



MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

DOCUMENTALES CIENTÍFICOS

GUIONES DE LA SERIE PARA TELEVISIÓN H-ALPHA

H- Alpha es el título de la serie de divulgación astronómica que el Museo de la Ciencia y el Cosmos ha realizado con el patrocinio de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) del Ministerio de Economía y Competitividad en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y Radio Televisión Española (RTVE).

A lo largo de 13 capítulos se abordan las principales líneas de investigación que se realizan hoy día en astrofísica: el funcionamiento del Sol, vida y muerte de las estrellas, el principio del Universo, meteoritos, Universo oculto, astrofísica del futuro, etc.

Como parte del objetivo del Museo de la Ciencia y el Cosmos de acercar los contenidos científicos a escolares, educadores y público interesado en la ciencia, desde la web de los Museos de Tenerife se pueden descargar los 13 guiones que han dado lugar a esta serie de divulgación y que suponen un importante trabajo de documentación y síntesis para acercar la astronomía a todo tipo de público.

Muy pronto podremos ver en la televisión pública y los canales de los Museos de Tenerife la serie H-ALPHA.

RELACIÓN DE CAPÍTULOS:

CAPÍTULO 1: EL SOL. ¿Qué ocurriría si el Sol se apagara?

CAPÍTULO 2: HELIOSISMOLOGÍA. ¿Se puede ver dentro del Sol?

CAPÍTULO 3: COSMOLOGÍA. ¿De dónde venimos?

CAPÍTULO 4: TELESCOPIOS. ¿Podemos viajar en el tiempo?

CAPÍTULO 5: EVOLUCIÓN ESTELAR. ¿Somos polvo de estrellas?

CAPÍTULO 6: EXOPLANETAS. ¿Estamos solos en el Universo?

CAPÍTULO 7: METEORITOS. ¿Nos puede tocar la lotería cósmica?

CAPÍTULO 8: ASTEROIDES. ¿Es la vida un golpe de efecto?

CAPÍTULO 9: SUPERTELESCOPIOS. ¿El tamaño importa?

CAPÍTULO 10: INFRARROJOS: ¿Cuánto calor hace en el Universo?

CAPÍTULO 11. ALTAS ENERGÍAS. ¿Nos llegan rayos del espacio?

CAPÍTULO 12: CONTAMINACIÓN: ¿Cuándo desaparecieron las estrellas?

CAPÍTULO 13: ASTROFÍSICA DEL FUTURO. ¿Cómo será la astrofísica del siglo XXI?

MUSEO
DE LA
CIENCIA Y
EL COSMOS

ORGANISMO
AUTÓNOMO DE
MUSEOS Y CENTROS



MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 1: EL SOL

¿QUÉ OCURRIRÍA SI EL SOL SE APAGARA?

- **ARRANQUE**

ALF (OFF)

El Sol, una estrella como cualquiera de las que observamos de noche.

En comparación con las otras estrellas, no es demasiado grande ni demasiado brillante ni demasiado vieja.

Sin embargo, para nosotros es el astro más especial de todos.

El Sol gobierna el conjunto de nuestro Sistema Solar.

Y nos proporciona la luz y el calor imprescindibles para la vida.

Un horno que se formó hace 4.500 millones de años y que aún sigue encendido.

Pero, ¿qué pasaría si el Sol se apagara ahora mismo?

CABECERA

- **SEC. EXT. OBSERVATORIO DEL TEIDE. DIA**

ALF (OFF)

Me llamo Alfred y soy astrofísico. Desde hace unos años comparto la investigación con la divulgación científica. Cuanto más aprendo sobre el Universo más me

GUIONES DE LA SERIE DE DIVULGACIÓN ASTROFÍSICA H-ALPHA 3.

sorprende y apasiona. Y es esta la pasión que me gustaría contagiarles.

El conocimiento siempre empieza con una pregunta. Éste es el motor de la ciencia. Por esta razón, una pregunta nos guiará durante cada episodio.

Alfred se detiene. Habla dirigiendo la mirada hacia un entrevistador externo que nunca vemos.

ALF

(Repitiendo la pregunta del entrevistador)
¿Qué 'qué pasaría si el Sol se apagara'?
Lo mejor para responder cualquier pregunta es formularla a quien más sabe; en este caso, un físico solar.

ALF

Y que mejor lugar para encontrar a uno que aquí, el Observatorio del Teide del Instituto de Astrofísica de Canarias, uno de los mejores observatorios del mundo, dedicado preferentemente al estudio del Sol.

Alfred sigue caminando y llega a la entrada del telescopio VTT. Apreciamos las dimensiones del telescopio respecto al tamaño de Alfred. Cruza la puerta.

• SEC. INT. SALA DE CONTROL DEL VTT. DIA - ENTREVISTA

Seguimos a Alfred por un pasillo. Intercala con Héctor (investigador) concentrado trabajando delante de varios monitores.

ALF (OFF)

Conozco a Héctor desde mi época de estudiante en la Universidad. Seguro que no le sorprenderá mi pregunta. Tras acabar su formación, investigó durante 10 años en los Estados Unidos. Actualmente, trabaja en el Instituto de

GUIONES DE LA SERIE DE DIVULGACIÓN ASTROFÍSICA H-ALPHA 4.

Astrofísica de Canarias como físico solar.

Alfred abre la puerta de la sala de control y se encuentra con Héctor.

A: Hola, Héctor. ¿Qué tal todo?

H: (sorprendido) Hombre, Alfred. ¿Qué te trae por aquí?

A: Encantado de volver a verte. Por cierto, ¡qué oscuro está esto!

H: Bueno, aunque estudiemos el Sol, siempre seremos astrónomos; nos gusta la oscuridad.

A: Perdona que te moleste. Quería hacerte sólo una pregunta: ¿Qué pasaría si el Sol se apagara?

H: Vaya (se ríe), ¿te refieres a si el Sol desapareciera?

A: No, no, si se apagara, como una bombilla a la que alguien pulsara un interruptor.

H: Pero, ¿por qué me preguntas eso?

A: Es sólo una idea. Tal vez tú también te lo hayas preguntado alguna vez.

H: No, la verdad es que no.

(Irónicamente, señalando al monitor)

Observa esta imagen. ¿Crees que al Sol se podría apagar ahora mismo?

Alfred presta atención a la pantalla.

HECTOR

El Sol es un sistema más complejo y enigmático de lo que aparenta a simple vista. Es una estrella muy activa. El Sol es bastante turbulento y violento, y cambia sin cesar.

ALF

(mirando la pantalla)

Pero, a pesar de todo, yo lo veo bastante tranquilo. No parece que ocurra nada extraño o asombroso.

HECTOR

GUIONES DE LA SERIE DE DIVULGACIÓN ASTROFÍSICA H-ALPHA 5.

En su superficie se distinguen muchas estructuras. Fíjate, por ejemplo, en estas manchas de aquí. ¿Las ves? Son manchas solares.

De hecho esté en constante ebullición. Fíjate en estas pequeñas celdas o **gránulos**. Son el resultado del proceso de convección que transporta el calor interior hasta la superficie, de la misma manera que cuando calentamos sopa

ALF

Héctor, pero aún no me has contestado a la pregunta que te hice. ¿Qué pasaría si el Sol se apagara?

Un investigador interrumpe la conversación y habla en inglés con Héctor.

HECTOR

Mi compañero me dice que tenemos que hacer unas calibraciones. Si quieres te contesto arriba del telescopio.

ENCADENA

- **PILDORA DE CONTENIDO**

ALF (OFF)

Aunque lo parezca, el Sol no es un disco uniforme. La luz visible que nos llega del Sol procede de su superficie, una fina capa que representa menos del 1 (0,1) por ciento de su radio. Este disco que vemos a simple vista es la fotosfera o esfera de luz.

La estructura más llamativa de la fotosfera son las manchas solares. Aunque ya eran conocidas desde la antigüedad por algunas culturas, fue Galileo quien primero las observó con su telescopio y demostró que el Sol no era

la esfera perfecta, eterna e inmutable como se creía.

De hecho, ahora sabemos que el Sol es un cuerpo bastante turbulento y violento, que cambia sin cesar, que gira sobre sí misma pero no uniformemente y que tiene una estructura y un funcionamiento complejo.

Los fenómenos solares más espectaculares ocurren, especialmente, en su atmósfera donde se manifiesta la constante evolución de la actividad solar.

Estos ciclos de actividad dependen de las variaciones en la cantidad de energía que el Sol emite.

Aunque la energía producida por nuestro astro es constante, no lo es la energía que escapa al resto del Sistema Solar.

Estas variaciones están relacionadas con un hecho: el Sol es un gran imán o, como decimos los científicos, tiene un campo magnético.

• **SEC. INT. MUSEO. DIA - EXPERIMENTO**

Alfred está al lado del experimento del Museo sobre manchas solares.

Este sencillo experimento nos va a permitir comprender cómo funciona el campo magnético del Sol.

El Sol es un gran imán, aunque sus campos magnéticos son tan complejos que una brújula en el Sol sería muy poco útil.

El campo magnético solar, además de ser mucho más intenso que el terrestre, es un auténtico embrollo.

La energía que se produce en el interior del Sol es constante, sin embargo, la energía que radia varía con el tiempo.

Estas fluctuaciones en la cantidad de energía emitida por el Sol es lo que se denomina ciclo de actividad solar.

Las manchas son una manifestación del campo magnético solar cuando su intensidad es más elevada.

Las manchas solares son zonas más frías que el resto de la superficie.

Una mancha solar puede llegar a tener un diámetro tan grande como 50 mil kilómetros, lo que equivale unas 5 veces el diámetro de la Tierra.

Las manchas solares siguen un ciclo de 11 años de duración. El número de manchas aumenta progresivamente durante cinco años y, a partir de entonces, empieza a disminuir transcurridos otros cinco años.

Además, la posición de las manchas en la superficie no es arbitraria, sino que evolucionan desde los polos, cuando el número de manchas es mínimo, hasta el ecuador, cuando llega a su máximo.

Esta actividad magnética puede afectar a nuestro planeta.

- **PILDORA DE CONTENIDO**

ALF (OFF)

En los periodos de máxima actividad solar, el Sol se vuelve muy turbulento y aumenta la cantidad de materia y energía emitida al espacio.

Los mayores cataclismos de la atmosfera solar provienen de una región que rodea

la fotosfera. Esta capa muy poco densa y casi transparente es la llamada cromosfera, o esfera de color, debido al color rojizo que presenta.

La cromosfera es sólo visible con filtros especiales o durante algunos pocos segundos en los eclipses de Sol, y a menudo se la compara con una pradera ardiente.

En ella tienen lugar grandes explosiones llamadas fulguraciones, descargas repentinas de energía que producen zonas de intenso brillo en la atmosfera solar y que pueden durar desde unos minutos hasta horas.

A menudo, están causadas por la desaparición de protuberancias, arcos de plasma atrapados por la acción de los campos magnéticos sobre la superficie solar.

Las fulguraciones liberan grandes cantidades de materia que pueden extenderse hasta la capa más externa del Sol, llamada corona, que llega casi hasta la órbita de la Tierra. Su luminosidad es tan débil que podría compararse con una neblina muy tenue e imprecisa.

La corona, además, se prolonga en el llamado viento solar, un flujo continuo de partículas que se extiende hasta los confines del Sistema solar.

De vez en cuando, una explosión interrumpe el fluir de esta brisa dando lugar a lo que se conoce como eyección coronal de masa. Estas explosiones pueden lanzar al espacio toneladas de partículas a miles de Km/s.

Cuando estas partículas llegan a la Tierra se produce lo que se denomina una tormenta solar y pueden tener serias consecuencias sobre los sistemas de comunicaciones terrestres, los vuelos y satélites espaciales.

• **EXT. CÚPULA DEL VTT. DÍA**

Imágenes de recurso del telescopio que simulan el camino hasta la cúpula.

HECTOR (OFF)

Hoy podemos conocer mejor a nuestro astro gracias a los telescopios actuales, como éste en el que nos encontramos. Con él es posible observar propiedades físicas de objetos muy pequeños en la superficie solar con tamaños de sólo unos 150 km. Puede parecer poco, pero no lo es tanto si tenemos en cuenta que dentro del Sol cabrían 1 millón de Tierras. También podemos hacer observaciones simultáneas en partes diferentes del espectro solar, desde el infrarrojo al ultravioleta lo que permite el estudio tridimensional de la atmósfera del Sol.

Alfred y Héctor llegan a la cúpula. Panorámica del observatorio del Teide.

ALFRED

Vamos al grano: ¿Qué pasaría si el Sol se apagara?

HECTOR

Veamos, está bien. Lo primero de todo, no lo notaríamos de forma instantánea. Las partículas que forman la luz, los fotones, recorren 300.000 km en un segundo por lo que tardarían 8 minutos y medio en recorrer los 150 millones de kilómetros que separan la Tierra del

astro rey. Es decir, si el Sol se apagara no nos enteraríamos hasta pasados ocho minutos, el tiempo que tarda la luz del Sol en llegar a la Tierra.

Debido al gran tamaño del Sol y a la densidad de su núcleo, la energía que se genera en su interior tarda millones de años en salir a la superficie.

El interior solar puede retener a los fotones durante millones de años de forma que, aunque el Sol dejara de generar más energía, nos seguirían llegando fotones.

ALF

Pero, ¿podría ocurrir ahora mismo? Ya me entiendes, ¿hay algún interruptor que pudiera apagar el Sol?

HECTOR

El Sol no se va a apagar, por supuesto. Lleva 5.000 millones de años funcionando y le queda otros 5.000 millones de años para que se quede sin su combustible, el hidrógeno. El reactor que lo alimenta no se puede parar de un momento a otro.

ALF

¿Seguro? Lo mismo me dijo el mecánico de mi coche y al poco me tuvo que recoger la grúa.

HECTOR

La mecánica celeste es incluso mucho más segura que un coche alemán.

• **SEC. EXT. PLAYA. ATARDECER - CIERRE**

Alfred está en la playa.

ALF (OFF)

No hay razón para pensar que el Sol se vaya a apagar de un momento a otro. Y mientras el Sol exista, seguirá el

GUIONES DE LA SERIE DE DIVULGACIÓN ASTROFÍSICA H-ALPHA 11.

milagro de la vida. El Sol nos calienta,
nos alimenta y nos permite ver. Es
imposible imaginar un mundo sin el Sol.

Alfred se queda pensativo. Ráfaga de imágenes del milagro de la vida: plantas, gente, etc. con música emotiva. (10'' aprox.)

Vemos a Alfred nuevamente en la playa.

ALF

El Sol es una estrella amarilla pequeña y común en el Universo. Una entre los cientos de millones que hay en el espacio. De hecho, podríamos pensar que cada grano de arena de esta playa es un Sol, aunque separados los unos de los otros por kilómetros de distancia.

Alfred se queda pensativo. Vemos la puesta de Sol.

ALF (OFF)

¿Habrà alguna forma de vida alrededor de esos soles? ¿No sería una terrible pérdida de espacio que estuviéramos solos en el Universo?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 2

¿SE PUEDE VER DENTRO DEL SOL?

- **ARRANQUE**

Imágenes del Sol intercaladas con imágenes de aparatos médicos, instrumentos musicales, etc.

ALF (OFF)

El Sol, una enorme esfera de gas incandescente a millones de kilómetros de distancia de la Tierra.

A simple vista, desde nuestro planeta, sólo podemos ver su capa más externa, la piel del Sol.

Esta es capa es la que le da su color amarillo característico y de la que procede la mayor parte de la luz que vemos y que nos ilumina.

Pero, paradójicamente, la misma luz que nos permite ver, también nos oculta lo que hay debajo de la superficie de nuestro astro.

Entonces, ¿cómo es posible obtener información del interior de un objeto tan lejano y extremo? ¿Se puede ver dentro del Sol?

ENCADENA

- **SEC. EXT. OBSERVATORIO DEL TEIDE. DIA**

Alfred camina por el exterior del observatorio. Habla al entrevistador que está fuera de campo. De fondo, el Teide y La Pirámide.

(Rótulo: Observatorio del Teide, Instituto de Astrofísica de Canarias)

ALF

Detrás de mí, un lado, se encuentra el Teide, el tercero volcán del mundo en altura.

Y al otro lado, el Laboratorio Solar, también conocido como la Pirámide, una de las primeras instalaciones astronómicas a nivel mundial construidas para el estudio del interior del Sol.

Estas dos estructuras no sólo comparten casualmente la misma forma. La misma técnica que utilizan los geólogos para saber si este volcán puede entrar en erupción, es la que utilizan los astrofísicos en la Pirámide para estudiar las entrañas del Sol.

Esta técnica aplicada al estudio de nuestro astro se conoce como Heliosismología. Y aquí trabaja uno de los investigadores del IAC más veteranos en esta área.

Alfred se aleja caminando hasta la pirámide.

• **SEC. INT. PIRAMIDE. DÍA**

Planos recurso de Pere trabajando en la pirámide mientras escuchamos en off parte de sus declaraciones.

PERE (OFF)

La heliosismología o Sismología Solar es el nombre de la joven rama de la sismología que estudia de qué modo se propagan las ondas sísmicas en el interior de nuestra estrella.

(Rótulo: Pere Lluís Pallé, Grupo de Sismología Solar del Instituto de Astrofísica de Canarias)

PERE

Esta disciplina deriva del estudio similar que se puede hacer de la

estructura terrestre interna por medio de ondas producidas en los sismos.

Podemos conocer las entrañas del Sol un modo similar a las de la Tierra. Los geólogos y vulcanólogos utilizan instrumentos, como los sismógrafos, para detectar cualquier tipo de onda o vibración producida en el interior de la Tierra.

El modo en que el suelo vibra depende de sus propiedades, como el grosor y composición. Conociendo como vibran estos materiales y a través de los registros podemos saber la estructura interna de la Tierra y las causas que dan origen a los temblores. Y ésta es la misma técnica que utilizamos en la Heliosismología para conocer el interior solar.

Curiosamente, aunque esté más lejos, conocemos mejor el interior del Sol que el de nuestro planeta, pues tiene una estructura más simple y, además, es más sencillo observar ondas en un fluido caliente como el plasma, que en un medio rocoso y heterogéneo.

En el Universo todos los cuerpos obedecen a las mismas leyes físicas y, por lo tanto, deben comportarse de forma similar, aunque la escala no sea la misma.

- **SEC. PILDORA CONTENIDO.**

Imágenes de recurso de pruebas médicas y del Sol.

ALF (OFF)

Hasta hace apenas unas décadas era imposible ver el interior del cuerpo humano sin utilizar un bisturí e intervenir al paciente.

Sin embargo, hoy existen multitud de técnicas e instrumentos que nos permiten

hacerlo de forma menos agresiva. Como, por ejemplo, la ecografía.

La ecografía es un procedimiento bastante sencillo, en el que no es necesario utilizar ningún tipo de radiación.

Mediante el ecógrafo se envían ondas de sonido -ultrasonidos-, que penetran la piel y se reflejan parcialmente en lo que van encontrando.

Un ordenador convierte este eco en una imagen que aparece en la pantalla.

Parecido procedimiento es el que utiliza la Heliosismología para conocer el interior del Sol.

Pero el cuerpo humano no deja de ser un objeto bastante cercano y accesible. Y el Sol, en cambio, un enorme globo de gas abrasador y llameante a 150 millones de kilómetros de distancia.

Obviamente tampoco podemos estudiar el Sol de oído. En el espacio no podemos escuchar el sonido emitido por una estrella, ya que el Universo está prácticamente vacío y las ondas de sonido necesitan un medio por el que propagarse.

Además, aún en el caso de que el sonido pudiera llegar hasta nosotros, la frecuencia del Sol es tan pequeña que los humanos no podemos oírla directamente.

Y está claro que nunca podríamos ir al Sol a auscultarlo, ponerle un sismógrafo o hacerle una ecografía. Entonces, ¿cómo se consigue?

La respuesta está en la única parte del Sol que sí vemos, la propia superficie solar.

Pero para entenderlo hay que ir con la música a otra parte.

• **SEC. EXT. PATIO ESCUELA MUSICA. DIA - EXPERIMENTO**

Antonio Eff-Darwich en el patio de la escuela de música de La Orotava. Está rodeado de instrumentos musicales. Al lado, una mesa con algunos objetos/experimentos: un altavoz, una mesa de sonido y un rompe-copas.

(Rótulo: Antonio EFF-Darwich, Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universidad de La Laguna)

DARWICH

La forma en la que podemos estudiar el interior del Sol tiene mucho que ver con la música.

Hay una característica común en todos los cuerpos del Universo y es que vibran al ser perturbados.

La forma en que vibra un objeto depende de sus propiedades físicas, es decir, su forma, tamaño, densidad, el material de que están hechos.

Darwich hace sonar diferentes instrumentos.

Como ves cada instrumento suena diferente. Lo mismo ocurre con las estrellas. Cada estructura física tiene su propia forma de vibrar o lo que nosotros llamamos modos de oscilación.

Así, cada Sol o estrella, como cada instrumento, suena distinto porque, según su estructura física, vibran distinto.

Pero nosotros estamos tocando los instrumentos. Nuestras manos o el aire de nuestros pulmones provocan la vibración. En cambio, ¿qué es lo que hace vibrar al Sol?

La respuesta es: la propia actividad del Sol. El burbujeo del plasma solar en su superficie -parecido a una sopa hirviendo- o la aparición de algún fenómeno muy energético producido por la actividad magnética, sacan al Sol de su estado inicial y vibra para recuperar el equilibrio.

Alfred señala un extraño artilugio (Rompe-Copas)

ALF

Vale. Pero, esto no parece un instrumento musical. ¿Qué es este aparato que tienes aquí? ¿Para qué sirve?

DARWICH

Se trata de un Rompe-Copas. Lo utilizo para explicar el fenómeno de la resonancia acústica.

Cuando hablamos de vibración estamos hablando de ondas que se propagan sobre un medio. Cuando varias ondas con frecuencias similares coinciden, se amplifican dando lugar a un fenómeno de resonancia. De esta forma, una vibración pequeña provoca una oscilación mayor.

La resonancia es lo que determina cómo suena cada instrumento musical. Sin embargo, este fenómeno también puede ser destructivo en algunos materiales rígidos.

Darwich pone en marcha el Rompe-copas hasta que la copa se rompe.

Para que lo entiendas mejor, con este aparato lo que hacemos es ajustar el tono del sonido a la frecuencia natural de vibración de una copa de cristal. Gracias al fenómeno de resonancia, la copa empieza a vibrar adquiriendo energía hasta que la amplitud es tan

grande que supera el límite elástico del vaso y éste se rompe.

Por la misma razón, no se permite el paso por puentes de tropas marcando el paso, ya que pueden entrar en resonancia y derrumbarse.

ALF

Pero, ¿por qué no ocurre esto en el Sol?

DARWICH

En el caso del Sol, al ser un cuerpo gaseoso nunca llega a romperse como ocurre en los cuerpos rígidos. Las ondas sonoras permanecen dentro de la estrella y resuenan como en un instrumento musical.

Así que podemos decir que el Sol es una gran caja de resonancia y gracias a ésta podemos escuchar su música.

Los movimientos turbulentos en el Sol crean ondas de sonido que se propagan por su interior, se reflejan y vuelven hasta la superficie deformándola ligeramente, como las olas del mar.

Hay regiones de la superficie del Sol que se levantan mientras otras se hunden, lo que provoca pequeñas variaciones en su tamaño y luminosidad. Al hincharse la atmósfera solar, nuestro astro aumenta de tamaño y se vuelve menos luminoso. Al contraerse, es más pequeño y con mayor brillo.

Estas contracciones y expansiones producen a su vez una tenue variación de su color. Observando esta alteración se pueden descubrir las frecuencias de las ondas que rebotan desde su núcleo y deducir, al igual que en una ecografía, las características físicas y los movimientos que se prolongan en el interior.

• **SEC. PILDORA CONTENIDO – SONIDO REAL DEL SOL/LATIDO**

Imágenes de recurso. Sonido real del Sol y estrellas.

ALF (OFF)

¡Este es el Sonido del Sol!

El Sol vibra como si tratara de un instrumento musical.

Y al igual que cada instrumento suena de un modo particular, cada estrella vibra distinto según sus condiciones físicas y químicas.

¡Así suena una estrella gigante! ¡Y así, una estrella joven!

Como se puede apreciar, las estrellas no emiten, precisamente, melodías armoniosas.

De hecho, podríamos comparar su sonido con el ruido de una orquesta tocando millones de instrumentos desafinadamente.

Cada instrumento correspondería a una determinada capa o propiedad del Sol.

La Heliosismología trata de aislar cada uno de estos instrumentos observando las turbulencias de la superficie del Sol.

Es como mirar la membrana de un altavoz e intentar adivinar qué parte de este movimiento aparentemente caótico corresponde al clarinete, a la tuba o al violín.

Al igual que una orquesta afina su instrumento antes de tocar, la heliosismología afina nuestro conocimiento del interior solar comparando lo que observa en su superficie con su modelo teórico.

Además, con esta técnica, se consigue obtener una visión tridimensional del Sol ya que con la heliosismología no sólo vemos las entrañas, sino que podemos saber lo que ocurre en el otro lado del Sol y no vemos.

• **SEC. INT. PIRÁMIDE. DIA**

Vemos en un monitor una representación de los latidos del Sol. Vemos a Alfred y Pere en el interior de la Pirámide.

(Rótulo: Pere Lluís Pallé, Grupo de Sismología Solar del Instituto de Astrofísica de Canarias)

PERE

Podemos decir que las estrellas laten, una vez cada cinco minutos.

Gracias a la heliosismología hemos escudriñado un 80% del Sol partiendo de su superficie.

Aunque con lo que llevamos estudiado podemos explicar bastante bien, grosso modo, el funcionamiento solar, sin embargo, tenemos un límite: no podemos conocer de cerca el núcleo solar donde se producen las reacciones termonucleares, ni la zona donde se acumula el campo magnético que da lugar a la actividad solar.

