí poseen dimensiones grandes comparadas con las distancias que median entre ellas, de modo que en una colisión de galaxias es inevitable que se produzcan choques frontales, violentísimos, entre masas nebulosas. Estos choques implican la condensación y calentamiento de los gases, y este proceso induce la formación estelar a gran escala. Cuando dos galaxias chocan, una proporción muy grande del gas y el polvo que contienen se colapsan y se convierten en estrellas. De ahí que las galaxias en colisión (como el ejemplo de Las Antenas) exhiban regiones de hidrógeno ionizado extensas y muy brillantes. Faltan miles de millones de años para que nuestra Galaxia choque con la de Andrómeda. Cuando esto suceda al Sol no le ocurrirá nada malo (si es que aún existe para entonces), pero los cielos de los mundos que pueblan nuestra Galaxia se llenarán del resplandor rosado de las nebulosas de hidrógeno ionizado, y la formación acelerada de estrellas masivas encenderá los cielos con frecuentes explosiones de supernova.

ese material a las nebulosas a partir de las que se formarán nuevas estrellas y planetas en el futuro. Este ciclo, una especie de eterno retorno químico a escala astronómica, se produce en todo el Cosmos a gran escala. La inmensa cantidad de estrellas que pueblan nuestra Galaxia da una medida de la eficacia de estos procesos (panel 38). Otras galaxias son semejantes a la nuestra, y se conocen cientos de miles de millones de ellas en el Universo observable. La imagen captada por el Hubble (panel 39) nos puede dar una idea de la inmensidad insondable que la astronomía moderna nos ha desvelado a lo largo de los cuatrocientos años trascurridos desde el primer uso del telescopio. Ahora vemos el Universo de otro modo y, por lo tanto, entendemos nuestro lugar en él de una manera distinta: entendemos la extraordinaria pequeñez de nuestro mundo en un Cosmos antiguo y enorme, y comprendemos que la materia que nos conforma y la energía que nos impulsa son producto de las estrellas. Habitamos un planeta cualquiera en una inmensidad quizá infinita (panel 40) de mundos en evolución.

Panel 36 La formación estelar se mantiene activa en nuestra Galaxia y en otras

La formación estelar se mantiene activa en nuestra Galaxia y en otras. En la galaxia del Triángulo, existen indicios de formación estelar. Es una galaxia espiral con los brazos tachonados de nebulosas rosadas que emiten luz con el color característico del hidrógeno ionizado, el signo más destacado de que se están formando estrellas en la actualidad. Esta galaxia es la tercera más grande del Grupo Local.

Panel 37 La formación estelar es más intensa en las galaxias que colisionan

Cuando las galaxias colisionan se desencadena una formación estelar intensa. Este hecho lo puedes ver en dos galaxias denominadas Las Antenas, en pleno proceso de colisión. El choque violento de las masas nebulosas de los dos sistemas estelares comprime el gas e induce episodios intensos de formación de estrellas. En un futuro remoto nuestra Galaxia chocará con la galaxia de Andrómeda.

Panel 38 Cada galaxia contiene una multitud inmensa de estrellas

En la imagen puedes contemplar el centro de nuestra Galaxia visto con luz infrarroja. Aparece más de un millón de estrellas. Se estima que hay varios cientos de miles de millones de astros en nuestra Galaxia.

Panel 39 Hay cientos de miles de millones de galaxias en el Universo observable

El telescopio espacial Hubble captó objetos cien millones de veces más débiles que la estrella más tenue perceptible a simple vista. En la imagen hay más de 10 000 objetos, lo que nos da una idea de los cientos de miles de millones de galaxias que existen en nuestro Universo.

Panel 40

Al mirar el cúmulo globular omega Centauri puedes hacerte una idea de la grandeza del Cosmos. “Hay, por lo tanto, soles innumerables y tierras infinitas que giran por igual en torno a aquellos soles, tal y como vemos a estas girar en torno a este sol cercano a nosotros”, como afirmó Giordano Bruno en su obra ‘Del infinito: el Universo y los mundos’.