Esto se debe a que las señales sísmicas en el núcleo son muy tenues respecto a lo que llamamos "ruido solar". Hay diferentes tipos. Por un lado, el Sol produce una especie de murmullo constante, lo que llamamos ruido blanco, debido a la continua agitación o burbujeo de su corteza. Pero también hay un tipo de ruido provocado por un incremento violento de la actividad superficial del Sol. Cuando se producen manifestaciones energéticas intensas, la producción de ruido aumenta y se suma al ruido blanco.

Pero, existe, además, otra complicación; una fuente de ruido adicional que no tiene que ver directamente con el Sol: la atmósfera terrestre. Como sabes, las perturbaciones atmosféricas causan una pérdida en nitidez o resolución en las observaciones astronómicas, comparable a la que existe al mirar un objeto situado en el fondo de una piscina.

Para superar la barrera de la atmósfera se han desarrollado sistemas de óptica adaptativa que, mediante el uso de ópticas deformables, corrigen gran parte de los defectos introducidos por la atmósfera terrestre en las imágenes observadas con un telescopio. También gracias a los satélites podemos monitorizar el Sol las 24 horas.

ALF

¿Qué hemos conseguido saber hasta ahora gracias a la Heliosismología?

PERE

La heliosismología es la única técnica que nos ha permitido conocer cómo gira una estrella en su interior. Estudiando esta rotación también hemos descubierto dónde se genera el campo magnético que es responsable de la actividad solar. Además de ser más eficiente, es también la técnica más barata de la que se dispone para estudiar el Sol.

Cada vez nuestras observaciones son más precisas y, gracias a ellas, nuestros modelos sobre los que ocurre en el interior del Sol explican mejor su funcionamiento.

Con la heliosismología hemos comprobado que la física que conocemos sobre el Sol es considerablemente acertada. Y no sólo eso, sino que gracias a este

conocimiento podemos usar el Sol como prototipo para revisar y mejorar las teorías sobre la estructura y evolución de todas las estrellas en el Universo.

• **SEC. INT. SALA CONFERENCIA MCC. - CIERRE**

Alfred sentado en una butaca. Suena música clásica como si estuviera oyendo un concierto.

ALF

Muchos filósofos y pensadores en la antigüedad consideraron el Universo como una sinfonía de voces interpretando un concierto. Se la llamó "la música de las esferas".

Aunque ese mito se abandonó con el desarrollo de la astronomía moderna, hoy en día, resulta sorprendente que una joven rama de la astrofísica esté escuchando la música del Sol para estudiar su interior.

Vemos que Alfred no está en un concierto sino que está viendo unas imágenes del Sol en la pantalla.

ALF (OFF)

El Sol es, con diferencia, un excelente laboratorio para comprender la física de las otras estrellas del Universo.

¿Qué tiene en común nuestro astro con los demás estrellas? ¿Cómo nacen y mueren las estrellas?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 3: COSMOLOGÍA

¿Conocemos el origen del Universo?

- **PERCHA**

ALF (OFF)

Todas las historias tienen un comienzo.
La historia del Universo comienza con
una gran explosión de luz en la noche de
los tiempos.

Espacio, materia y tiempo aparecieron de
la nada. Es lo que conocemos como el Big
Bang. Desde entonces, el Universo no ha
cesado de evolucionar.

Nuestras observaciones nos permiten
retroceder en el tiempo. Nos remonta
hasta un pasado distante hace unos
13.500 millones de años.

Es el instante cero de nuestra historia,
pero también el límite de nuestro
conocimiento.

Conforme la ciencia trata de acercarse a
este momento, nuestras leyes dejan de
funcionar. Todas nuestras nociones sobre
la realidad que conocemos se detienen en
la misma frontera.

¿Cómo podemos reconstruir nuestra
historia? ¿Por qué hay algo en lugar de
nada? ¿Es el Big Bang el verdadero
origen del Universo?

• **INTRO**

El último desafío de la astronomía es llegar hasta lo más lejano en el espacio y en el tiempo, el propio origen del universo.

A la disciplina científica que trata de recomponer la historia completa del universo se la conoce como Cosmología.

Los cosmólogos abordan cuestiones que durante siglos pertenecieron al dominio de la filosofía.

Sin embargo, la cosmología moderna se apoya en observaciones sistemáticas y en un ingente número de datos.

Es una ciencia empírica que se ha desarrollado y aceptado muy deprisa, en apenas medio siglo.

Para reconstruir el pasado del Universo los cosmólogos no necesitan hacer conjeturas ni desenterrar restos o fósiles del suelo.

A diferencia de los historiadores, pueden ver directamente el pasado a través de telescopios.

Pero cuanto más se retrocede en el pasado del universo, más opaco se vuelve.

Por ello los astrónomos han tenido que construir instrumentos complejos para descubrir rastros indirectos del origen del universo que han quedado impresos débilmente en fenómenos que hoy podemos medir.

Estas pistas son un reflejo de cómo era el Universo en su juventud.

El Instituto de Astrofísica de Canarias liderado actualmente un proyecto que trata de analizar un calor residual que procede del inicio del Universo.

Se trata del experimento Quijote y es la culminación de una serie de otros muchos experimentos que han ido desarrollaron desde los años 80 aquí, en el Observatorio del Teide.

Los resultados de este proyecto pueden revolucionar la física moderna y abrirnos las puertas a nuevas leyes.

Por suerte, en él trabaja uno de los mejores cosmólogos del mundo.

• **ENTREVISTA**

¿Cómo explica la ciencia el origen del universo?

El universo empezó hace unos 13.700 millones de años con algo parecido a una gran explosión que llamamos Big Bang.

La gran explosión no fue una bomba que estalló en el centro del universo y arrojó materia al vacío, sino una expansión del propio espacio.

Desde entonces, el Universo no ha cesado de evolucionar, organizándose y estructurándose.

¿Cómo era el Universo en aquel primer momento?

Al principio todo el Universo estaba comprimido en una región de tamaño inferior al núcleo de un átomo, a una presión y temperatura inimaginable.

Antes del primer nanosegundo, el Universo sufrió una rápida y violenta expansión conocida como inflación que fue decisiva para su evolución. La

inflación equivale a que un guisante alcanzara el tamaño de una galaxia en un instante.

Tras el periodo de inflación y durante los primeros cientos de miles de años tras la explosión, el Universo se fue enfriando y aparecieron las primeras partículas elementales que formaban una sopa densa y caliente o mar gaseoso llamado plasma.

En la mezcla coexistían también partículas de luz o fotones. Los fotones no llegaban muy lejos dentro del plasma primordial; los dispersaban las partículas cargadas (electrones y protones) que, sometidas a un calor abrasador, no conseguían desligarse. Esto hacía que el Universo no fuera transparente a la luz.

Al ir expandiéndose el Universo, el plasma ocupó un volumen cada vez mayor y, por lo tanto, se enfrió. Protones y electrones se recombinaron y se formaron los primeros átomos (hidrógeno neutro). Los fotones quedaron libres para viajar por el cosmos.

Esto permitió que la materia se juntara y se formaran las primeras nubes de gas interestelar de las que nacerían las primeras estrellas.

¿Cuándo empezó el universo a ser como es ahora, con galaxias y estrellas?

Las primeras estrellas se formaron unos 400 millones de años después del Big Bang.

A los 1.000 millones de años, seguramente ya había estrellas con algunos planetas a su alrededor.

Nuestro sistema solar apareció 5.000 millones de años después del Big Bang.

¿Qué había antes del Big Bang?

El Universo de antes de la explosión se ha convertido en la última frontera de la cosmología.

El big bang es el instante cero de nuestra historia, pero también el límite de nuestro conocimiento.

Conforme la ciencia trata de acercarse a este momento, nuestras leyes dejan de funcionar.

Este es un gran desafío para la física, ya que más cerca del instante inicial las energías son descomunales, no las podemos reproducir en los laboratorios.

Tenemos que buscar signos indirectos de esos fenómenos en el propio Universo.

¿Hasta cuándo podemos retroceder en la historia del Universo? ¿Cuál es el límite del Universo observable?

Cuanto más se retrocede en el pasado, más opaco se vuelve el universo. La luz no nos puede llegar desde más allá de un límite determinado.

Este horizonte se conoce como Era Opaca. Corresponde a cuando la luz y la materia estaban mezcladas. Es imposible ver más allá de esta era, ya que no hay luz visible que podamos estudiar.

Cuando la luz y la materia se desacoplaron, la luz se extendió por el cosmos, quedando impresa en ella las huellas de la materia.

Este desacoplamiento de la materia y la radiación ocurrió cuando el Universo contaba con 380.000 años.

En esa época no había estrellas ni galaxias. El universo era mil veces más pequeño que ahora y mucho más caliente, a unos 3.000 grados.

Ahora, unos 13.700 millones de años después, los fotones continúan viajando a través del universo configurando un débil baño de fotones de microondas, la radiación del FCM.

Está presente en todo el cielo, pero no se puede ver porque es muy débil, casi mil millones de veces más tenue que las microondas de un horno.

Pese a su sutileza, estas microondas contienen información crucial sobre el universo primitivo.

Así que el objeto más lejano observable con un telescopio no es una galaxia, sino la primera luz que llenó el Universo después del Big Bang.

¿Cuáles son las pruebas del Big Bang?

¿Cómo sabemos que fue así?

Nuestro conocimiento del Big Bang descansa sobre tres pilares:

El primero es la teoría de la Relatividad General de Einstein formulada en 1915. Esta teoría predice que un universo estático, infinito y homogéneo es imposible.

El otro pilar fue el descubrimiento, en los años veinte del siglo pasado, de que el universo se expande. Edwin Hubble descubrió que las galaxias se alejaban una de otras a velocidades directamente proporcionales a su distancia, es decir, que una galaxia dos veces más lejana que otra se mueve dos veces más deprisa.

Si las galaxias se alejan, es fácil imaginar que, si retrocedemos en el tiempo, todas las galaxias deben haber partido de un único punto al mismo tiempo, con unas condiciones extremas de densidad y temperatura: la gran explosión.

Pero además, contamos con fósiles: la radiación del fondo cósmico de microondas (FCM).

El astrofísico George Gamow predijo en 1948 la existencia de una radiación fósil, una especie de calor residual del Big Bang. Pero fue 17 años después, en 1965, cuando fue descubierta accidentalmente. (se creyó que era ruido generado por excrementos de palomas)

Esta radiación es una de las pruebas más concluyentes de la solidez del modelo de Big Bang.

El FCM proporciona una instantánea del Universo primitivo y se ha convertido en la piedra Rosetta de la cosmología.

¿Qué es la Radiación Cósmica de Fondo?

La radiación del FCM es un fósil del universo recién nacido.

No es visible para el ojo humano; llega hasta nosotros en forma de microondas. Es lo más lejano en el espacio y el tiempo que pueden ver nuestros telescopios.

Se trata de un baño de fotones fríos que inunda todo el espacio y además, es sorprendentemente uniforme.

Aunque es un tipo de radiación muy débil, la cantidad de energía que hay en el FCM es mayor que toda la luz que emiten las estrellas.

¿Qué consecuencias tuvo este descubrimiento? ¿Qué significó para la cosmología?

El FCM prueba que la radiación salió de una sola fuente muy antigua y que el universo comenzó siendo caliente y denso para ir enfriándose y diluyendo desde entonces.

A medida que el universo se expande, también se enfría. El enorme calor que se liberó durante el Big Bang se ha ido disipando lentamente mientras el Universo continúa sus 14.000 millones de años de expansión.

Sin embargo, había un problema. La teoría del Big Bang no explicaba cómo se generaron las estructuras a gran escala que dieron lugar a cúmulos y galaxias.

Se sabe que la materia es irregular. En el universo se suceden grandes espacios vacíos con inmensas acumulaciones de materia - galaxias y cúmulos-.

Era necesario que en la radiación del FCM hubiera alguna huella dejada por la materia que explicara esas irregularidades.

En 1992, el satélite COBE de la NASA encontraron evidencias pequeñas inhomogeneidades en la temperatura del FCM, llamadas anisotropías.

¿Qué papel juegan las fluctuaciones de la radiación de fondo en la estructura del Universo?

Estas variaciones evidenciaban que el plasma primordial no era homogéneo, sino que hubo pequeños grumos, regiones de materia más densa, que evolucionaron después, arrastrando progresivamente hacia ellas -como una bola de nieve- materia del entorno, hasta convertirse en las macroestructuras del cosmos; las galaxias y los cúmulos de galaxias que hoy existen.

El mapa de anisotropías de la temperatura del FCM producido por el WMAP muestra manchas calientes y frías de tamaños y formas diversas, pero no muestra ninguna estructura clara, como arcos o brazos espirales. Esto demuestra que las propiedades y la dinámica del universo a la edad de 300.000 años eran menos complejas que la de los actuales sistemas astrofísicos, como por ejemplo una galaxia espiral.

Durante la década de los 90 se investigó más extensamente la anisotropía en el FCM y se vio que el universo era geoméricamente plano.

Y a finales de los 90, la medición del FCM reveló que la expansión cósmica no se estaba frenando, sino que se aceleraba.

- **EXPERIMENTO - MUSEO**

ALF

La gran explosión no fue una bomba que estalló en el centro del universo y arrojó materia al vacío, sino una expansión del propio espacio.

La expansión es la base del modelo de la gran explosión. Pero, ¿qué se quiere decir cuando se afirma que el universo se expande? ¿Hacia dónde se expande? ¿Se expande también la Tierra?

Cuando un objeto se expande ocupa el espacio que lo rodea. Pero, el Universo no parece tener bordes, ni centro ni un exterior. ¿Cómo puede, pues expandirse?

Alfred coge una regla y una goma elástica en la que hace una serie de marcas.

La forma de visualizarlo es más bien como una regla que se extiende al infinito a izquierda y derecha. Imaginemos que empieza a expandirse, que cada señal de un centímetro se aleja de su vecina. Los trazos se van a ir distanciando, más y más, pero la regla seguirá siendo infinita.

La gran explosión no ocurrió en un punto determinado; no hay ningún lugar en la superficie del universo (o en esta regla) que sea el centro de la explosión. La gran explosión sucedió en todos los puntos a la vez.

Este es el motivo de que habitemos un universo en expansión donde las galaxias se alejan y se separan de nosotros. Pero es sólo una forma de hablar: las galaxias no viajan a través del espacio, sino que las distancias a las galaxias aumenta; es el espacio el que expande entre las galaxias y nosotros.

Alfred coge un globo.

Imaginemos que somos hormigas sobre una superficie de un globo que se está inflando.

Aunque el globo tenga una forma tridimensional, debemos imaginar que

sólo existen dos dimensiones: adelante, detrás, izquierda y derecha.

Queremos ir de un hormiguero a otro, pero cada día nos percatamos que tardamos más en llegar. En cambio, sabemos con certeza que no estamos caminando más despacio y que los hormigueros no se mueven.

Esta es la idea clave: las distancias aumentan a pesar de que permanecemos en el mismo lugar con respecto a la goma del globo.

Una vez asimilados estos hechos, concluimos que el suelo bajo nuestras patas se está expandiendo. Y es muy extraño, porque hemos caminado alrededor del globo y no hemos visto ningún borde, ni exterior hacia donde nuestro mundo pueda expandirse.

En nuestro universo, al igual que en la superficie de un globo, todo se aleja de todo.

Lo sabemos porque no sólo podemos medir las distancias entre galaxias y ver su desplazamiento respecto a nosotros - entre nuestro hormiguero y otro- (la ley de Hubble) sino que desde los años 60 disponemos de un segundo método alternativo basado en un tipo de radiación fósil que llena el universo por completo, la llamada radiación del FCM.

Al igual que la goma de un globo, la radiación del FCM define un sistema de referencia con respecto al cual se puede medir el movimiento.

• **ENTREVISTA:**

¿Qué es Quijote? ¿Por qué ha supuesto un reto su construcción?

Quijote consiste en dos telescopios situados en el Observatorio del Teide que estarán girando constantemente como grandes molinos y barrerán el cielo midiendo las microondas que nos llegan del origen del Universo. El objetivo consiste en medir la polarización de la radiación del FCM.

Quijote es complementario al satélite Plank de la Agencia Espacial Europea (ESA).

En el proyecto también participan el Instituto de Física de Cantabria y las Universidades de Cantabria, Manchester y Cambridge, junto a la empresa bilbaína IDOM.

¿Qué es la Polarización?

Al reflejarse un haz de luz sobre una superficie, sus ondas se orientan en una dirección particular. En este fenómeno se basan las gafas de sol polarizadas; los filtros de las lentes reducen el brillo de la luz solar bloqueando las ondas orientadas en una dirección determinada.

También el FCM está polarizado debido a la dispersión de los fotones en el plasma justo antes de que el universo se volviese transparente a la radiación. La dirección de esta polarización podría estar producida por las ondas gravitacionales, hasta ahora imposibles de detectar.

La posibilidad de que el fondo de microondas esté polarizado es algo que los científicos ya habían previsto desde el descubrimiento de sus irregularidades.

Su estudio es fundamental para la demostración de la existencia de ondas gravitacionales.

¿Qué son las ondas gravitacionales?

En 1918 Einstein predijo la existencia de perturbaciones del campo gravitatorio que, al igual que la luz, portan información y energía de las fuentes que las producen.

Las ondas gravitacionales son una ondulación del espacio-tiempo, como la que produce una piedra en

la superficie de un estanque, que predice la teoría de la relatividad, pero que aún no se ha podido captar.

La expansión increíblemente rápida del universo justo después de la gran explosión hubo de producir ondas gravitacionales que estiraron y comprimieron el plasma primordial y crearon así movimientos en la superficie esférica que emitió la radiación de FCM.

Estos movimientos a su vez causarían inhomogeneidades de la temperatura de la radiación y polarizarían el FCM, y serían la prueba indirectas de la existencia de una época de inflación.

El plasma que llenaba el universo primordial era opaco con respecto a la luz, porque cualquier fotón que se emitía se dispersaba por la sopa de partículas subatómicas. Sin embargo, las ondas gravitatorias sí podían propagarse por el plasma primigenio y dejaron en el FCM leves perturbaciones que hoy podríamos observar.

Si realmente existiesen ondas gravitatorias constituirían la reliquia más antigua del Universo porque se habrían creado antes de que se emitiese la radiación de FCM.

El estudio de las ondas gravitacionales nos dirá cuál fue la energía asociada a esa época y así conocer las propiedades de otras entidades que podrían ser causantes de la expansión acelerada del Universo.

¿Qué aspectos faltan por resolver del modelo del Big Bang?

Nos falta entender los ingredientes principales del Universo como la materia y la energía oscura, que creemos que son dominantes en el cosmos. Tenemos acotadas sus propiedades, pero no tenemos evidencias directas de cuáles son los agentes responsables.

La materia oscura es cinco veces más abundante que la materia normal, pero no interacciona con

la luz ni con la otra materia y su existencia no se ha conseguido probar.

La energía oscura es quizás la responsable de la expansión del Universo actual, pero no sabemos cuál es la razón para que exista; podría ser una propiedad inherente del espacio-tiempo o una propiedad de un ingrediente energético del Universo aún más sofisticado.

¿No hay nada que se oponga a la teoría del Big Bang? ¿Es necesaria una nueva teoría que lo simplifique?

De todas las teorías cosmológicas el Big Bang es la mejor opción. Ningún otro escenario explica de manera tan sencilla el conjunto de observaciones realizadas, ninguno ha hecho tantas predicciones exitosas.

No han cesado de acumularse pruebas a su favor y casi la totalidad de los astrofísicos reconocemos esta teoría como el mejor escenario de la historia del Cosmos.

El big bang es la suma de todo lo que hemos aprendido sobre lo más grande (el universo) y lo más pequeño (física de partículas).

Pero el escenario de Big Bang, está lejos de ser satisfactorio, es un modelo que se está perfeccionando. Todavía va a ser modificado y quizás sea incluido en un esquema más vasto.

Sin embargo, lo esencial subsistirá: el universo no es estático, se enfría y se enrarece; la materia se organiza progresivamente formando estructuras más y más elaboradas y complejas.

¿Tiene el Universo fecha de caducidad?

El universo seguirá expandiéndose y enfriándose cada vez más. Esta acelerada expansión llegará a hacer que todas las galaxias, salvo las ligadas gravitacionalmente a la nuestra, se nos pierdan de vista para siempre.

Quedarán eliminados los puntos de referencia que nos permiten medir la expansión y se borrará toda prueba de que un día hubo una gran explosión.

Dentro de millones de años las galaxias cercanas se habrán fusionado y las más lejanas habrán escapado a nuestra vista. El FCM se habrá diluido a niveles indetectables. Las múltiples generaciones de estrellas habrán contaminado la mezcla química original.

A nuestros descendientes más lejanos, cuando miren el cielo dentro de 100.000 millones de años, el universo les parecerá una laguna de estrellas sumergida en un vacío infinito y sin cambios.

Somos afortunados por vivir en un momento en el que ha sido posible dar con los pilares de la gran explosión.

- **CIERRE**

Hasta hace apenas un siglo, se creía que nuestra galaxia era todo el universo y que éste era estático y eterno.

Hoy sabemos que nuestra galaxia es una entre millones y millones de galaxias observables;

que las estrellas nacen y mueren después de vivir varios miles de millones de años;

y que, gracias a la cosmología y su modelo del Big Bang, el universo tiene un origen, está en constante cambio y se organiza progresivamente formando estructuras más complejas.

La prueba más evidente de la evolución del universo es la propia oscuridad del cielo.

Si las estrellas fueran eternas la cantidad de luz que habrían emitido en un tiempo infinito sería infinita. El cielo debería ser entonces extremadamente luminoso, pero no lo es.

Ahora sabemos que el cielo es oscuro porque las estrellas no existieron siempre y una duración de 13.500 millones de años -la edad que, según el modelo del Big Bang, tiene el Universo-, no es suficiente para llenar de luz todo el espacio, especialmente si éste no cesa de crecer.

Sin embargo, el universo va a continuar expandiéndose y enfriándose, cada vez más.

Esta acelerada expansión llegará a hacer que todas las galaxias se nos pierdan de vista para siempre.

Para nuestros descendientes más lejanos, cuando miren el cielo dentro de 100.000 millones de años, el universo les parecerá un lugar vacío y sin cambios.

No tendrán ninguna prueba de que un día hubo una gran explosión.

¿Cuánta información habrá borrado ya el Universo?
¿Qué nos hemos perdido? ¿Qué otros aspectos fundamentales del universo han dejado de poder observarse?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPITULO 4: TELESCOPIOS

¿PODEMOS VIAJAR EN EL TIEMPO?

- **INTRO**

ALF (OFF)

Luz... espacio... tiempo. En el Universo, mirar a lo lejos es ver hacia atrás.

La luz de las estrellas viaja por el espacio acercándonos fragmentos de un pasado lejano, un tiempo muy anterior a la historia humana.

A través de la luz podemos contemplar toda la historia del Universo y descubrir cómo empezó todo.

Durante mucho tiempo, la observación astronómica se realizaba exclusivamente utilizando como único instrumento el ojo humano.

Sin embargo, para profundizar en el espacio y estudiarlo con detalle, no es suficiente.

¿Cómo podemos acercar a nuestros ojos las profundidades del Universo?

¿Cómo podemos recuperar esas huellas del pasado y reconstruir su historia?

Imaginen una máquina para viajar en el tiempo.

Hace tiempo que existen y se llaman telescopios.

Un monumento al ingenio humano y a su curiosidad que nos ayudan a observar los objetos más distantes de nuestro Universo.

¿Cómo funciona la máquina capaz de controlar este pequeño milagro?

¿Cómo es posible viajar miles de millones de años gracias a la luz?

• **EXT. GTC. DIA**

ALF

La luz es el instrumento del que disponen los científicos para estudiar el Universo.

Hay muchas clases de telescopios, según el tipo de luz que recogen.

Tradicionalmente, los más comunes han sido los telescopios ópticos que captan la luz visible que podemos ver con nuestros ojos.

Para conocer este progresivo desarrollo en la observación astronómica hemos venido hasta el ORM para conocer el último paso en la evolución de los telescopios ópticos, el GTC.

• **EXT. GTC. DÍA - ENTREVISTA**

En términos generales, ¿Qué es un telescopio?

Los telescopios astronómicos son máquinas formadas por sistemas de lentes o espejos en los que se concentra la luz que recibimos de los objetos del Cosmos.

En nuestro propio ojo, la pupila capta la luz y la retina la registra.

Sin embargo, un telescopio puede reunir muchísima más luz y, por lo tanto, observar objetos mucho más tenues que lo que el ojo humano es capaz de ver.

¿Cómo influye el lugar donde están instalados?
¿Por qué se encuentran en lugares tan altos?

Los observatorios tienen que estar en lugares donde la calidad del cielo sea la mejor posible. Las condiciones locales (viento, orografía...) influyen en la observación, así como los fenómenos residuales de la atmósfera y los asociados a los propios telescopios, que se intentan corregir en lo posible.

Para traspasar la contaminación lumínica producida por el resplandor urbano de las ciudades, los telescopios se situán en lugares elevados, como es el caso del Roque de los Muchachos, a 2.396 m. de altitud, donde se encuentra una de las baterías de telescopios más completa del mundo.

¿Por qué la cúpula de los telescopios son generalmente blancas o bien metálicas?

Refleja la luz solar y el calor. Minimiza los cambios de temperatura y reduce el efecto de la dilatación.

Para este fin, en el caso del GTC, la cúpula también cuenta con unas ventanas que ayudan a mantener una temperatura uniforme en el conjunto del telescopio y una buena calidad de imagen.

La cúpula gira para permitir la observación astronómica a través de una abertura de 13 m de ancho con 2 compuertas móviles.

¿Por qué se siguen construyendo telescopios en tierra?

Por un lado, los telescopios espaciales son más caros y dejan de estar operativos en cuanto se les agota la refrigeración de sus detectores.

Por otro lado, hoy en día, existen varias técnicas de óptica deformable que corrigen el ruido que la atmósfera terrestre produce en la observación, con lo que **es prácticamente lo mismo observar desde la Tierra que desde el espacio.**

- **EXPERIMENTO**

ALF (OFF)

El GTC es el resultado de una larga historia de pequeños avances tecnológicos. ¿Cuál fue el primer paso?

ALF

El primer avance fue el uso de lentes.

Los primeros telescopios, como el utilizado por Galileo, eran del tipo refractor.

Alfred señala un telescopio refractor mientras explica su funcionamiento.

ALF

Las lentes funcionan como el ojo humano. El propósito de una lente es focalizar toda la luz en un solo punto.

En un telescopio refractor la luz pasa a través del objetivo que la concentra formando una imagen en el ocular.

ALF

Al igual que cuanto más se dilata la pupila, mejor podemos ver en la oscuridad, los astrónomos se dieron cuenta de que cuanto más grande era la lente, mejor se podían observar los objetos celestes.

Sin embargo, las lentes presentan varios problemas para la astronomía.

ALF (OFF)

¿Qué problemas? ¿Por qué prácticamente no se usan este tipo de telescopios actualmente?

Por un lado, la lente enfoca cada longitud de onda en un punto diferente, es lo que llamamos aberración cromática. (Animación)

Por otro lado, cuanto más grande es la lente mayor debe ser el tubo que la sostiene por lo que puede deformarse por su propio peso y distorsionar la imagen.

Un ejemplo es el Telescopio Yerkes, construido a finales del siglo XIX. Con una lente de 1m de diámetro necesitaba un tubo de 20m de longitud. Este telescopio marcó el límite de los telescopios refractores.

ALF

Las lentes fueron útiles para el estudio del Sistema Solar, pero eran ineficaces para descubrir objetos más lejanos, como nuevas estrellas y galaxias en los confines del Universo.

Era necesario amplificar la débil luz emitida por los objetos celestes cada vez más remotos.

¿Cómo se solucionó este problema?

El siguiente paso tecnológico fue sustituir las lentes por los espejos.

Alfred señala un telescopio reflector cuyo espejo es de igual diámetro que el refractor. Prosigue con su explicación.

En un telescopio reflector, un espejo cóncavo situado en la base del tubo concentra la luz y la hace rebotar en un segundo espejo que hace pasar la luz por una lente en el foco o el ocular donde se forma la imagen.

ALF (OFF)

Y, ¿qué ventajas tiene este tipo de telescopio?

El espejo al ser más pequeña no distorsiona la imagen, por lo que se soluciona el problema de la aberración cromática.

Además, los espejos pueden ser mucho más delgados que las lentes. De este modo, podemos fabricar espejos más grandes que lentes.

ALF

Los telescopios reflectores son relativamente más pequeños. ¿Es también ésta una de las ventajas?

El siguiente paso fue la invención de un tipo de reflector llamado Cassegrain.

Alfred muestra un telescopio reflector Cassegrain.

Un reflector Cassegrain está formado por un espejo primario con forma cóncava y otro espejo secundario convexo que refleja la luz y la hace pasar por un orificio central en el primario. De esta forma el foco se sitúa en el exterior del tubo.

ALF (OFF)

El GTC es, en esencia, un telescopio de tipo reflector Cassegrain.

Pero con algunas modificaciones que lo hacen aún más especial. Comparando con los diferentes tipos de montura, si el espejo de 10,4 metros del GTC tuviera la focal - el punto donde convergen los rayos de luz- de un telescopio de lente clásico necesitaría una montura de 170 metros de longitud.

Tratándose de un telescopio del tipo Cassegrain y gracias a las características ópticas del espejo secundario tan sólo necesitamos un tubo de 20 metros.

ALF (OFF):

Las lentes supusieron un gran avance en la observación astronómica, pero no fue suficiente.

La astronomía superó este límite gracias a los espejos.

• **INT. SALA DE CONTROL. - ENTREVISTA**

¿Cómo ha cambiado la visión tradicional del astrónomo mirando por el telescopio con respecto a la observación moderna?

El astrónomo de hoy dedica la mayor parte de su tiempo al análisis y estudio de datos, imágenes y resultados, normalmente sentado delante de un ordenador todo el día.

- Colas de observación: los astrofísicos observan durante períodos cortos.
- Telescopios robóticos: Se utiliza la operación remota de los telescopios; se manda un programa de observación y el telescopio lo sigue solo.
- Reducción de datos: se recogen y se procesan datos, no imágenes fotográficas

¿Cómo se fabrican las imágenes espaciales?

- La señal es sometida a un tratamiento por ordenador.
- No son colores reales: las imágenes son originariamente en blanco y negro.
- Se colorean según los elementos químicos.

• **EXT. GTC - ROQUE DE LOS MUCHACHOS. NOCHE**

Alfred está al lado del GTC observando con un pequeño telescopio amateur. (Mezclar con algún *timelapse* de Daniel del ORM)

ALF (OFF)

Hace cuatro siglos que nació el telescopio, un invento que redefinió nuestro lugar en el universo.

Nos creíamos el centro de la creación hasta que Galileo nos mostró las primeras observaciones hechas con su nuevo artilugio.

A diferencia de antes, ahora poseemos telescopios más potentes y sofisticados con los que podemos ver más lejos que nunca.

Por contra, la astronomía ha perdido la visión romántica del astrónomo solitario mirando por su telescopio.

ALF

Cada vez observamos menos tiempo y, por supuesto, no lo hacemos a través de un ocular.

A cambio, recogemos y procesamos datos que nada tienen que ver con las imágenes a todo color de las revistas.

Es el precio que tenemos que pagar por poder tener mejores ventanas a las que asomarnos al Universo.

ALF (OFF)

Ventanas que siguen haciéndose más y más grandes.

Catedrales de la ciencia que nos permiten observar detenidamente el espacio más y mejor que nunca antes.

Ejemplos de cómo la Ciencia da pasos de gigante en su incesante búsqueda de respuestas.

¿Cómo serán los telescopios del futuro?
¿Cuál será el siguiente paso en su evolución?
Y, ¿qué nuevos descubrimientos nos esperan?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 5: EVOLUCIÓN ESTELAR

¿SOMOS POLVO DE ESTRELLAS?

- **SEC. INTRO**

ALF

Las estrellas, al igual que nuestro Sol, son grandes esferas de gas extremadamente calientes.

Pero las estrellas no brillan eternamente.

No han existido ni existirán siempre.

Al igual que los seres vivos, las estrellas nacen, evolucionan y mueren.

Aunque nuestra existencia sea demasiado corta para apreciarlo, continuamente aparecen nuevas estrellas y desaparecen otras.

Gracias a este ciclo, el Universo tiene su apariencia actual y ha evolucionado, incluso, hasta permitir el milagro de la vida.

Entonces, ¿estamos hechos de estrellas?

- **EXT. OT - IAC80. DIA**

ALF

Para entender la vida de las estrellas, la Astronomía ha encontrado una pista clave: su huella química.

Para hablar sobre ello, he quedado en uno de los laboratorios donde se analiza el historial químico de las estrellas,

el telescopio IAC 80, en el Observatorio del Teide.

Aquí trabaja, lo que podemos llamar, un "detective de estrellas".

• **INT. OT- IAC-80. DÍA - ENTREVISTA 1**

¿Cómo es la vida de una estrella?

La vida de una estrella depende de su tamaño: cuanto más grande, más rápido morirá.

Cuando una estrella evoluciona siempre lo hace, salvo en el caso de las estrellas gigantes, de manera lenta, pasando por sucesivos estados.

Estos estados están condicionados por los cambios en su composición química.

Las estrellas son enormes globos de gas incandescente formados principalmente de Hidrógeno y Helio, los elementos químicos más comunes y ligeros que existe en la naturaleza.

La composición de una estrella evoluciona a lo largo de su ciclo, aumentando su contenido en elementos pesados.

Podemos decir que las estrellas son fábricas de materia que trasmutan unos elementos en otros.

¿Cómo nace una estrella? ¿De dónde sale su materia prima?

No hay una teoría única que explique el nacimiento de una estrella.

Lo más probable es que se formen en nubes moleculares a partir de la condensación de gas, principalmente

hidrógeno (el elemento químico más ligero que hay en la naturaleza).

Cuando la acumulación de gas se contrae sobre sí misma, por efecto de la gravedad, la temperatura y la presión aumenta hasta tal punto que "prende el horno nuclear".

¿De qué depende el hecho de que llegue a "encenderse" una estrella?

No siempre se consigue "encender" una estrella. Dependerá de su masa.

Tanto si la protoestrella no tiene la masa suficiente, como si tiene una excesivamente superior a la de nuestro Sol, la estrella no llegará a formarse.

No obstante, este intento frustrado da lugar a objetos celestes híbridos, mitad estrella, mitad planetas, como las enanas rojas o las enanas marrones.

¿Cómo es la etapa estable de una estrella?

Durante el periodo central de su vida o secuencia principal (como en el caso del Sol, actualmente), el hidrogeno se transforma en Helio.

Durante la etapa estable de su vida la estrella mantendrá un doble equilibrio: térmico (la energía producida en el interior debe ser igual a la irradiada) e hidrostático (la presión interior debe compensar el peso de las capas superiores).

El equilibrio de la estrella se mantiene a lo largo de millones de años y de él depende su volumen.

¿Qué ocurre cuando se rompe este equilibrio?

Cuando este proceso se acaba, tiene lugar grandes alteraciones en el funcionamiento y composición de la estrella que la precipitan hacia su muerte.

A medida que pasa el tiempo, el núcleo es más rico en helio y pobre en hidrógeno por lo que la emisión de energía disminuye y con ello la presión y temperatura.

Sin su fuente de energía, el helio se convierte en el nuevo combustible y comienza la fusión del helio. Esta nueva fuente de energía hace que el núcleo de la estrella vuelva a estar tan caliente que la presión hacia el exterior aumenta.

Sin embargo, la gravedad no será suficiente para aguantar sus capas más externas y la estrella empezará a expandirse hasta convertirse en una gigante roja. En el caso de nuestro Sol aumentará tanto su tamaño que abrasará la Tierra.

• **EXT. PLAYA. DÍA - EXPERIMENTO**

Alfred habla a un entrevistador externo. Sostiene un palo con el que dibuja sobre la arena a la vez que habla.

ALF

Creemos que las estrellas nacen en nubes moleculares, extensas regiones donde se acumula materia a temperaturas muy frías. Una guardería estelar, donde las nuevas estrellas cobran vida.

Alfred dibuja una nube en la arena.

Debido a la acción de alguna fuerza externa, como la onda de choque originada por una explosión de una supernova, el gas y el polvo empieza a condensarse.

La fuerza de atracción gravitatoria hace que en su parte centra aumente la cantidad de materia y se multipliquen los choques entre partículas. Con ello la temperatura y la presión aumentan hasta tal punto que "prende el horno nuclear". Es el nacimiento de una estrella.

Alfred dibuja un círculo que representa una estrella.

Durante el periodo central de su vida o secuencia principal (como en el caso del Sol, actualmente), el hidrogeno se transforma en Helio.

Alfred vuelve a dibujar otro círculo mayor.

Cuando una estrella consume todo su combustible, se hincha, enfría y enrojece hasta acabar convirtiéndose en una gigante roja.

Alfred coloca una fotografía sobre el círculo dibujado en la arena.

Una de ellas es Betelgeuse, en la constelación de Orión, su color rojizo se puede distinguir incluso a simple vista.

Pero la verdadera muerte ocurre después.

• **INT. IAC-80. DÍA - ENTREVISTA**

¿De qué depende el final de una estrella?

La fusión del helio produce elementos químicos más pesados que iniciarán su fusión a medida que vayan agotándose las reservas. El núcleo se hará cada vez más compacto y denso, y la estrella entrará en una fase muy inestable que la conducirá hasta su muerte.

El final de una estrella dependerá fundamentalmente de la masa que posea.

En una estrella pequeña, como nuestro Sol, el astro colapsa y expulsa las capas exteriores de su atmósfera dando origen a una nebulosa planetaria. Con el tiempo, la envoltura del astro se difumina y queda una pequeña estrella con toda su masa comprimida en una esfera con un tamaño semejante a la Tierra: una enana blanca. Es lo que le ocurrirá a nuestro Sol dentro de 4.500 millones de años.

Las estrellas muy masivas, con tres veces más masa que el Sol, colapsan sobre sí mismas de manera que la materia se concentra mucho y la gravedad resultante hace que ni siquiera la luz pueda escapar de ella. Por ese motivo se les denomina agujeros negros. La materia cae en espiral hacia este pozo sin fondo lanzando un grito de agonía a través de radiación muy energética, como los rayos X.

En estrellas un poco mayores que el Sol, el colapso no se detiene, sino que continúa hasta destruir la estrella. A esta explosión se la llama supernova.

En las supernovas, la materia que forma el residuo de la estrella se comprime hasta quedar reducida al tamaño de una gran ciudad. Al contraerse tanto, la estrella gira sobre sí misma a gran velocidad, emitiendo chorros de energía a intervalos regulares, hasta varios cientos de veces por segundo. A este tipo de faro cósmico se le llama púlsar.

Las supernovas extienden al medio interestelar los materiales de las estrellas y proporcionan materia prima para nuevas planetas y estrellas.

• **EXT. PLAYA. DÍA**

Alfred se encuentra al lado de la gigante roja.

ALF

Las gigantes rojas son estrellas moribundas que, tras abandonar la secuencia principal, marcan el comienzo de la agonía de una estrella.

A partir de aquí, no todas las estrellas siguen la misma evolución, sino que ésta dependerá fuertemente de la materia que contengan.

ALF (OFF)

Las estrellas de poca masa se pueden extinguir de forma lenta y discreta, como le ocurriría a nuestro Sol, expulsando sucesivamente las capas exteriores de su atmósfera a través de fuertes vientos estelares.

Alfred dibuja una nebulosa planetaria.

De esta forma, la estrella se quitará de encima casi la mitad de su masa dando origen a brillantes nubes de gas y polvo. Es lo que se conoce como nebulosas planetarias y en el universo presentan formas tan elaboradas y complejas que recuerdan a hormigas, estrellas de mar u ojos de gato.

Alfred deja varias fotos de nebulosas sobre el dibujo.

La estrella que queda en su interior es una enana blanca, tan densa que una cucharada de su materia pesaría varias toneladas.

Alfred dibuja un pequeño círculo en el interior de la nebulosa.

Estas estrellas tienen una temperatura muy alta por lo que su luz es blanquecina, pero a medida que pase el tiempo se irá enfriando y debilitando hasta acabar convertidas en cadáveres sin brillo.

La estrella Sirius B, la compañera de la estrella más brillante del hemisferio Norte, Sirius A, es una enana blanca, así como la mayoría de las estrellas centrales en las nebulosas planetarias.

Alfred deja sobre el dibujo varias fotos de enanas blancas.

ALF

¿Qué pasa con las estrellas que tienen una masa más grande?

Las estrellas de gran masa gastan más rápidamente su combustible nuclear y mueren antes, generalmente, estallando en un inmenso cataclismo. Estas explosiones son las llamadas supernovas, que propulsan los preciosos elementos que la estrella ha producido en su interior a lo largo de su vida a decenas de miles de kilómetros por segundo.

ALF (OFF)

Las supernovas producen destellos de luz muy intensos que pueden durar desde varias semanas a varios meses. Desde la Tierra se han visto explosiones de supernovas a lo largo de la historia. La más brillante que se ha podido observar hasta la fecha fue en 2005 por la explosión de una estrella de más de 150 masas solares.

Las explosiones de supernovas se observan generalmente en otras galaxias. En nuestra galaxia no se ha observado ninguna desde la invención del telescopio.

Las supernovas pueden dejar como resto una nube dispersa de gas y polvo. Esta estructura nebulosa resultante se le llama remanente de supernova.

Alfred deposita fotos de supernovas

El remanente de supernova mejor observado es, probablemente, el de la Gran Nube de Magallanes que fue descubierta en 1987. No obstante, el ejemplo más famoso de resto de supernova es la nebulosa del Cangrejo, en la constelación de Tauro.

Aunque las supernovas proyecten al espacio la mayor parte de la materia de la estrella, en su interior queda un núcleo de neutrones en rotación rápida que emite radiación en forma de haz. Cuando la Tierra coincide con la dirección de este haz, vemos un destello en cada rotación. Este parpadeo es el motivo de que se le denomine pulsar.

Alfred muestra una imagen del pulsar.

El más famoso de todos los púlsares es quizás el que se encuentra en el centro de la Nebulosa del Cangrejo. Este púlsar se encuentra en el mismo punto en el que astrónomos chinos registraron una brillante supernova en el año 1054. Esto nos permite establecer la relación entre supernova y los pulsar.

Alfred vuelve dibuja una extraña espiral con un agujero en el centro.

Pero también puede ocurrir que, como resultado de una explosión, el núcleo de la estrella se comprima hasta anular completamente su volumen, dejando sólo un fuerte campo gravitatorio capaz de engullir todo lo que le rodea, incluida la luz.

Alfred deja una estela en la arena simulando un fotón que cae en el agujero.

Aunque podríamos pensar que algo así debería estar atractivamente iluminado, los agujeros negros son invisibles. Sin embargo, se pueden detectar gracias a las perturbaciones que producen en otros cuerpos cercanos.

El mejor candidato a agujero negro fue descubierto en Canarias, en 1992, en la constelación del Cisne.

Alfred muestra una imagen de la constelación y la deposita sobre la arena.

ALF

El estudio de la evolución estelar está condicionado por sus escalas temporales, casi siempre muy superiores a la de una vida humana.

Entonces, ¿cómo es posible que haya una teoría sobre la evolución de las estrellas si ninguna ha podido ser observada desde su nacimiento hasta su extinción?

Pare ello es necesario realizar observaciones de muchas de ellas, cada una en un punto distinto de su evolución, a modo de instantáneas de ese proceso.

En este aspecto es fundamental el estudio de la química de las estrellas o, lo que los científicos llamamos técnicamente, su metalicidad.

• **INT. OT-IAC80. DÍA - ENTREVISTA 2**

¿Qué es la metalicidad?

Llamamos metales a aquellos elementos más pesados que el hidrógeno y el helio.

Estos metales se crean en el interior de las estrellas cuando éstas se van quedando sin su combustible previo.

Así pues, la metalicidad es indicador de la etapa evolutiva de la estrella.

Las fases que atraviesa una estrella dependen fuertemente de su contenido en metales.

¿Cómo conocemos la química de las estrellas?

Para medir la abundancia de elementos en estrellas los astrónomos utilizamos un instrumento llamado espectrógrafo.

Gracias a él, podemos conocer la composición de una estrella estudiando las líneas de absorción de su espectro.

Una línea de absorción es una línea oscura en un espectro uniforme y continuo que configura una especie de código de barras. Cada elemento químico tiene su propio código.

Según la composición de la estrella podemos deducir su edad, la zona de la galaxia donde nació o a qué generación pertenece.

¿Quiere decir que las estrellas son descendientes de otras estrellas?

La composición química de una estrella no sólo cambia según el estadio

evolutivo en el que se encuentra, sino que también varía según la generación a la que pertenezca.

Al inicio de su vida una estrella similar al Sol contiene aproximadamente 75% de hidrógeno y 23% de helio. El 2% restante lo forman elementos más pesados, aportados por estrellas que finalizaron su ciclo antes que ella.

Dado el tipo de elementos químicos presentes actualmente en el Sistema Solar -como el oxígeno, silicio, magnesio o hierro-, sabemos que nuestro Sol es una estrella de segunda o tercera generación.

Es decir, que antes del Sol hubo otros soles y que los átomos de todo lo que conocemos se formaron progresivamente gracias a la actividad de generaciones de estrellas sucesivas.

Pero el álbum de familia del Sol no acaba aquí; la materia expulsada de estas estrellas no sólo formaron a nuestro astro, sino que en algún punto de la galaxia hay estrellas que son hermanas del Sol, formadas a partir del mismo complejo nebuloso.

Entonces, ¿es cierta la expresión de que "somos polvo de estrellas"?

Efectivamente, en el Sol encontramos los mismos elementos químicos, la misma clase de átomos y moléculas que encontramos en la Tierra; por lo que podemos deducir que los innumerables átomos que constituyen nuestro cuerpo se originaron en el interior de las sucesivas estrellas que forman el árbol genealógico del Sol.

En definitiva, "somos polvo de estrellas".

• **EXR. PLAYA. NOCHE - CIERRE**

Alfred en la playa sentado en la arena al lado de una fogata.

ALF (OFF)

El origen y la evolución de la vida están relacionados de modo íntimo con el origen y la evolución de las estrellas.

Es necesario que unas estrellas mueran para que otras nazcan. Es así como hace sólo 4500 millones de años una estrella nació en la periferia de una galaxia espiral llamada la Vía Láctea. Nos referimos a la estrella más importante de todas las que conocemos en el Universo, nuestro Sol.

Gracias a estas muertes, el espacio se ha ido enriqueciendo de nuevos átomos que más tarde, en la Tierra, se han podido combinar para formar organismos vivos. No hay duda, ¡somos hijos de las estrellas!

ALF

Según estimaciones, el universo observable podría albergar cien mil millones de galaxias.

Nuestra galaxia, la Vía Láctea, contiene unos doscientos mil millones de estrellas.

Por lo tanto, el número de estrellas que el ser humano podría llegar a contar desde el planeta Tierra es del orden de... ¡veinte mil millones de billones de estrellas!

Un puñado de arena contiene un millón de granos. Así que hay más estrellas en el Universo observable que granos de arena en todas las playas y desiertos de la Tierra.

Pero aún más sorprendente es pensar que los átomos de esta arena se cocinaron en el mismo horno que dio lugar a nuestro Sistema Solar.

ALF(OFF)

Tarde o temprano a cada estrella le llega su fin. Un día nuestro Sol se desplomará sobre sí mismo y los preciosos elementos creados en su interior se formarán parte de nuevas estrellas y nuevos mundos

Y el ciclo continuará durante eones, hasta que el Universo llegue a su fin.

¿Cómo serán esos nuevos mundos? ¿Qué otros soles, qué otros planetas y, tal vez, qué otras formas de vida nos sucederán?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA

CAPÍTULO 6: EXOPLANETAS

¿Estamos solos en el Universo?

- **INTRO**

ALF

Hoy sabemos que en el Universo hay unas 200 mil millones de galaxias.

Y nuestra galaxia, la Vía Láctea, está formada por cerca de cien mil millones de estrellas.

Alrededor de una de esas estrellas, nuestro Sol, orbita una familia de ocho planetas.

Pero sólo en uno de ellos, estamos seguros de que existe vida: la Tierra.

El universo parece haber edificado las mismas estructuras en todo el espacio.

Parece lógico pensar que la misma historia haya podido desarrollarse en otra parte.

Durante miles de años la humanidad ha soñado con la existencia de otros mundos.

Pero su confirmación parecía resistirse a los científicos.

Por suerte, hace apenas dos décadas el sueño se cumplió.

Un hallazgo que revolucionaría para siempre la historia de la astronomía:

El descubrimiento de un planeta fuera de nuestro Sistema Solar.

El primer exoplaneta.

Desde entonces los hallazgos de nuevos planetas extrasolares se han multiplicado.

Y su estudio ha abierto las puertas a una nueva y productiva área de la investigación astronómica.

Pero en esta nueva exploración hay una pregunta en la mente de todos:

¿Existe vida en otros planetas? ¿Cómo puede la ciencia actual saberlo?

CABECERA

- **PRESENTACIÓN**

ALF

A principios del siglo XX, muchos astrofísicos no creían siquiera que hubiera otros mundos en el universo.

La existencia de planetas fuera del sistema solar era, simplemente, una fantasía.

De hecho, hace apenas dos décadas, nuestra lista de planetas conocidos empezaba en Mercurio y terminaba en Plutón.

Hasta que un día de 1995 se dio a conocer el descubrimiento del primer planeta fuera de nuestro Sistema Solar.

Este hallazgo dio paso a una carrera frenética para tratar de detectar nuevos planetas alrededor de otras estrellas.

Actualmente, hay miles de candidatos a exoplanetas y la lista crece cada día.

Una vez que estos planetas se encuentran, los esfuerzos se concentran en su estudio y caracterización para ver si en ellos se dan las condiciones adecuadas para la vida.

Pero los exoplanetas están tan lejos y son tan pequeños que es muy difícil tener una fotografía clara de ellos.

Así que he quedado aquí, en este Planetario, donde se proyectan recreaciones de fenómenos astronómicos, con un joven investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias que estudia este tipo de planetas.

Para ello, trata de perfeccionar técnicas que permitan obtener información de la atmósfera de esos planetas utilizando como modelo uno de los planetas que mejor conocemos, la propia Tierra.

• **ENTREVISTA**

¿Qué es un planeta?

Un planeta es, a grandes rasgos, un cuerpo celeste de forma esférica que orbita alrededor de una estrella o remanente de ella.

¿Cómo se forman los planetas?

Los astros nacen a partir de la fragmentación y el colapso del polvo y de las nubes de gas que se encuentran en las regiones de formación estelar.

En una fase avanzada del colapso, la estrella empieza a consumir su hidrógeno en el núcleo. Durante este proceso, el entorno de la estrella queda plagado de material sobrante que gira a su alrededor en forma de disco.

La teoría dominante entiende que los planetas se forman a partir de esos discos de gas y polvo, es decir, son el fruto de la acumulación del material que orbita alrededor de una estrella que se va compactando.

¿Es la formación de planetas un fenómeno habitual en el Universo?

Sería lógico pensar que, si en toda formación estelar existe ese material flotando alrededor, lo más probable es que todas las estrellas tengan planetas.

Sin embargo, hace tan sólo unos años nuestra lista de planetas conocidos empezaba en Mercurio y terminaba en Plutón.

¿Por qué hemos tardado tanto en comprobarlo? Se suponía que tenían que existir otros en un número incalculable, pero no existía la tecnología para descubrirlos.

Hasta que en 1995 unos investigadores dieron con un método de detección indirecto que les permitió descubrir el primer planeta que no pertenecía al Sistema Solar y que orbitaba una estrella. A partir de entonces se dispararon los hallazgos.

A esos planetas que orbitan una estrella diferente al Sol y que, por tanto, no pertenece al Sistema Solar, se los conoce como exoplanetas o planetas extrasolares.

¿Por qué los buscamos?

1. Tratar de entender el origen y evolución de nuestro Sistema Solar
2. Poner a prueba las teorías sobre formación planetaria
3. Simplemente, curiosidad (responde algunas de las grandes preguntas de la humanidad):
¿Qué diversidad de mundos y planetas existe?
¿Existen otros planetas que albergan vida como la Tierra?

¿Se pueden ver exoplanetas a través de la observación directa?

La imagen directa, que parece la técnica más obvia para ver objetos en el cielo, apenas cuenta con unas pocas decenas de planetas en su lista.

El principal problema es que al no tener luz propia y encontrarse cerca de objetos muy brillantes, el contraste entre la luz de la estrella y la reflejada por el planeta es enorme y muy difícil de plasmar en una imagen.

Entonces, ¿cómo podemos saber si hay planetas alrededor de todas las estrellas?

Los planetas descubiertos hasta el momento se han detectado gracias a varios **métodos indirectos**:

1. Por **velocidad radial** o astrometría (medimos cómo el planeta altera el movimiento de su estrella);
2. Por **tránsitos** (midiendo los cambios en la luz de la estrella al pasar un objeto por delante de la misma);
3. Por **efecto de microlente gravitacional** (un objeto, ubicado entre la Tierra y la estrella observada, hace de lupa y aumenta la imagen que captamos de esa estrella y su planeta);
4. Por **timing** (variación del momento en que se producen los eclipses de estrellas binarias debido a que puede haber planetas orbitando alrededor de las mismas).

• **EXPERIMENTO - CAMPO DE ATLETISMO**

ALF

Aunque ver estrellas de noche a simple vista es bastante sencillo, encontrar exoplanetas es extremadamente difícil.

Son muy poco luminosos ya que no tienen luz propia, sino que reflejan la de la estrella que orbitan.

Además, al encontrarse cerca de objetos muy brillantes, el contraste entre la luz de la estrella y la reflejada por el

planeta es enorme y muy difícil de plasmar en una imagen directa.

Una estrella es miles de millones de veces más brillante que un planeta.

Alfred utiliza un led frente al foco.

Como ejemplo, multipliquemos por cinco la luz que emite la iluminación de un campo de futbol de primera división y concentrémosla en un solo foco como éste.

Justo al lado, ponemos una bombillita led de las que se utilizan para la iluminación navideña. Si nos alejamos, será muy complicado distinguir el led, ya que la luz del enorme foco inundará su espacio circundante.

El problema de obtener una imagen directa de un planeta es cómo eliminar el enorme brillo de la estrella que satura la exposición de luz.

Pero, además, cuando tratamos de observar exoplanetas la luz que nos llega es tan lejana que a veces se traduce en poco más que un minúsculo punto luminoso.

Para hacernos una idea, observar el Sol y la Tierra desde la estrella más cercana (4 años luz) equivaldría a observar un grano de arena con una mota de polvo a unos pocos milímetros girando a su alrededor, pero visto a un kilómetro de distancia.

El exoplaneta más cercano a la Tierra detectado se encuentra a 10 años luz de distancia.

Este es el motivo de que hayamos tardado tanto, hasta los años 90, para detectarlos.

Por ello, los científicos han tenido que idear métodos alternativos para encontrarlos.

Cuando trabajamos con técnicas indirectas lo que percibimos es la luz de una estrella, no la del exoplaneta.

El método de tránsitos consiste en observar periódicamente estrellas para detectar variaciones en su brillo cuando un cuerpo celeste bloquea algo de luz al pasar frente ella. El oscurecimiento va en proporción al tamaño tanto del planeta como de la propia estrella.

Es el método con el que se ha encontrado la mayoría de exoplanetas.

Alfred utiliza el fotómetro. Hace pasar una pequeña pelota frente al foco y detecta la disminución de su brillo.

El sistema de velocidad radial consiste en medir cómo el planeta altera el movimiento de su estrella, haciendo que esta se desplace ligeramente con un "bamboleo".

Alfred realiza el clásico lanzamiento de martillo.

Para entenderlo imaginemos el sistema Sol-Tierra. Sabemos que la Tierra gira alrededor del Sol, pero a su vez el Sol también gira con la Tierra. Hay un punto sobre el que giran ambos objetos.

La estrategia consiste en medir las variaciones en la velocidad relativa de la estrella con respecto a la Tierra a través del desplazamiento de las líneas espectrales de la estrella debida al efecto Doppler.

Este método es especialmente útil para encontrar planetas grandes que giren

cerca de su estrella, los conocidos como "jupiter calientes".

El método encuentra fácilmente planetas masivos y cercanos a sus estrellas, sin embargo para detectar los que se hayan a distancias mayores es necesario muchos años de observación.

Pero está técnicamente limitado puesto que se necesita captar espectros de alta precisión. Por ello generalmente se utiliza para estrellas cercanas.

El método de la velocidad radial puede utilizarse para confirmar hallazgos de planetas que utilizan el método de tránsito. Cuando ambos métodos se usan combinadamente, entonces puede estimarse la masa real del planeta.

- **ENTREVISTA**

¿Cuántos exoplanetas conocemos?

Ya tenemos casi 800 exoplanetas localizados y definidos con sus características, pero hay unos 2.000 más por confirmar.

¿Qué interés tiene hacer una lista cada vez más larga?

No es una acumulación sin más.

Estamos descubriendo constantemente cosas interesantes, como sistemas múltiples, planetas en torno a dos estrellas, diferentes tamaños y órbitas... Además, estamos haciendo análisis de la composición química de la atmósfera de esos objetos y conociendo su temperatura.

Cuanto más objetos extrasolares conozcamos más sabremos sobre nuestro Sistema Solar, ya que los sistemas como el nuestro son muy difíciles de detectar.

¿Qué sabemos de estos planetas extrasolares descubiertos?

Básicamente, se distinguen dos tipos de exoplanetas: gigantes gaseosos o júpiter caliente y terrestres (supertierras y Tierras).

Los júpiter calientes son una clase de planeta extrasolar compuesto principalmente de gas, cuya masa es similar (o excede) a la de Júpiter.

Fueron los primeros en ser encontrados y su descubrimiento supuso un desafío para nuestro modelo de formación planetaria.

Los planetas del tipo júpiter caliente detectados están unas 100 veces más cerca de sus estrellas madre que Júpiter en nuestro Sistema Solar. Y pueden orbitar su estrella aproximadamente ocho veces más cerca que Mercurio del Sol. Todos tienen órbitas circulares de excentricidad muy baja y sus períodos orbitales son de sólo unos días terrestres.

Se piensa que en todos ellos se ha producido migración planetaria, ya que no debería haber material suficiente tan cerca de la estrella para que se forme un planeta de esa masa.

Representan la mayoría de los planetas descubiertos hasta ahora ya que debido a sus características es más probable lograr detectarlos por los métodos de tránsito astronómico (es más sensible a planetas con órbitas pequeñas y periodos orbitales cortos) y velocidad radial (las oscilaciones que inducen en el movimiento de la estrella madre son relativamente grandes y rápidos) que planetas con órbitas más lejanas, como Júpiter (periodo orbital de más de 11 años).

Un planeta terrestre es un planeta con una superficie sólida, constituido por un núcleo metálico y un manto de silicatos que lo rodea. Las Supertierras son planetas extrasolares "terrestres" que posee entre una y diez veces la masa de la Tierra.

Su descubrimiento también cambió nuestra comprensión de la ciencia planetaria ya que se

pensaba que cuanto más grande era un planeta lo más probable era que fuera un gigante gaseoso.

No sabemos aún cómo son las condiciones en este tipo de planetas. Todos los que se han descubierto (algunos con tránsitos) se encuentran muy cerca de la estrella a la que orbitan por lo que, de momento, son supertierras "calientes".

Resumiendo, ¿Cuántos planetas hay de cada tipo? De los exoplanetas descubiertos, hay más de 600 que tienen un tamaño similar a Júpiter y una veintena son mayores que Júpiter.

Cerca de 300 son supertierras y casi un centenar tienen un tamaño parecido al de la Tierra.

¿Qué hemos aprendido de estos exoplanetas? Lo más importante que hemos aprendido es que el Sistema Solar es uno de los muchos tipos que hay. Existe una diversidad de sistemas planetarios asombrosa. Los sistemas planetarios múltiples son extremadamente comunes. Y los sistemas planetarios con uno o varios planetas terrestres, también.

Desde el punto de vista de la estructura, hay sistemas compactos, planetas que están solos, planetas que están a la altura de Neptuno, planetas gigantes de 20 veces el tamaño de Júpiter...

Por ahora, sabemos que:

- Un 30% y un 50% de estrellas tienen planetas.
- Un 17% estrellas tienen Júpiter Calientes.
- Un 50% de las estrellas albergan Neptunos.
- Un 60% albergan planetas terrestres.
- Un 20-30% estrellas de "tipo solar" albergan planetas.

En algunas regiones jóvenes, de formación estelar, algunos equipos han encontrado objetos pequeños que podrían ser de la masa de un planeta gigante que no está gravitacionalmente sujeto a ninguna estrella, y por tanto se mueve por el espacio como un objeto independiente. Se llaman

planetas errantes. Pero es muy difícil confirmar su existencia.

También se han descubierto otro tipo de exoplanetas que orbitan alrededor de púlsares, llamados planetas púlsar, de apariencia tan densa que podrían estar hechos de diamante.

Resumiendo, ahora sabemos que la formación de planetas es un proceso natural del Universo, pero en muchísimas formas.

La existencia de planetas alrededor de estrellas es más la norma que la excepción.

¿Cuál es el siguiente paso en la investigación de los exoplanetas?

Un problema importante en la investigación de exoplanetas es determinar si existen tipos de estrellas más proclives que otras a la creación de planetas. En las estrellas, cuanto mayor es la masa, más corta es su existencia. ¿Acaso la formación de un planeta requiere de un tiempo determinado? ¿Se crean discos alrededor de todas las estrellas, independientemente de cuál sea su tamaño? ¿Qué condiciones deben darse?

Pero, sobre todo, la comunidad astrofísica tiene dos objetivos pendientes:

El primero es ser capaces de detectar planetas más pequeños similares a la Tierra; y el segundo es intentar obtener información de la atmósfera de estos planetas, ver cómo cambia la luz cuando pasan frente a las estrellas.

El objetivo último de la investigación sería encontrar exoplanetas gemelos de la Tierra, para poder explorar la existencia de vida en planetas similares al nuestro, en cuanto a su composición rocosa, atmósfera y océanos.

¿Cuáles son las condiciones necesarias para que exista vida en un planeta?

Para que pueda haber vida en un planeta, éste tiene que estar a una distancia específica de la estrella, en la denominada zona de habitabilidad.

Ésta es el anillo alrededor de una estrella donde el flujo de la energía estelar permite a la superficie terrestre de un planeta permanecer a la temperatura adecuada para que pueda existir agua líquida y atmósfera.

Si está demasiado cerca hará demasiado calor, pero si está demasiado lejos no recibirá la luz y el calor suficientes. Por ello a los planetas que están en la zona de habitabilidad se les denomina coloquialmente Planetas Ricitos de Oro (del inglés, Goldilocks) debido al cuento de *Ricitos de oro y los tres ositos* en el que una niña elige de un conjunto de tres artículos, descartando aquellos que son demasiado extremos (grande o pequeño, caliente o frío, etc.), y eligiendo el del medio.

Hay cerca de medio centenar de exoplanetas descubiertos que son candidatos a ser Ricitos de Oro, es decir, que no se encuentra ni demasiado cerca ni demasiado lejos de su estrella para excluir a la vida (como los humanos la conocemos) en el planeta.

¿Qué relación existe entre los tipos de estrellas y su zona de habitabilidad?

Las características y evolución de la zona de habitabilidad se encuentran estrechamente ligadas a la vida de las estrellas.

Por ello, las búsquedas que están realizando los equipos de cazaplanetas se centran en estudiar estrellas similares en tamaño al Sol, ya que se estima que los astros de menor masa son más abundantes y, por su parecido a nuestra estrella, quizá tengan condiciones análogas para la formación de un sistema planetario.

En los próximos 10 o 20 años tendremos la primera lista de planetas potencialmente habitables en el vecindario solar. Hacer esa lista es esencial

antes de que futuros experimentos sean capaces de buscar señales espectroscópicas de vida en las atmósferas de los exoplanetas.

N.B. Habitable ≠ Habitado

¿Qué hace a un planeta habitable? ¿Cuáles son las condiciones que se deben dar en los candidatos a exo-Tierra?

- Tamaño del planeta
- Distancia al Sol (o estrella): capaz de mantener agua líquida en su superficie.
- Estrella de larga vida y estable.
- Planetas con órbitas estables (temperaturas estables)
- Elementos pesados: C, N, O, etc.
- Protección de la radiación ultravioleta

Para que un planeta tenga el potencial de albergar el tipo de vida que conocemos, su estrella madre debe cumplir ciertos requisitos de tamaño, edad, luminosidad y estabilidad.

El planeta candidato también ha de contar con unas características determinadas de masa, órbita, distancia a la estrella, lunas, continentes, actividad tectónica, presión atmosférica y campo magnético. Asimismo, tiene que estar localizado a cierta distancia de su sol como para permitir la existencia de agua líquida en su superficie, la llamada zona habitable.

Masa: La primera característica que debe cumplir la estrella anfitriona es no ser demasiado masiva. Las estrellas más grandes del universo tienen masas cientos de veces mayores que las de nuestro sol. Son astros que viven rápido y mueren jóvenes. Cuando esto ocurre, no da tiempo a que la vida se establezca. (En el caso de las estrellas pequeñas, un 8% la masa solar, tampoco funciona, porque entonces no podrían mantener una fusión de hidrógeno en su núcleo).

Edad: si el sol es demasiado joven -unos cientos de millones de años-, es probable que todavía no

haya surgido la oportunidad de que comience la vida en su seno. Por eso, hay que buscar estrellas que estén en la etapa de secuencia principal, en la plenitud de sus vidas, con un mínimo de mil millones de años de edad, que es cuando su luminosidad aumenta.

Por ejemplo, en su estadio juvenil, el Sol apenas tenía un 70% de su luminosidad presente, y eso cambia la extensión y localización de la zona habitable. Para que los planetas dentro de esta área hayan tenido tiempo de albergar una biosfera, necesitarían haber pasado cientos de millones de años bajo una luminosidad apropiada y estable.

Agua: La presencia de agua líquida, que además debe complementarse con la existencia de los continentes terrestres es otro factor importante para que un planeta extrasolar sea habitable. Se ha sugerido que la presencia de los continentes también juega un papel importante en el desarrollo de la vida, puesto que, a medida que las rocas se degradan, proveen minerales y metales que se diluirían en el mar.

Otra característica fundamental para un aspirante a exo-Tierra es la presión atmosférica, que garantiza la presencia de agua líquida en la superficie y evita que se evapore.

También resulta importante la actividad tectónica, que devuelve a la atmósfera el carbono secuestrado, aunque a menudo se ha sugerido que sin agua no habría dicha actividad, ya que el líquido actúa como lubricante de las placas continentales.

¿Será posible determinar si hay vida en estos planetas tan lejanos? ¿Cómo lo sabremos cuando encontremos uno?

Hoy día no podemos, pero puede que en el futuro sí. Especialmente si piensas que la vida produce ciertas señales en la atmósfera.

Pero debemos tener en cuenta que en la Tierra la atmósfera representa una capa muy fina, así que requiere mucha precisión analizarla por lo que tenemos que mejorar la tecnología.

N.B. Cada 100.000 fotones que nos llegan de la estrella, solo 1 ha cruzado la atmosfera del planeta.

La espectropolarimetría analiza tanto el espectro electromagnético como la polarización. Esto podría abrir las puertas a una futura técnica que se utilizaría con el fin de saber si el exoplaneta que estamos observando cuenta con océanos o con vegetación.

Un método que analiza la luz terrestre reflejada en la Luna para caracterizar marcadores de vida. La técnica, que es capaz de detectar incluso la existencia de vegetación, podría llevar al descubrimiento de vida extraterrestre en un futuro.

Estudiar la Tierra como si se tratara de un planeta fuera del Sistema Solar. Y observarla no de forma directa, sino a través del reflejo que proyecta sobre su satélite, la Luna. "El sol brilla sobre la Tierra y esta luz se refleja a su vez sobre la superficie lunar. El satélite, por tanto, actúa como un gran espejo que devuelve la luz terrestre hacia nosotros.

La luz de un exoplaneta distante es muy difícil de analizar porque es eclipsada por el potente resplandor de la estrella que lo ilumina. "Es comparable a tratar de observar un grano de polvo junto a una bombilla potente. Sin embargo, el reflejo del planeta sobre su satélite está polarizado (orientado en una dirección), lo que permite su análisis de forma sencilla mediante técnicas polarimétricas.

El grupo analizó la luz que reflejaba la Tierra sobre la Luna como si fuera la primera vez que veían nuestro planeta.

¿Y qué concluyeron? La luz les indicó que la atmósfera terrestre es parcialmente nubosa, que parte de su superficie está cubierta por océanos y otro dato especialmente crucial: que hay vegetación. Los científicos pudieron incluso detectar los cambios que se producen en la cobertura de nubes de la Tierra y en la cantidad de vegetación en diferentes partes del planeta. Todo ello, con el reflejo sobre la Luna.

Su aplicación en las nuevas generaciones de telescopios -más potentes- podría fácilmente brindar a la humanidad la noticia de que hay vida más allá de su planeta.

¿Por qué estudiar la Tierra como un exoplaneta? Es el único planeta conocido que alberga vida.

El espectro de un planeta habitable: presencia simultánea de Agua, Ozono (Oxígeno) y Dióxido de Carbono.

Estos tres gases no pueden co-existir en la atmósfera de un planeta sin la presencia de vida.

¿Alcanzaremos algún día estos planetas? Eso es algo difícil porque estamos hablando de años luz de distancia, es decir, están muy lejos para viajar.

Ya hay una sonda que está viajando, la Pioneer, que fue lanzada hace 30 años y ahora acaba de salir del Sistema Solar mientras avanza hacia Próxima Centauri y tardará 10.000 años en llegar. Mi predicción es simple: estoy seguro de que habrá otra sonda que llegará antes que Pioneer a ese sistema estelar porque mejoraremos la tecnología para viajar más rápido.

El planeta extrasolar habitable más próximo estaría a unos 30 años luz, es decir, 1.000 millones de veces más lejos que la Luna, así que se tardaría muchísimo. Cabe pensar en nuevas tecnologías para viajar más rápido, pero el coste energético sería descomunal, algo completamente loco, y viajar a una velocidad cercana a la de la

luz... En realidad es un problema de leyes físicas, no de tecnología. Así que visitar esos mundos es impensable porque están muy lejos. Para aprender algo de ellos nos queda observarlos con telescopios.

• **CIERRE**

ALF (OFF)

En todas partes del Universo las partículas han formado átomos y estos a su vez moléculas.

En todas partes las nubes de materia interestelar se han acumulado y dado a luz estrellas.

En todas partes hay estrellas que poseen séquito de planetas a su alrededor.

Parece probable que se hayan dado procesos semejantes necesarios para la vida en millones de mundos diferentes.

Pero, aunque la lógica sea aplastante, la realidad es que aún no tenemos pruebas.

ALF

La Tierra es el único planeta que conocemos que contiene agua, vegetación, un clima templado y una atmósfera respirable.

Su distancia respecto al Sol, su tamaño y composición química son los adecuados para que haya surgido la vida.

Todas estas condiciones nos pueden parecer excepcionales.

Pero no se trata de coincidencias.

Si las leyes que organizan la materia y hacen posible el camino de la vida son iguales en todo el Universo,

En el espacio puede haber millones de historias iguales a la nuestra, pero el problema es que sus protagonistas no están aquí para contarlo.

Nuestra vida es el único relato que podemos contar, por ello nos parece tan extraordinario.

ALF (OFF)

Por suerte, cada vez hay más misiones, tanto desde Tierra como en el Espacio, dedicadas a esta búsqueda.

Hoy estamos viviendo un momento único en la historia; somos la primera generación de científicos que tenemos una oportunidad real de examinar la disposición y la composición de muchos otros sistemas planetarios.

Por ahora, conocemos una multitud de mundos inhóspitos, pero en las próximas décadas empezaremos a saber cuáles tienen las condiciones necesarias para la vida.

Quién sabe si algún día necesitemos visitarlos y colonizarlos.

¿Estaré el Universo repleto de vida?
¿Qué formas tendrán? ¿Habrá evolucionado y formado civilizaciones como nosotros?

Quizás, en este preciso momento existan seres, orbitando otros soles, mirando hacia arriba y preguntándose, ¿quién más hay ahí fuera?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 7: METEORITOS

¿NOS PUEDE TOCAR LA LOTERÍA CÓSMICA?

- **INTRO**

ALF (OFF)

En la maquinaria del Universo no hay lugar para la compasión.

Como un niño cruel que se divierte desmontando su juguete, el Cosmos juega con el destino de galaxias, estrellas y planetas a base de golpes, colisiones y pedradas.

Afortunadamente, no hemos sido testigos de una catástrofe gigantesca, pero la Tierra sí ha sido víctima de grandes impactos.

Los producidos por grandes meteoritos cuya influencia catastrófica han jugado un papel determinante en la formación de nuestro planeta y en la evolución de nuestra especie.

Los escasos testimonios de impactos recientes se deben a que somos una especie bastante joven.

Sin embargo, las colisiones de asteroides son algo bastante común en el Universo.

Casi todos los planetas y satélites del Sistema Solar presentan multitud de amargas cicatrices que el tiempo ha escarbado en sus superficies.

Entonces, ¿suponen los meteoritos un peligro real para la especie humana? ¿Estamos a tiempo de que nos toque la lotería cósmica?

CABECERA

• **EXT. QUIOSCO LOTERIA, CALLE. DÍA - INTRO**

Alfred compra un décimo de lotería en un quiosco y se aleja de camino al Museo de Ciencias Naturales.

ALF

La probabilidad de que nos toque la lotería de Navidad es de 1 entre 15 millones.

En cambio, una roca de dos kilómetros, capaz de provocar la devastación de todo el mundo, sólo se precipita sobre la Tierra una vez cada millón de años de media.

ES decir, es más probable que nos caiga un meteorito encima a que nos toque la lotería.

¿Qué consecuencias puede tener para nosotros que nos toque la lotería cósmica?

• **INT. MUSEO DE LA NATURALEZA Y EL HOMBRE. DÍA. - ENTREVISTA**

Alfred camina por el interior del Museo de la Naturaleza. Llega a un pasillo donde se observan varios ejemplares de meteoritos y se encuentra con el entrevistado.

ALF (OFF)

Antes de conocer cuál es el primer premio de la lotería cósmica, lo mejor es ver cara a cara algunos ejemplares de sorteos anteriores.

Para ello, nos hemos acercado a un lugar que cuenta con una amplia muestra de meteoritos.

Aquí trabaja un biólogo aventurero que ha realizado numerosas expediciones al norte de África buscando los denominados cráteres de impacto.

RÓTULO: Lázaro Sánchez-Pinto director del Museo de la Naturaleza y el Hombre (Santa Cruz de Tenerife)

ENTREVISTA:

¿Por qué es tan difícil encontrar un meteorito?
¿Cómo sabemos identificarlos?

Los meteoritos a menudo se confunden con piedras y rocas del terreno; otros son inaccesibles por hallarse sumergidos en el océano.

Más del 90 por ciento de los meteoritos que vienen de asteroides presentan indicios de fusión o grandes metamorfismos, cambios mineralógicos causados por las altas presiones y temperaturas.

¿Qué podemos aprender del estudio de los meteoritos?

Los meteoritos nos permiten determinar la química y la mineralogía de los asteroides y conocer el estado evolutivo de nuestro planeta hace 4500 millones de años.

Su estudio es, en muchos sentidos, más eficiente y barato que enviar una misión espacial a un lugar concreto del Sistema Solar para recoger muestras.

¿Cuántas clases hay de meteoritos?

Los meteoritos se pueden clasificar por su origen y composición.

Los de tipo planetario provienen directamente de otros planetas rocosos, como Marte o la Luna, que al ser golpeados por un meteorito grande eyectan trozos de material al espacio que luego pueden caer sobre la Tierra.

Los de tipo asteroidal son los más comunes y pueden ser de varias clases:

- Metálicos: con un elevado contenido en hierro y níquel. Representan el 5% de los meteoritos que caen sobre la Tierra. Corresponden a los núcleos de asteroides fundidos.

- Carbonosos: formados principalmente de piedra. Se subdividen en:

- Condritas: formadas por cóndrulos, esferas pequeñas de minerales. Son los meteoritos más comunes (representan casi el 90%). Contienen los materiales orgánicos más antiguos y primitivos encontrados.
- Acondritas: sin cóndrulos, similares a las rocas ígneas terrestres.

- Mixtos (Pedregoso-metálicos): son una mezcla de ambos tipos.

El meteorito Hoba (Namibia) es el meteorito más pesado y la masa natural de hierro más grande que se conozca sobre la superficie de la tierra. Mide 2,7 metros por 2,7 m por 0,9 m de altura. Su masa es de unas 60 toneladas.

Lázaro invita a Alfred a levantar un meteorito de tipo metálico. A pesar de los esfuerzos, Alfred no puede ni moverlo.

Objetos como estos deben dejar cráteres enormes. ¿De qué depende el tamaño de un cráter?)

Por norma, los cráteres abiertos en superficies rocosas son entre 10 y 20 veces mayor que el objeto que las formó. Este ejemplar tuvo que dejar un cráter de unos X metros de diámetro...

• **EXT. PLAYA. DÍA - EXPERIMENTO**

Alfred pasea por la playa, sus huellas son borradas por las olas del mar.

ALF

Los impactos de asteroides son un fenómeno general en nuestro sistema planetario, de cuyas consecuencias ningún planeta ha escapado, ni siquiera la Tierra.

Los fragmentos de asteroides que sobreviven a la abrasadora caída a través de la atmósfera terrestre se les denomina meteoritos.

Un rasgo distintivo de los meteoritos son los cráteres que forman tras el impacto.

Alfred lanza una piedra a gran velocidad contra la arena.

ENCADENA: IMÁGENES DE RECURSO

ALF (OFF)

El tamaño del cráter depende principalmente de la velocidad y las dimensiones del cuerpo que choca contra la Tierra.

En el impacto, la energía cinética del meteorito se convierte en presión y calor que son transferidos a las rocas de la superficie terrestre provocando un cráter.

La mayor parte de la energía se propaga en una onda de choque semiesférica que viaja por la roca y puede dar lugar a dos tipos de cráteres.

- Cráteres simples: Tienen forma de cuenco con reborde elevado. Bajo su base se encuentra una capa de roca fracturada y mezclada con rocas transformadas por las altas presiones y temperaturas.
- Cráteres complejos: Se forman cuando un meteorito de tamaño kilométrico colisiona con la Tierra. Son más anchos que profundos y presentan estructuras centrales elevadas debido a que las rocas afectadas rebotan hacia arriba y elevan el fondo de la cavidad. Se asemeja al efecto producido por una gota de agua al caer en un estanque.

Alfred habla a cámara.

ALF

Hasta hace apenas unas décadas nadie había pensado en la posibilidad de encontrar cráteres en la Tierra.

La actividad volcánica, los movimientos tectónicos, la erosión y las transformaciones causadas por los seres vivos han borrado eficazmente de la superficie de la Tierra muchas de las huellas.

Además, si tenemos en cuenta que los mares ocupan las siete décimas partes de la superficie del globo, cabe suponer que la mayor parte están escondidos en el fondo de los océanos.

Alfred lanza una piedra al mar.

CRÁTERES

• **INT. MUSEO DE LA NATURALEZA Y EL HOMBRE. DÍA**

Alfred sigue en el Museo con Lázaro.

¿Cuántos cráteres se han encontrado hasta la fecha y dónde?

Hasta hoy se han identificado apenas **dos** centenares de cráteres de impacto en la superficie terrestre.

Dos terceras partes de los cráteres se encuentran en zonas con poca actividad que han permanecido geológicamente estables durante mucho tiempo, especialmente, en glaciares y desiertos.

¿Cómo los expertos no confunden los cráteres con cualquier otro accidente geológico?

Los geólogos saben que un cráter se formó por impacto de un meteorito si observan señales de la onda de choque en las rocas. Por ejemplo:

Conos rotos: se encuentran en las rocas que rodean los cráteres. Semejan guijarros en forma de V.

Rocas de altas temperaturas: son rocas que se forman cuando salta roca fundida al aire y se solidifica al volver al suelo.

Deformaciones microscópicas: la estructura cristalina de algunos minerales se transforma al paso de las ondas de choque y desarrolla estrías.

¿Qué podemos aprender del estudio de los cráteres?

Los meteoritos pueden fragmentarse en la atmósfera y caer como una lluvia de rocas sobre un área conocida como campo de dispersión.

Generalmente este tiene forma elíptica ya que el eje principal siempre es paralelo a la dirección de vuelo del meteorito.

El estudio de la simetría de los cráteres y su profundidad puede sugerir el ángulo de impacto y determinar la órbita del meteorito. Por ejemplo, un impacto oblicuo dejará cráteres poco profundos y alargados, en forma de gota.

En la mayoría de los casos, los meteoritos más grandes de una lluvia son encontrados un poco más lejos que el resto de las rocas dentro del campo de dispersión.

¿Cuál es el mayor cráter de impacto hallado en la Tierra?

El mayor cráter de impacto localizado en la Tierra es el cráter semisumergido de Chicxulub, en la Península del Yucatán, en México, de 200 kilómetros de diámetro y 50 de profundidad.

El meteorito que lo originó pudo tener más de 10 kilómetros de diámetro y existen evidencias de que fue el causante hace 65 millones de años de la muerte del 70 % de las especies de la Tierra, entre ellas, los dinosaurios.

¿Se conoce el impacto reciente de algún meteorito?

En 1908, en la región siberiana de Tunguska, una explosión equivalente a 1.000 bombas de Hiroshima, arrasó 2.150 kilómetros cuadrados y derribó 80 millones de árboles.

Aún no se ha encontrado el cráter de impacto, por lo que podría haber explotado antes de tocar el suelo a algunos kilómetros de altura.

Aún se discute si se trató de un meteorito, de unos 60 metros de diámetro, o de un cometa.

• **EXT. PLAYA. DÍA - EXPERIMENTO**

Alfred sigue en la playa. Esta vez tiene una pecera llena de agua semienterrada en la arena.

ALF

En la lotería cósmica se admite un riesgo estadístico de colisión. Por suerte en el "bombo cósmico" tenemos pocos premios "gordos".

En cambio, todas los días caen más de 100 millones de residuos interplanetarios a la Tierra que son volatilizados sin llegar a producir daño alguno; algunos se convierten, incluso, en estrellas fugaces.

¿Por qué ocurre esto? La respuesta es... la atmósfera.

Alfred hace caer una pequeña piedra en el agua (pecera).

ENCADENA: IMÁGENES DE RECURSO

ALF (OFF)

La atmósfera terrestre ofrece resistencia que aumenta a medida que el proyectil desciende por un medio cada vez más denso.

Un cuerpo menor sufre, en proporción, una mayor resistencia al aire, por lo que desacelerará más que uno mayor.

Para la mayoría de asteroides, esa resistencia vence a la fuerza de la roca a una altitud de 8 a 12 kilómetros, llegando a reducir su velocidad en menos de la mitad, y el objeto se volatiliza antes de llegar al suelo.

De hecho, el 98% de los asteroides rocosos de menos de 100 metros no llega a superar la atmósfera.

En objetos mayores, la atmósfera terrestre puede, en ocasiones, desacelerar el cuerpo haciendo que caiga a velocidad terminal.

A esta velocidad, el impacto de baja energía con la superficie hace que el meteorito rebote, en vez de abrir un cráter, y pueda permanecer intacto.

Alfred sigue en la playa. Hace rebotar una piedra en el mar.

• **EXT. PLAYA. DÍA.**

Alfred está sentado en la arena con una radio encendida y el cupón de lotería en la mano. Está escuchando el sorteo.

ALF (OFF)

Se conocen los asteroides desde hace 200 años. Sin embargo, nadie pensó entonces nada acerca de una posible colisión.

Hasta que en las últimas décadas los astrónomos han presentado a la sociedad un problema que nadie esperaba escuchar:

El contrato inmobiliario que nos permitido vivir hasta ahora cómodamente en un planeta soleado y con buenas vistas tiene letra pequeña.

ALF (OFF)

Los asteroides cercanos a la Tierra son el máximo reto para la supervivencia de todo, incluyéndonos a nosotros, en este planeta.

El azar nos ha salvado hasta el momento. Pero en el océano cósmico existen demasiadas orillas llenas de pisadas como para sospechar que algún día se nos puede caer el cielo a trozos.

Todas las sociedades humanas se han enfrentado siempre a amenazas, sin embargo, nunca habíamos tenido la certeza tan clara de un riesgo tan irreversible.

La astronomía moderna ha descubierto grandes enigmas sobre el origen de nuestro Universo y de nuestro planeta;

pero también nos está mostrando un futuro con muchos finales trágicos para la vida.

Por suerte, cuanto más conscientes seamos de los riesgos mayor capacidad tendremos de enfrentarnos a nuestro destino.

Es importante seguir siendo optimistas. Los seres humanos somos expertos en tirarnos piedras sobre nuestro propio tejado, pero también hemos demostrado en numerosas ocasiones que somos capaces de encontrar soluciones a problemas que parecían imposibles de superar.

¿Debemos aceptar que el Universo seguirá con o sin nosotros?

O bien, está en nuestras manos que la bella historia de la vida en la Tierra continúe.

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD



FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

CAPÍTULO 8: ASTEROIDES

¿ES LA VIDA UN GOLPE DE EFECTO?

- **INTRO**

ALF (OFF)

Navegan en la oscuridad del Universo, en silencio, a la espera de que algún encontronazo casual los libere de sus órbitas, dispuestos a desafiar a cualquiera que se cruce en su camino.

Son restos de anteriores naufragios, pilas de escombros que guardan en su memoria la historia pasada de nuestro Sistema Solar.

Inquietantes pedruscos que convierten el Universo en un gran campo de tiro en el que ningún planeta, incluida la Tierra, está a salvo.

Anunciadores de catástrofes, pero también portadores de materiales elementales que dan forma a sistemas planetarios y propician el surgimiento de la vida.

¿Cómo han moldeado estos cuerpos nuestro Sistema Solar? ¿Qué papel juegan en el origen y en la evolución de la vida en el Universo?

CABECERA

- **EXT. TELESCOPIO IAC-80, OBSERVATORIO TEIDE. DÍA - INTRO**

Alfred camina por el exterior del telescopio.

ALF

Asteroides y cometas forman parte de lo que llamamos cuerpos menores.

El estudio de estos cuerpos tiene una relevancia significativa desde el punto de vista astrofísico ya que nos permiten comprender cómo se formó nuestro sistema planetario.

Para también porque son precursores de la enorme mayoría de los meteoritos y meteoros que cruzan nuestra atmósfera y que pueden llegar a impactar con la Tierra.

Para hablar sobre estos asuntos he quedado con un investigador experto en cometas y asteroides en este pequeño telescopio, el IAC-80.

Con este telescopio se ha hecho el seguimiento de los cometas más importantes de los últimos años, incluido el choque del cometa P/Shoemaker-Levy contra Júpiter.

A diferencia de otras áreas de la astronomía, los telescopios gigantes no resultan útiles para la observación de objetos cercanos. Sí es necesario, en cambio, el trabajo coordinado de muchos grupos de observación.

• **INT. TELESCOPIO IAC-80, OBSERVATORIO TEIDE. DÍA - INTRO**

Alfred se encuentra con Javier Licandro en la sala de control del IAC-80. En las pantallas se muestran detalles de las órbitas de algunos asteroides y cometas.

RÓTULO: Javier Licandro, Área de física de materia interplanetaria del Instituto de Astrofísica de Canarias.

¿Qué son y cómo se formaron los cuerpos menores?

El Sistema Solar empezó a formarse hace 4500 millones de años a partir de una nube de gas y de polvo que fue compactándose hasta formar nuestra estrella y un disco de material a su alrededor.

En el disco, la unión de las partículas más pequeñas, fueron formando, poco a poco, estructuras más grandes, hasta llegar a constituir los planetas.

Los planetas tienen el tamaño suficiente para que su campo de gravedad les proporcione su forma redonda y controlen las órbitas que ocupan dispersando o atrayendo la mayor parte de la materia que le rodea.

Sin embargo, en este proceso también se creó un número elevado de cuerpos más pequeños que no consiguieron alcanzar el tamaño crítico, los llamados ~~cuerpos menores~~ pequeños cuerpos del Sistema Solar.

Asteroides y cometas son fragmentos de material rocoso que nunca llegaron a convertirse en planetas. Son, por lo tanto, ~~residuos~~ reliquias del origen del Sistema Solar.

¿Qué diferencia hay entre asteroides y cometas?

Los cometas se formaron en regiones muy remotas del Sistema Solar, más allá de ~~Neptune~~ Júpiter, donde el agua está en forma de hielo a causa de las bajas temperaturas ~~la radiación solar no~~ ~~afectó su composición~~, por lo que están constituidos por ~~reca~~ granos de polvo y hielo.

Esta composición es lo que hace que formen sus espectaculares colas cuando sus órbitas se acercan al Sol y el hielo se sublima.

Los asteroides son, en cambio, en su mayoría, ensamblajes de piezas sueltas, pilas de escombros de baja densidad cuya pequeña gravedad mantiene unidos sin mucha consistencia.

Se cree que algunos asteroides pueden ser cometas durmientes ~~exhaustos~~, es decir, cometas que han perdido todos sus elementos volátiles en su superficie.

La mayor parte se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter formando un anillo llamado Cinturón principal de asteroides, y en la órbita de Júpiter donde reciben el nombre de troyanos.

Los asteroides presentan formas irregulares debido a su baja masa y a colisiones con otros asteroides menores.

Las superficies golpeadas de estos cuerpos y la existencia de familias colisionales de asteroides (grupos de objetos en órbitas similares) señalan, por lo tanto, que los impactos violentos son bastante frecuentes en el Universo.

¿Qué le debemos a los asteroides y cometas? ¿Qué papel tuvieron en la formación de Sistema Solar y de nuestro planeta?

Son los ladrillos que formaron nuestro sistema planetario. Multitud de estos objetos se congregaron para dar lugar a los planetas que hoy conocemos, incluido el nuestro.

~~Uno de estos impactos dio origen también a la Luna que tiene un papel esencial para estabilizar el eje de rotación de la Tierra. (Impacto de un planetoide)~~

Y cada vez está más extendida la idea de que el agua en la Tierra se debe a impactos posteriores que tuvo lugar a través de cometas hace 4.000 millones de años.

¿Cuántos asteroides hay en nuestro Sistema Solar?

En el cinturón existen cientos de miles de asteroides, pero la gran mayoría no exceden los 10 km de diámetro y sólo un centenar sobrepasan los 100 km.

La masa total de todos los asteroides del Sistema Solar juntos es mucho menor que la masa de la Luna.

¿Por qué ocupan en su mayoría una región tan concreta del Sistema Solar, entre Marte y Júpiter?

Los cuerpos del cinturón de asteroides se habrían aglomerado para formar un planeta si no hubiera sido por la influencia de Júpiter.

La resonancia acción gravitatoria del gigante Júpiter impidió que los cuerpos en esa órbita superaran el tamaño necesario y quedaron restos sueltos que se convertirían en los actuales asteroides.

¿Cómo es posible que algunos de ellos consigan fugarse de este anillo?

Como consecuencia, principalmente, de los choques entre ellos y la acción de la atracción gravitatoria de los planetas, algunos de estos asteroides modifican su órbita.

Esta perturbación hace que su nueva trayectoria corte el recorrido de otros cuerpos del Sistema Solar, incluido la Tierra, corriendo el riesgo que la gravedad de nuestro planeta los atraiga.

¿Qué son los NEOs?

NEO son las siglas en inglés de "Objetos Cercanos a la Tierra".

Son asteroides y cometas cuyas órbitas les permiten aproximarse periódicamente e incluso interceptar la órbita de nuestro planeta.

Actualmente existen unos 4.000 objetos catalogados como NEO.

El estudio de los NEOs tiene una relevancia significativa desde el punto de vista astrofísico en la medida de que nos permiten comprender los mecanismos de transferencia de objetos a esta población y cómo está compuesta.

Paro hay que destacar que los NEOs también presentan un interés desde el punto de vista de la seguridad y el desarrollo de nuestra civilización dado que pueden colisionar con la Tierra. De hecho, muchos de ellos lo han hecho en la historia reciente de nuestro planeta.

Estos asteroides que poseen riesgo de colisión con la Tierra son los llamados PHA (Asteroides Potencialmente Peligrosos, por sus siglas en inglés). De ellos hay clasificados unos 800 en la actualidad y son los que representan un peligro para la civilización si alguno llegara a chocar contra nuestro planeta, ya que afectaría de manera global al mismo.

¿Cómo se localizan estos objetos?

Teniendo en consideración que los NEOs son oscuros pequeños y, por tanto, muy débiles, no objetos brillantes como planeta, su detección es mucho más difícil de lo que pueda parecer.

Además, está la complicación añadida de que para tener una comprensión global de los NEOs es imprescindible el estudio de un número significativo de miembros desde Tierra.

Para ello es necesario obtener imágenes de gran campo y seguirlo durante varias noches para determinar su trayectoria y órbita.

Afortunadamente, no se necesita instrumentación muy complicada ni grandes telescopios, sino el esfuerzo coordinado de muchos equipos de vigilancia espacial.

La observación y estudio de asteroides y cometas es un buen ejemplo del valor de la ciencia colaborativa. De hecho, muchos de los equipos de vigilancia están formados por astrónomos amateurs voluntarios.

• **SEC. EXT. PLAYA. DÍA - EXPERIMENTO**

Alfred camina por la playa. Se agacha. Moldea la arena hasta formar un pequeño Sistema Solar.

ALF

El Sistema Solar empezó a formarse hace 4500 millones de años a partir de una nube de gas y de polvo que fue compactándose hasta formar nuestra

estrella y un disco de material a su alrededor.

En el disco, la unión de las partículas más pequeñas, fueron formando, poco a poco, estructuras más grandes, hasta llegar a constituir los planetas.

Los planetas tienen el tamaño suficiente para que su campo de gravedad les proporcione su forma redonda y controlen las órbitas que ocupan dispersando o atrayendo la mayor parte de la materia que le rodea.

Sin embargo, en este proceso también se creó un número elevado de cuerpos más pequeños que no consiguieron alcanzar el tamaño crítico, los llamados ~~euerpes~~ ~~menores~~ pequeños cuerpos del Sistema Solar: asteroides y cometas.

Alfred coge un puñado de arena mojada y la compacta hasta conseguir un pequeño fragmento de 'roca'.

ALF

Asteroides y cometas son fragmentos de material rocoso que nunca llegaron a convertirse en planetas. Son, por lo tanto, ~~residuos~~ reliquias del origen del Sistema Solar.

Los cometas se formaron en regiones muy remotas del Sistema Solar, más allá de ~~Neptune~~ Júpiter, donde el agua está en forma de hielo a causa de las bajas temperaturas ~~la radiación solar no afectó su composición~~, por lo que están constituidos por ~~roca~~ granos de polvo y hielo.

Alfred deja caer parte del puñado de arena fuera del modelo de Sistema Solar.

Esta composición es lo que hace que formen sus espectaculares colas cuando sus órbitas se acercan al Sol.

Alfred vuelve a coger varios puñados de arena que va ensamblando al puñado original.

La mayoría de asteroides, en cambio, son ensamblajes de piezas sueltas, pilas de escombros de baja densidad cuya pequeña gravedad mantiene unidos sin mucha consistencia.

La mayor parte se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter formando un anillo llamado Cinturón principal de asteroides y en la órbita de Júpiter donde se les denomina troyanos.

Alfred deja caer la arena entre la órbita de Marte y Júpiter.

• **PILDORA DE CONTENIDO - LLUVIA DE ESTRELLAS**

ALF (OFF)

Asteroides y cometas son también protagonistas de un espectáculo único en las noches estrelladas: las conocidas lluvias de estrellas.

~~Cuando estos cuerpos pasan por el exterior del Sistema Solar, interactúan con el viento solar, una corriente de partículas cargadas que son expulsadas desde la atmósfera solar. Esto hace que los gases y materiales de su superficie se activen y sean despedidos al espacio. (Licandro)~~

Estos residuos de cometas y asteroides pasan a orbitar alrededor del Sol en órbitas muy similares a las del cuerpo que les dio origen. Así se forma una corriente o anillo de partículas, denominado enjambre. Cuando la Tierra, a lo largo de su órbita, cruza uno de estos enjambres, entra en contacto con estas partículas que chocan con la atmósfera terrestre y dejan un rastro luminoso llamado estrella fugaz o meteoro.

Cada año, estas lluvias de estrellas se repiten y como las trayectorias de las diferentes estrellas fugaces parecen provenir de un mismo lugar de la esfera celeste llevan el nombre de las constelaciones que se encuentran en su misma dirección, como las Leónidas, que parecen surgir de la constelación de Leo, o las Perseidas, de la constelación de Perseo.

• **EXT. EL LLANO DE UCANCA, TEIDE. DÍA - ENTREVISTA**

Alfred pasea con Javier Licandro por el paisaje marciano del llano de Ucanca.

¿Cómo podemos calcular la frecuencia de impacto de asteroides en la Tierra?

Por suerte, tenemos a un confidente: la Luna. Nuestro satélite natural es el mejor registro de formación de cráteres gracias a su superficie exenta de erosión.

Basta estudiar la distribución de cráteres en la Luna y la cantidad de residuos que vagan por el Sistema Solar para calcular la frecuencia media de impactos en la Tierra.

Gracias a este banco de datos, sabemos que durante los últimos 3.000 millones de años, asteroides y cometas han chocado en multitud de ocasiones contra nuestro planeta.

¿A partir de qué tamaño un asteroide pasa a ser potencialmente peligroso?

Un asteroide de 100 metros penetraría la atmósfera y produciría una explosión que podría destruir una gran ciudad.

Un asteroide con un diámetro superior a 1 km golpearía la tierra con una energía mucho mayor que todas las armas nucleares existentes, lo que podía aniquilar la civilización humana.

Asteroides de este tipo impactan contra la Tierra una o dos veces cada millón de años. Esto

significa que hay una probabilidad entre 40.000 de morir por la colisión de un asteroide.

¿Cuál es el riesgo de colisión actual con un asteroide?

Hoy se conocen varios centenares de asteroides con suficiente capacidad de destrucción, que mantienen riesgo de colisión con la Tierra.

Se estima que hay cerca de 1100 objetos cercanos a la tierra de más de 1 Km de diámetro, y cerca de un millón de más de 100 metros. El objeto cercano más grande descubierto tiene menos de 25 km de diámetro.

Hay que tener en cuenta que del total de asteroides que cruzan la órbita terrestre y que son mayores a 100 metros, sólo se conocen algo más del 5%.

¿Cómo se mide el riesgo de impacto? ¿Por qué existen dos escalas diferentes (Turín y Palermo)?

Existen dos métodos de clasificación del peligro de impacto asociado a los objetos de tipo NEO.

La escala de Turín fue creada como instrumento para comunicar mejor al público general el grado de riesgo. Usa una escala de valores de 0 a 10 combinada con colores. Un objeto indicado con el número 0 significa que éste tiene una posibilidad casi nula de colisionar con la Tierra; un valor de 10 indica una colisión segura, con efectos a gran escala.

La escala de Palermo es parecida, pero es más técnica y compleja. La escala es continua y puede tomar valores negativos y positivos. En general, cuanto más negativo el valor, menos probabilidad tiene el objeto de chocar contra la Tierra. En términos generales, un valor de Palermo menor o igual a -2 equivale a un Turín 0.

¿Cuál ha sido la clasificación más alta hasta la fecha?

El actual récord de clasificación más alta en la escala lo posee Apophis, un asteroide de 250 metros. Ha sido el primer objeto en alcanzar el nivel 2 de la escala de Turín, nivel que fue aumentado posteriormente a 4. Sin embargo, observaciones más actuales han ayudado a mejorar el cálculo de la órbita, demostrando remota la posibilidad de un impacto con la Tierra en 2029 y 2036 por lo que ha sido rebajado al nivel 0 de la escala de Turín. Antes de Apophis, ningún NEO había tenido nunca un valor superior a 1.

¿Se podría hacer algo para desviar un asteroide?

Existen diversos planes para desviar a un asteroide destinado a chocar contra la Tierra.

Explosión nuclear: permitiría una aplicación intensa de fuerza que desviaría a un asteroide que estuviera a sólo unos meses de chocar contra la Tierra. Sin embargo, podría partir el asteroide en varios trozos y empeorar el problema.

Impacto cinético: consiste en estrellar una sonda contra el asteroide y emplear su energía de impacto para desviarlo de su curso. También se corre el riesgo de fragmentarlo.

Impulsor de masa: se trata de construir un dispositivo sobre la superficie del asteroide que arrojaría rocas hacia el espacio, lo que variaría su velocidad y trayectoria.

Ablación: se calentaría una pequeña área con un láser o con la luz del Sol reflejada por un espejo espacial. El material vaporizado impulsaría el asteroide en la dirección deseada.

Presión solar: una sonda espacial revestiría la superficie del asteroide con una pintura muy reflectante alterando la presión de la radiación solar, lo que variaría su rumbo.

Remolcador espacial: unos brazos fijarían el remolcador a la superficie del asteroide e impartiría un impulso constante en la dirección

deseada. En 2015 la NASA podría ensayar una misión de este tipo.

¿Qué papel han jugado los asteroides en la evolución de la vida sobre la Tierra?

Los asteroides pueden provocar grandes catástrofes, pero también pueden desempeñar un papel muy importante en la propagación de la vida en el Universo.

Algunas teorías apuntan a que el agua de la Tierra pudo haber sido suministrada por asteroides y cometas, de modo que las sales y el agua que se han hallado integradas en algunos meteoritos explicarían el origen de los océanos del planeta.

También, según la hipótesis de la panspermia, la vida podría haber aparecido en otro planeta hace miles de millones de años y viajado a la Tierra transportados por un asteroide. Esto significaría que la vida debería sobrevivir a altas presiones, temperaturas extremas y radiaciones muy energéticas.

¿Se han encontrado evidencias que confirmen estas hipótesis?

En los últimos años se han confirmado asteroides con agua y sólidos orgánicos en la superficie como es el caso de 24 Themis y 65 Cybele.

En la Tierra se han descubierto bacterias extremófilas que prosperan incluso en el interior de reactores nucleares y otras que pueden sobrevivir a condiciones extremas de aceleración y altas presiones.

Aún no se han encontrado microorganismos en el interior de meteoritos, aunque existe un debate sobre una roca marciana hallada por la NASA en el Antártida con una posible forma de vida fosilizada. La versión más aceptada es que se trata de organismos terrestres que habrían contaminado la roca.

• **CIERRE**

ALF

Nos guste o no, los cometas y asteroides, son nuestros compañeros de un viaje sideral conducido por el Sol a través de la Galaxia.

Su estudio nos permite comprender nuestro pasado, pero también nos ha hecho consciente de un riesgo que parece irreversible.

Vivimos en un Universo violento y cambiante en el que la Tierra no es un refugio seguro contra la voluntad cósmica.

La astronomía nos confirma algo que nuestra vanidad no quiere escuchar: que no habitaremos este hogar para siempre.

ALF (OFF)

Los humanos nos sentimos dueños de nuestro planeta. Sin embargo, los asteroides y cometas están ahí para golpear el fino cristal de nuestro escondite y advertir al mundo de su fragilidad.

Es la consecuencia de vivir en un Universo formado por retazos de catástrofes.

Jamás nos quitaremos el miedo de encima. Y no hay peor miedo que el causado por la espera de un destino irremediable al que, tarde o temprano, tendremos que enfrentarnos.

El día que el cielo decida caerse sobre nosotros,

¿Encontrará la raza humana la manera de preservar su especie y de salvar su herencia?

¿Podremos desarrollar estrategias para desviar asteroides con antelación?

O, ¿tal vez, no tengamos más remedio que cambiar de residencia planetaria?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO SUPERTELESCPIOS

¿EL TAMAÑO IMPORTA?

- **INTRO**

ALF (OFF)

Nuestra comprensión del Universo ha ido estrechamente relacionada con el desarrollo de la tecnología en la fabricación de telescopios.

Desde que Galileo empezara a observar el cielo con su catalejo, los astrónomos han requerido telescopios e instrumentos que les permitan ver objetos cada vez más lejanos.

Esta necesidad ha llevado al límite el desarrollo tecnológico en la construcción de instalaciones astronómicas.

Una nueva generación de supertelescopios está en marcha.

Grandes catedrales para la observación que nos ayudarán a comprender mejor los procesos físicos que ocurren en lugares remotos, conocer nuevas tierras alrededor de otros soles e, incluso, remontarnos a los orígenes del Universo.

Pero ¿por qué los telescopios son cada vez mayores? ¿Hay algún límite en su tamaño?

- **EXT. ORM. DIA**

ALF

En la historia de la astronomía cada nuevo descubrimiento ha venido de la mano de un telescopio más grande que el anterior.

El último y más grande telescopio óptico construido en el mundo se encuentra en el Observatorio del Roque de los Muchachos en la isla de La Palma.

Se trata del Gran Telescopio Canarias, también conocido como GTC.

Con un espejo de 10,4 metros, el GTC es, hasta ahora, el último paso en la evolución de los telescopios ópticos y la plataforma de despegue de una nueva generación de supertelescopios.

- **INT. GTC. DIA. ENTREVISTA**

¿De qué depende la potencia de un telescopio?

La potencia de un telescopio depende de su superficie colectora de luz.

Y ésta se mide por el diámetro de su espejo.

¿Qué papel juegan los espejos en un telescopio astronómico? ¿Por qué siempre hablamos de tamaños de espejos cuando hablamos de un telescopio?

El espejo es el elemento principal de un telescopio ya que es el encargado de recoger la débil luz que nos llega del Universo.

Los espejos son como las pupilas en el ojo humano; cuanto más se dilata la pupila, más luz entra y mejor podemos ver en la oscuridad,

¿Qué hace al GTC un telescopio tan especial?

El GTC es actualmente el telescopio óptico e infrarrojo más grande del mundo. Y lo es por el tamaño de su espejo primario: 10,4 metros de diámetro.

Si con el ojo humano podemos ver objetos a unos pocos kilómetros, con el GTC se pueden ver los faros de un coche a 7.000 kilómetros de distancia.

No se trata de un espejo convencional. A la hora de construir telescopios más grandes los

astrónomos e ingenieros nos dimos cuenta que teníamos que renunciar a espejos monolíticos y optar por los espejos segmentados o compuestos.

¿Qué es un espejo segmentado?

Este tipo de espejos están formados por un conjunto de espejos más pequeños, más fáciles de construir y de transportar, que se disponen a modo de puzle hasta formar una única superficie colectora.

Pero los espejos segmentados no sólo resultan más simples y económicos, sino que permiten reducir el peso conjunto del telescopio.

En el caso del GTC se optó por 36 espejos hexagonales que juntos reproducen una superficie única de más de 10 metros.

En conjunto el espejo primario pesa en total 16 toneladas, algo parecido a lo que pesa una ballena gris.

Este espejo el GTC podría ver los separados a una distancia de 7.000 kilómetros

¿Son espejos normales, como los de casa, o tienen alguna particularidad?

Están compuestos de un material especial, el ZERODUR, es un tipo de vitrocerámica, como el de las cocinas, que apenas sufre alteraciones con los cambios de temperatura, cualidad primordial para que las imágenes no se deformen.

¿Qué reto tecnológico ha supuesto la construcción de espejos como estos?

Este tipo de espejo requiere de un paso tecnológicamente bastante complejo: su pulido. El límite de error de la superficie del espejo es de 15 nanómetros, es decir, un tamaño 3.000 veces más fino que un cabello humano.

La homogeneidad del material es tal que si un hexágono se partiera, sus mitades tan sólo alterarían su forma en menos de 1 micra, el tamaño de algunas bacterias.

Los espejos también tienen que estar bien alineados: la separación máxima entre segmentos es de 3 mm.

Además no están planos, sino que juntos forman un hiperboloide, es decir, el perfil de un cuenco muy abierto.

• **SEC. EXT. CAMPO DE FÚTBOL. DÍA**

Alfred está en el centro de un campo de fútbol rodeado de un grupo de objetos. Un pequeño vaso de agua, un cuenco de fruta, una paellera...

ALF (off):

Alfred extiende un gran plástico con forma redonda sobre el césped. Alfred se refugia en el banquillo. Los aspersores del césped se ponen en marcha. Se crea una fina bruma sobre el campo. La hierba se cubre de pequeñas gotas. Los distintos objetos se van llenando de agua. Poco a poco los aspersores empiezan a perder fuerza y la lluvia desaparece. Alfred examina los objetos.

ALF (off):

Un telescopio es como un embudo, pero en lugar de gotas de agua, recoge fotones de luz.

Cuanto más grande es un espejo más luz se puede capturar.

Y cuanta más luz, más lejos podemos observar y más podemos retroceder en el pasado del Universo.

Alfred vierte el contenido de cada recipiente en un medidor de volumen. Conforme van depositando el líquido de cada objeto, observa que obtiene diferentes medidas. Procede a medir el agua que ha recogido el plástico. El medidor rebosa.

ALF (off):

El plástico tiene 10,4 metros de diámetro, ¡exactamente la misma superficie que el Gran Telescopio de Canarias!

En astronomía el tamaño sí importa.

• **INT. GTC. DIA. ENTREVISTA.**

Pero el GTC no sólo tiene un espejo primario, sino que la luz recorre un curioso camino de espejos.

El espejo primario es la primera parada. Se trata de la pupila de entrada o área colectora de luz.

Después de rebotar en el espejo primario la luz se dirige a la siguiente parada en el camino: el espejo secundario.

El espejo secundario es una maravilla de la ingeniería óptica. A pesar de su nombre, se trata de uno de los actores principales del GTC. Su función es la de concentrar toda la luz recogida por el espejo primario eliminando cualquier aberración.

Para adaptarse a éste, tiene una forma cuasi-hexagonal, aunque su tamaño y proporciones son mucho más reducidos: tan sólo 1,2 metros de diámetro y 38 kilos de peso. Está fabricado en berilio y recubierto de níquel.

En su realización se han empleado más de cuatro años y unos dos millones de euros. Para su fabricación fue necesario desarrollar una tecnología muy específica que hace que sea una pieza única hasta la fecha. El bloque no se logró sintetizar hasta el tercer intento.

Tras rebotar en el espejo secundario, la luz puede tomar varios caminos para dirigirse a los distintos focos. En esta función interviene un nuevo espejo: el espejo terciario.

El espejo terciario se trata de un complejo espejo abatible capaz de girar en torno a su eje y deslizarse como un ascensor. Con un tamaño de poco más de 1 metro, su misión es decirle a la luz a qué foco tiene que ir.

En los focos se forman las imágenes del cielo tras concentrar la luz recogida por los espejos. En ellos se sitúa la instrumentación.

Los instrumentos constituyen los órganos que hacen funcionar al telescopio, ya que permiten analizar y estudiar la luz captada.

Sin instrumentación, un telescopio sería un simple cuenco que sólo recoge luz. En fotografía, sería como tener un buen objetivo y no tener cámara.

• **PILDORA DE CONTENIDO**

ALF

En conjunto, todos los elementos que forman la estructura del telescopio pesan en total ¡350 toneladas!

¡Y, sin embargo, se mueve!

De hecho, se puede mover con un pequeño empujón.

Alfred mueve el telescopio.

Pero, ¿Cómo se consigue mover un gigante como el GTC?

A través de una solución sencilla e ingeniosa. La estructura del telescopio flota sobre una superficie de aceite a presión, lo que permite moverla con suavidad, sin apenas rozamiento y con una precisión microscópica.

Imágenes de recurso del telescopio moviéndose y animaciones.

ALF (OFF)

¿Por qué es necesario mover un telescopio? Conseguir mover los telescopios fue un paso trascendental en Astronomía.

Para capturar la luz de estrellas muy lejanas la única manera de verlas es fotografiarlas. Pero para conseguir una buena fotografía se necesitan tiempos de exposición largos. Es decir, necesitamos mantener los puntos de luz en el visor el máximo tiempo posible.

Sin embargo, la Tierra rota constantemente de forma que las estrellas parecen moverse por el

cielo. Para conseguir fijarse en una sola estrella debemos colocar el telescopio en una estructura giratoria que se mueva de forma sincronizada con la rotación de la Tierra.

De esta forma conseguimos recolectar luz durante horas, ya sea en antiguas placas fotográficas o en los modernos CCDs.

Y, ¿cómo se puede apuntar un telescopio teniendo en cuenta la rotación de la Tierra?
Para conseguir este resultado existen varios sistemas. El GTC utiliza dos ejes perpendiculares de movimiento: horizontal o de azimut y vertical o de elevación.

Se asemeja a un cañón: primero, rota sobre su base y luego busca el objetivo en altura.

Ambos ejes tienen que ajustarse continuamente para compensar la rotación de la Tierra.

Pero durante la observación la imagen captada gira. Es lo que se conoce como rotación de campo y es necesario corregirla.

Para ello, el telescopio realiza un tercer movimiento mediante rotadores mecánicos. De esta forma, evita que la imagen gire.

• **INT. GTC. DIA - ENTREVISTA**

Si no hay límites en la construcción de espejos y el movimiento ya no es un problema, ¿qué queda por solucionar?

El siguiente paso tiene que ver con nuestro enemigo de siempre: la atmósfera. El aire de la atmósfera está en continuo movimiento, con variaciones de densidad que afectan al paso de los rayos luminosos de los astros. Esto provoca un emborronamiento de la imagen, que se conoce como seeing.

El GTC, utilizará dos técnicas para optimizar la calidad de imagen: la óptica activa y la óptica adaptativa.

¿En qué consiste la óptica activa?

La óptica activa consta de unos sensores situados bajo cada espejo que envían información a unos actuadores dirigidos por ordenador. Estos corrigen constantemente la forma y posición tanto de los segmentos del primario como del espejo secundario de manera que no influyan sobre la imagen.

Gracias a esta técnica el límite de error es de menos de 90 nanómetros. Esto significa que si fuéramos capaces de construir un espejo del tamaño de la Península Ibérica, el margen de error sería el de una montaña de 1 milímetro.

¿En qué consiste la óptica adaptativa?

La óptica adaptativa consiste en utilizar espejos deformables para compensar las aberraciones que sufre la luz a su paso por la atmósfera. Puesto que la atmósfera cambia rápidamente, el sistema de Óptica Adaptativa analiza la imagen a gran velocidad, unas 700 veces por segundo y readecúa la superficie del espejo compensando, sobre la marcha, el efecto del desenfoque.

En la actualidad, se trata de una técnica incipiente que está siendo desarrollada para los principales telescopios del mundo. Una vez implantada, equivaldrá casi a observar sin atmósfera.

Para hacernos una idea de lo poderosa que es esta técnica, con la óptica adaptativa será como si el GTC tuviera un espejo primario de 80m en lugar de 10m.

¿Cómo se controla este sistema tan complejo y preciso? ¿Hará falta un cerebro?

Para que todo el conjunto que compone el GTC funcione de forma coordinada es necesario un cerebro central. Es lo que se llama sistema de control y es otra de las innovaciones del gran telescopio.

El sistema de control consiste en una serie de computadores, servidores, equipos electrónicos, sensores, actuadores... interconectados por varios

kilómetros de fibra óptica y un sofisticado sistema de comunicaciones.

El sistema de control es el responsables de que los diferentes subsistemas del GTC funcionen optimizando al máximo el tiempo de observación.

De esta forma también se reduce incluso la presencia del astrónomo *in situ*, con el consiguiente ahorro de dinero.

¿Qué ha significado para ti trabajar en un telescopio como el GTC?

Es un orgullo poder trabajar en el telescopio que no sólo ha situado a la ingeniería y a la investigación astronómica española en una posición privilegiada, sino que además ha supuesto el punto de partida de la astronomía del futuro.

- **PILDORA DE CONTENIDO**

El Gran Telescopio Canarias es una extraordinaria máquina de producción científica que nos está proporcionando una enorme cantidad de información sobre algunos de los grandes problemas de la Astrofísica actual.—

Pero además, está siendo también un excelente banco de pruebas para la nueva generación de supertelescopios, como el gigante europeo de 39 metros E-ELT que se está construyendo en Chile.

El E-ELT utilizará gran parte de la tecnología que se está probando en el GTC. Su espejo, de un tamaño equivalente a medio campo de fútbol, estará formado por cerca de 800 segmentos hexagonales, y dispondrá de un sistema de óptica adaptativa similar al GTC, aunque podrá recoger 15 veces más luz que el telescopio español y observará el universo con mayor detalle que el Telescopio Espacial Hubble.

Además del telescopio europeo supergigante hay otros proyectos en marcha similares, como los dos telescopios americanos: el Giant Magellan Telescope formado por siete espejos de 8,4 metros

con un poder de resolución equivalente a un espejo de 24,5 metros de diámetro y que se construirá en el desierto chileno; y el Thirty Meter Telescope, con un espejo principal segmentado de 30 metros de diámetro y que se ubicará en Hawai.

Cada uno de estos telescopios será de al menos 10 veces más potente que cualquier operativo en la Tierra hoy en día y van a revolucionar nuestro conocimiento del Universo mirando hasta lo más recóndito.

ALF

El GTC es por ahora el telescopio más grande del mundo, pero no es suficiente. Los astrónomos siempre queremos más.

Cuanto mayor sea el telescopio mayor capacidad tendremos de detectar objetos más débiles y lejanos, y más atrás podremos retroceder en el pasado, cuando el Big Bang dio origen al Universo.

ALF (OFF)

¿Hasta cuanto seguirán creciendo estas nuevas y poderosas ventanas a las que asomarnos al Universo? ¿Qué nuevos descubrimientos nos esperan?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



TELESCOPIO 2: INFRARROJO ¿CUÁNTO CALOR HACE EN EL UNIVERSO?

- **SEC. ARRANQUE**

Combinación de imágenes astronómicas.

ALF (OFF)

La luz es el instrumento del que disponen los astrónomos para estudiar el Universo.

El ojo humano solamente es sensible a un tipo de luz que denominamos visible, una pequeña parte de la luz que existe.

Hasta hace tan sólo unas décadas, la astronomía sólo disponía de una visión general del Universo basada en este tipo luz que puede ver nuestros ojos.

La principal herramienta de esta astronomía es el telescopio óptico.

Aunque sigue siendo un área inmensamente activa, gracias a los nuevos desarrollos tecnológicos, la investigación se ha abierto a nuevos tipos de luz.

Ya no estamos limitados por la luz que pueden ver nuestros ojos y detectar nuestros telescopios ópticos; ¡Ahora podemos ver multitud de "nuevas luces"!.

Este cambio de visión ha dado lugar al desarrollo de otras astronomías. Entre ellas, la denominada astronomía infrarroja.

Esta área de estudio nos permite ver el Universo, no a través de su imagen, sino por medio de uno de sus propiedades: el calor.

Pero, ¿qué calienta el Universo? ¿Cómo puede la astronomía ver su calor?

• **EXT. TELESCOPIO CARLOS SÁNCHEZ - OT. DÍA**

ALF

La astronomía infrarroja consiste en la observación y estudio de fuentes astronómicas a partir de la luz infrarroja que emiten.

La luz infrarroja es invisible a nuestros ojos.

Sin embargo, podemos estudiarla a través de instrumentación acoplada a telescopios ópticos.

He quedado con una joven investigadora que, precisamente, empezó su carrera como astrofísica en este pequeño telescopio, el Carlos Sánchez.

Desde entonces no ha parado de observar la luz infrarroja que ilumina el Universo.

• **INT. TELESCOPIO CARLOS SANCHEZ, OT. DÍA - ENTREVISTA**

Nieves Castro, astrofísica del IAC, trabaja en el interior del telescopio con instrumentación infrarroja.

NIEVES

La principal tarea de la instrumentación infrarroja es detectar el calor de las estrellas a través de la luz infrarroja que emiten.

Para su observación se requiere la utilización de detectores que tienen que

ser enfriados porque son muy sensible al calor.

Su estudio ha permitido a los astrónomos descubrir una extraordinaria cantidad de información.

La mayor parte de la luz infrarroja que viene del Universo es absorbida por el vapor de agua y el dióxido de carbono que hay en la atmósfera.

Sin embargo, existen unas cuantas ventanas en las que consigue colarse parcialmente sin ser absorbidas y en las que la emisión de la atmósfera es más débil.

Además, la atmósfera de la Tierra da otro problema a los astrónomos infrarrojos: también emite fuertemente en esas longitudes de onda, hasta el punto de que en algunas ocasiones la radiación infrarroja de la atmósfera es más fuerte que la de los objetos que se quieren observar.

Por ello, los telescopios infrarrojos terrestres suelen encontrarse cerca de la cima de montañas altas y con clima muy seco, como el Observatorio del Teide, para poder minimizar así el espesor de la atmósfera que la luz tiene que atravesar.

ALF

¿Qué objetos en el Universo emiten este tipo de luz?

NIEVES

La fuente primaria de la radiación infrarroja es el calor o radiación térmica. Todo cuerpo que tiene una temperatura por encima del cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), irradia ondas en la banda infrarroja.

Por eso, cuando un objeto no es suficientemente caliente para irradiar ondas en el espectro visible, emite la mayoría de su energía como ondas infrarrojas.

Así, la mayoría de la energía irradiada por objetos sólidos en el espacio –desde un grano de polvo hasta los planetas gigantes– se encuentra en el infrarrojo.

Podemos decir que la astronomía infrarroja significa el estudio de casi todas las cosas del Universo.

- **PILDORA DE CONTENIDO**

ALF(OFF)

La luz está formada por partículas llamadas fotones que pueden tener distintas energías. En conjunto, forman lo que se conoce como espectro electromagnético.

A energías un poco más bajas que la luz visible, se encuentra la luz infrarroja.

Esta luz es la que usan, por ejemplo, los mandos a distancia de las televisiones.

Los objetos que emiten hacia el rojo tienen temperaturas, por lo general, más frías.

El ojo humano sólo percibe a partir de una cierta temperatura por lo que no vemos la luz infrarroja que emiten los objetos cuando se enfrían.

Pero existen técnicas que sí nos permiten detectar luz infrarroja, como las cámaras térmicas.

• **INT. MÓDULO MUSEO INFRARROJO. DÍA - EXPERIMENTO**

Alfred está en el módulo de infrarrojo del Museo. Hay dos pantallas que muestran lo que recoge una cámara de vídeo normal y otra infrarroja. Empieza hablando desde la pantalla de visible y acaba en la pantalla de infrarrojo.

ALF

La mayoría de lo que vemos con nuestros ojos es el resultado de luz reflejada que genera el Sol o la iluminación artificial.

Sin embargo, si nuestros ojos fuesen capaces de ver la radiación infrarroja, sería visible incluso en una habitación totalmente a oscuras. ¿Por qué?

Alfred camina hasta la pantalla con la cámara infrarroja.

ALF

Porque mi cuerpo está caliente. La luz infrarroja es principalmente una radiación térmica, es decir, todos los cuerpos calientes emiten en luz infrarroja.

En general, cuanto más caliente se encuentra un objeto, tanto mayor es la radiación infrarroja que produce.

La cámara térmica "traduce" la radiación infrarroja emitida por nuestro cuerpo en luz visible. Los diferentes colores indican las diferentes temperaturas de los objetos.

• **INT. TELESCOPIO CARLOS SANCHEZ, OT. DÍA - ENTREVISTA**

Sigue la entrevista con Nieves Castro en el Carlos Sánchez. Intercala con imágenes de cada uno de los universos observables en infrarrojo.

NIEVES

El infrarrojo permite estudiar la radiación emitida por los objetos más fríos del Universo, como las estrellas en formación, planetas helados en torno a estrellas lejanas o asteroides.

Las observaciones infrarrojas también exploran el Universo Oculto. Los granos de polvo cósmico oscurecen partes del Universo, bloqueando la luz que llega. Debido a que el polvo cósmico absorbe o desvía menos radiación infrarroja que otras longitudes de onda más cortas, también se pueden observar regiones invisibles como los núcleos galácticos activos y densas nubes donde las estrellas y los planetas están naciendo.

Además, las observaciones infrarrojas estudian el Universo joven. Como resultado de la expansión del Universo, la mayoría de la radiación óptica y ultravioleta emitida por las estrellas y las galaxias desde el principio de los tiempos, ahora se encuentran en el infrarrojo. Las observaciones infrarrojas nos ayudan a esclarecer cómo y cuándo los primeros objetos del Universo se formaron.

Para obtener un panorama completo de cualquier objeto del Universo necesitamos estudiar toda la radiación que emite.

Los objetos que se pueden estudiar con luz visible también pueden ser analizados en el infrarrojo.

Por lo tanto, la astronomía infrarroja no sólo nos permite descubrir nuevos objetos y observar áreas del Universo jamás vistas, sino que también aumenta nuestro conocimiento de los objetos visibles.

Y continuará haciéndolo.

• **EXT. TELESCOPIO. NOCHE. CIERRE**

Imagen general del OT de noche. Escuchamos hablar a Alfred, pero no lo vemos.

ALFRED (OFF)

El Universo está poblado de lugares oscuros que desafían nuestro conocimiento.

De hecho, la astronomía actual está convencida de que casi la totalidad del Universo está formado por una energía y una materia que no vemos ni conocemos.

Estas zonas oscuras suponen un auténtico enigma que todavía no somos capaces de descifrar.

Vemos la imagen en Infrarrojo de Alfred.

ALF

Por suerte, nuestra visión del Universo ha ido cambiando conforme se han ido introduciendo en la astronomía detectores de nuevos tipos de luz.

La astronomía infrarroja abrió un campo de investigación sin la cual muchos fenómenos y objetos en el Universo nos habrían pasado desapercibidos.

Así que debemos esperar que nuevos telescopios e instrumentos sigan ampliando nuestra visión del Cosmos a través de otras luces que hoy desconocemos.

Imágenes de recurso.

ALF (OFF)

¿Qué nuevos tipos de luz, hoy
invisibles, descubriremos en el futuro?

¿Nos permitirán estas luces ver lo que
la astronomía no puede ver ahora?

¿Qué nuevas preguntas y misterios nos
esperan?

CRÉDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 11: RAYOS GAMMA

¿NOS LLEGAN RAYOS DEL ESPACIO?

- **SEC. ARRANQUE**

ALF (OFF)

En la tranquilidad de una noche estrellada, el Universo parece un lugar encantador y plácido, lleno de orden y belleza.

Un lugar donde las cosas cambian lentamente y en el que podemos vivir eternamente.

Pero, desafortunadamente, las cosas no son lo que parecen.

Donde quiera que miren los astrónomos, hay pruebas evidentes de grandes catástrofes y de mundos devastados.

El Universo está lleno de acontecimientos violentos a una escala inimaginable.

Hay suicidios estelares, colisiones múltiples de galaxias, eyecciones colosales de materia y energía, sumideros devoradores de todo lo que encuentran a su alrededor...

Vivimos en un Universo que permite la vida, pero que también destruye galaxias, estrellas y mundos.

Entre las inimaginables distancias que separan nuestro planeta de estrellas y galaxias parece improbable que algún tipo de materia o energía resultante de estas catástrofes cósmicas pueda llegar hasta nosotros.

Sin embargo, por muy lejos que estén estos fenómenos violentos, parte de sus restos están ahora mismo lloviendo sobre nuestras cabezas. Nos empapan día y noche, independientemente de si estamos a la intemperie, en nuestro hogar o bajo toneladas de hormigón.

¿Cómo llegan hasta nosotros? ¿De dónde proceden? ¿Debemos hacer algo para resguardarnos?

• **SEC. EXT. COCHE - MAGIC - ORM. DÍA**

Alfred conduce su coche en el ORM camino de los Mágic. Intercalan imágenes del telescopio.

ALF (OFF)

Por extraño que parezca, la materia y la energía resultante del universo extremo no es fácil de ver.

Para descifrar los misterios escondidos en estas regiones cósmicas hay que utilizar instrumentos y técnicas capaces de ver más allá de lo que nuestros ojos pueden percibir.

ALF

Los rayos gamma son un tipo de estas luces invisibles extremadamente energéticas que pueden darnos pistas sobre los violentos fenómenos que hay en el Universo.

Nuestra atmósfera bloquea la mayor parte de esta radiación la cual es muy peligrosa y hasta mortal para las formas de vida en la Tierra.

Pero los rayos gamma pueden ser detectados de manera indirecta desde la Tierra en forma de una fina e inofensiva lluvia de partículas.

Aquí en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, se encuentran los telescopios Magic, uno de los pocos en el mundo que detecta rayos gamma.

Alfred aparca su coche al lado de los telescopios. Y camina hasta la caseta.

ALF (OFF)

Sus 17 metros de diámetro, como un edificio de 6 pisos, no dejan indiferente a nadie.

Estos dos telescopios gemelos, permiten observar el cielo "en estéreo".

Pero mejor que nos lo explique un joven investigador italiano que trabaja con este peculiar telescopio.

• **EXT. TELESCOPIOS MAGIC, ORM - BASE. DÍA - ENTREVISTA**

Markus Gaug, frente a los imponentes espejos de los dos telescopios MAGIC.

MARKUS

¿Cuándo empezó la astronomía de rayos gamma?

El estudio de los rayos gamma es un campo bastante nuevo en astrofísica.

Hasta hace poco los rayos gamma era una región del espectro que permanecía inexplorada.

Los primeros telescopios de esta clase comenzaron a funcionar en los años 80, por lo que se trata de una zona del espectro electromagnético muy poco estudiada, de una técnica bastante nueva

y de un campo en el que hay mucho por hacer y descubrir.

¿Cómo se estudia esta zona del espectro?

Los rayos gamma cuando llegan a la Tierra chocan con núcleos del aire (oxígeno o nitrógeno) de la atmósfera y desaparecen.

Sin embargo, los fotones más energéticos de este tipo de radiación tienen tanta energía que al entrar en la atmósfera destruyen los átomos del aire y producen una "cascada" de millones de partículas.

En su mayor parte son electrones, como los que corren por un cable cuando hay una corriente eléctrica, y otras partículas parecidas.

Estas partículas viajan a más velocidad que la luz lo que produce una onda de choque, semejante a la que sucede cuando se supera la velocidad del sonido, y emiten un luz azulada que brilla sólo durante unas mil-millonésimas de segundo (nanosegundos).

A esta radiación se le llama Cherenkov en honor al físico que halló la explicación a este fenómeno.

Pero muchos de estos destellos son tan tenues que se nos escapan. Además gran parte de la luz es ultravioleta y nuestros ojos no pueden verla.

Para captar estos destellos con mayor eficiencia se necesitan grandes telescopios, denominados Cherenkov, como los Magic.

¿Qué son los telescopios Cherenkov?

Generalmente, los telescopios están formados por un gran espejo segmentado

que enfoca la radiación de Cherenkov en una cámara de fotomultiplicadores.

En cierto sentido, podemos decir que la atmósfera hace, en realidad, de telescopio, ya que actúa como parte activa transformando una única partícula de enorme energía (imposible de detectar directamente) en una cascada de multitud de partículas de baja energía (fácilmente detectables), siendo nuestros telescopios sus detectores.

- **PILDORA CONTENIDO**

ALF (OFF)

¿De dónde vienen los rayos gamma?

En general, el origen de la mayor parte de los rayos gamma que llegan desde el espacio constituye **un misterio**. Esto se debe a que el cielo visto en esta luz es un cielo extremadamente cambiante.

Algunas de las fuentes más intensas pueden salir de la nada, durar minutos, horas o días y volver a desaparecer completamente.

A estas fuentes se las conoce como "estallidos de rayos gamma" y son los fenómenos más luminosos que se conocen en el Universo.

Pueden llegar a observarse entre uno y dos por día, y cada estallido es más brillante que todas las demás fuentes del cielo juntas.

Generalmente se asocian con explosiones en galaxias distantes a miles de millones de años luz de la Tierra, lo que nos da una idea de lo extremadamente energéticas que son.

Un estallido típico puede generar la misma energía que el Sol durante toda su vida.

No se conoce ningún proceso en el Universo que pueda producir tal cantidad de energía en tan corto periodo de tiempo.

Lo que sí sabe es que una parte de esta radiación gamma de alta energía está asociada a un tipo de partícula de origen extraterrestre que viaja a casi la velocidad de la luz: los Rayos Cósmicos.

- **EXPERIMENTO**

Alfred construye una cámara de niebla.

ALF

¿En qué consiste el experimento?

Se trata de un detector casero de rayos cósmicos.

El experimento consiste en un recipiente transparente con alcohol volátil en su interior. La base de la caja se mantiene fría de modo que cerca de él hay vapor de alcohol sobreenfriado, es decir, que está por debajo de su temperatura de condensación.

Luego, hay que esperar unos minutos hasta que vemos aparecer condensaciones en forma de hilillo blanco que desaparecerán rápidamente. Son partículas derivadas del choque de los rayos cósmicos con la atmósfera terrestres que atraviesan la cámara.

¿Qué son los rayos cósmicos?

Los rayos cósmicos son partículas subatómicas con carga eléctrica, y no radiación como en el caso de los rayos

gamma, que tienen una energía elevada debido a su gran velocidad, cercana a la velocidad de la luz. Cada centímetro cuadrado de la parte alta de la atmósfera es golpeada por varios rayos cósmicos por segundo. Los rayos cósmicos colisionan con los iones (átomos eléctricamente cargados) de la alta atmósfera, y se rompen en una cascada de partículas "secundarias", no dañinas.

¿Por qué sabemos que se trata de partículas cargadas eléctricamente?

El paso de una partícula cargada de suficiente energía deja un rastro de iones en torno al cual se condensa una nube de gotitas de alcohol formando una traza de igual manera que los aviones dejan estelas a su paso por las capas altas de la troposfera.

¿Por qué sabemos que vienen del espacio exterior?

Si este experimento lo realizamos a diferentes altitudes veríamos que el número de partículas y la intensidad aumentan. De esta forma podemos concluir -y así se demostró a principios del siglo XX- que los rayos cósmicos deben proceder del espacio exterior.

¿Qué energía tienen los rayos cósmicos?

Los rayos cósmicos que recibimos tienen una energía equivalente a la energía de todos los objetos con luz visible que nos llegan. Es cien millones de veces superior a la energía que se ha conseguido en los aceleradores de partículas más potentes. Por lo tanto, es la mayor cantidad de energía que nunca se haya medido en el Universo.

¿Qué relación tienen los rayos cósmicos con la radiación gamma?

Al estar compuesto de partículas cargadas eléctricamente, los rayos cósmicos son desviados por los campos magnéticos de dentro y fuera de nuestra galaxia, por lo que llegan a la Tierra en todas las direcciones. Además, son acelerados por procesos que aún desconocemos.

Cuando los rayos cósmicos chocan con átomos del medio interestelar generan rayos gamma. Los rayos gamma no sufren ningún cambio en la dirección por lo que apuntan hacia la fuente que los produjo.

Por eso, estudiando los rayos gamma que se producen por las colisiones de rayos cósmicos con en el medio interestelar, podemos tener información indirecta de dónde vienen y sobre los mecanismos que los están acelerando.

¿Qué papel tiene los rayos cósmicos en el conjunto del Universo?

Los rayos cósmicos son fundamentales en la evolución química de las galaxias ya que muchos elementos químicos se generan por el choque entre rayos cósmicos con algunos elementos básicos.

Aunque los rayos cósmicos son una componente fundamental en el Universo, sin embargo, aún nos falta una teoría que permita encajar esta pieza en nuestro puzle del conocimiento.

¿Suponen algún peligro para nosotros?

Los rayos cósmicos forman parte de la radiación natural que nos llega. Por lo general atraviesan cualquier obstáculo. Esto se debe a que la materia está formada prácticamente por vacío, ya que el espacio que separa los átomos es enorme.

Puede ocurrir que algunas de las partículas secundarias creadas por el impacto de rayos cósmicos choquen con algunos de nuestros átomos, incluso el ADN de nuestras células provocando mutaciones. Esto es especialmente peligroso en los vuelos espaciales ya que en el espacio no existe la protección de la atmósfera.

Pero, por lo general, el cuerpo humano puede reparar o eliminar estas anomalías. Además, gracias a las mutaciones, se cree que los rayos cósmicos pudieron tener un papel beneficioso para la evolución de la vida en la Tierra.

En cambio, lo que sí puede pasar, es que al incidir sobre los microcircuitos de los aparatos electrónicos puedan alterar y provocar errores en la memoria RAM de, por ejemplo, un ordenador o en un teléfono móvil. Hay algunos estudios que están investigando esta posibilidad.

Así que si algún aparato electrónico se le estropea de repente sin explicación aparente, siempre puede achacarlo a los rayos cósmicos.

- **SEC. EXT. TELESCOPIO MAGIC - TORRE. DIA**

Markus sube hasta la torre del detector desde donde se puede ver los espejos en detalle. Markus coge una emisora y da la señal para que muevan el telescopio. Los Magic empiezan a "danzar":

Si los estallidos de rayos gamma son tan rápidos e imprevisibles, ¿cómo consiguen apuntar los telescopios?

Gracias a la máxima rigidez y al mínimo peso de los Magic, sus motores son capaces de guiar rápidamente al telescopio, tanto en vertical como en

horizontal, para el apuntado y seguimiento de una nueva fuente.

Los Magic son capaces de posicionar sus casi 70 toneladas de estructura y apuntar hacia la fuente emisora de rayos gamma en apenas 40 segundos.

Pero, ¿cómo saben lo que tienen que apuntar?

Debido a su corta duración y a la naturaleza impredecible de los estallidos, tanto en posición como en tiempo, es necesario disponer de un sistema de alerta que agilice su observación.

Para ello, MAGIC se comunica con una red de satélites de detección temprana que alertan de los posibles estallidos que se producen.

Los satélites transmiten la información al telescopio apenas segundos después de haberse detectado la señal y el telescopio se reorienta automáticamente y enfoca hacia la fuente del estallido.

¿Qué tipo de fenómenos emiten estallidos de rayos gamma?

Es probable que estén asociados a varios fenómenos astronómicos muy extremos, seguramente, los más energéticos conocidos en el Universo.

Pueden tratarse de explosiones de estrellas masivas en la fase final de su vida.

También pueden proceder de núcleos activos de galaxias que lanzan inmensas cantidades de masa (equivalentes a muchos soles) en forma de chorros.

Los rayos gamma también pueden ser restos de supernovas, nubes de gas que

han sido expulsados por la explosión de la estrella y se alejan rápidamente de ella en todas direcciones.

Y los púlsares, estrellas de neutrones en rápida rotación, que se producen después de la supernova, pueden emitir rayos gamma de muy alta energía.

¿La astronomía de altas energías es ya una astronomía consolidada?

Lo que aquí estudiamos a través de telescopios terrestres son, en realidad, experimentos de física de partículas.

Las observaciones de los telescopios Cherenkov son complementarias a los experimentos en los aceleradores de partículas.

Gracias a esta colaboración, en los últimos años se ha incrementado rápidamente nuestra comprensión de las interacciones de partículas a muy altas energías.

• **EXT. CIERRE**

Plano general de Alfred debajo de los Magic. Time Lapse del ORM pasando por todos los telescopios hasta llegar al cielo estrellado.

ALF (OFF)

Hasta hace tan sólo unas décadas teníamos la visión general de un Universo inmóvil y apacible.

Las estrellas no cambiaban o lo hacían en escalas de tiempo de miles de millones de años.

Esta visión cambió conforme se fueron introduciendo en la astronomía detectores de nuevos tipos de luz.

ALF

Ahora sabemos que allá fuera hay enormes explosiones de estrellas y galaxias cuya intensidad y energía nunca hubiéramos imaginado.

Y, no sólo eso, sino que estamos sometidos a un bombardeo imparable, segundo a segundo, de restos de estas catástrofes cósmicas producidos en las profundidades del espacio.

Residuos que llevan viajando por el Universo millones de años, rebotando de una galaxia a otra, hasta llegar por accidente a nuestro planeta y atravesar nuestro cuerpo.

ALF (OFF)

Pero nuestra exploración del Universo apenas ha comenzado. Las primeras expediciones sugieren que el Cosmos está poblado de lugares oscuros que desafían nuestro conocimiento.

De hecho, creemos que casi la totalidad del Universo está formada por materia y energía que aún desconocemos. Sin embargo hemos visto casi todo lo que se puede ver en el Universo y parece poco probable que la mejora de nuestras observaciones nos muestre mucho más.

¿Conseguiremos algún día conocer la verdadera naturaleza del Cosmos?
¿Encontraremos las respuestas a todas las preguntas que actualmente la astronomía no consigue responder? ¿O, tal vez, el Universo siempre será un misterio?

CRÉDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 12: CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

¿Cuándo desaparecieron las estrellas?

- **INTRO**

Sobre imágenes de recurso:

ALF (OFF)

La luz artificial ha constituido un innegable factor de progreso para la humanidad.

Pero la luz también tiene su lado oscuro.

Se llama Contaminación lumínica.

Desde la invención de la bombilla incandescente, la oscuridad natural ha ido desapareciendo de nuestras ciudades.

El crecimiento desordenado de las urbes y nuestro irracional y derrochador estilo de vida ha ido llenando el cielo nocturno de luz.

Pero al iluminar la noche, también hemos deslumbrado al Universo.

En nuestro mundo civilizado cada vez es más difícil observar las estrellas.

Incluso, el cielo estrellado empieza a resultar un desconocido para las jóvenes generaciones.

Poco a poco, y sin darnos cuenta, las estrellas se han ido apagando.

Y con ellas, nuestro contacto directo con el Universo.

Al perder la noche sus estrellas, todos somos mucho más pobres.

Las estrellas han sido siempre un elemento esencial para el desarrollo de todas las civilizaciones.

Nos han servido para orientarnos, para determinar los ciclos de las cosechas, para establecer calendarios o para crear arte.

Pero la noche no sólo es parte de nuestras raíces culturales, sino también de la biodiversidad.

Todos los seres vivos, incluida nuestra especie, precisan de la oscuridad para sobrevivir.

¿Cuáles son los peligros de iluminar la noche? ¿Cómo nos afecta la contaminación lumínica? ¿Podemos hacer algo para recuperar el cielo estrellado?

CABECERA

• **EXT. CALLE ILUMINADA ARTIFICIALMENTE. NOCHE**

ALF

Nunca ha habido tanta ciencia de las estrellas.

Nunca hasta ahora hemos sabido mejor cómo funcionan, cómo evolucionan, cómo nacen y mueren.

Sabemos de las estrellas mucho más que nunca, pero cada vez son menos las personas que dirigen su mirada al cielo.

Gran parte de la población del mundo civilizado ha perdido la capacidad de ver el cielo nocturno.

Algo que nunca antes había sucedido en la historia de la humanidad.

A lo largo de la historia de nuestra civilización hemos estado atentos a lo que ocurría en el cielo.

De mirar las estrellas nacieron nuestros relojes, nuestro calendario y nuestros mapas actuales.

Más tarde, la astrofísica moderna ha puesto de manifiesto nuestra vinculación con el cosmos: estamos hechos de polvo de estrellas.

A ellas les debemos nuestra existencia.

Nos podemos prescindir del aprendizaje del Cosmos.

Si eliminamos las estrellas, desaparece el testimonio de nuestros orígenes.

El resplandor de la luz artificial es una seria amenaza cultural y medioambiental de consecuencias imprevisibles.

Por esta razón, tenemos el deber de preservar el cielo para el disfrute de las futuras generaciones que tienen derecho a seguir asombrándose y aprendiendo del Universo.

ALF (OFF)

A pesar de que la contaminación lumínica nos ha robado la belleza de las estrellas, ha sido hasta ahora ignorada por casi todo el mundo.

Nadie parecía darse cuenta de que la noche se apagaba, hasta que los astrónomos dieron la alarma.

El Instituto de Astrofísica de Canarias fue uno de los centros pioneros en denunciar este tipo de contaminación y en redactar una ley para proteger la oscuridad de la noche.

Por ello, lo ideal es que hablemos con una persona que trabaja aquí y que se dedica al original oficio de proteger el mayor de los tesoros de la humanidad, nuestros cielos.

• **ENTREVISTA**

ROTULO:

Federico de la Paz, Oficina Técnica de Protección del Cielo (OTPC) del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

¿Qué es contaminación lumínica?

Es un término genérico que indica la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas con intensidades, direcciones o rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona donde se han instalado las luces.

O también cuando nos referimos al empleo de iluminación en ámbitos no recomendables, como observatorios astronómicos, espacios naturales y paisajes sensibles.

En general, es una nueva forma de despilfarro, consecuencia de una creciente urbanización de la sociedad, que acarrea impactos medioambientales, energéticos y culturales, daño a los ecosistemas y a la salud humana.

¿Qué la genera?

Un ineficiente y mal diseñado alumbrado exterior, la utilización de proyectores y cañones láser, la

inexistente regulación del horario de apagado de iluminaciones publicitarias, monumentales u ornamentales, etc., generan este problema cada vez más extendido.

¿Por qué es un problema para la astronomía?

La contaminación lumínica se ha convertido en un problema a escala mundial ya que elimina de forma gradual la capacidad de observar la luz de las estrellas.

Por ello, la contaminación lumínica, juntamente con la contaminación radioeléctrica (emisiones de radio, televisión y telefonía móvil que invaden el espectro donde se realiza observaciones), atmosférica (emisiones de gases humos y partículas que disminuyen la transparencia del aire) y la del espacio aéreo (sobrevuelos de aviones), representa la más seria amenaza para el progreso de la astrofísica.

¿Cuál es su manifestación más evidente y perjudicial de la contaminación lumínica para la astronomía?

Uno de los aspectos más perjudiciales para la astronomía es la dispersión de luz hacia el cielo.

La dispersión hacia el cielo se origina por el uso de luminarias inadecuadas que envían luz directa hacia el cielo o fuera de la zona a iluminar y/o por los excesos de iluminación.

Cuando esto ocurre, la luz interactúa con los gases y las partículas del aire, desviándose en todas direcciones.

El proceso se hace más intenso si existen partículas contaminantes en la atmósfera (humos, partículas sólidas) o, simplemente, humedad ambiental.

La expresión más evidente es el característico halo luminoso de color gris anaranjado que recubre las ciudades y que es visible a centenares de kilómetros.

Como ejemplo se puede mencionar el hecho de que el halo de Madrid se eleva 20 Km por encima de la ciudad y el de Barcelona es perceptible a 300 Km de distancia.

La dispersión de la luz en la atmósfera convierte el fenómeno en algo capaz de alterar la calidad del cielo a grandes distancias, afectando así las zonas en las que se ubican los observatorios profesionales.

La visión de los objetos celestes y, en especial, aquellos que no tienen un brillo puntual como las estrellas, sino que son extensos y difusos (las nebulosas y las galaxias) depende del contraste existente entre su tenue luminosidad y la oscuridad del fondo del cielo. Al dispersarse la luz, éste se torna gris y estos objetos desaparecen.

El ejemplo más notable lo constituye la desaparición total de la visión del plano de la Vía Láctea, nuestra galaxia, desde los entornos urbanos. Hay que alejarse mucho de los núcleos habitados para encontrar cielos lo suficientemente oscuros como para poder observarla en toda su magnificencia.

Si consideramos que en condiciones óptimas, nuestro ojo alcanza a distinguir estrellas hasta la sexta magnitud, lo cual supone poder alcanzar a ver unas 3.000 en verano, al incrementarse más y más el brillo del cielo, al final, desgraciadamente solo resultan visibles desde las ciudades una decena de estrellas, algunos planetas y la Luna.

Por esta razón, los primeros signos de denuncia del peligro que suponía la contaminación lumínica para la ciencia astronómica procedieron de los sectores astrofísicos y se canalizaron a través de la Unión Astronómica Internacional (IUA),

cristalizando en una serie de convenios de protección de los observatorios.

¿Qué se puede hacer para frenar la contaminación lumínica?

Hay que evitar la emisión directa de luz hacia el cielo, cosa que se consigue usando luminarias orientadas en paralelo al horizonte, con bombillas bien apantalladas y eficientes.

Hay que iluminar siempre de arriba a abajo. En caso de que eso no sea posible, hay que orientar los focos para evitar que estos envíen luz por encima del objeto o edificio a iluminar.

Existe un amplio abanico de dispositivos y ópticas a utilizar dependiendo de la ubicación y tamaño del objeto a iluminar, por lo que se puede evitar sobredimensionar las instalaciones y no proyectar luz más allá de la zona de interés.

Evitar excesos en los niveles de iluminación de espacios, edificios, monumentos y letreros públicos y privados, reduciendo los niveles de iluminación a los mínimos recomendados y adaptados a la actividad del lugar o incluso el apagado de alumbrados ornamentales y de grandes espacios exteriores que resultan injustificables a partir de ciertas horas de la noche, como el alumbrado deportivo, anuncios luminosos y todo aquel que no es necesario para la seguridad ciudadana.

Existen también la opción de usar reductores del flujo lumínico, preferentemente automáticos y con sistemas que garanticen su funcionamiento horario o de detección de movimiento.

Por último, también hay que remodelar el alumbrado, cambiando aquellas bombillas que pueden afectar a la observación astrofísica.

¿Qué tipo de lámparas son las más contaminantes?

Las más nocivas son las que emiten en el azul y ultravioleta, pues estas longitudes de onda son las que más fuertemente son esparcidas por la atmósfera y no tienen utilidad luminotécnica.

Estas corresponden a lámparas de luz blanca azulada o fría, con temperatura de color superior a los 4.000 °K, emitiendo en longitudes de ondas inferiores a los 500 nanómetros. Por ejemplo, una lámpara azulada (460 nm) produce un resplandor hasta 2,7 veces superior al de la amarilla de sodio (589 nm).

¿Y cuáles con las menos dañinas para la Astronomía?

Las lámparas menos dañinas para la Astronomía suelen ser las más eficaces del mercado.

Las mejores opciones son el uso de lámparas que se dispersen poco en la atmósfera, contaminen muy poco el espectro electromagnético.

Las menos perjudiciales son las de vapor de sodio de baja presión al emitir prácticamente en una estrecha línea del espectro, dejando limpio el resto del mismo.

Estas últimas lámparas son las más eficaces consumiendo, para un mismo paquete luminoso, 5 veces menos que las incandescentes, 2,2 menos que las de mercurio y 1,5 veces menos que las de vapor de sodio de alta presión y fluorescentes.

¿Y las lámparas LED?

La nueva tecnología de alumbrado en estado sólido (LED), que se extiende actualmente por todo el planeta, emite en 460 nanómetros (azul). Para obtener luz blanca se le añade a su encapsulado fósforo, que absorbe parte de la luz azul y la convierte en otras radiaciones hacia el amarillo, consiguiendo así una luz blanca.

Esta luz, aunque es más eficiente al tener menos capa de fósforo, si es fría ($>3000^{\circ}\text{K}$), tendrá una elevada dispersión, lo que las hace especialmente dañinas para la salud y el medio ambiente.

Se recomienda, cuando sea necesaria la luz blanca, el uso de LEDS de color blanco cálido ($<3000^{\circ}\text{K}$).

- **ENTREVISTA**

¿Hay contaminación lumínica en España?

España es uno de los países de Europa más afectados por la contaminación lumínica y el primero en cuanto a gastos de KWh por habitante.

Mientras que en otros países como en Alemania, un habitante gasta 45 KWh, en España se gastan 110 KWh por habitante.

Además, España es el segundo país de la UE que menos bombillas de bajo consumo usa.

¿Qué papel ha jugado el Instituto de Astrofísica de Canarias a la hora de regular este tipo de contaminación?

El problema de la contaminación lumínica no se puede solucionar si no se establecen medidas jurídicas que lo regulen.

Con el fin de garantizar la actividad investigadora y, en especial, preservar la calidad astronómica de sus observatorios, el 31 de octubre de 1988, el Parlamento Español aprobó la Ley sobre la Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC.

La ley del cielo, que afecta a las islas de Tenerife y La Palma, trata de evitar los cuatro tipos distintos de contaminación: lumínica, radioeléctrica, la contaminación atmosférica y la que pueden provocar las rutas aéreas.

Esta ley pionera ha servido de ejemplo para otros proyectos similares en otros países (Chile, Hawai e Italia), y para algunas comunidades autónomas (Cataluña, Baleares o Andalucía) y municipios que han adoptado medidas para regular este tipo de contaminación.

¿Qué es la OTPC?

La Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC) fue creada en enero de 1992 por el IAC para facilitar la aplicación de la [Ley del Cielo](#) (Ley 31/1988), que preserva la calidad astronómica de los observatorios de Canarias.

La OTPC asesora sobre los preceptos de la Ley y emite informes técnicos a proyectos o instalaciones de alumbrado exterior y de estaciones radioeléctricas de modo que la nueva instalación cumpla con la normativa.

Pero no todas las nuevas instalaciones de alumbrado pasan por el IAC, ya sea por la ilegalidad de las mismas, ampliaciones de instalaciones existentes o por cualquier otra circunstancia, por lo que también se denuncian todas aquellas instalaciones que no cumplen con la normativa.

Además, la OTPC emite certificados de luminarias a efectos de facilitar a los ingenieros y diseñadores la realización de los proyectos de alumbrado de exteriores de acuerdo a la Ley.

¿Cómo se mide la contaminación lumínica en los observatorios?

En el OT usamos un instrumento de medida automática del fondo del cielo llamado "ASTMON".

AstMon es una estación fija o móvil creada para la caracterización y medición de la contaminación lumínica. Es un instrumento autónomo, integrado y que puede ser controlado de forma remota.

Consiste en una cámara, con un detector CCD, orientada hacia el cénit (punto del cielo situado justo en la vertical del observador) y que lleva incorporada una rueda porta filtros de hasta 5 posiciones y un objetivo ojo de pez, que provee al instrumento de un campo de visión de 180 grados en todas las direcciones de forma que "comprime" todo el cielo en una sola imagen.

El instrumento realiza una serie de fotografías y memoriza los datos del brillo del cielo cada 17 minutos en los filtros V, R, B y U en noches sin Luna; y nos indica si la noche es fotométrica, es decir, si reúne las condiciones favorables para la observación, en cada una de las medidas.

• **ENTREVISTA:**

Además de la astronomía, ¿qué efectos tiene la contaminación lumínica sobre el medio natural?

Tiene efectos comprobados sobre la biodiversidad de la flora y la fauna nocturna que es mucho más numerosa que la diurna y precisa de la oscuridad para sobrevivir y mantenerse en equilibrio (búsqueda de alimentos, desplazamientos migratorios, apareamiento, oviposición, etc.).

La proyección de luz en el medio natural origina fenómenos de deslumbramiento y desorientación en Aves, mamíferos voladores y terrestres, anfibios, reptiles, peces...

También provoca una alteración de los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino, lo que afecta a la alimentación de especies marinas que habitan en las cercanías de la costa.

Además, incide sobre los ciclos reproductivos de los insectos, el grupo zoológico más numeroso en prácticamente todos los ecosistemas terrestres y base de la cadena trófica, y rompe el equilibrio depredador-presa de las especies, porque algunas son ciegas a ciertas longitudes de onda de luz y

otras no, con lo cual las depredadoras pueden prosperar, mientras se extinguen las depredadas.

Finalmente, la flora se ve afectada al disminuir los insectos que realizan la polinización de ciertas plantas.

¿Y sobre la salud humana?

La exposición a la luz durante la noche también tiene consecuencias para la fisiología humana y animal. La luz nocturna, cuando es de suficiente intensidad y de la longitud de onda apropiada (azul), es convertida a una señal eléctrica que viaja al sistema nervioso central.

Esta señal altera la producción de melatonina en la glándula pineal. La melatonina, que se segrega fundamentalmente de forma exclusiva durante la noche, es la encargada de regenerar las células de nuestro cuerpo.

Si por la noche nos sometemos pocos segundos a estas radiaciones, el cuerpo no segrega la hormona melatonina produciendo trastornos del sueño y degeneraciones celulares que desencaminan en algunos tipos de cáncer.

Se trata de la ruptura de los ritmos circadianos (día y noche) establecidos por la naturaleza durante millones de años.

¿Es cierta la idea de que más luz significa más seguridad?

Una iluminación escasa puede resultar insegura. Sin embargo, una iluminación excesiva puede ser incluso más peligrosa al causar deslumbramiento y cansancio visual en un entorno que nos da falsa seguridad.

Las luces que causan confusión o distracción visual pueden ser mortales mientras se está conduciendo. Además, los conductores corren más en los tramos iluminados y esto supone un incremento del factor de riesgo velocidad.

Además, la iluminación demasiado brillante crea un contraste marcado entre la luz y la oscuridad,

haciendo que los lugares fuera del área de iluminación sean casi imposibles de ver.

Necesitamos tiempo para adaptarnos a la oscuridad y pasamos de no ver nada en absoluto a percibir, poco a poco, detalles menores y distintos niveles de brillo. Igual sucede cuando pasamos de la oscuridad a la luz muy intensa: quedamos deslumbrados y durante un cierto tiempo no tenemos la agudeza visual necesaria para percibir los objetos con nitidez.

Las luces que están erráticamente espaciadas en el espacio disminuyen la capacidad de ver y de respuesta frente a los obstáculos.

La mala iluminación puede incluso atraer intrusos por crear sombras donde pueden ocultarse. No existe relación concluyente entre la iluminación nocturna y el delito. La mayoría de los delitos contra la propiedad se cometen durante el día o en edificios iluminados.

Impedir la contaminación lumínica no es "vivir a oscuras", ni hace disminuir la visibilidad nocturna, ni la seguridad. La iluminación eficaz ayuda a que las personas estén seguras, no solamente a sentirse seguras.

¿Es el exceso de luz (sobreconsumo) un negocio?

Un exceso de luz significa un mayor consumo eléctrico y, por lo tanto, equivalía hasta ahora a tener un mayor beneficio.

También ha sido un negocio de los fabricantes de bombillas y de luminarias porque cuanto mayor sea la potencia que se instale, tanto más se encarece el producto, reduciéndose, además, su vida útil.

Sin embargo, por razones coyunturales, ahora el negocio parece desplazarse hacia la política de ahorro en el consumo, por lo cual, en principio, no existe aparente oposición a reducir la contaminación lumínica.

La inversión económica necesaria se amortiza en menos de dos años con el descenso del consumo.

Sorprendentemente, se trata del único problema medioambiental cuya solución no implica inversiones a fondo perdido, sino que genera beneficios.

Por otro lado, también ha surgido la exigencia de ofrecer al mercado nuevas luminarias no contaminantes y lámparas más eficientes, que ha supuesto incluso un revulsivo para la competitividad del sector.

Por ejemplo, Philips, líder mundial en alumbrado eficiente e iluminación LED, y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) han desarrollado conjuntamente la primera luminaria LED de alumbrado público con un doble sistema de alumbrado.

Este sistema permite iluminar las calles tanto con luz blanca como con luz amarilla monocromática, que es especialmente apta para la realización de las mediciones astrofísicas del cielo. Además, el ahorro obtenido por el sistema en ambos supera en un 50% a las soluciones tradicionales, además de reducir el impacto de la luz en el medio ambiente.

¿Qué implicaciones culturales y humanas la destrucción del paisaje celeste?

La imposibilidad de contemplar el cielo desde las ciudades priva al individuo de un contacto directo con el universo, lo que origina un inevitable empobrecimiento cultural.

Los ciclos cósmicos y su vinculación con la agricultura y la tradición han generado a lo largo de los tiempos un enorme patrimonio cultural: el conocimiento de las constelaciones y su posición en el cielo en relación con la época del año; su relación con las tareas agrícolas; expresiones del lenguaje que incluyen referencias astronómicas; historias y leyendas construidas alrededor de la contemplación del firmamento... están desapareciendo a pasos agigantados.

Para las generaciones de jóvenes actuales, el universo es ya tan sólo algo con lo que únicamente entran en contacto a través del cine y de lo que están y se sienten desvinculados. Además, el tipo de educación que se ofrece en escuelas y centros de enseñanza media no incluye, por lo general, nociones de Astronomía más que en casos excepcionales.

En resumen, ¿cuáles son los beneficios de iluminar bien?

Los beneficios más inmediatos son:

- Ahorro de energía:
- Seguridad vial
- Mejora del medioambiente
- Disfrute del cielo estrellado.

¿Frenar la contaminación lumínica significa frenar el progreso?

Se podría pensar que no queda otro remedio que frenar el progreso o aceptar que el fenómeno es inevitable y olvidarnos del cielo nocturno, pero esto no es así.

La contaminación lumínica no se podrá erradicar nunca del todo, porque siempre existirá un porcentaje de luz que el suelo reflejará hacia la atmósfera.

Lo que pretendemos no es otra cosa que utilizar menos luz para iluminar mejor. Se trata, entre otras cosas, de que este porcentaje de luz sea el mínimo posible.

• **CIERRE**

ALF (OFF)

Hemos condenado la naturaleza al insomnio.

La contaminación lumínica ha pasado de ser un problema de astrónomos a ser considerado un problema global.

Es absurdo gastar energía en iluminar el firmamento.

Nos cuesta millones de euros, aumenta la polución, pone en peligro a la biodiversidad, perjudica nuestra salud y empobrece nuestro patrimonio cultural.

La luz artificial nos ha proporcionado una innegable calidad de vida, pero su mal uso la convierte en un problema que precisa de medidas urgentes.

ALF

En nuestra actual idea de progreso, hemos confundido cantidad con calidad, a menudo bajo la falsa creencia de que el exceso de luz incrementa la visibilidad y mejora la seguridad ciudadana.

Las ciudades no son más seguras, más modernas ni más habitables por tener farolas que iluminan hacia el cielo.

Se trata de iluminar de forma adecuada y eficiente, evitando la emisión de luz directa a la atmósfera y empleando la cantidad de luz estrictamente necesaria dirigiéndola allí donde necesitamos ver.

Iluminando bien emplearemos menos dinero y energía, veremos mejor, conseguiremos mayor calidad de vida y preservaremos el medio nocturno.

Un cielo limpio no es sólo son un recurso para los científicos, sino un patrimonio para la humanidad, además del mayor y más bello paisaje que podemos admirar.

ALF (OFF)

¿Podrán las nuevas generaciones seguir contemplando la belleza del cielo nocturno?

¿Seguirán emocionándose, seduciéndose e imaginando al mirar la bóveda celeste?

¿Cuántos poemas, canciones, bocetos y relatos aún quedan por hacer en las noches estrelladas?

CREDITOS

MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife

CON EL PATROCINIO DE



CAPÍTULO 13: FUTURO DE LA ASTROFÍSICA ¿Cómo será la astronomía del siglo XXI?

- **INTRO**

ALF

Hoy en día los astrónomos son capaces de ver el Universo como nunca antes.

Tenemos a nuestra disposición herramientas que hace apenas unas décadas jamás hubiéramos imaginado.

Es una época extremadamente excitante para ser un astrónomo.

Estamos viviendo la era de descubrimientos más grande que nuestra civilización haya conocido.

Somos los primeros en ver regiones ocultas del Cosmos que ni siquiera nadie esperaba encontrar.

Cada día se responden preguntas que hace unos años no tenían solución.

Pero las respuestas siempre dan lugar a nuevos interrogantes.

Por eso, se están diseñando una nueva generación de proyectos que prometen revolucionar nuestro conocimiento.

Muchos de estas propuestas contemplan la construcción de los más avanzados

telescopios jamás construidos, con un poder y precisión sin precedentes.

Nuevos monumentos al ingenio humano para satisfacer nuestro innato e insaciable deseo de saber más.

¿Qué retos tiene la astrofísica para los próximos años? ¿Qué nuevos descubrimientos nos esperan?

• **EXT. OT. DÍA. PRESENTACIÓN**

Alfred en el OT, frente Guajara.

ALF

Históricamente, este es el lugar donde empezó la astronomía moderna de alta montaña.

Aquí, hace más de un siglo y medio el astrónomo Charles Piazzi Smyth realizó las primeras observaciones que demostrarían, tal y como había supuesto el gran Isaac Newton, que cuanto más alto se situaba un telescopio, mejor se podía observar el Universo.

Pero éste sitio, además de ser el origen de los actuales observatorios astronómicos, es también el laboratorio donde se forjará la astronomía del futuro.

Un conjunto de físicos españoles tratan de convencer a la comunidad científica internacional para construir sobre este terreno uno kilómetro cuadrado de telescopios Cherenkov.

No son telescopios normales, sino enormes espejos al aire libre de hasta 25 metros de diámetro para detectar rayos gamma, el tipo de radiación más energética que conocemos.

Con ellos se pretende observar los fenómenos más violentos y extremos que

ocurren en el Universo; tanto, que las leyes físicas que conocemos no acaban de encajar.

Esta red de telescopios llamada CTA significará la consolidación de la astrofísica de altas energías, un campo de unión entre la astronomía y la física de partículas que aspira a revolucionar nuestro conocimiento actual.

Para conocer este proyecto lo mejor es que nos lo explique una joven investigadora encargada de coordinar y dar a conocer la candidatura española para la instalación de esta red de telescopios en Canarias.

- **ENTREVISTA**

¿Qué es la astrofísica de altas energías?

A parte de la luz visible hay otras muchas luces que nos llegan también del universo, como el infrarrojo o las microondas. De todas las categorías de luces, las más energéticas son los rayos gamma. Existen objetos en el universo que emiten rayos gamma. Se trata de la parte del universo más violento, el universo extremo. Son, por ejemplo, explosiones de supernovas, material que está cayendo dentro de un agujero negro, que emiten radiación de muy alta energía.

La astrofísica de altas energía además de estudiar este tipo de luces también estudia lo que se denomina rayos cósmicos que son partículas muy energéticas que entran en la atmósfera proveniente de todas direcciones.

¿Qué podemos conocer del Universo a través de estas energías?

La física trata de responder preguntas. Hasta hace poco conocíamos el cielo en luz visible. Desde hace solo 20 años se empezó a detectar que estos rayos gamma responden a los fenómenos más extremos que ocurren en el universo.

La cantidad de energía con la que vienen esas partículas es sobrecogedora. Cuando se aceleran partículas en aceleradores como el CERN las velocidades de esas partículas no es ni una millonésima parte de la energía de las partículas que vienen de forma natural desde el espacio.

Queremos saber de dónde vienen esas partículas, cómo se han producido, qué mecanismos son esos.

Una de las ventajas de estudiar esta nueva rama de la física es que todavía no conocemos los procesos que aceleran esas partículas a tan altísimas energías. Existen distintas teorías, pero todavía no se saben cuál de ellas es la correcta. Es un mundo nuevo, algo que está sucediendo y que hasta ahora no tenemos explicación.

¿Quién sabe si descubriremos una nueva fuente de energía? A principios del siglo XX no se conocía todavía la energía nuclear y cuando se hacían cálculos de toda la energía que emitía el sol -el tipo de combustión que se conocía era el carbón y el petróleo-, no se explicaba que se producía tanta energía. Luego se descubrió la fisión nuclear y se vio que esa era la fuente de energía real que hay en las estrellas.

La peculiaridad de esta rama es que es algo nuevo y novedoso y deparará sorpresas.

Cuando iban los primeros exploradores a cruzar el atlántico sin saber lo que se iban a encontrar y lo primero que hacían era hacer mapas. Gracias a todos los mapas que hubo ya se pudieron hacer teorías físicas como la teoría de pangea, de los continentes que estuvieron unidos y se separaron.

Ahora mismo lo que estamos haciendo con los rayos gamma es hacer mapas del cielo. Hasta ahora conocemos solo 100 fuentes, 100 objetos en el cielo que emiten rayos gamma. Pero para poder hacer física necesitamos poder descubrir muchos más para saber las similitudes y diferencias entre ellos y poder estudiar más a fondo.

Estamos en una etapa de descubrimientos. Lo que vemos ahora es como la punta del iceberg, a medida que vayamos conociendo iremos llegando a ver la totalidad del iceberg. No sabemos lo que está por debajo.

¿Qué es CTA?

CTA va a ser un conjunto de dos observatorios, uno en el hemisferio norte y otro en el sur para tener cobertura de todo el cielo. El observatorio del norte cubrirá una superficie de un kilómetro cuadrado y el del sur en torno a 10 Km. Para el norte, existen 5 sitios candidatos: EE.UU., México, Canarias, India y China.

Ahora estamos en Tenerife, en uno de los posibles sitios candidatos, en esa llanura. En este kilómetro cuadrado irían unos 30 telescopios de tres tamaños distintos. Los mayores son realmente grandes, del orden de 25 metros de diámetro.

Estos serán los mayores telescopios Cherenkov del mundo; los más grandes actualmente son los Magic de la Palma con 17 metros de diámetro.

Irían 4 grandes en el medio rodeado de otros de 12 metros y los más pequeños de 6 metros.

¿Cómo se evitará el impacto ambiental?

En el OT existe una ley que cuando construyes telescopios siempre tienes que cuidar la naturaleza. Si tienes que quitar retamas para poner tus telescopios, cuando acabe la vida útil del telescopio, estás obligado a desmontar absolutamente todo y hacer replantación de las mismas plantas que había anteriormente. En ciencia se cuida el medioambiente.

¿Qué lo convierte en un proyecto único y novedoso?

Es un proyecto internacional, que se ha unido toda la comunidad de rayos gamma: América, Sudamérica, África, Europa, Asia... están todos unidos y todos apuestan por este nuevo observatorio que va a ser la continuación a los actuales telescopios Magic, HESS y VERITAS.

Necesitamos, para seguir viendo fuentes más débiles y lejanas, una nueva generación de telescopios.

¿Qué se espera conseguir con CTA?

Actualmente con los telescopio presentes conocemos en torno a 100 fuentes de rayos gamma, y con CTA se espera que lleguemos a descubrir unas 1000 nuevas fuentes. Con lo cual ya habríamos visto con mucha más precisión qué es lo que hay y cómo emiten y a partir de ahí hacer más física.

¿Por qué construir CTA?

CTA es casi una necesidad. Los telescopios presentes son en realidad experimentos que han sido construidos por físicos de partículas. Esta disciplina no la empezaron astrónomos, sino físicos de partículas que trabajaban en el CERN. Estos físicos querían captar estas partículas.

Son telescopios muy buenos que han dado lugar a muchas publicaciones en revistas científicas internacionales y son telescopios que realmente han sido construidos por físicos, casi sin ingenieros.

Ahora se pretende hacer algo más profesional, con ingenieros, uniendo la comunidad de física de partículas con la comunidad de astronomía, en este campo que es la astrofísica de partículas. Este telescopio va a beneficiar tanto a uno como a otros. Es un proyecto mundial, no tiene competidor.

¿Por qué Canarias?

La ventaja más notable de canarias es el cielo que tiene. Son unos cielos espectaculares para la observación. Se dieron cuenta desde 1800 varios científicos. Allí en frente tenemos Guajara que es la montaña desde la que estuvo observando por ejemplo el francés Jean Mascart. Estos científicos se fueron dando cuenta que estos cielos eran excepcionales.

A principios de los 70 se empezó a montar los telescopios en el observatorio del Teide y se ha

seguido corroborando, como estos pioneros dijeron, que estos cielos son realmente únicos en el mundo. Hay pocos lugares con unos cielos así.

Otra ventaja de Canarias para CTA es la experiencia acumulada. Aquí están los Magic que son los telescopios de rayos gamma más grande del mundo. La experiencia acumulada a lo largo de todo este tiempo ha sido muchísima. En el conjunto de España hay muchísima gente trabajando en física de altas energías, en rayos gamma.

Aquí, en la isla de Tenerife, aparte de todo los científicos que hay por España, tenemos en Canarias el IAC y el OT que son organismos mundialmente reconocidos y con una gran experiencia.

Aparte de eso, una gran ventaja de Tenerife es la accesibilidad. Cuando vas a otros observatorios te tienes que pegar mucho tiempo en llegar. Desde el aeropuerto a lo mejor son 7 horas de camino hasta el observatorio. Aquí en realidad llegamos al aeropuerto y en una hora estamos en el observatorio y en una hora estamos en casa.

Aparte de que Tenerife es un lugar magnífico para vivir.

• **EXT. OT. DÍA. PRESENTACIÓN**

Alfred frente telescopios solares del OT.

ALF

Desde sus inicios, a comienzos de la década de los 70, el Observatorio del Teide ha estado preferentemente relacionado con el estudio del Sol.

En él se concentran los mejores telescopios solares europeos, con los que se han realizado algunas de las investigaciones y descubrimientos más importantes sobre nuestro astro.

Sin embargo, a pesar de su cercanía, el Sol continúa planteando grandes

interrogantes a los astrofísicos de todo el mundo.

El Sol es un gran laboratorio de física para entender el Universo ya que, conocer sus secretos, nos abre la puerta al conocimiento sobre el resto de las estrellas.

Con el objetivo de conocer con mayor profundidad y detalle el funcionamiento del Sol, la comunidad europea de física solar ha diseñado la mayor infraestructura de investigación sobre nuestra estrella: el Telescopio Solar Europeo o EST.

El estudio del diseño conceptual del telescopio se ha realizado en el Instituto de Astrofísica de Canarias que aspira a construir este telescopio en uno de sus observatorios.

Hemos quedado con el coordinador principal de este proyecto para que nos hable de él.

- **ENTREVISTA**

¿Qué es EST?

Es un proyecto europeo para la construcción de un telescopio solar de 4 metros que estará ubicado en uno de los observatorios internacionales del IAC en las Islas Canarias: el Observatorio del Teide, en Tenerife, o el Observatorio del Roque de Los Muchachos, en la isla de La Palma, ambos enclaves privilegiados en el mundo para la observación solar.

¿Qué lo convierte en un proyecto único?

EST se situará a la cabeza de la Física Solar porque, con su espejo primario de cuatro metros de diámetro y la tecnología más avanzada, dará capacidades sin precedentes a los astrónomos europeos.

La ventaja de un espejo tan grande es que nos permitirá ver detalles muy pequeños, como nunca los hemos visto en la superficie del Sol, y podremos recoger más luz para hacer polarimetría, es decir, separar sus colores y extraer toda la información.

EST debe ser concebido como un proyecto europeo.

29 instituciones científicas de 15 países de la Unión Europea, más de una decena de ellas del sector privado, han unido sus fuerzas para impulsar este proyecto a través de la Asociación Europea para los Telescopios Solares.

Hasta ahora la Física Solar era un campo donde numerosos países tenían sus propias instalaciones. Pero para construir un telescopio tan grande debes aunar fuerzas. Un solo país no puede asumir la responsabilidad de financiar y construir algo así.

¿Qué logrará este telescopio que no hayan conseguido otros con anterioridad?

El EST observará los detalles más pequeños del Sol en tres dimensiones. Sus instrumentos permitirán analizar distintas capas de la atmósfera solar simultáneamente, con un detalle sin precedentes.

De este modo, EST estudiará los fenómenos que ocurren en la superficie del sol y cómo afectan a las capas inmediatamente superiores, donde se producen fenómenos como las fulguraciones.

Además, EST nos los dará a conocer y nos ayudará a entender cómo son producidos los campos magnéticos del Sol.

Los campos magnéticos realmente son el ingrediente crucial en el Sol. Estos son capaces de almacenar energía que es trasladada por movimientos hacia la atmósfera solar.

Allí esta energía almacenada es bruscamente liberada en forma de grandes explosiones,

llamadas fulguraciones, o como eyecciones de plasma, llamadas eyecciones coronales de masa.

Con EST veremos cómo los campos magnéticos emergen a la superficie, cómo interactúan con el plasma, cómo esta energía magnética es transformada en energía térmica, y cómo, finalmente, toda esta energía es disipada en forma de fulguraciones, o eyecciones de masa al medio interplanetario.

Hasta ahora, las capacidades observacionales actuales no han permitido a los científicos observar estos fenómenos magnéticos en detalle.

¿Qué retos tecnológicos plantea?

El EST ha de hacer frente al desafío técnico de procesar una inmensa cantidad de datos a velocidades altísimas.

Otro reto tecnológico importantes que afronta el proyecto es la implementación de un sistema de óptica multiconjugada para corregir en tiempo real los efectos perturbadores de la atmósfera.

También, deberá tener un sistema de control térmico con el que evitar el calentamiento del entorno del telescopio por la exposición continua a la luz solar durante las observaciones.

¿Por qué construir un telescopio como EST?

Europa tiene una gran experiencia construyendo telescopios solares.

Además, tendrá un importante impacto científico, tecnológico, cultural y social.

Tales desafíos técnicos suponen una gran oportunidad de innovación tecnológica para las empresas del sector. Un proyecto como EST abrirá nuevas perspectivas para las industrias europeas de alta tecnología.

El Telescopio Solar Europeo tiene un diseño conceptual muy innovador que requerirá un desarrollo tecnológico especial en las áreas de óptica, instrumentación o mecánica.

EST ayudará a mantener a la Unión Europea a la vanguardia de la ciencia de la física solar y del desarrollo tecnológico.

¿En qué momento se encuentra el proyecto? ¿Cuándo está previsto que entre en funcionamiento?

Ahora, el diseño conceptual del telescopio ha sido finalizado con éxito por las instituciones participantes.

Es el momento de implicar a todos los países para conseguir ayuda financiera.

El Telescopio Solar Europeo podría ver la luz por primera vez a principios de la próxima década.

¿Qué puede significar para la astrofísica que EST no llegue a construirse?

Si EST no se construyera sufriríamos un parón en nuestra investigación.

No tendremos la capacidad de atraer hacia este campo de investigación la gente joven y estudiantes, quienes son fundamentales para el futuro.

Por lo que todos creemos que es realmente necesario seguir adelante con este proyecto.

Conseguirlo constituiría un paso decisivo para la Física Solar, una llave para comprender los mecanismos de la estrella que permite la vida en la Tierra.

• **CIERRE**

ALF (OFF)

Los proyectos de Gran Ciencia son, cada vez, más complejos e implican grandes inversiones, personal especializado y una gran participación de instituciones, países y empresas del sector tecnológico.

Son proyectos donde el conocimiento es llevado al límite.

Cada nuevo telescopio es un desafío que va más allá la tecnología conocida.

Y cada desarrollo tecnológico nos abre una nueva ventana que nos muestra el Cosmos de una manera totalmente nueva.

ALF

Esta nueva generación de telescopios nos enseñará cosas nunca vistas y resolverá misterios que aún no conocemos.

Pero aunque cada vez nuestros telescopios sean más grandes y nuestros proyectos más ambiciosos, la ciencia es siempre una lección de humildad.

Cuanto más conocemos del Universo, más conscientes nos hacemos que somos unos recién llegados.

El Universo es más grande y antiguo que nosotros.

Sin embargo, es asombroso que a pesar de nuestra breve y efímera existencia nuestra especie haya sido capaz de llegar tan lejos.

La ciencia es nuestra herramienta para conquistar lo imposible.

Es uno de nuestros mayores logros.

Así que cada proyecto de Gran Ciencia es una oportunidad que no podemos desaprovechar.

No invertir en ciencia, es no seguir nuestra propia naturaleza.

ALF (OFF)

Los telescopios no son sólo para los astrofísicos.

La inversión derivada a estos proyectos siempre retorna a la sociedad generando la participación de empresas, transferencia de tecnología, experiencia y conocimientos básicos.

Gracias a esta inversión, el crecimiento de la actividad científica en astronomía ha sido espectacular en nuestro país.

Y hemos adquirido una enorme capacidad y experiencia tecnológica que nos ha puesto a la vanguardia de la astrofísica mundial.

Pero hay que seguir invirtiendo en proyectos de Gran Ciencia si no queremos quedarnos atrás en la carrera del progreso.

La astronomía del futuro promete ser una verdadera aventura intelectual y tecnológica que no podemos permitirnos el lujo de dejar pasar.

¿Hasta dónde llegará nuestra exploración del Universo? ¿Qué próximo estaremos de resolver el más grande de los misterios?

¿Es el Universo indiferente a nuestro progreso o, tal y como sugería el gran divulgador Carl Sagan, somos el medio para que el Cosmos se conozca a sí mismo?

CREDITOS



UN PRODUCTO DEL
MUSEO DE LA CIENCIA Y EL COSMOS

**ORGANISMO AUTÓNOMO DE MUSEOS Y CENTROS
DEL CABILDO DE TENERIFE**

CON EL PATROCINIO DE
**FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA (FECYT)
CONVOCATORIA 2011**

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

**MUSEO
DE LA
CIENCIA Y
EL COSMOS**

**ORGANISMO
AUTÓNOMO DE
MUSEOS Y CENTROS**



**GOBIERNO
DE ESPAÑA**

**MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD**

FECYT



**FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA**