

IAA

73

JULIO DE 2024
revista.iaa.es

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

Sintonizando agujeros negros



INSTITUTO DE
ASTROFÍSICA DE
ANDALUCÍA



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA



CSIC

Comité de redacción: Emilio J. García, Manuel González, Celia Navas, Sebastiano de Franciscis, Sara Cazzoli, Gabriella Gilli, Rainer Schödel y Roberto Varas. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle y Celia Navas. **Contacto:** ucc@iaa.es

Este número ha contado con el apoyo económico de la Agencia Estatal de Investigación (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) a través de la acreditación de Centro de Excelencia Severo Ochoa para el Instituto de Astrofísica de Andalucía (SEV-2017-0709).

La página web de esta revista ha sido financiada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA).
Copyright: © 2018 CSIC. Esta es una revista de acceso abierto distribuida bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Instituto de Astrofísica de Andalucía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Excelencia Severo Ochoa

NIPO: 155-24-017-5
e-NIPO: 155-24-018-0
Depósito legal: GR-605/2000
ISSN: 1576-5598

SUMARIO

Radio galáctica FM: sintonizando agujeros negros ...	3
La calidad del cielo nocturno del Geoparque de Granada ...	8
La ciencia y el arte, dos miradas sobre la realidad ...	11
El Moby Dick de ... Thalia Traianou ...	14
Deconstrucción ... El CTAO entra en una nueva fase de desarrollo ...	16
Actualidad ...	18
Pilares e Incertidumbres ... Los agujeros negros estelares ...	24
Jóvenes miradas ... El proyecto PIIISA del Instituto de Astrofísica de Andalucía ...	26
Historias ... Beatrice Hill Tinsley, la lucha entre la familia y la profesión ...	30
Destacados y recomendados ...	31

Concepción artística del Extremely Large Telescope ETL.
Crédito: ESO/L. Calçada



Acuerdan la construcción del instrumento ANDES para el telescopio gigante europeo ELT

El Observatorio Europeo Austral (ESO) firmó el 5 de junio un acuerdo con un consorcio internacional de instituciones, entre las que se encuentran el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y el Centro de Astrobiología de Madrid (CSIC-INTA), para el diseño y construcción de ANDES (Armazones high Dispersion Echelle Spectrograph), un instrumento que se instalará en el Telescopio Extremadamente Grande (ELT) de ESO.

El acuerdo fue firmado por el director general de ESO, Xavier Barcons, y por Roberto Ragazzoni, presidente del Instituto Nacional de Astrofísica de Italia (INAF), que lidera el Consorcio ANDES, constituido por institutos de investigación de 13 países. La firma tuvo lugar en la sede central de ESO en Garching, Alemania.

ANDES es un potente espectrógrafo, un instrumento que divide la luz en las longitudes de onda que la componen para poder determinar propiedades importantes de los objetos astronómicos, como su composición química.

El instrumento tendrá una precisión sin precedentes en los rangos visible y del infrarrojo cercano, y cuando funcione en combinación con el potente sistema de espejos del ELT, permitirá realizar investigaciones en múltiples áreas de la astronomía.

ANDES llevará a cabo sondeos detallados de las atmósferas de exoplanetas similares a la Tierra, lo que permitirá a la comunidad científica realizar búsquedas exhaustivas de indicios de vida.

Será capaz de analizar elementos químicos en objetos lejanos del universo temprano, por lo que es

probable que sea el primer instrumento capaz de detectar a las primeras estrellas.

Además, los datos de ANDES se podrán utilizar para comprobar si las constantes fundamentales de la física varían con el tiempo y el espacio.

Sus exhaustivas observaciones también se utilizarán para medir directamente la aceleración de la expansión del Universo, uno de los misterios cósmicos más importantes.

El ELT de ESO se está construyendo actualmente en el desierto de Atacama, en el norte de Chile y cuando comience a funcionar, a finales de esta década, será el mayor ojo del mundo en el cielo, marcando una nueva era en la astronomía terrestre.

<https://www.iaa.csic.es/noticias>

Radio galáctica FM: sintonizando agujeros negros

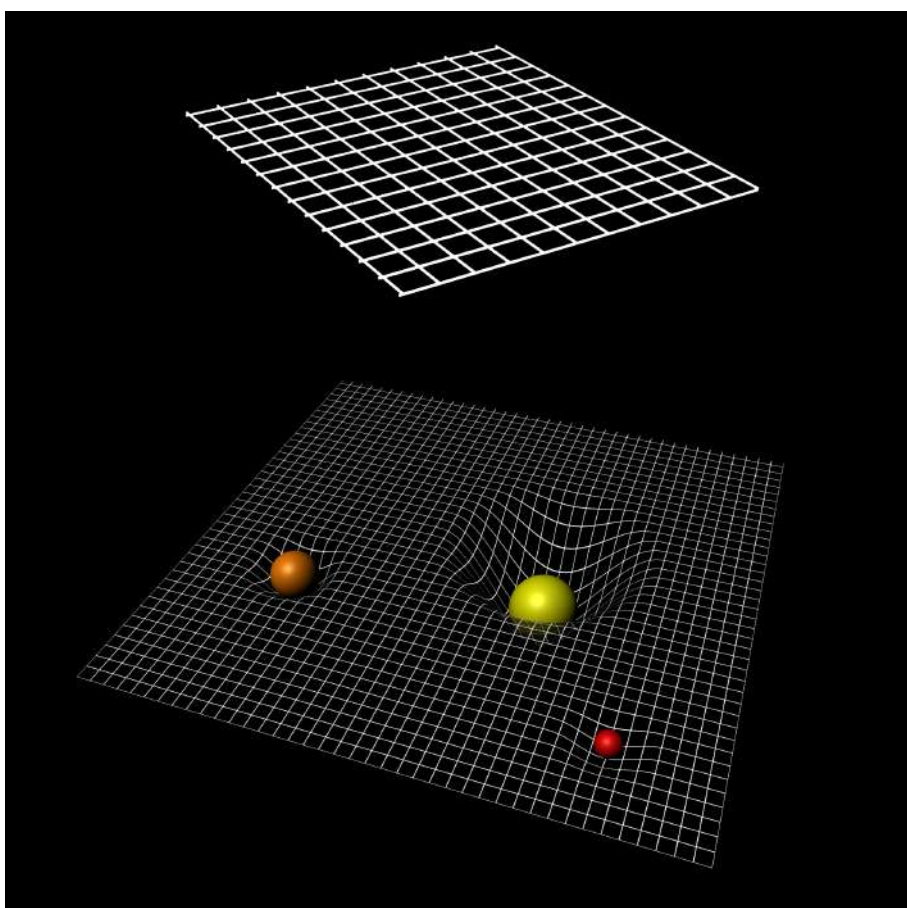
HEMOS CONVERTIDO NUESTRA GALAXIA EN UNA ENORME ANTENA PARA DETECTAR LA RADIACIÓN GRAVITACIONAL DE FONDO EMITIDA POR LA FUSIÓN DE MILES DE PARES DE AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS SITUADOS EN EL CENTRO DE MUCHAS GALAXIAS. SI QUIERES SABER CÓMO EXACTAMENTE, SIGUE LEYENDO.

Por Gerardo García Moreno, IAA-CSIC

Lo primero que debemos entender es el concepto de onda gravitacional. Las ondas gravitacionales son un fenómeno enmarcado dentro de la teoría de la relatividad general de Einstein, la teoría más exitosa que tenemos para explicar los fenómenos gravitacionales. Su rango de aplicabilidad abarca desde la descripción de fenómenos gravitacionales, como las órbitas de planetas y estrellas, hasta la expansión acelerada del propio universo.

El principio fundamental detrás de la relatividad general es que los objetos masivos curvan el espacio. Para los propósitos de este artículo, podemos pensar en el espacio como una malla que se puede deformar. Cuanta más masa tiene el objeto, mayor es la curvatura que genera en el espacio a su alrededor.

El principio fundamental detrás de la relatividad general es que los objetos masivos curvan el espacio



Curvatura del espacio generada por objetos con distintas masas.

Por otro lado, la naturaleza es perezosa, y las partículas siempre intentan seguir el camino más corto entre dos puntos. En un espacio curvo, el camino más corto entre dos puntos no es necesariamente una línea recta, sino algo que llamamos geodésica. El ejemplo arquetípico de geodésicas serían las órbitas de los planetas alrededor del Sol. Debido a la curvatura del espacio que genera nuestra estrella, estas órbitas son elípticas.

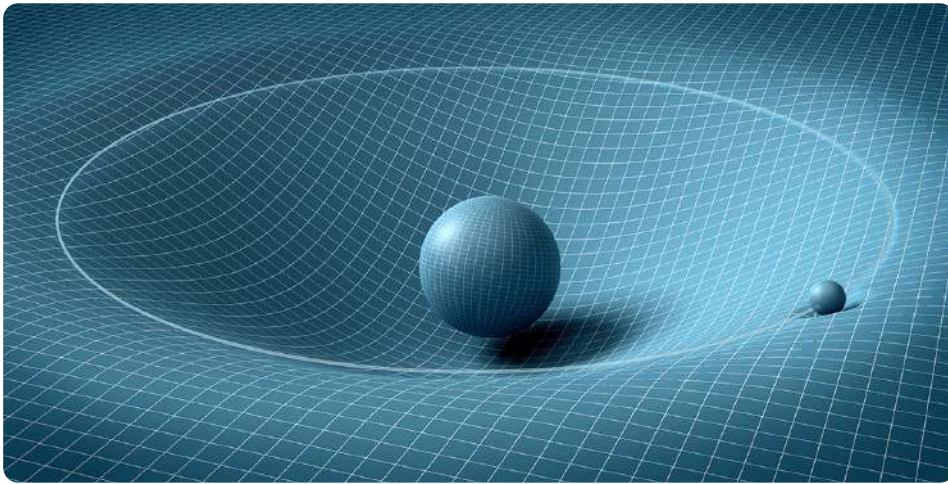
Y sí, la Tierra es (casi) esférica y describe órbitas elípticas alrededor del Sol, no al contrario. Imagino que todo el mundo sabe esto, pero, por si acaso...

LAS ONDAS GRAVITACIONALES

Centrémonos en nuestro objetivo: ¿qué son las ondas gravitacionales? Cuando los objetos están en reposo, generan una curvatura en el espacio que no varía con el tiempo. Sin embargo, si el objeto está en movimiento, provoca que la curvatura del espacio cambie con el tiempo y, de hecho, pueden producirse deformaciones que se propagan como ondas. Si visualizamos el espacio como una superficie que se deforma debido a la presencia de materia, las ondas gravitacionales serían comparables a “pequeñas olas” desplazándose

sobre esta superficie.

El efecto de las ondas gravitacionales producidas por objetos ordinarios como estrellas o planetas es extremadamente pequeño. Sin embargo, las ondas gravitacionales emitidas por la colisión de objetos tan masivos como dos agujeros negros pueden ser extraordinariamente energéticas. Por ejemplo, la energía emitida por unidad de tiempo en la fusión de dos agujeros negros cuyas masas sean aproximadamente 30 veces la masa del Sol es diez mil veces mayor que la emitida por todas las estrellas de todas las galaxias que constituyen el universo observable. ¡Sí, es una barbaridad!



Representación del espacio curvado alrededor de un objeto masivo y cómo influye en el movimiento de otro objeto.

Las ondas están caracterizadas por un número que llamamos longitud de onda, que es la distancia entre dos picos de máxima amplitud de la onda. Si volvemos a la imagen de las ondas gravitacionales como pequeñas olas propagándose sobre el espacio, la longitud de onda sería la distancia entre dos crestas de la ola. Dependiendo de la masa de los agujeros negros que se fusionan, las ondas gravitacionales generadas tendrán distintas longitudes de onda.

Para detectar una onda es necesario, por lo general, utilizar un detector o antena de un tamaño comparable a la longitud de onda de la onda en cuestión. Desde la Tierra, podemos detectar ondas gravitacionales con longitudes de onda comparables al radio de la Tierra, que es de aproximadamente 6.000 kilómetros. Esta es la longitud de onda típica de las ondas gravitacionales emitidas por agujeros negros "pequeños", de unas pocas masas solares. En cambio, los agujeros negros supermasivos situados en el centro de las galaxias producen ondas gravitacionales con longitudes de onda comparables a la distancia entre las estrellas dentro de nuestra galaxia, es decir, del orden de algunos pársecs (un pársec es una unidad de medida que equivale a aproximadamente 31.000.000.000.000 kilómetros).

Como he mencionado antes, para detectar una onda de una cierta longitud de onda, se necesita un detector (o antena) cuyo tamaño sea comparable a esa longitud de onda. Por tanto, para detectar ondas gravitacionales emitidas por agujeros negros supermasivos, necesitaríamos una antena del tamaño de la propia galaxia, algo fuera de las capacidades tecnológicas actuales. ¿Cómo hemos hecho entonces para construir este detector?

UN DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONALES

Para construirlo, nos hemos ayudado de unas estrellas llamadas púlsares. Un púlsar es una estrella de neutrones extremadamente compacta que gira muy rápido y tiene un campo magnético muy intenso que apunta en una dirección diferente a su eje de rotación.

Al igual que un barco que detecta la luz de un faro cuando esta barre en su dirección, desde nuestro planeta detectamos los púlsares como una señal luminosa periódica que nos llega siempre que el eje de su campo magnético apunta hacia la Tierra. De alguna manera, los púlsares se comportan como faros en el universo.

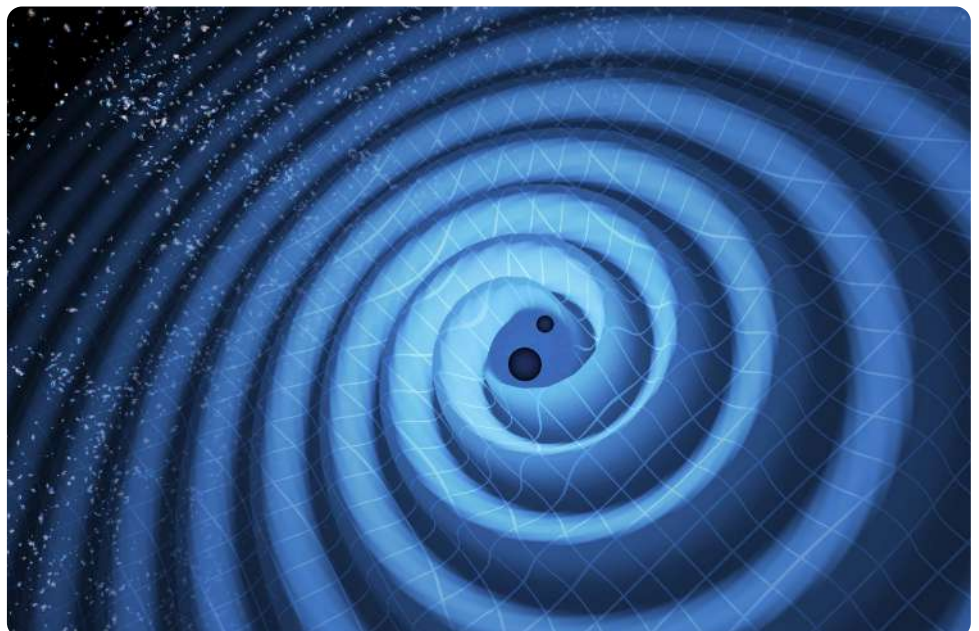
El tiempo entre dos destellos luminosos provenientes de estos objetos es extremadamente regular, variando en algunos casos en una proporción inferior a una parte en un billón. Cualquier pequeña perturbación alrededor de un púlsar puede generar una desviación significativa en el tiempo de llegada de su señal, incluido - y aquí está lo interesante - el paso de una onda gravitacional. El problema es que, en caso de detectar un retraso o un adelanto en la emisión de un púlsar, no podemos asegurar que su origen sea exclusivamente el paso de una onda gravitacional, ya que podría haber sido provocado por cualquier otro fenómeno. En ese sentido, estamos "buscando señales entre el ruido".

Para detectar una onda gravitacional es necesario, por lo general, utilizar un detector o antena de un tamaño comparable a la longitud de onda de la onda en cuestión

Llegados a este punto, hace falta saber un último detalle sobre las ondas gravitacionales: decimos que las ondas gravitacionales son cuadrupolares. Esto significa que estiran el espacio en una dirección y lo contraen en la dirección perpendicular. En otras palabras, púlsares cercanos o púlsares situados a 180° con respecto a la Tierra muestran una correlación (cuando uno se adelanta o retrasa, el otro también se adelanta o retrasa de manera acorde), mientras que los que están situados a 90° mostrarán una anticorrelación (cuando uno avanza, el otro se retrasa).

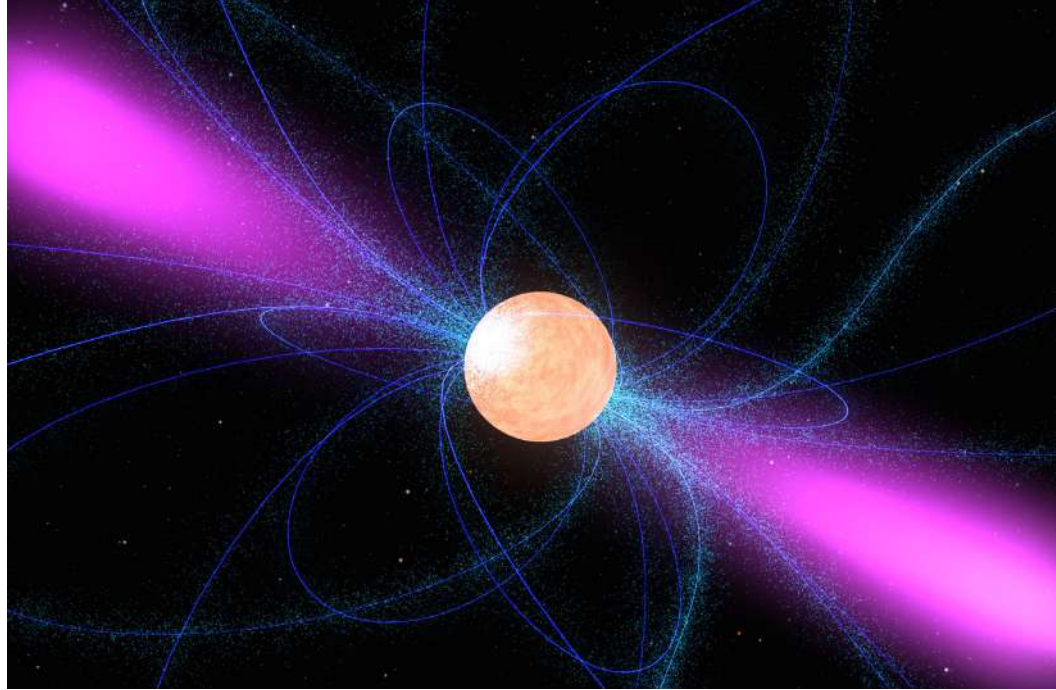
Así pues, para detectar la señal que nos interesa, podemos observar las correlaciones entre los retrasos y adelantos en el tiempo de llegada de muchos púlsares dentro de la galaxia.

Lo interesante es que dentro del contexto de la relatividad general, podemos calcular el retraso o adelanto entre dos destellos luminosos consecutivos, dado que solo depende de su posición en el cielo y es independiente de la "intensidad" de la onda gravitacional que está pasando (por intensidad nos referimos a cuánto "estira" el espacio el paso de esta onda). Por ejemplo, si tenemos dos púlsares formando 90° en el cielo y uno sufre un retra-



Representación de la onda gravitacional generada por la fusión de dos agujeros negros. Crédito: LIGO/T. Pyle

Impresión artística de un púlsar, rodeado de fuertes líneas de campo magnético (azul) y emitiendo un haz de radiación (púrpura). Crédito: NASA



so temporal, el otro experimentará un adelanto de aproximadamente un 20% del tiempo de retraso del otro. Este cálculo se puede realizar utilizando los principios de la relatividad general.

Sin embargo, para saber exactamente la cantidad de tiempo absoluta que un púlsar se va retrasar por el paso de una onda gravitacional - por ejemplo, conocer si un púlsar se retrasa 1s y el adelanto del otro es por tanto de 0.2s - requiere que sepamos la intensidad de las ondas gravitacionales que pasan por la galaxia. Determinar la intensidad de las ondas desde un punto de vista teórico no es sencillo y requiere trazar su origen.

Los púlsares se comportan como faros en el universo

Un símil puede servir para ilustrar la explicación anterior en términos más sencillos. Imaginemos que nos sentamos en una carretera a las afueras de una fábrica de coches que produce coches de dos colores: rojo y azul. La política de la empresa es que por cada coche rojo que se fabrique, se tienen que fabricar diez coches azules. Sin embargo, es una compañía un poco caótica y no produce la misma cantidad de coches todos los días debido a variaciones en el suministro de materiales por parte de sus proveedores. Lo único que sabemos con certeza es que por cada coche rojo que fabrican, fabrican diez azules. Desde fuera de la fábrica, sabemos que por cada diez coches azules que pasen, pasará uno rojo. Lo que no podemos predecir es si veremos veinte coches azules y dos coches rojos, o treinta coches azules y tres coches rojos. Esto ilustra exactamente lo que

ocurre con el retraso y adelanto en la llegada de los destellos luminosos de los púlsares: solo podemos determinar el retraso o adelanto relativo (un coche rojo por cada diez azules), pero conocer el número exacto requiere conocer la fuente de las ondas gravitacionales (cuántos "coches" van a venir).

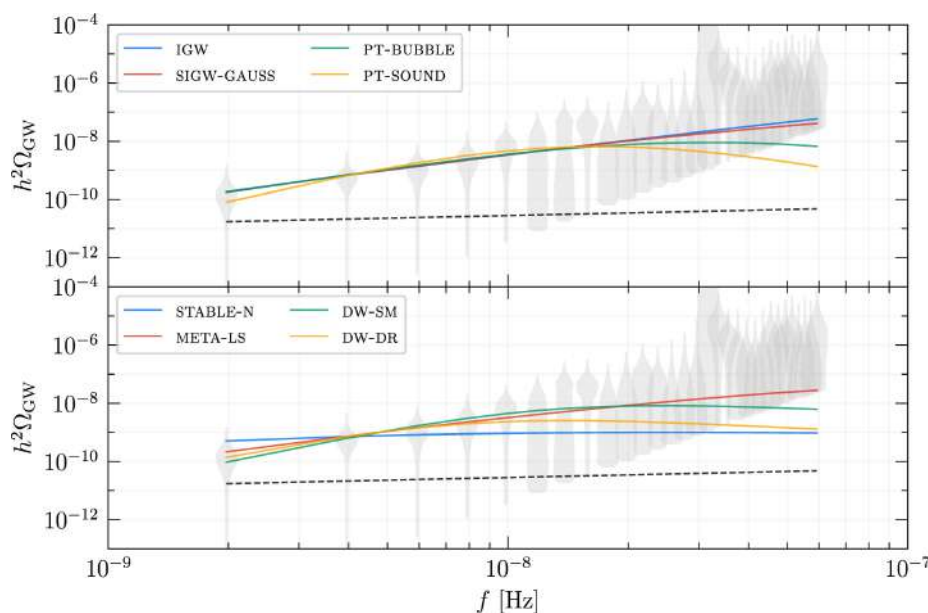
El retraso o adelanto relativo predicho por la relatividad general coincide perfectamente con las observaciones. La parte más interesante viene de observar las desviaciones absolutas en el tiempo de llegada de la señal de los púlsares y compararlas con las estimaciones teóricas. Para hacer estas estimaciones, necesitamos calcular la cantidad de ondas gravitacionales generadas en el universo y que llegan a nuestra galaxia. Esto requiere estimar el número de galaxias con agujeros negros supermasivos en su centro, la frecuencia de encuentros entre dos o más de estos agujeros negros, y la intensidad de las ondas gravitacionales generadas en cada uno de esos encuentros. Es un trabajo titánico de arqueología cósmica.

Para realizar esta estimación, hemos utilizado la información que tenemos sobre la historia

de nuestro universo, que combina observaciones y modelos teóricos y computacionales. El resultado total del adelanto/atraso de las señales de los púlsares obtenido es ligeramente inferior a la señal detectada recientemente por el consorcio International Pulsar Timing Array (IPTA), un conjunto de experimentos que en junio de de 2023 publicaron evidencias muy claras de la existencia de un fondo cósmico de ondas gravitatorias producidas por colisiones de agujeros negros (ver figura inferior).

Las ondas gravitacionales podrían llegar a utilizarse para descubrir nuevos objetos astrofísicos invisibles hasta ahora

Podría ser que nos estemos dejando por el camino algunos agujeros negros, algunas de las fusiones de agujeros negros o que no entendamos bien algunos puntos de la historia del universo. O, lo que sería más interesante en mi opinión, ¡que existen algunas fuentes de ondas gravitacionales aún por descubrir! Esto son unas noticias estupendas: las ondas gravitacionales abren una nueva ventana al universo y la podríamos llegar a utilizar incluso para descubrir nuevos objetos astrofísicos invisibles hasta ahora.



Representación de la señal de las ondas gravitacionales detectadas experimentalmente. La línea discontinua representa la predicción teórica basada en nuestras estimaciones teóricas y está ligeramente por debajo de las observaciones. Crédito: The NANOGrav Collaboration

REPORTAJE

La calidad del cielo nocturno del Geoparque de Granada



ESTE ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL CIELO NOCTURNO DEL GEOPARQUE DE GRANADA INCORPORA IMPORTANTES NOVEDADES METODOLÓGICAS, COMO LA COMBINACIÓN DE DATOS DE TIERRA CON IMÁGENES DE SATÉLITE Y, SOBRE TODO, TIENE EN CUENTA INFORMACIÓN DE COLOR TANTO PARA LAS MEDIDAS DE BRILLO DEL CIELO NOCTURNO COMO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

ASÍ, HA IDO MÁS ALLÁ DE SER EXCLUSIVAMENTE UN ASESORAMIENTO TÉCNICO, AL IMPLICAR UNA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL MARCO DE LOS OBJETIVOS CON LOS QUE FUE CREADA LA OFICINA DE CALIDAD DEL CIELO DEL IAA

**Por Máximo Bustamante Calabria
(Oficina de Calidad del Cielo del IAA-CSIC)**

Júpiter, Saturno y la Vía Láctea sobre la Sagra. La Sierra de la Sagra, junto a Santiago-Pontones (en Jaén) y Nerpio (en Albacete) forman la isla de oscuridad del sureste ibérico. Esta se ve cada vez más reducida por el incremento de la contaminación lumínica, tanto de las grandes aglomeraciones urbanas del Levante, como de los pueblos y aldeas más cercanas. Crédito: Máximo Bustamante Calabria

En octubre de 2020 la Diputación Provincial de Granada, entidad en la que recae la presidencia y la secretaría técnica del Comité de Coordinación del Geoparque de Granada, contactó con la Oficina de Calidad del Cielo del IAA para pedir información sobre las posibilidades de certificación del cielo nocturno de esta extensa área del norte de la provincia. Apenas habían pasado tres meses de su reconocimiento como Geoparque Mundial de la UNESCO (en julio de 2020) y, conocedores de experiencias similares en otros lugares, plantearon la necesidad de diagnosticar el estado del cielo nocturno y de conseguir algún tipo de sello de calidad para acreditar la idoneidad del Geoparque para la actividad astronómica y el astroturismo.

Existen principalmente dos tipos de certificaciones de calidad del cielo nocturno: las emitidas por la International Dark-Sky Association (IDA) y las de la Fundación Starlight. Cada una de ellas presenta sus propias características y requisitos, pero para las dos es necesario un estudio de calidad del cielo nocturno. Como en toda certificación, la entidad lleva a cabo una auditoría para verificar los resultados que se presentan, en la que se evalúa la candidatura para otorgar o no la certificación solicitada. Además, con el fin de que se cumplan determinados compromisos (en este caso proteger el cielo nocturno), los responsables de las certificaciones han de hacer seguimientos periódicos para garantizar que no se produzca un deterioro de las condiciones iniciales.

LA OFICINA DE CALIDAD DEL CIELO DEL IAA

El papel de nuestra oficina iba a ser por tanto hacer un estudio de calidad del cielo nocturno que sirviera a Diputación como documento científico y técnico de referencia para la solicitud de una o varias certificaciones. Sin embargo, desde el principio, nos propusimos ir más allá de lo exigido por estas entidades, y planteamos un trabajo que incorporara metodologías novedosas y con una utilidad que trascendiera el mero trámite de una acreditación de calidad, sirviendo de guía a los responsables municipales para que sus decisiones sobre el alumbrado público ayuden a invertir el preocupante avance de la contaminación lumínica.

Iba a ser una tarea de envergadura, pues, con nuestros limitados recursos humanos y materiales, era necesario cubrir 4.722 km² repartidos en 47 municipios y a lo largo de un intervalo temporal de, al menos, un año. Pero vimos una excelente oportunidad para consolidar la relación de la oficina de calidad del cielo con otras entidades públicas locales y provinciales, haciendo un trabajo científico con fuerte implicación social.

EL ESTUDIO

¿Qué condiciona la calidad del cielo nocturno para la observación astronómica? Viene determinada básicamente por tres variables: el brillo de fondo del cielo (en su mayor parte consecuencia directa de la contaminación lumínica), la nitidez (el seeing, que depende de la turbulencia atmosférica) y la transparencia (la extinción atmosférica, determinada por la humedad y contenido de aerosoles de la atmósfera).

La primera es más sencilla de medir, siendo factible cubrir una superficie extensa y llegar a una zonificación en función de la oscuridad de sus cielos; sin embargo las otras dos están muy influenciadas por las condiciones locales y su estimación es más compleja, y por tanto se ha de limitar a localizaciones representativas donde sepamos a priori que hay cierto potencial para actividades o instalaciones astronómicas. Este estudio hubiera quedado incompleto sin tener en cuenta además las fuentes de luz artificial del territorio, el origen de la contaminación lumínica, que es producida por la luz que escapa y se dispersa por la atmósfera desde las luminarias del alumbrado público y privado.

Era necesario cubrir 4.722 km² repartidos en 47 municipios y a lo largo de un intervalo temporal de, al menos, un año

Empezando por el brillo de fondo del cielo, para su caracterización son muy útiles los datos satelitales (y los modelos espaciales basados en ellos), pues permiten cubrir de modo continuo toda la superficie de estudio. Generalmente las imágenes del instrumento VIIRS del satélite SUOMI-NPP han servido de base para elaborar estos mapas de brillo del cielo, pero el problema de estos datos radica en que proceden de un instrumento que es prácticamente ciego a la componente azul del espectro, y, por tanto, infravalora la luz emitida por la mayor parte del alumbrado LED. Así, para llegar a unos resultados fiables es neces-



Unidad móvil para la toma de datos de brillo del cielo. En el techo del vehículo van acoplados los tres dispositivos SQM. Límite oriental del municipio de la Puebla de Don Fadrique. Crédito: Máximo Bustamante Calabria

sario obtener datos en tierra que permitan calibrar y escalar los datos remotos, incorporando la información de color. Estas medidas han de estar planificadas según un muestreo que tenga en cuenta la variabilidad espacial y estacional, y que, a la vez, llegue a un compromiso con las limitaciones de recursos y tiempo. Para este trabajo obtuvimos, durante los años 2021 y 2022, un total de 107.861 registros de brillo del cielo.

El instrumental usado para las medidas de brillo de cielo nocturno consistió en una unidad móvil con tres dispositivos SQM (Sky Quality Meter) y un receptor GPS situados en el techo de un vehículo y conectados a un ordenador portátil. Para conseguir información de color incorporamos filtros B y V del sistema fotométrico Johnson (que corresponden aproximadamente a la zona azul y verde de la luz) en dos de los dispositivos. De este modo es posible medir la variabilidad espacial del brillo del cielo nocturno originada por las emisiones lumínicas artificiales, especialmente en la banda azul (donde tienen un pico de emisión las lámparas LED). El resultado final es un mapa de brillo del cielo en el cénit en luz azul y verde, lo que permite también obtener un mapa de índice de color operando con los dos filtros, B y V.

Con los mapas de brillo del cielo es posible zonificar según los límites establecidos para cada tipo de certificación. Por ejemplo, resultó que sólo un 7% de la superficie del Geoparque presenta un cielo que puede considerarse lo bastante oscuro en el cénit como para ser declarado santuario por la IDA (que aproximadamente corresponde a la Sierra de la Sagra); un 11% cumpliría para ser declarado núcleo de reserva Starlight (un núcleo en el noreste y otro en la zona de Gorafe) y un 42%

como núcleo de destino turístico Starlight (las certificaciones Starlight distinguen entre una zona núcleo y una zona de amortiguamiento).

Es importante tener en cuenta que estas zonificaciones sólo recogen la variabilidad espacial, representando la situación actual originada por la contaminación lumínica en lo que se refiere al brillo del cielo en el cénit. No aportan información temporal de la que inferir tendencias y prever escenarios futuros.

EMISIONES DE LUZ ARTIFICIAL DENTRO DEL GEOPARQUE

Por este motivo, y aunque no fuera necesario para la solicitud de las certificaciones, quisimos hacer un estudio profundo de las emisiones de luz artificial dentro del Geoparque y su evolución temporal, analizando los datos del inventario de alumbrado público y las emisiones de los núcleos (en color e intensidad) obtenidas a partir de imágenes tomadas por los astronautas de la Estación Espacial Internacional (ISS) separadas 9 años en el tiempo (2012 y 2021).

Tras un proceso de calibración y georreferenciación, delimitamos las fuentes de luz y obtuvimos el valor de la emisión de luz en cada banda de color de la imagen (RGB: rojo, verde y azul). A partir de aquí hicimos un análisis estadístico de las emisiones por núcleo o instalación privada para comparar entre años (e inferir las diferencias) y para caracterizar las fuentes según el color de sus emisiones y el tipo de lámparas de su alumbrado a través de técnicas de clusterización, una técnica de análisis de datos muy utilizada en diferentes ámbitos que van desde economía hasta modelos climáticos.

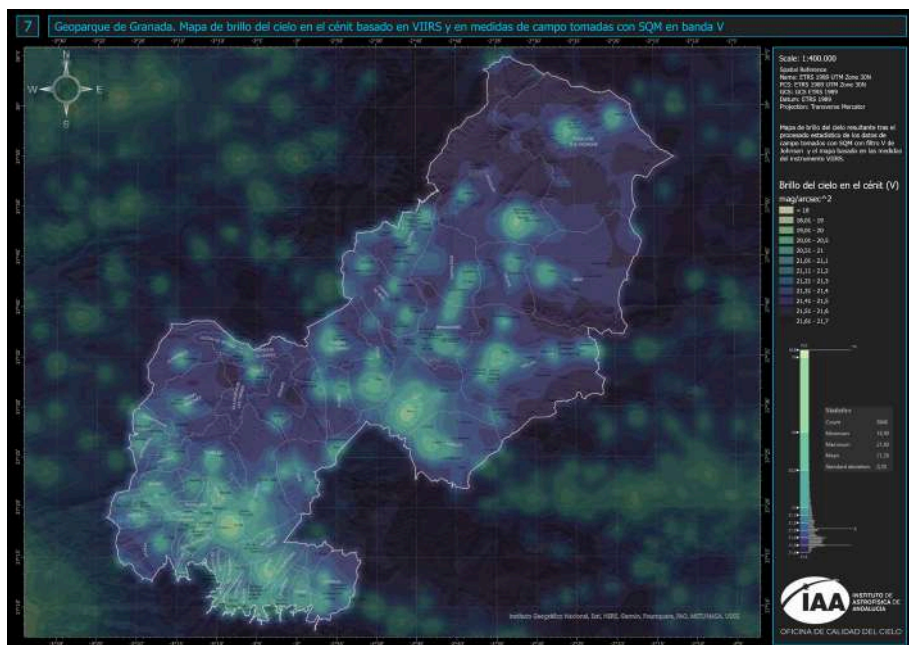
Constatamos así un incremento muy importante de las emisiones lumínicas, especialmente en la banda azul, lo que está relacionado con la sustitución de lámparas de vapor de sodio por LED blanco. Además resulta llamativo que el viraje al azul de las emisiones es más acusado en núcleos pequeños, lo que está vinculado a la implementación en su alumbrado de LED de 3.000 o incluso 4.000 K (que emiten una luz fría, con mucha componente azul) sumado a un incremento de la intensidad. Desde 2012 la mediana de las emisiones lumínicas de los 79 núcleos del Geoparque analizados se ha incrementado un 20% anual, y en el caso de la luz azul un 30%.

Estamos ante una grave amenaza para la preservación de la noche en este territorio debido al descontrol generalizado en la iluminación exterior privada

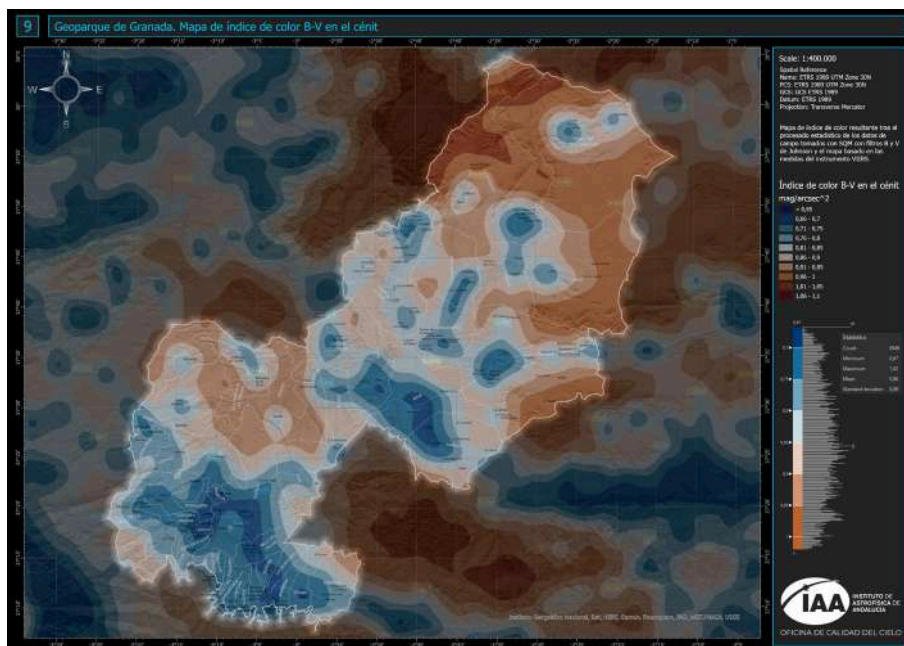
¿Cómo se ha llegado a esto después de tantos proyectos de mejora del alumbrado público? La explicación está en que para la renovación de las lámparas sólo se ha tenido en cuenta su eficiencia energética, pero no la composición espectral de la luz que emiten. Así, lo más frecuente ha sido sustituir las antiguas lámparas de vapor de sodio (de luz anaranjada) por LED de luz blanca (parecida a la luz solar). ¿Y por qué es importante el color? En primer lugar por la capacidad de la componente azul de esa luz blanca de dispersarse mejor por la atmósfera, llegando más lejos (sobre todo cuando se emite en ángulos rasantes); en segundo lugar porque esta luz azul afecta al comportamiento y los ciclos circadianos de todos los organismos vivos.

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Además, iluminar con menos gasto energético (y menos coste económico) ha llevado a que se cumpla la paradoja de Jevons (que aumente el consumo de un recurso cuando se mejora la eficiencia en su uso): en el caso de la iluminación nocturna, el menor gasto que supone la mayor eficiencia energética de las lámparas LED ha llevado a un incremento innecesario de la iluminación, tanto en intensidad de la existente como por su uso indiscriminado en lugares y momentos donde no es necesaria. ¿Cuántas veces encontramos una iluminación excesiva de entradas, rotondas, senderos en la periferia del núcleo, etc., en espacios con poco nulo uso en horas nocturnas, que se ilumi-



Mapa de brillo del cielo nocturno en el céntit en la banda V. Es resultado de combinar el mapa de brillo difuso del instrumento satelital VIIRS con las medidas en tierra con filtro V de Johnson. Crédito: Máximo Bustamante Calabria



Mapa de índice de color B-V. Resultado de restar al mapa de brillo en banda V el mapa de brillo en banda B. Conforme nos acercamos a las aglomeraciones urbanas, el brillo del cielo es más azul. Crédito: Máximo Bustamante Calabria

nan como si se tratara de una calle del centro de una ciudad?

Y no sólo hemos visto este comportamiento asociado al alumbrado público; existe una importante contribución de las infraestructuras privadas a las emisiones de luz artificial. Por ejemplo, dos grandes instalaciones ubicadas en el Geoparque emiten más que un núcleo de casi 20.000 habitantes como Guadix. Si observamos el modo en el que se iluminan durante toda la noche naves, polígonos industriales, cooperativas, etc., con intensidades y direcciones injustificadas, podemos entender la magnitud de su contribución a la contaminación lumínica. El descontrol generalizado en la iluminación exterior privada

puede hacer que los posibles esfuerzos por minimizar las emisiones del alumbrado público no tengan un efecto apreciable. Teniendo en cuenta además la proliferación en el Geoparque de macrogranjas y de instalaciones energéticas, podemos afirmar que estamos ante una grave amenaza para la preservación de la noche en este territorio.

Cerca de la mitad del Geoparque podría optar a una certificación de destino turístico, lo que supone que presenta unas aptitudes aceptables para el astroturismo. Pero no podemos pasar por alto que esta certificación es bastante laxa en requerimientos de oscuridad del cielo, y realmente sólo un 11% del territorio conserva cielos que aún podemos llamar os-

LOS DIEZ MANDAMIENTOS PARA EL ALUMBRADO NOCTURNO

curos. No hay motivos para echar campanas al vuelo. Y si nos fijamos en la evolución de las emisiones en los últimos años se observa una tendencia que pone en peligro incluso esas islas de oscuridad.

Desde luego que son de enorme interés las iniciativas que impliquen la inclusión del cielo nocturno en el conjunto del Patrimonio (natural, cultural e histórico) de un territorio, y que persigan su salvaguarda para la sociedad. Y si suponen una diversificación de la oferta turística de zonas que, por suerte, aún se mantienen alejadas de los flujos masivos de visitantes, mejor. Pero no se debe olvidar que las certificaciones no deberían ser el objetivo en sí, sino sólo una herramienta para lograr invertir la degradación imparable de las condiciones naturales de la noche, mediante la concienciación e implicación de diferentes colectivos sociales y la asunción de compromisos claros e ineludibles por parte de las administraciones locales.

La contaminación lumínica supone un grave problema para los observatorios astronómicos, que ven cómo los domos de luz van subiendo cada vez más desde el horizonte año tras año. Y además es un contaminante desde el momento en que perturba las condiciones naturales de la noche.

Toda la vida en la Tierra ha evolucionado sujeta a un ritmo alternante de luz y oscuridad; romper ese ritmo iluminando en horas nocturnas con una luz parecida a la diurna tiene consecuencias desastrosas sobre los organismos vivos (también sobre nuestra salud). No debemos olvidar que la sensibilidad a la luz puede ser diferente de unas especies a otras, y no debemos abordar esta problemática desde una perspectiva antropocéntrica. El mejor ejemplo de ello son los insectos, en los que la contaminación lumínica puede estar teniendo consecuencias devastadoras de implicaciones ecológicas y económicas difíciles de imaginar.

¿Podemos esperar que se invierta la tendencia, y que no llegue el día en que, por ejemplo, el Observatorio de Sierra Nevada se vea obligado a convertirse en un museo?

¿Podemos esperar que se invierta la tendencia, y que no llegue el día en que, por ejemplo, el Observatorio de Sierra Nevada se vea obligado a convertirse en un museo? La razón para ser pesimistas es que la sobreiluminación nocturna se ha convertido en una forma de ostentación, mal entendida como signo de seguridad y desarrollo económico, formando parte de esas necesidades inventadas que mueven a la sociedad actual. La razón para ser optimistas es que estamos ante unos impactos sencillos de corregir, tan sólo hace falta la voluntad de hacerlo. Se puede aprovechar la versatilidad de la tecnología LED para diseñar un alumbrado exterior coherente con las necesidades reales de iluminación y siguiendo una norma básica: iluminar sólo donde sea necesario, cuando sea necesario y con un color e intensidad apropiados.

1. Amarás el cielo estrellado sobre (casi) todas las cosas

La observación del cielo estrellado con nuestros propios ojos es la experiencia más directa que podemos tener del universo. Debemos reclamarlo como un derecho irrenunciable, en el marco del derecho a un medio ambiente en el que la Humanidad pueda vivir con salud, plenitud y dignidad. ¿Por qué renunciamos a reivindicarlo como prioridad para perdernos en los laberintos de la economía y la eficiencia energética?

2. No usarás la luz en vano

La luz artificial actúa de noche como un contaminante y no es inocua. Por eso no se debe utilizar tan a la ligera por resultar más barata que hace unos años gracias a la tecnología LED. Antes de poner una luz exterior hay que meditar seriamente si es necesaria y cómo se va a iluminar para que su impacto en el entorno sea mínimo.

3. Santificarás los ritmos circadianos

Toda la vida en la Tierra ha evolucionado sujeta a un ritmo alternante de luz-oscuridad. Romper ese ritmo iluminando en horas nocturnas tiene consecuencias desastrosas sobre los organismos vivos (también sobre nuestra salud).

4. Honrarás la oscuridad natural de la noche

Necesario para cumplir el mandamiento tercero. Para gozar de una vida larga y con salud debemos dormir y descansar, siendo imprescindible la noche y su oscuridad natural.

5. No matarás el verdadero sentido de las certificaciones

Una certificación de calidad del cielo no debe ser un objetivo en sí, sino parte de una estrategia que busque en última instancia un cielo nocturno lo más oscuro posible con la implicación y complicidad de los habitantes del territorio.

6. No cometerás impuras aberraciones lumínicas de luz blanca con componente azul

La luz blanca es proporcionada en abundancia durante el día por el Sol, y a esto responde nuestro cuerpo. El alumbrado nocturno no debe emitir luz azul (de longitud de onda inferior a 500 nanómetros), que es la que interfiere en los ritmos circadianos, se dispersa mejor por la atmósfera y afecta a la vida. Existen en el mercado lámparas que cumplen este mandamiento, por lo que no hay bula papal posible para saltárselo.

7. No robarás el derecho de las generaciones futuras a ver las estrellas

Indisoluble con el primer mandamiento. No sólo debemos ser aplicados en el cumplimiento de estos preceptos por nuestro amor al cielo estrellado, sino que es una obligación preservarlo para las generaciones futuras, del mismo modo que lo es la preservación de la Naturaleza.

8. No levantarás falso testimonio sobre sostenibilidad y seguridad

Decir que el alumbrado nocturno es sostenible por el simple hecho de ser LED es mentira, pues que sea eficiente desde el punto de vista energético no implica que carezca de impacto ambiental. El impacto ambiental depende del espectro de emisión de la lámpara, de su disposición, del diseño de la luminaria, de si hay telegestión o no, de si la intensidad es la adecuada, etc. Decir que una mayor intensidad lumínica implica más seguridad ciudadana es aún una mentira más gorda, es una afirmación que carece de fundamento científico. Lo que sí crea inseguridad es la fatiga visual originada por continuos deslumbramientos.

9. No consentirás pensamientos autocomplacientes

No, porque distingás a duras penas la Vía Láctea y el alcalde haya conseguido una certificación, desde tu pueblo no se ve el mejor cielo estrellado del mundo, ni está libre de contaminación lumínica (a no ser que esté en mitad del océano o del Sahara). La autocomplacencia sobre el estado del medio ambiente lleva a la inacción.

10. No codiciarás intensidades de iluminación ajenas a lo estrictamente necesario

El paso de zonas muy iluminadas a otras que lo están menos produce la sensación de que las segundas son oscuras, pues el ojo tarda unos minutos en adaptarse a las nuevas condiciones. Por eso sobreiluminar los centros urbanos es mala idea, al generar sensación de poca iluminación a los barrios adyacentes. La intensidad de iluminación debe ser la estrictamente necesaria para el desarrollo de la actividad humana, y cuando esta acabe debe bajarse al mínimo posible, o incluso apagarse si no hay actividad alguna (por ejemplo en los parques cerrados o en polígonos industriales a partir de las doce de noche). Los posibles problemas de seguridad se pueden solucionar con la actual tecnología de sensores y cámaras sin la necesidad de tener focos encendidos toda la noche.

Estos diez mandamientos se resumen en: iluminarás sólo donde sea necesario, sólo cuando sea necesario y con la intensidad estrictamente necesaria.

UN NUEVO INFORME DEL CSIC PROPONE MEDIDAS URGENTES ANTE EL AVANCE DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

EL IAA-CSIC ES COAUTOR DE ESTA NUEVA PUBLICACIÓN DE LA COLECCIÓN “CIENCIA PARA LAS POLÍTICAS PÚBLICAS”, UN PROYECTO ESTRATÉGICO IMPULSADO DESDE LA PRESIDENCIA DEL ORGANISMO PARA CONTRIBUIR A LA DEFINICIÓN DE POLÍTICAS BASADAS EN LA EVIDENCIA CIENTÍFICA

El Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), en colaboración con el Institut de Ciències del Mar (ICM) y el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), ha elaborado uno de los tres nuevos números de la colección “Ciencia para las Políticas Públicas” (*Science for Policy*), titulado “**Contaminación Lumínica: los peligros de un mundo cada vez más iluminado**”. Con estos informes, el CSIC busca servir de puente entre los centros de investigación y los responsables políticos para contribuir a la definición de políticas públicas basadas en la evidencia científica.

“Contaminación Lumínica: los peligros de un mundo cada vez más iluminado”, centrado en una de las amenazas medioambientales más acuciantes de este siglo, pone de manifiesto el impacto que la contaminación lumínica tiene sobre salud, ecosistemas, patrimonio cultural y nuestro conocimiento del cosmos, entre otros muchos aspectos.

“La contaminación lumínica es un riesgo inminente y global al que debemos dar respuesta del mismo modo que afrontamos otras amenazas como la gestión de residuos, la sequía o la protección de los océanos”, explicó Alicia Pelegrina, miembro de la Oficina Técnica de Calidad del Cielo del IAA-CSIC y coautora del informe, quien se encargó de presentarlo ante responsables políticos, profesionales de la comunicación y miembros de la comunidad científica.

La contaminación lumínica se define como la alteración de la oscuridad natural de la noche provocada por la luz artificial y se trata de un fenómeno en crecimiento. Cada año, la superficie mundial iluminada y la intensidad del brillo artificial del cielo nocturno aumentan alrededor de un 2,2 %, y en los últimos 25 años, este incremento ha sido de un 50 %. “Ante este

escenario, el informe insta a una intervención urgente, multidimensional y multisectorial, aportando recomendaciones de actuación y decisión para responsables políticos y autoridades locales, así como para el sector privado, la comunidad científica y la sociedad en general”, puntualiza Airam Rodríguez, investigador del MNCN-CSIC y otro de los autores del informe.

Para elaborar el informe, un equipo científico interdisciplinario, compuesto por expertos en medio ambiente, ecosistemas biológicos e investigación astrofísica, ha recopilado y sintetizado el conocimiento actual sobre la contaminación lumínica, enfocándose especialmente en los ámbitos donde el CSIC lidera proyectos de investigación para evaluar los efectos de este problema medioambiental. En concreto, el informe pone de relevancia el liderazgo del CSIC en la monitorización del brillo del cielo generado por luces artificiales y su impacto significativo, especialmente en las observaciones astronómicas.

En el informe se destacan aquellos estudios dirigidos a evaluar el efecto de este tipo de contaminación sobre los ecosistemas naturales y las especies que los habitan y se resalta el potencial de la investigación realizada en el CSIC para abordar los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana, especialmente como posible factor de riesgo en algunos tipos de cáncer y enfermedades metabólicas. Asimismo, este alerta sobre un aspecto crucial de esta amenaza medioambiental: la percepción social de la luz artificial. Culturalmente, la luz artificial se asocia con bienestar, belleza, sociedades avanzadas, estatus y seguridad y esta percepción lleva a que la iluminación excesiva en pueblos y ciudades no se perciba como una amenaza, sino como un indicador claro de bienestar y progreso.

Además, en este informe se advierte que las regulaciones actuales son insuficientes, dado que no existen límites máximos legalmente establecidos para la contaminación lumínica. También se señala que la regulación efectiva carece de coordinación a nivel local, regional e internacional, y no está fundamentada en evidencia científica suficiente.

“Contaminación Lumínica: los peligros de un mundo cada vez más iluminado” se concibe como una herramienta para la toma de decisiones fundamentada en la evidencia científica y, por ello, presenta una serie de recomendaciones finales claras y concisas dirigidas tanto a las administraciones públicas como al sector privado.

Entre estas recomendaciones se incluyen medidas generales como incrementar los esfuerzos legislativos para regular la luz artificial como agente contaminante; establecer una hoja de ruta que coordine los esfuerzos de todas las administraciones; y definir zonas protegidas considerando la amplia dispersión de la luz como agente contaminante, y algunas medidas más específicas, como la implementación de técnicas de “iluminación inteligente” para ajustar la intensidad y los horarios de funcionamiento de las luces según las necesidades específicas de cada emplazamiento; evitar ángulos de emisión superiores a 70° o dar prioridad a la luz cálida. Y, de cara al sector privado, se recomienda explorar estrategias de marketing que no dependan exclusivamente de la luz artificial; eliminar del mercado los LEDs blancos altamente contaminantes; y colaborar con el sector público para crear un distintivo de iluminación sostenible.

Panorámica parcial del horizonte desde el parque megalítico de Gorafe. Las nubes delatan muy bien las fuentes de contaminación lumínica y el color de sus emisiones. Crédito: Máximo Bustamante Calabria

La ciencia y el arte, dos miradas sobre la realidad

“LA CULTURA NO EXISTE PARA EMBELLECCER LA VIDA, SINO PARA TRANSFORMARLA”

- SOPHIA DE MELLO BREYNER

Por Sara Cazzoli (IAA-CSIC)

Sin duda, la ciencia es arte y el arte es ciencia. Pero, ¿en qué conectan el mundo de la ciencia y el mundo del arte?

Tanto el arte como la ciencia parten de un mismo estímulo: la curiosidad y el asombro.

Desde este piso inicial compartido, las diferencias son menos rígidas de lo que parecieran a primera vista. Por ejemplo, la interrogación, la voluntad de conocer y la creatividad son ejes comunes de ambas materias. Además, en ambas disciplinas se necesita de una poderosa imaginación, que se despliega en diferentes terrenos.



EL TERRENO DEL TEATRO

Las artes escénicas son una poderosa herramienta de comunicación de la ciencia. Entre ellas, el TEATRO: el arte de representar historias y temas universales y, ¿por qué no?, también ciencia y tecnología.

Además del “teatro de texto”, está la improvisación. Es una experiencia teatral colaborativa entre actores y público. La historia se construye a medida que avanza. Es un diálogo en el que el público es más que un espectador.

Uno de los mayores desafíos de la divulgación científica consiste en buscar vínculos entre la ciencia y las acciones cotidianas. Y qué mejor vínculo que el lenguaje universal del teatro y de las emociones que este transmite.

UN CAMINO DE DOBLE SENTIDO

Tanto científicos como artistas, cuando miran “extrañados” la naturaleza (humana y no humana), imaginan problemas, posibles respuestas e inventan métodos y caminos para resolverlos.

Exploramos el camino de la ciencia al arte describiendo el proyecto Espacio_3. Y nos sorprendemos con el camino inverso, del artista a la ciencia, a través del cuerpo y del movimiento, cruzando incluso las puertas del tiempo.

ESPACIO 3: EL ESPECTÁCULO ES EL PROTAGONISTA

Granada. Albaicín. Un palacio del siglo XVI. Un patio, tres salas y tres formatos: teatro, improvisación y divulgación. Una compañía de más de cincuenta profesionales. Una cita fija con la ciencia y las artes escénicas, diferente cada mes. Una serie de diez eventos que han entrado por derecho propio en la programación cultural granadina.

Un laboratorio. Una idea. Esto es Espacio_3: Laboratorio de Ciencia y Artes Escénicas.



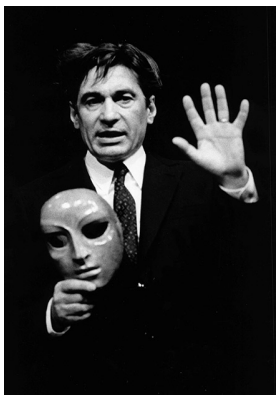
La idea de Espacio_3 surge de la búsqueda de nuevos espacios de interacción entre la divulgación científica y las artes escénicas. Al fin y al cabo, divulgar ciencia, interpretar una escena o improvisar un diálogo son solo tres formas distintas de contar una misma historia. A esto jugamos en Espacio_3.

En este laboratorio aprendemos haciendo. La divulgación recoge y asimila los matices de la interpretación, de la puesta en escena y de sus gestos. Y viceversa, los artistas se adentran y experimentan en primera persona la ciencia y la metáfora científica como disparador creativo, y la ciencia como regidora del hecho escénico. Los equipos dialogan sobre una misma idea. Uno aprende del otro.

Como en una trenza que se estrecha en cada paso, en Espacio_3 se interconectan técnicas, artistas, científicos y divulgadores en un entorno inmersivo. En definitiva, una experiencia singular, orgánica y entretenida que se vive desde que se entra en el Palacio del Almirante hasta que se sale.

MOVIMIENTO, TEATRO, SGR^A* Y TELÓN

“El movimiento pone en evidencia el punto fijo” es la sexta de las leyes del movimiento de Jacques Lecoq (París, 1921–1999). Lecoq no era astrónomo, tampoco científico; fue un actor, mimo y un maestro de actuación francés, referente del teatro del cuerpo.



Lecoq hace del cuerpo una nueva forma de expresión. Con esta idea, realizamos un audiovisual donde proponíamos emplear el cuerpo como una nueva forma de comunicar la astronomía.

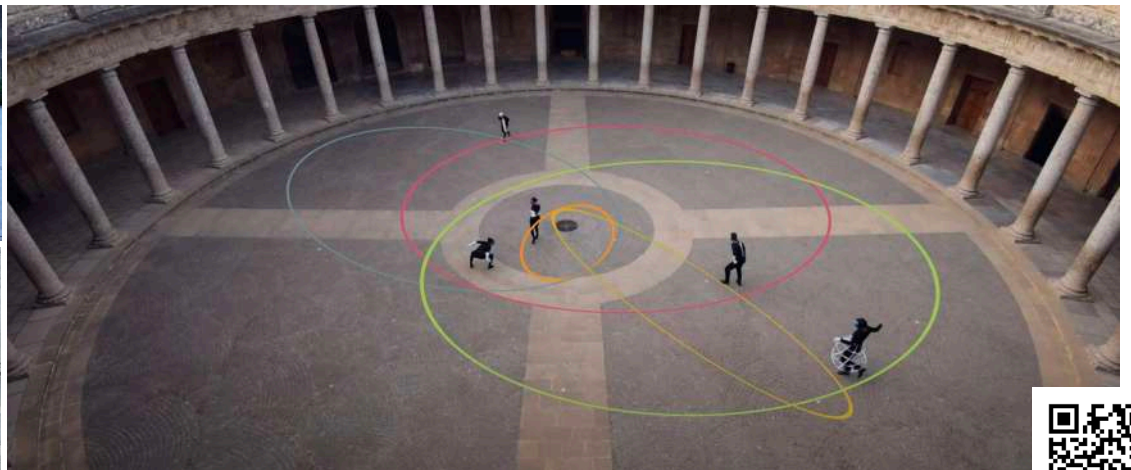
Hemos dado forma humana a cinco estrellas que orbitan alrededor de SgrA* y hemos recreado con rigurosidad científica (a escala humana) su danza orbital en el espacio arquitectónico del Palacio de Carlos V, dentro del conjunto histórico de la Alhambra.

En su patio, convertido en el centro galáctico, el corazón de la Vía Láctea, cinco estrellas danzan junto a cinco máscaras en una representación humana y teatral sobre uno de los descubrimientos más importantes de nuestro siglo.

De hecho, el estudio del movimiento de las estrellas alrededor del centro de nuestra galaxia fue una de las evidencias más importantes para demostrar la existencia de un agujero negro supermasivo, SgrA*.

Una ley, un disparador creativo, un lema para el teatro y una metáfora para la ciencia.

En 1956, cuando Lecoq fundó su escuela de teatro, no había evidencias firmes de la existencia de SgrA*. Ahora tenemos incluso una imagen del mismo. Recordando aquel famoso episodio de la serie “El ministerio del tiempo”, donde Federico García Lorca afirmaba “*Tanto tiempo después, España se acuerda de mí*”... nos atrevemos a decir a Jacques Lecoq que la ciencia también lo recuerda.



Disfruta de “¡Movimiento, teatro, SgrA* ...y telón!”
escaneando este QR



CUALQUIER PROYECTO BUSCA UN ÉXITO, YA SEA TANGIBLE O INTANGIBLE

Pero, sobre todo, busca generar un cambio. En ambos proyectos hemos llegado a un sitio distinto de donde empezamos (producción cultural, formación teatral etc.)

Todo esto gracias a una narración coherente y reactiva al tejido socio-cultural de Granada. Nuestro motor ha sido el compromiso de un equipo grande y transversal tanto en experiencia, como en género y nacionalidad. Nuestra arma más afilada, el boca a boca. Nuestro éxito ha sido la fidelidad y la alegría del público. El público siempre TIENE ES razón.



10 MESES DE ESPACIO 3, NUESTRO LABORATORIO DE CIENCIA Y ARTES ESCÉNICAS



Espacio3 es un proyecto liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) en colaboración con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), La Madraza, Centro de Cultura Contemporánea de la Universidad de Granada (UGR) y dos compañías teatrales, La Carpintería y El Apeadero. Todo sobre este proyecto en www.espacio3.iaa.es

EL MOBY DICK DE...

... THALIA TRAIANOU (IAA-CSIC)

FOTOGRAFIANDO AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS



Eftalia (Thalia) Traianou es griega y actualmente investigadora postdoctoral en el Grupo de VLBI del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) - CSIC en Granada, dirigido por José Luis Gómez. Completó su doctorado en la Universidad de Colonia y en el Max-Planck-Institut für Radioastronomie, donde se centró en estudios VLBI de alta resolución de blazares en intensidad total y polarización.

Es miembro activo del Event Horizon Telescope (EHT), del EHT de próxima generación (ngEHT), de la RadioAstron Collaboration y del proyecto POLAMI (PI: Ivan Agudo). Dirige las primeras observaciones EHT del blazar 3C454.3 y ha participado activamente en muchos otros proyectos EHT.

Thalia también está muy involucrada en actividades educativas y de divulgación, y actualmente es la Coordinadora Europea de Divulgación del EHT. Ha recibido el JoVE Science Education & Research Innovation Award y le apasiona comunicar los resultados científicos al público y fomentar la colaboración dentro de la comunidad científica.

Cuando era niña, vi un episodio de la serie “Cosmos” de Carl Sagan dedicado a los agujeros negros y su impacto en la materia que los rodea. En aquel capítulo, se recreaban los efectos de la gravedad sobre Alicia y sus amigos en el País de las Maravillas. Era una imaginativa analogía que me emocionó profundamente y cuyo efecto aún perdura. “Bajo una atracción de miles de millones de g (donde g representa la gravedad), incluso la luz siente la gravedad y empieza a doblarse sobre sí misma. Los agujeros negros son construcciones teóricas sobre las que se ha especulado desde 1793”, narraba Sagan en aquel episodio. ¿Quién iba a imaginar que pocos años después podríamos confirmar que los agujeros negros son objetos reales tal y como predice la teoría de la relatividad general de Einstein? Esta teoría describe cómo la luz, el espacio y el tiempo se curvan por efecto de la extraordinaria gravedad, creando un anillo de fotones alrededor de la sombra de un agujero negro.

Entre el inimaginable número de galaxias que habitan en el universo, existen algunas que son especiales. Son los Núcleos Galácticos Activos (AGN), galaxias cuyo centro alberga un agujero negro supermasivo que acreta materia, haciendo que la región central brille mucho más que el resto. Ocasionalmente, algunos de estos AGN eyectan espectaculares chorros relativistas de plasma, que se propagan a cientos de kiloparsecs en el espacio intergaláctico, emitiendo radiación en todo el espectro electromagnético. Estos fascinantes objetos atraen la atención de la comunidad astronómica, despertando un profundo deseo de describir con precisión cada una de sus partes y

todos los procesos físicos que tienen lugar en ellos.

En astronomía observacional, uno de los grandes retos es alcanzar la mayor resolución angular posible. Dado que los objetos que estudiamos se encuentran tan lejos, la única manera de responder a todas las preguntas que tenemos abiertas es distinguir y observar claramente las estructuras más pequeñas.

Por este motivo, hace casi 60 años se desarrolló la interferometría de línea de base muy larga (VLBI) para ondas de radio. Con el paso de los años, las antenas más grandes del mundo empezaron a colaborar y a asociarse en conjuntos de antenas de VLBI que observaban en altas frecuencias, logrando una resolución cada vez mayor. El conjunto que logró lo imposible fue el Event Horizon Telescope (EHT).

El EHT hizo historia en abril de 2017 al captar la primera imagen de un agujero negro en la galaxia M87. Esta imagen a 235 GHz mostraba un anillo brillante formado por la curvatura de la luz debido a la intensa gravedad que rodea a este agujero negro, 6.500 millones de veces más masivo que el Sol.

Este logro pionero confirmó muchos aspectos de la teoría de la relatividad general de Einstein. Además, el EHT continúa observando hasta el día de hoy agujeros negros supermasivos, incluido el de nuestra propia galaxia, Sagitario A* (SgA*), proporcionando conocimientos críticos sobre su estructura y comportamiento. Esto incluye la captura de luz polarizada a su alrededor, que nos ayuda a comprender la topología del campo magnético en el borde del horizonte de sucesos.

El grupo de VLBI del IAA es uno de los principales colaboradores del EHT desde su creación, y tuvo la fortuna de formar parte de este equipo y dirigir un proyecto centrado en las primeras observaciones del EHT del blázar 3C 454.3, también conocido como 'Crazy Diamond'

La resolución máxima que podemos alcanzar con el VLBI está determinada por la máxima distancia entre las antenas, por lo que en el caso ideal, tenemos un límite en términos de resolución dado por el propio tamaño de la Tierra. Pero ¿qué pasaría si pudiéramos colocar una antena en el espacio? Así es como surgió la VLBI espacial.

RadioAstron, lanzada en 2011, es una de las misiones más ambiciosas de la VLBI espacial. Consiste en un radiotelescopio de 10 metros instalado en un satélite en una órbita muy elíptica alrededor de la Tierra, operando en el rango de frecuencias de 5 a 22 GHz. Gracias a esta configuración, RadioAstron ha alcanzado una resolución sin precedentes de hasta 10 microarcosegundos. Al combinar las observaciones de RadioAstron con las de los radiotelescopios terrestres, se pueden revelar detalles asombrosos y mecanismos físicos de las regiones más internas de muchos AGN. En el IAA, estamos analizando diversos conjuntos de datos de esta misión y, personalmente, estoy preparando la publicación de imágenes de RadioAstron de los blazars 3C 454.3 y OJ287.

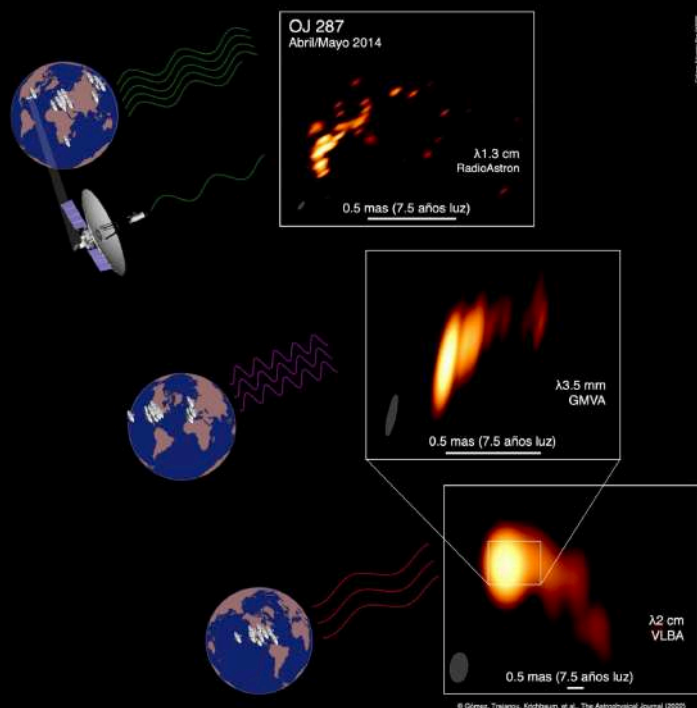
Imagen de alta resolución del chorro relativista en el blázar 3C 279 obtenida con RadioAstron. La imagen revela una estructura compleja dentro del chorro con varios filamentos a escalas del parsec que forman una estructura en forma de hélice. Credit: RadioAstron/Fuentes et al.



Filamentos entrelazados en 3C 279

¿Y qué será lo próximo? ¿Y si pudiéramos unir estas superpotencias observacionales, el EHT y la VLBI espacial? Con esta motivación nace ahora el Explorador de Agujeros Negros (BhEx). Esta misión, que se lanzará en los próximos años, tiene como objetivo combinar las capacidades de alta resolución de la VLBI espacial con la red EHT.

BhEx está diseñado para observar a frecuencias y resoluciones aún más altas, lo que nos permitirá ver con mucho más detalle el anillo de fotones en M87 y SgA*. La teoría de la relatividad general predice que el anillo de fotones de un agujero negro está compuesto por una serie de anillos cada vez más nítidos, formados por la luz que ha orbitado el agujero negro muchas veces antes de escapar. De hecho, las propiedades del agujero negro quedan impresas en el tamaño y la forma de estos anillos, lo que nos permite poner a prueba directamente los límites de nuestra comprensión de los agujeros negros, la gravedad y la relatividad. El grupo de VLBI del IAA continúa desempeñando un papel vital en esta misión. Y lo mejor está aún por llegar...



El chorro curvo de la galaxia activa OJ 287 a partir de imágenes de radio tomadas con la máxima resolución con RadioAstron (un conjunto global que incluye el radiotelescopio espacial Spektr-R en órbita alrededor de la Tierra), el Global mm-VLBI Array (que opera en la longitud de onda corta de 3.5 mm) y el Very Long Baseline Array (un conjunto de diez antenas a lo largo de EE.UU., desde las Islas Vírgenes en el Este hasta Hawai en el Oeste). Crédito: Gómez et al (The Astrophysical Journal, 2022)

EL CTAO ENTRA EN UNA NUEVA FASE DE DESARROLLO

En abril del 2024, el CTAO (Cherenkov Telescope Array Observatory) vivió un importante hito: el Observatorio inició oficialmente una nueva fase de crecimiento que nos acercará a los primeros resultados científicos. Pero, ¿qué implica esta fase? ¿Qué novedades nos esperan en el horizonte de rayos gamma?



El prototipo del Large-Sized Telescope, el LST-1, observando el cielo en el emplazamiento CTAO-Norte en La Palma, España. Crédito: CTAO

UN POCO DE CONTEXTO

Construir el observatorio de rayos gamma más grande y potente del mundo no es una tarea sencilla. Requiere de muchos científicos, ingenieros y expertos en diversos campos, desde computación, IT hasta comunicación, finanzas o recursos humanos. Más de 1500 personas de 25 países trabajan desde hace más de una década para desarrollar el concepto, tecnología y ciencia del CTAO. Pero la fase de diseño ha llegado a su fin: con el respaldo de 30 millones de euros para 2024 por parte de los cuerpos de gobierno, lo que supone un incremento significativo de financiación anual, el CTAO se embarca ahora en un periodo de desarrollo de infraestructuras para operar en los próximos años configuraciones intermedias de telescopios.

DE PROTOTIPOS A CONFIGURACIONES INTERMEDIAS DE TELESCOPIOS

Dentro de esta nueva fase de crecimiento, el CTAO pasará de tener prototipos de telescopios individuales a construir configuraciones intermedias de los conjuntos de telescopios para ambos emplazamientos, situados en La Palma y en Chile. Si bien el objetivo final del Observatorio es llegar a la llamada Configuración Alfa, con más de 60 telescopios divididos entre el hemisferio norte y sur, estas configuraciones intermedias serán ya más potentes científicamente que cualquier otro instrumento existente. De hecho, alcanzarán una sensibilidad hasta tres veces mejor que la actual generación de telescopios de rayos gamma, lo que permitirá al CTAO detectar fuentes más débiles y señales de rayos gamma con una variabilidad de minutos. Un desarrollo técnico que nos acercará rápidamente a los primeros datos del Observatorio.

CRECIMIENTO EN TODOS LOS FRENTES

El crecimiento del CTAO no se hará solo evidente en términos de hardware, sino también de software y personal. Por una parte, el Observatorio comenzará a utilizar paquetes de software avanzados, pasando de testear a integrar sistemas clave que permiten controlar los conjuntos de telescopios y procesar sus datos. Por otra parte, la Organización Central del CTAO duplicará su personal este año para apoyar el avance del Observatorio en todos sus ámbitos, con un especial énfasis en ingeniería de sistemas y computación.

Representación artística del emplazamiento CTAO-Norte en La Palma que contará con Large-Sized y Medium-Sized Telescopes para cubrir las energías más bajas e intermedias del Observatorio. En este emplazamiento, se encuentra ya el LST-1, prototipo operativo del Large-Sized Telescope, que se ve en la parte superior izquierda. Crédito: CTAO



Los paquetes avanzados de software permitirán realizar funciones clave con las configuraciones intermedias de telescopios como operar los telescopios o realizar análisis de datos en tiempo real. Crédito: CTAO

DECONSTRUCCIÓN

NUEVA FASE, NUEVA IMAGEN

Este hito y punto de inflexión del CTAO se tradujo visualmente en una nueva identidad visual y página web, lanzados en abril junto a la nueva fase.

Uno de los cambios más destacables dentro de la identidad visual es la nueva marca, incluyendo nuevo logo, del Observatorio. Para crear una marca que definiera y representara apropiadamente a todos los grupos involucrados en el CTAO, se necesitaron muchos meses de trabajo y la colaboración de sus miembros, quienes, gracias a la diversidad de edad, género, experiencia, campo de trabajo, país, etc., proporcionaron una visión global del proyecto. Se realizaron diversos talleres creativos y grupos focales que permitieron analizar cómo los miembros definían y percibían el Observatorio, tanto en el presente como de cara al futuro, donde evaluaron la marca anterior y los conceptos creativos en los que se debía basar la nueva, y en donde respondieron a diferentes estímulos visuales de marcas, entre otros ejercicios. Como conclusión, observamos que todos los grupos buscaban que la nueva marca del CTAO fuese simple y elegante, moderna y atractiva, claramente relacionada con la astronomía y enfocada especialmente en el concepto de la luz Cherenkov. Así creamos una nueva marca y logo que representa más fielmente al Observatorio, destinado a abrir una nueva ventana del Universo y liderar la astronomía de altas energías en los próximos 30 años.

La nueva página web - www.ctao.org - proporciona una interfaz inmersiva, más atractiva y práctica, con un contenido mucho más adaptado tanto al público general como a la comunidad científica.

Por Alba Fernández Barral
Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO)

Crédito de la imagen de fondo: DESY/Milde Science Comm.

EL TÉRMINO “CTA” DESAPARECE, DANDO PASO A “CTAO”

La nueva identidad visual incluye una nueva nomenclatura, mucho más sencilla y estructurada, que pone el foco en el elemento común de todos los grupos: el Observatorio. Así, el acrónimo “CTAO” se usará ahora para definir al observatorio físico y proyecto internacional, y los nombres de los diferentes grupos se definen a su alrededor: CTAO Central Organisation (entidad legal a cargo del diseño, implementación y operación del Observatorio), CTAO Consortium (grupo de científicos que concibieron la idea del Observatorio hace más de diez años y trabajan en el desarrollo de su ciencia) y CTAO In-Kind Contribution Collaborations (los equipos que desarrollan hardware y software para el CTAO, tales como las colaboraciones de telescopios). Desaparece así de cualquier contexto el acrónimo “CTA”, dejando vía libre solo al acrónimo “CTAO”. Porque no estamos construyendo un único conjunto o array. Estamos construyendo un observatorio de rayos gamma, el más grande del planeta. Y eso se debe reflejar también en nuestro nombre.

UN FUTURO CERCANO MUY EMOCIONANTE

Nos embarcamos en esta nueva fase del CTAO con la certeza de que en los próximos años operaremos estos subconjuntos de telescopios.

Por una parte, el Observatorio cuenta ya con prototipos operativos de los diferentes tipos de telescopios. Particularmente avanzado se encuentra el emplazamiento CTAO-Norte, situado en La Palma. Allí, el prototipo del Large-Sized Telescope, el LST-1, está en puesta en marcha observando ya el cielo nocturno, mientras que los tres siguientes LSTs se encuentran en construcción. Este prototipo, operando solo durante su puesta en marcha, ya ha detectado la Nebulosa del Cangrejo y su púlsar en un tiempo récord, y ha descubierto el núcleo activo de galaxia más lejano conocido hasta ahora en el rango de rayos gamma.

Por otro lado, el equipo de computación del CTAO y sus socios integraron y testearon exitosamente el sistema de software ACADA en el LST-1. Este software es el responsable de controlar los telescopios, el análisis de datos en tiempo real o la respuesta a alertas de actividad transitoria de otros observatorios y satélites. El siguiente paso en el que ya trabajan los distintos equipos es implementar este sistema para controlar los conjuntos de telescopios. Además, la construcción del Centro de Gestión de Datos del CTAO, localizado en Zeuthen (cerca de Berlín) y desde donde se coordinarán las operaciones y pondrán a disposición los productos científicos del Observatorio, está muy próxima a su finalización.

En el desarrollo del software de análisis de datos y discusión científica, el IAA-CSIC juega un papel fundamental, pues todos estos resultados han sido liderados por el grupo de rayos gamma del instituto. No cabe duda de que España, como anfitriona de una de las sedes, y su comunidad científica, donde el IAA-CSIC mantiene un rol activo de coordinación y desarrollo científico-tecnológico, serán clave para esta nueva fase de expansión del Observatorio.

¡Un emocionante futuro para la astronomía de muy altas energías está a la vuelta de la esquina con el CTAO!



CTAO

El nuevo logo refleja la ciencia realizada por el Observatorio y está fuertemente ligado a la luz Cherenkov que observan sus telescopios. Crédito: CTAO



Integrantes del grupo de muy altas energías del IAA-CSIC. El grupo juega un papel muy activo tanto en el desarrollo científico como de software especialmente para los Large-Sized Telescopes, y ostentan puestos de coordinación en ambos ámbitos dentro del proyecto. Crédito: VHEGA (IAA-CSIC)

Descubiertos los cúmulos estelares más lejanos y antiguos

EL TELESCOPIO ESPACIAL JAMES WEBB OBSERVA CÚMULOS ESTELARES EN UNA GALAXIA APENAS 460 MILLONES DE AÑOS DESPUÉS DEL BIG-BANG

Gracias a las observaciones del telescopio espacial James Webb (JWST - NASA/ESA/CSA), una colaboración internacional liderada por Ángela Adamo de la Universidad de Estocolmo y el Centro Oscar Klein de Suecia ha descubierto un conjunto de cinco cúmulos estelares gravitacionalmente ligados en una galaxia cuya luz fue emitida cuando el universo apenas tenía 460 millones de años.

El trabajo, publicado en la revista *Nature*, ha contado con la participación de miembros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en concreto del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y del Instituto de Física de Cantabria (IFCA-CSIC-UC), un centro mixto perteneciente también a la Universidad de Cantabria.

“Estas estructuras son los cúmulos estelares más antiguos jamás detectados y podrían ser precursores de los cúmulos globulares que actualmente observamos en nuestra galaxia”, explica Yolanda Jiménez, investigadora postdoctoral del IAA-CSIC y coautora del trabajo. Para José M. Diego, investigador científico del IFCA-CSIC-UC y coautor del artículo, *“este descubrimiento demuestra nuevamente cómo, gracias al James Webb, estamos desvelando las etapas más tempranas de nuestro universo”.*

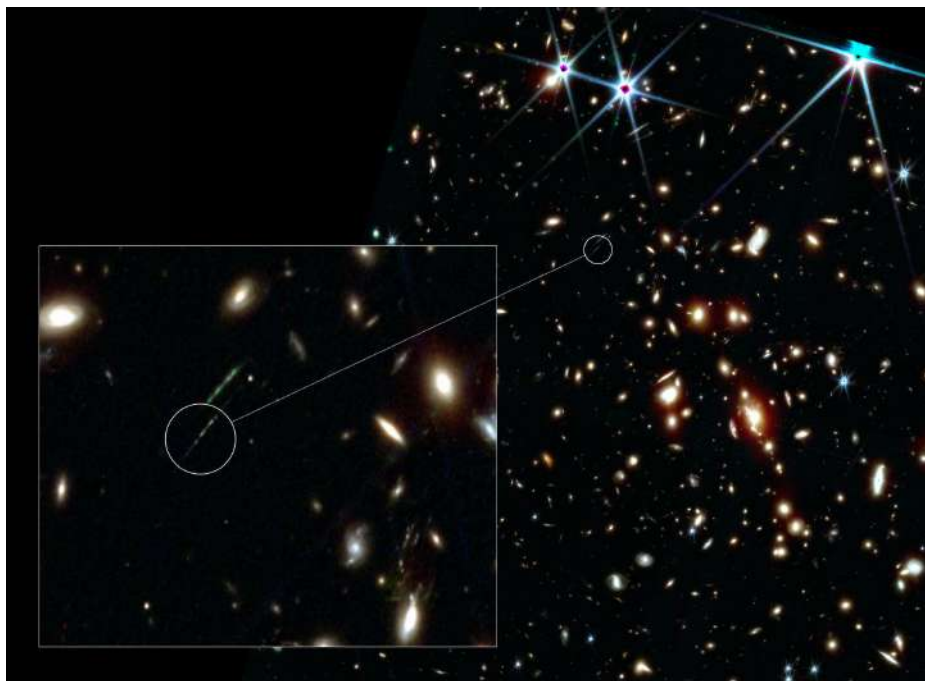
GRACIAS A UNALENTE GRAVITACIONAL

La observación directa de estas estructuras no habría sido posible sin la ayuda de las lentes gravitacionales, grandes acumulaciones de materia que se interponen en nuestra línea de visión de galaxias distantes, actuando como “lupas” que magnifican los objetos detrás de ellas y a veces distorsionando su imagen en forma de arco.

En este caso, el cúmulo galáctico SPT-CL J0615–5746 fue el responsable de magnificar la luz de una galaxia denominada arco Gemas Cósmicas (Cosmic Gems arc) procedente de las primeras etapas de formación del universo.

Esta lejana galaxia ya había sido descubierta previamente por la colaboración RELICS utilizando datos del telescopio espacial Hubble, *“pero ha sido gracias al James Webb que hemos podido desvelar su fascinante estructura”,* aclara Yolanda Jiménez.

Gracias a su extraordinaria resolución y sensibilidad, las observaciones del James Webb revelaron la presencia de cinco puntos compactos perfectamente distribuidos a lo largo del arco Gemas Cósmicas, como si se tratara de un collar de perlas. Estas cinco ‘Gemas’ aparecían duplicadas de forma casi simétrica en el otro extremo del arco, *“señal inequívoca de que eran puntos donde el poder de magnificación del cúmulo lente era máximo”,* puntualiza José M. Diego.



Arco GEMAS CÓSMICAS magnificado por lente gravitatoria. Contiene los cinco cúmulos estelares más distantes y antiguos jamás observados. Crédito: James Webb Space Telescope / Yolanda Jiménez (IAA-CSIC)

PRECURSORES DE LOS CÚMULOS GLOBULARES

Un análisis exhaustivo y detallado de estas diminutas estructuras reveló que se trata de cúmulos estelares, sistemas de estrellas gravitacionalmente ligadas en los cuales no podemos resolver sus miembros individuales. Los cúmulos observados en el arco Gemas Cósmicas presentan densidades estelares significativamente más altas (hasta tres órdenes de magnitud) y tamaños mucho más pequeños (inferiores a siete años-luz) que los cúmulos estelares jóvenes típicos observados en galaxias cercanas.

Estas características sugieren que estos cúmulos estelares recién descubiertos podrían ser los precursores de los cúmulos globulares que actualmente observamos en nuestra propia galaxia, la Vía Láctea. Los cúmulos globulares son agrupaciones de miles o decenas de miles de estrellas viejas ligadas gravitacionalmente, dispersos por el halo de la Vía Láctea y algunos con edades comparables a las de la propia galaxia. *“Este resultado es de gran importancia, ya que actualmente desconocemos el origen de los cúmulos globulares. El descubrimiento de las Gemas proporciona por primera vez una escala temporal a su formación y revela sus propiedades físicas iniciales”,* explica Yolanda Jiménez.

Las Gemas son además las responsables de la mayor parte de la emisión ultravioleta de la galaxia donde se encuentran. Son, por tanto, una de las principales fuentes de reionización del universo temprano. La época de la reionización es un período crucial en la historia del universo, entre 150 millones y 1.000 millones de años después del Big Bang. Durante esta etapa, las primeras estrellas y galaxias comenzaron a brillar, emitiendo radiación que ionizó el gas hidrógeno neutro existente. Esto facilitó la formación de las galaxias y estructuras cósmicas que observamos

hoy en día. *“La búsqueda de estas fuentes, así como de las primeras estrellas, es uno de los objetivos principales por los que fue construido el telescopio espacial James Webb”,* puntualiza José M. Diego.

PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA

La participación del CSIC en este descubrimiento ha sido crucial. Desde el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) se ha desarrollado un algoritmo necesario para el análisis de la luz procedente de las Gemas. *“Medir esta luz es muy complejo, ya que debemos separarla de otras fuentes de luz contaminantes, como la luz intracumular del cúmulo lente, la de galaxias cercanas o la propia luz difusa emitida por el disco de la galaxia donde se encuentran las Gemas”* -detalla Yolanda Jiménez, investigadora postdoctoral del IAA-CSIC - *“Este sofisticado y potente algoritmo de elaboración propia nos permite medir y extraer de forma precisa esta luz contaminante”.*

“Una vez medido el flujo de luz de las Gemas, es necesario contar con modelo del efecto lente gravitatoria para entender la magnificación del arco”, asegura José M. Diego, investigador científico del CSIC en el Instituto de Física de Cantabria (IFCA), donde se ha desarrollado uno de estos modelos. *“Además, una de las cuestiones aún por resolver es porque solo vemos cinco imágenes dobles cuando, en realidad, esperamos seis. Una posible explicación es la presencia de una galaxia enana, no detectada por el James Webb, con un poder de magnificación menor que no permite que veamos dicha imagen”,* concluye el investigador.

Nuevas observaciones con el telescopio espacial James Webb están programadas para 2025. En ellas se estudiará en profundidad este interesante arco y sus cúmulos globulares en gran detalle. Estos estudios prometen revelar algunos de los secretos mejor guardados sobre la formación del universo.

En Marte nieva más de lo esperado

INVESTIGADORES DEL IAA-CSIC LIDERAN UN NUEVO MÉTODO PARA MEDIR LAS VARIACIONES DE NIEVE Y ESCARCHA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA SUPERFICIE DE MARTE

LOS PRIMEROS RESULTADOS INDICAN QUE EL ESPESOR DE NIEVE DEPOSITADO ES HASTA DOS ÓRDENES DE MAGNITUD MAYOR DE LO ESTIMADO

Igual que la Tierra, Marte experimenta cuatro estaciones a lo largo del año debido a la inclinación de su eje de rotación. Durante el otoño e invierno marcianos, las temperaturas en sus regiones polares pueden descender por debajo del punto de congelación del dióxido de carbono (-125°C, aproximadamente), el cual constituye el 95% de la atmósfera marciana en volumen. Este dióxido de carbono puede depositarse en la superficie del planeta rojo ya sea precipitando en forma de nieve o condensando directamente en forma de escarcha. Anualmente, hasta un tercio del dióxido de carbono atmosférico se intercambia entre la atmósfera y la superficie marciana mediante un ciclo estacional de deposición y sublimación. Estos depósitos estacionales pueden extenderse desde los polos hasta aproximadamente los 50° de latitud.

“Este proceso estacional representa un ciclo volátil crucial en Marte, y su estudio detallado con una alta resolución temporal y espacial contribuiría significativamente a comprender la dinámica global del clima marciano” explica Haifeng Xiao, investigador de IAA-CSIC.

Estimar el grosor de esta nieve y escarcha estacional puede ser clave en el diseño de futuras misiones a la superficie marciana cuyo objetivo sea descifrar el paleoclima del planeta rojo perforando los llamados Depósitos Estratificados Polares del Norte (NPLD) - el conjunto de capas de hielo de agua y polvo apiladas sobre el polo norte marciano a lo largo de millones de años-. Su registro puede proporcionar información valiosa sobre la evolución climática de nuestro planeta vecino desde el pasado hasta la actualidad.

NUEVO MÉTODO PARA MEDIR EL ESPESOR DE NIEVE EN MARTE

En un reciente trabajo publicado en *Journal of Geophysical Research: Planets*, Haifeng Xiao y un equipo con una importante participación de miembros del IAA-CSIC proponen un enfoque innovador para estimar el grosor de estos depósitos estacionales mediante la observación de las variaciones en la sombra de grandes bloques de hielo. Estos bloques se forman por desprendimiento de hielo fracturado y quedan a los pies de las escarpas empinadas presentes en el NPLD. El grosor de la nieve y escarcha depositada alrededor de ellos varía a lo largo de las diferentes estaciones del año marciano.

“Proponemos utilizar las variaciones en las sombras de estos bloques de hielo, detectadas en las imágenes de alta resolución del HiRISE, un instrumento a bordo del Orbitador de Reconocimiento de Marte (MRO) de la NASA, lanzado en 2005”, explica Luisa Lara, investigadora del IAA-CSIC y una de las coautoras del trabajo.

“Gracias a su impresionante resolución espacial de hasta 25 cm y a una serie de hipótesis razonables sobre la distribución de la nieve y la escarcha alrededor de estos bloques, hemos logrado relacionar inequívocamente la longitud de la sombra del bloque de hielo con su altura. Esto nos ha permitido estimar con gran precisión el espesor



Nieve y escarcha estacionales en las regiones polares de Marte observadas por la Cámara Estéreo de Alta Resolución (HRSC) a bordo del Mars Express de ESA. Crédito: ESA/DLR/FU-Berlin

tanto de la nieve como de la escarcha depositadas, incluso a finales del invierno y comienzos de la primavera marciana, cuando la calidad de las imágenes de HiRISE no es tan buena”, concluye Pedro Gutierrez, otro de los autores del trabajo e investigador del IAA-CSIC.

MÁS NIEVE DE LO ESPERADO

Este método innovador fue probado en un acantilado empinado ubicado aproximadamente a 85.0°N, 151.5°E del Polo Norte marciano. Los resultados demostraron que el aumento en el grosor debido a la acumulación estacional de nieve y escarcha podría alcanzar hasta 1.6 metros hacia finales del invierno. *“Suficiente para cubrir un automóvil”,* señaló Haifeng Xiao, *“para luego disminuir gradualmente a medida que el planeta rojo avanza hacia su solsticio de verano”.*

La contribución de la nieve por sí sola es de aproximadamente 1 metro. Este valor es aproximadamente dos órdenes de magnitud mayor que el espesor promedio predicho por modelos recientes de nevadas en Marte, lo que indica que las tormentas locales asociadas con grandes acumulaciones de dióxido de carbono pueden ser más frecuentes y violentas de lo estimado hasta ahora. Cabe destacar, además, que esta estimación también difiere de los valores obtenidos previamente con el instrumento Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) a bordo de la misión de NASA, Mars Global Surveyor (MGS). *“Aunque nuestra medición de nieve es solo en un escarpe específico y su medición es un promedio sobre latitudes, esta gran diferencia en la comparación ya es interesante”,* declara Haifeng Xiao.

Además, este nuevo enfoque permitió discernir que la contribución de las nevadas al grosor y volumen de la capa de nieve estacional durante el invierno es mayor en comparación con la condensación superficial directa en forma de escarcha.

“Por último, pero no menos importante, la aplicación de nuestro método a un conjunto de imágenes de HiRISE desde 2008 hasta 2021 permitió detectar variaciones interanuales en el espesor de las nevadas. De hecho, demostramos que la nieve en 2021 alcanzó una profundidad aproximadamente 0.36 metros mayor que la medida una década antes, en 2011”, señala Haifeng Xiao.

UN MÉTODO PROMETEDOR

En resumen, las mediciones del espesor de nieve y escarcha de dióxido de carbono obtenidas gracias a este nuevo método, basado en la variabilidad de la sombra de los grandes bloques de hielo en la superficie marciana, revelan la dinámica del ciclo volátil marciano y pueden ser utilizadas para refinar los modelos climáticos de Marte.

“Esperamos que en el futuro, al aplicar este método a otras ubicaciones marcianas, podamos obtener una imagen completa de la evolución de la nieve y la escarcha en la superficie del planeta a lo largo de los años, así como su relación con las tormentas de polvo y el transporte de hielo de agua.”, concluye Haifeng Xiao.

Hallado un planeta de tipo terrestre en una estrella enana ultrafría

INVESTIGADORES DEL IAA-CSIC PARTICIPAN EN EL DESCUBRIMIENTO DE UNO DE LOS ESCASOS SISTEMAS PLANETARIOS CONOCIDOS EN ESTE TIPO DE ESTRELLAS

EN LOS RESULTADOS, PUBLICADOS EN NATURE ASTRONOMY, HAN CONTRIBUIDO LOS OBSERVATORIOS DE SIERRA NEVADA Y DE CALAR ALTO

Dentro del proyecto SPECULOOS, liderado por la Universidad de Lieja con una sólida participación de miembros del IAA-CSIC, se ha descubierto una exotierra, un planeta de tamaño similar al de la Tierra, orbitando alrededor de una estrella enana ultrafría. Este tipo de estrellas, con un tamaño similar al de Júpiter, son hasta diez veces menos masivas y mil veces menos luminosas que nuestro Sol.

"Debido a su baja luminosidad, su esperanza de vida es cien veces más larga que la de nuestra estrella, y serán las últimas estrellas en brillar cuando el universo se vuelva frío y oscuro", explica Fran Pozuelos, responsable de la participación del IAA-CSIC dentro del consorcio SPECULOOS, y uno de los coautores de este trabajo, publicado en *Nature Astronomy*.

Aunque son las estrellas más comunes en el universo, aún se comprenden poco, especialmente en lo que respecta a su población planetaria, a pesar de que esta representa una fracción significativa del número de planetas existentes en nuestra galaxia. *"De hecho, es uno de los escasos sistemas planetarios descubiertos alrededor de este tipo de estrellas hasta la fecha",* destaca Pozuelos.

EL LADO OSCURO DE SPECULOOS-3B

La exotierra recién descubierta, denominada SPECULOOS-3b, está ubicada aproximadamente a 55 años luz de distancia y tiene un tamaño prácticamente idéntico al de la Tierra. Su órbita alrededor de su estrella tiene un período de alrededor de 17 horas, y se cree que rota de manera sincrónica, es decir, siempre mostrando un mismo lado a su estrella progenitora, mientras que el otro permanece en perpetua oscuridad.

En concreto, la exotierra detectada orbita alrededor de la estrella SPECULOOS-3, la cual tiene una temperatura promedio de 2600°C, siendo dos veces más fría que nuestro Sol. Debido a su proximidad con la estrella, el planeta recibe casi dieciséis veces más energía por segundo que lo que recibe la Tierra del Sol.

Recreación artística del sistema SPECULOOS 3b. Crédito: Lionel García (Center for Computational Astrophysics, Flatiron Institute, New York, NY, USA)



"Esto, junto con el bombardeo constante de radiación de alta energía, hace que la presencia de una atmósfera alrededor del planeta sea muy improbable", señala Julien de Wit, profesor en el MIT y co-director del Observatorio del Norte de SPECULOOS y de su telescopio Artemis, co-desarrollado por la Universidad de Lieja y el MIT, y uno de los principales telescopios empleados en este descubrimiento.

EL PROYECTO SPECULOOS

El proyecto SPECULOOS (acrónimo en inglés de *Search for Planets Eclipsing ULtra-coOL Stars*), liderado por el astrónomo Michaël Gillon de la Universidad de Lieja, tiene como objetivo principal la búsqueda de exoplanetas alrededor de estrellas enanas ultrafrías cercanas. Para ello, emplea una red dedicada de telescopios robóticos profesionales que permiten la observación continua

de este tipo de estrellas durante semanas, con el fin de detectar posibles planetas en tránsito. *"Diseñamos SPECULOOS específicamente para detectar planetas en estrellas enanas ultrafrías. - detalla Gillon- En 2017, nuestro prototipo descubrió el famoso sistema planetario TRAPPIST-1, compuesto por siete planetas del tamaño de la Tierra, varios de ellos potencialmente habitables. Fue un gran comienzo".* El consorcio SPECULOOS está gestionado conjuntamente por las Universidades de Lieja, Cambridge, Birmingham, Berna, MIT y ETH Zürich, y en el que participan otras instituciones científicas, entre ellas el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

Además de los telescopios pertenecientes a la red SPECULOOS, la estrella SPECULOOS-3 fue monitorizada por una serie de otros telescopios, incluido el de 1.5 metros del Observatorio de Sierra Nevada (OSN), perteneciente al IAA-CSIC. Este telescopio se utilizó para realizar observaciones fotométricas de seguimiento y confirmar el tránsito, así como su naturaleza acromática.

Especialmente relevantes fueron las observaciones espectroscópicas registradas con el instrumento CARMENES, ubicado en el Observatorio de Calar Alto en Almería (CAHA) y científicamente gestionado por el IAA-CSIC. CARMENES es un instrumento diseñado específicamente para la detección de exotierras alrededor de estrellas frías utilizando el método de velocidades radiales. *"Las precisas observaciones de SPECULOOS-3 obtenidas con CARMENES fueron fundamentales para confirmar la naturaleza planetaria del tránsito observado",* declara Pedro Amado, Co-IP del instrumento CARMENES.

LOS PRÓXIMOS PASOS

SPECULOOS-3b es un excelente candidato para futuros estudios con el JWST, el telescopio espacial lanzado en 2021 cuyas observaciones están transformando nuestra comprensión del cosmos. *"Con el JWST podríamos incluso estudiar la composición de la superficie del planeta",* declara Elsa Ducrot, investigadora del Observatorio de París y participante en el descubrimiento.

"Este hallazgo evidencia la capacidad de SPECULOOS para detectar exoplanetas similares a la Tierra, los cuales sirvan de objetivos para futuros estudios más detallados. Y esto es solo el principio. Pronto, dos nuevos telescopios, Orion y Apolo, se unirán a Artemis en el Observatorio del Teide en Tenerife como parte de la red SPECULOOS, con el fin de acelerar la búsqueda de estos fascinantes planetas", concluye Michaël Gillon, autor principal del artículo.

Descubierto un planeta gigante tan ligero como el algodón de azúcar

EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC) COLIDERA EL ESTUDIO DEL SEGUNDO PLANETA MÁS LIGERO DESCUBIERTO HASTA LA FECHA

Un equipo internacional, coliderado por el investigador del IAA-CSIC Francisco J. Pozuelos, ha descubierto un planeta extraordinariamente ligero en órbita alrededor de una estrella distante de nuestra galaxia. Este descubrimiento, publicado en la revista *Nature Astronomy*, desafía nuestro entendimiento sobre la formación de planetas gigantes y ultraligeros.

El nuevo planeta, denominado WASP-193b, es un 50% más grande que Júpiter, pero su densidad es aproximadamente veinticinco veces menor, un valor extremadamente bajo que sugiere que el planeta es tan etéreo como el algodón de azúcar.

UN PLANETA QUE NO DEBERÍA EXISTIR

WASP-193b es el segundo planeta más ligero descubierto hasta la fecha, solo superado por Kepler 51d, un planeta de tamaño similar a Neptuno. Las dimensiones del planeta recién descubierto, combinadas con su densidad extremadamente baja, hacen de WASP-193b una auténtica rareza entre los más de cinco mil exoplanetas descubiertos hasta la fecha.

“Este tipo de planetas gigantes extremadamente ligeros son muy raros de encontrar”, afirma Julien De Wit, coautor del estudio y profesor adjunto del Departamento de Ciencias de la Tierra, Atmosféricas y Planetarias del MIT. *“Este es un caso extremo de una clase de planetas que se denominan Júpiter ‘hinchados’ o ‘esponjosos’. Los conocemos desde hace quince años, pero siguen siendo un auténtico misterio”.*

“Este planeta desafía todas nuestras actuales teorías de formación planetaria”, comenta el autor del estudio Francisco J. Pozuelos, astrónomo del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). *“No podemos explicar cómo se formó este planeta. Necesitamos observaciones detalladas de su atmósfera para poder entender su evolución”.*

DEMASIADO LIGERO

El nuevo planeta fue descubierto por WASP (*Wide Angle Search for Planets*), una colaboración



internacional que opera conjuntamente dos observatorios robóticos en ambos hemisferios. Cada observatorio emplea un conjunto de cámaras de gran campo para medir el brillo de miles de estrellas individuales en todo el cielo.

A partir de observaciones obtenidas entre 2006 y 2008, y posteriormente entre 2011 y 2012, el observatorio WAPS-Sur detectó disminuciones periódicas en el brillo de WASP-193, una estrella similar al Sol situada a unos 1200 años-luz de la Tierra. El análisis de estos tránsitos periódicos fue consistente con el paso de un gigantesco “super-Júpiter” por delante de la estrella cada 6,25 días. Para calcular la masa del planeta, así como su densidad y posible composición, el equipo empleó el método de las velocidades radiales. Esta técnica analiza las pequeñas oscilaciones en el movimiento de la estrella debido a la atracción de un planeta que orbita a su alrededor. Estas variaciones se reflejan en desplazamientos en la longitud de onda del espectro de la estrella. Cuanto más masivo sea el planeta, mayor será el desplazamiento observado en el espectro de la estrella.

En el caso de WASP-193b, se analizaron espectros de alta resolución de la estrella obtenidos por los espectrógrafos HARPS y CORALIE, ubicados en el observatorio de La Silla, Chile. La sorpresa fue que apenas se detectaron cambios significativos en la velocidad radial de la estrella. *“Lo alucinante es que, a pesar de su descomunal tamaño, este planeta es tan ligero que apenas ejerce una atracción detectable sobre su estrella”,* explica Pozuelos.

“Nos llevó casi cuatro años recopilar todos los datos necesarios para obtener la masa de WASP-193b”, cuenta Khalid Barkaoui, postdoctorado en el MIT, la Universidad

de Lieja y el Instituto de Astrofísica de Canarias, y co-líder del estudio junto con Pozuelos.

“Al principio, las densidades que obteníamos eran tan extraordinariamente bajas que nos costaba creerlas”, comenta Pozuelos. *“Por ello, repetimos el proceso completo de análisis de datos varias veces, empleando diferentes códigos y metodologías, para asegurarnos de que era la densidad real del planeta, por muy inusual que pareciera”.*

COMO EL ALGODÓN DE AZÚCAR

Los cálculos confirman que WASP-193b tiene una masa aproximada de 0,14 veces la de Júpiter y una densidad de 0,059 gramos por centímetro cúbico, considerablemente más baja que la de Júpiter y la Tierra, pero similar a los 0,05 gramos por centímetro cúbico del algodón de azúcar.

“El planeta es tan ligero que resulta difícil imaginar un material análogo en estado sólido”, afirma Julien De Wit, del Massachusetts Institute of Technology. *“La razón por la que se asemeja al algodón de azúcar es porque ambos son prácticamente aire. El planeta es básicamente súper esponjoso”.*

Según los autores, es posible que WASP-193b tenga una atmósfera predominantemente compuesta de hidrógeno y helio, varias decenas de miles de kilómetros más extensa que la atmósfera de Júpiter. En la actualidad, ningún modelo de formación planetaria puede explicar un planeta con una atmósfera de estas proporciones.

“WASP-193b es un gran misterio”, concluye Pozuelos. *“De los pocos planetas ultraligeros conocidos, este es el mejor candidato para ser estudiado por el telescopio espacial James Webb y comprender finalmente cómo puede llegar a formarse un planeta tan liviano como el algodón de azúcar”.*



Cazada una estrella supergigante roja recién colapsada

EL IAA-CSIC PARTICIPA DE ESTE ESTUDIO PUBLICADO EN NATURE A TRAVÉS DE SU RED GLOBAL DE TELESCOPIOS ROBÓTICOS BOOTES

En mayo de 2023, diferentes telescopios distribuidos por todo el planeta registraron la explosión de una estrella supergigante roja situada a 21 millones de años luz de distancia. Se trata de la detección más temprana de un fenómeno de supernova provocado por el colapso del núcleo de la estrella instantes antes de morir. Un equipo de la Universidad de Tsinghua ha analizado todas las observaciones, incluyendo las del telescopio BOOTES-4/MET gestionado por el IAA-CSIC. Los resultados, publicados en la revista Nature, revelan que la estrella había expulsado grandes cantidades de polvo en los años previos a su muerte, lo que originó una densa nube alrededor que atenuó el primer destello de luz de la explosión.

LA FASE FINAL DE UNA ESTRELLA SUPERGIGANTE ROJA

La supernova, conocida como SN2023ixf, se desencadenó cuando la tasa de reacciones de fusión en el núcleo de la estrella supergigante roja - con un diámetro cuatrocientas veces superior al del Sol - disminuyó hasta el punto en que la presión no pudo sostener su propia masa, lo que provocó que el núcleo comenzara a colapsar bajo su propio peso. Este proceso generó una onda de choque que atravesó las distintas capas de la estrella, provocando una combustión descontrolada acompañada de un intenso destello de luz.

“La evolución temporal de las primeras curvas de luz tras la explosión ofrece información clave sobre la naturaleza de la supergigante roja, la propagación de la onda de choque a través de su envoltura, así como el material que rodeaba a la estrella antes de la explosión. Por eso es tan determinante detectar este tipo de fenómenos en sus primeros instantes”, explica Alberto Castro-Tirado, investigador del IAA-CSIC y de la Universidad de Málaga, y uno de los firmantes del trabajo.

OBSERVACIONES AMATEUR Y TELESCOPIOS ROBÓTICOS

A pesar de situarse a 21 millones de años luz de la Tierra - en la galaxia M101 - SN 2023ixf es una de las supernovas más cercanas jamás observadas. Fue detectada por primera vez el 19 de mayo de 2023 por el astrónomo amateur Kōichi Itagaki en Japón, y durante los días posteriores aumentó su brillo antes de comenzar a desvanecerse a partir del 10 de junio. Esta proximidad permitió que muchos astrónomos amateur la pudieran monitorear durante las primeras horas tras la explosión.

Según Xiaofeng Wang, investigador de la Universidad de Tsinghua que ha dirigido la investigación, estas observaciones representan *“la señal más temprana detectada de este tipo de supernovas provocadas por el colapso del núcleo de la estrella”*. El investigador asegura que *“estas observaciones suponen un conjunto de datos tremendamente valioso para la comunidad científica acerca de los primeros instantes tras el fenómeno”*.

Tras recibir la noticia de su detección, el equipo de Wang se puso inmediatamente en contacto con muchos observatorios amateur situados en China, España, Rusia y Estados Unidos. *“Solicitamos las imágenes en bruto obtenidas por multitud de telescopios amateur para poder procesarlas y extraer las señales separadas en las bandas de luz verde, azul y roja”*, explica Wang.

Además de las observaciones proporcionadas por la comunidad astronómica amateur, SN 2023ixf pudo ser monitoreada en sus primeras horas por el telescopio robótico profesional BOOTES-4/MET, ubicado en el Observatorio Astronómico de Lijiang, perteneciente al complejo de observatorios de Kunming en China. Esta estación astronómica forma parte de la red global de telescopios robóticos BOOTES, la primera de este tipo desplegada por un país en los cinco continentes. BOOTES está gestionada por el IAA-CSIC, con una fuerte implicación de la Universidad de Málaga y otras entidades nacionales e internacionales.

“Las observaciones con BOOTES-4/MET comenzaron aproximadamente 1,4 horas después de la explosión, lo que resalta la importancia de contar con una red global de telescopios desplegada en todos los continentes para poder responder de manera inmediata y eficaz tanto a este como a otro tipo de fenómenos transitorios”, explica Alberto Castro-Tirado, investigador líder de la red desde su creación. *“En este caso, pudimos realizar observaciones muy rápidas y de gran calidad de la supernova SN*

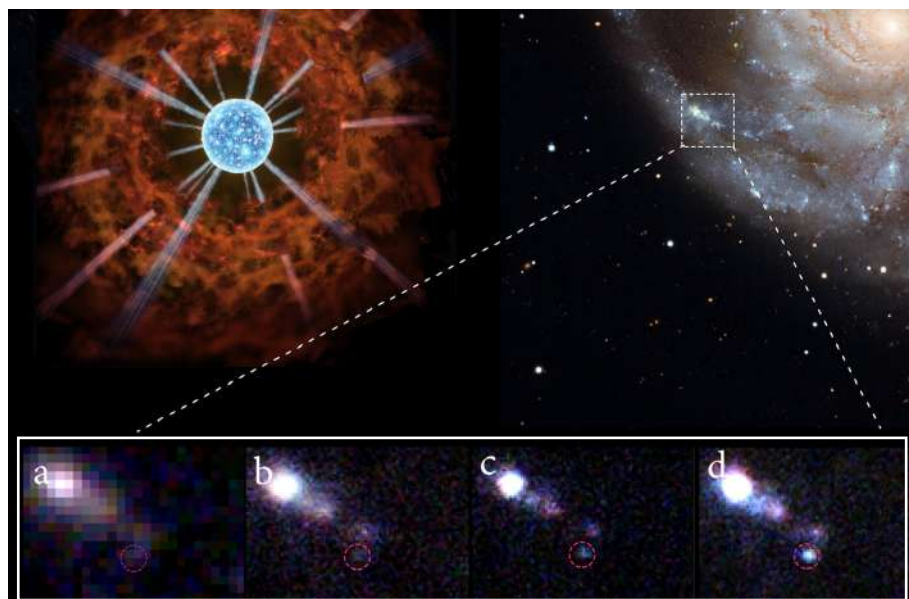
2023ixf, las cuales resultaron ser clave en el análisis posterior”.

UN HALO ROJIZO Y POLVORIENTO

Las primeras curvas de luz de SN 2023ixf evolucionaron rápidamente, en escalas de tiempo de una a dos horas, mostrando un brillo más débil y rojizo de lo anticipado por los modelos teóricos. Para el equipo de investigación, esta atenuación y enrojecimiento en la señal de la supernova durante sus primeras horas sugiere la existencia previa de una espesa capa de polvo rodeando la supergigante roja. Unas cuatro horas después, la radiación procedente de la supernova mostraba el espectro de colores azulado propio de una onda de choque tan energética y caliente, lo que sugiere que la explosión habría destruido finalmente esta envoltura de polvo. *“Esta rápida evolución del rojo al azul en la curva de luz de una supernova es inusual y nunca se había visto antes”,* afirma Wang. Para los autores del trabajo, en las etapas previas a la explosión, la estrella habría estado expulsando polvo hasta generar una cáscara de partículas de varios miles de millones de kilómetros de diámetro y una masa de decenas de miles de veces la masa de la Tierra.

El análisis de las observaciones también sugiere que la explosión pudo no haber sido simétrica o que la nube de polvo no estaba distribuida de manera uniforme en el espacio. Esta última hipótesis sugiere que la estrella podría haber expulsado el material en una serie de erupciones o pulsos irregulares.

Wang afirma que su equipo está llevando a cabo un estudio más detallado de las observaciones de SN 2023ixf, lo que ayudará a proporcionar una estimación más precisa de la masa de la estrella progenitora. Además, potencialmente revelará más detalles sobre la nube de polvo que la rodeaba, así como sobre la síntesis de elementos químicos generados durante la explosión.



Las imágenes a, b, c y d muestran la explosión de supernova de SN 2023ixf (en el círculo rojo) y cómo pasa del rojo al azul en las diferentes observaciones que van del 18 mayo (a-c) al 19 de mayo (d) de 2023. Crédito: Universidad de Tsinghua

Revelados intensos campos magnéticos espirales en el borde del agujero negro del centro de nuestra galaxia

EL IAA-CSIC PARTICIPA DE LA PRIMERA IMAGEN DEL AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO DE NUESTRA GALAXIA EN LUZ POLARIZADA

La colaboración del Telescopio Horizonte de Sucesos (EHT, por sus siglas en inglés) ha presentado la primera imagen en luz polarizada de Sgr A*, el agujero negro supermasivo situado en el centro de nuestra galaxia. Esta imagen revela la presencia de intensos y organizados campos magnéticos que emergen en forma de espiral desde el borde mismo del agujero negro. Esta estructura es similar a la observada en el agujero negro central de la galaxia M87, lo que sugiere que estos campos magnéticos intensos pueden ser comunes a todos los agujeros negros y apunta a la posible existencia de un chorro oculto en Sgr A*, como el existente en M87. Estos resultados han sido publicados en *The Astrophysical Journal Letters*.

INTENSOS CAMPOS MAGNÉTICOS ESPIRALES

En mayo de 2022 la colaboración del Telescopio Horizonte de Sucesos (EHT) presentó la primera imagen de Sgr A*. La imagen de este agujero negro supermasivo, que se encuentra unos 27.000 años luz de la Tierra, mostraba un aspecto sorprendentemente similar a la del agujero negro de la galaxia M87, a pesar de ser mas de mil veces más pequeño y menos masivo que éste. El siguiente paso fue estudiar Sgr A* en luz polarizada. Estudios previos de M87* en este tipo de luz habían confirmado que la presencia de campos magnéticos está relacionada con la emisión de potentes chorros de material hacia el entorno circundante. Basándose en este trabajo, las nuevas imágenes revelaron que lo mismo podría ocurrir con Sgr A*.

“Lo que estamos observando ahora es la presencia de campos magnéticos intensos, retorcidos y organizados cerca del agujero negro en el centro de la Vía Láctea”, afirma Sara Issaoun, investigadora del Programa “Einstein” de Becas Hubble de la NASA en el Centro de Astrofísica | Harvard y Smithsonian, y co-líder del proyecto. “El hecho de que Sgr A exhiba una estructura de polarización sorprendentemente similar a la de un agujero negro mucho más grande y potente como es M87*, nos ha permitido deducir que los campos magnéticos intensos y organizados desempeñan un papel fundamental en la interacción de los agujeros negros con el gas y la materia que los rodea”.*

LUZ POLARIZADA TRAZADORA DE CAMPOS MAGNÉTICOS

La luz es una onda electromagnética oscilante que nos permite percibir los objetos. En ocasiones, esta oscilación se produce en una dirección preferente. Es entonces cuando hablamos de luz polarizada. A pesar de que este tipo de luz es habitual en nuestro día a día, para los ojos humanos resulta indistinguible de la luz no polarizada. En el plasma que rodea a los agujeros negros, las partículas que se giran alrededor de las líneas del campo magnético emiten radiación con un patrón de polarización perpendicular al campo. Esto posibilita observar con mayor detalle lo que está ocurriendo en las regiones de los agujeros negros y trazar las líneas de su campo magnético.

“Las imágenes de luz polarizada del gas incandescente caliente cerca de los agujeros negros nos permiten deducir de manera directa la estructura e intensidad de

los campos magnéticos que atraviesan el flujo de gas y materia que alimenta al agujero negro, así como el que expulsa”, afirma Angelo Ricarte, investigador del Black Hole Initiative Institute de la Universidad de Harvard, y co-líder del proyecto. “La luz polarizada nos ofrece valiosos conocimientos sobre la astrofísica, las propiedades del gas y los mecanismos que ocurren mientras un agujero negro se alimenta.”

UN AGUJERO NEGRO CAMBIANTE Y DINÁMICO

Pero obtener imágenes de agujeros negros con luz polarizada no es tan fácil como ponerse unas gafas de sol polarizadas, y esto es especialmente cierto en el caso de Sgr A*, que cambia tan rápidamente que no se queda quieto para las fotografías. Para obtener imágenes de este agujero negro supermasivo se necesitan herramientas más sofisticadas que las utilizadas anteriormente para capturar M87*, un objetivo mucho más estable.

“Las imágenes de agujeros negros en luz polarizada revelan mucho más de lo que se ve a simple vista, algo así como leer por fin la historia dentro de un libro después de haber visto sólo su portada”, comenta José L. Gómez, Vicepresidente del Consejo Científico del EHT y líder del grupo EHT en el Instituto de Astrofísica de Andalucía. “Sin embargo, debido a que Sgr A está en constante movimiento, obtener incluso la imagen no polarizada resultó ser un inmenso desafío. Por ello, nos sentimos aliviados al comprobar que si era posible obtener una imagen polarizada, lo que nos permite echar un vistazo por primera vez a los campos magnéticos que se arremolinan alrededor del agujero negro central de nuestra galaxia”, añade.*

AGUJEROS NEGROS UNIVERSALES

Contar con imágenes y datos de ambos agujeros negros supermasivos en luz no polarizada abre nuevas oportunidades para comparar y contrastar agujeros negros de distintos tamaños y masas.

A medida que la tecnología avanza, es probable que estas imágenes revelen aún más secretos sobre los agujeros negros y sus posibles similitudes o diferencias.

“El patrón de polarización ofrece una oportunidad única para desentrañar los misterios de la estructura del espaciotiempo y explorar la existencia de un débil chorro cerca de Sgr A, abordando una cuestión que ha desafiado a los científicos durante años”, explica Kotaro Moriyama, investigador postdoctoral en el IAA-CSIC y uno de los coordinadores del Grupo de Trabajo de Imágenes del EHT. “Este hito tendrá un impacto significativo en la mejora de los modelos teóricos y las simulaciones, así como en los futuros planes de observación del EHT, ayudando a nuestra comprensión más profunda del comportamiento de la materia en las proximidades de los agujeros negros”, añade.*

El EHT ha llevado a cabo varias observaciones de Sgr A* desde 2017, la última a principios de 2024. Cada año, las imágenes mejoran a medida que el EHT incorpora nuevos telescopios, un mayor ancho de banda y nuevas frecuencias de observación. Las expansiones previstas para la próxima década permitirán obtener películas de Sgr A* con una alta fiabilidad, lo que podría revelar la presencia de un chorro oculto y permitir a los astrónomos observar características de polarización similares en otros agujeros negros. Mientras tanto, la ampliación del EHT al espacio proporcionará imágenes de los agujeros negros más nítidas que nunca.

Un avance clave para el EHT es la incorporación de una nueva antena en el Observatorio del Teide en las Islas Canarias, un proyecto liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Esta nueva antena mejorará significativamente la sensibilidad del EHT, lo que es crucial para producir las primeras películas de agujeros negros. Además, el equipo del IAA está liderando dentro del EHT el desarrollo de algoritmos de última generación que son esenciales para la producción de estas primeras películas de agujeros negros.

Agujero negro supermasivo Sagitario A en luz polarizada. Esta es la primera vez que se ha sido capaz de medir la polarización, una firma de los campos magnéticos, tan cerca del borde de Sagitario A*. Las líneas marcan la orientación de la polarización, que está relacionada con el campo magnético alrededor de la sombra del agujero negro.*
Crédito: Colaboración EHT

Los agujeros negros estelares

PILARES

¿QUÉ SABEMOS DE LAS MASAS DE LOS AGUJEROS NEGROS ESTELARES?

Los agujeros negros estelares son los remanentes que quedan al final de la vida de estrellas que nacen con una masa mayor que ocho veces la del Sol. Estas terminan su vida en una supernova, una violenta explosión que eyecta las capas exteriores de la estrella al espacio, mientras su núcleo colapsa y forma un objeto extremadamente denso.

Durante este proceso, toda la materia atómica del núcleo se transforma en neutrones. Si tras la explosión la masa del núcleo remanente es menor que aproximadamente dos masas solares, su colapso es detenido por la llamada presión de degeneración cuántica generada por dichos neutrones.

En este caso, se forma un objeto que designamos como estrella de neutrones, con un diámetro de unos 25 km y una densidad media de alrededor de 5×10^{11} kg/cm³, similar a la de un núcleo atómico. Un trozo de una estrella de neutrones del tamaño de un grano de azúcar (~1 mm³) tendría una masa equivalente a la de un portaaviones moderno (100.000 toneladas).

Sin embargo, cuando una estrella nace con una masa superior a unas 25 masas solares, el núcleo remanente es tan masivo, que la degeneración cuántica de los neutrones no puede parar su colapso.

El resultado es un agujero negro estelar, un objeto tan denso que, según la Relatividad General, toda su masa se concentra en un punto o singularidad. Esto deforma el espacio-tiempo de tal manera que aparece un horizonte de sucesos alrededor. A partir de una cierta distancia (unos 3 km por masa solar), nada puede escapar de su campo gravitatorio.

Se estima que a lo largo de la vida de la Vía Láctea se han formado unos cien millones de agujeros negros estelares. Poder determinar sus masas sería de gran ayuda para mejorar nuestro entendimiento de la evolución de las estrellas masivas y de cómo terminan su vida.

Desgraciadamente, por su propia naturaleza, descubrir agujeros negros y medir sus masas supone un gran desafío. Hasta hace unos diez años, la única manera era detectarlos a través de la radiación electromagnética emitida por la acreción de materia procedente de una estrella compañera. Antes de desaparecer tras el horizonte de sucesos, el plasma estelar que cae al agujero negro se calienta a temperaturas de varios millones de kelvin, emitiendo radiación principalmente en el rango de los rayos X. Este tipo de objetos se denominan binarias de rayos X y una vez detectadas, se puede emplear la espectroscopia óptica para estudiar la órbita de la estrella acompañante, y así determinar la masa del agujero negro.

Es un proceso largo y difícil y hasta el día de hoy solo se han obtenido estimaciones de las masas de 28 agujeros negros de esta manera (23 en la Vía Láctea y 5 en galaxias cercanas). Todos estos agujeros negros tienen masas entre aproximadamente 5 y 20 veces la del Sol.

Nuestra capacidad de estudiar agujeros negros mejoró radicalmente en el año 2015, cuando se detectaron por primera vez las ondas gravitacionales emitidas en la fusión de dos agujeros negros para formar uno más grande y masivo. Así se abrió una ventana observacional completamente nueva hacia el cosmos. Este descubrimiento fue tan transformador que fue galardonado con el Premio Nobel en Física en 2017.

Pero la probabilidad de observar la fusión de dos agujeros negros es muy baja. Esto se debe a varios factores. Para empezar, debe formarse un agujero negro binario, lo cual ya es poco frecuente. Además, el tiempo necesario para que estos se acerquen lo suficiente es típicamente de miles de millones de años. Esta es la principal razón por la cual las fusiones de agujeros negros observadas hasta la fecha han ocurrido en otras galaxias, a distancias de hasta aproximadamente 300 millones de años luz.

Desde la primera detección se han observado más de una docena de tales eventos. Sorprendentemente, las masas de los primeros agujeros negros descubiertos de esta manera eran significativamente más altas que las de las detecciones electromagnéticas, como se puede ver en la figura.

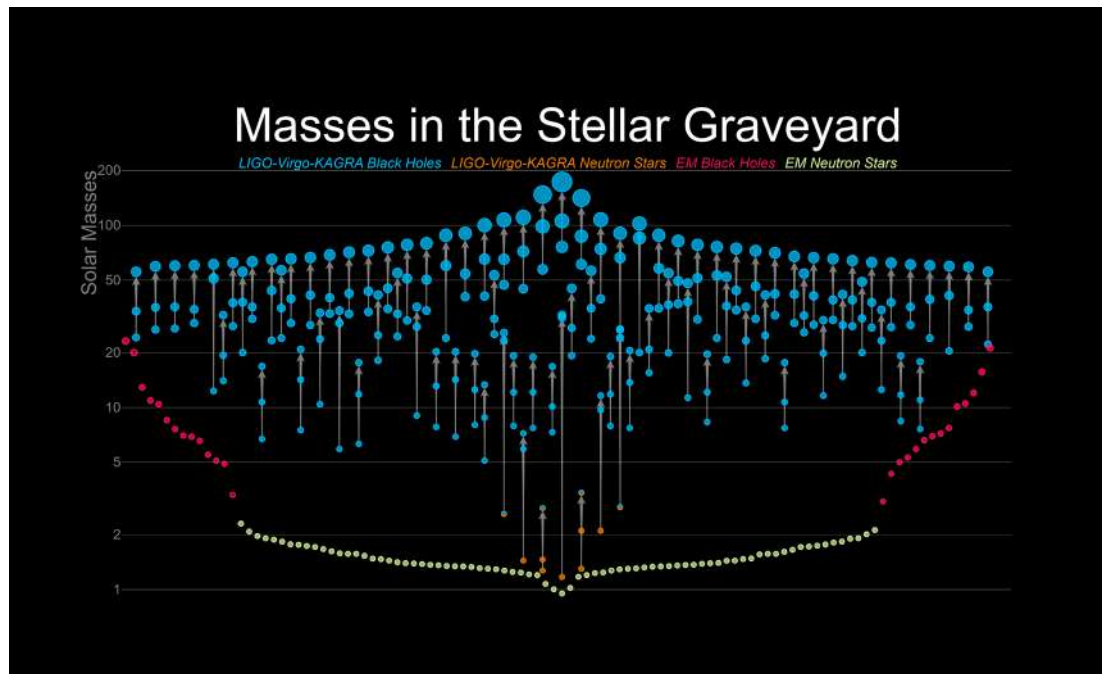


INCERTIDUMBRES

Las masas en el cementerio estelar

Esta imagen ilustra las masas de los agujeros negros y las estrellas de neutrones medidas hasta el momento. Azul y naranja: masas medidas a través de observaciones de ondas gravitatorias. Rojo y amarillo: masas medidas a través de observaciones de emisiones electromagnéticas. Esta imagen contiene todos los eventos detectados hasta finales de Marzo 2020.

Crédito:
LIGO-Virgo / Aaron Geller / Northwestern University



¿CUÁL ES EL ORIGEN DE LOS AGUJEROS NEGROS ESTELARES DE ALTA MASA DETECTADOS POR LOS DETECTORES DE ONDAS GRAVITACIONALES?

Al examinar la figura podemos comprobar que, por lo general, la masa de los agujeros negros detectados por ondas gravitacionales (puntos azules) es significativamente superior al más masivo detectado en la Vía Láctea mediante radiación electromagnética (puntos rojos).

Una posible explicación a esta diferencia puede estar en el alto contenido de metales en las estrellas de la Vía Láctea (Nota: en astrofísica se denomina a todos los elementos más pesados que el helio como “metales”).

El motivo es que las estrellas masivas pierden una gran fracción de su masa a través de vientos estelares, cuya intensidad depende del contenido de metales de la estrella. Cuanto más metales contiene, más masa pueden perder mediante los vientos. Este efecto limita la masa de la estrella antes de que explote como una supernova. Por esta razón, las estrellas de baja metalicidad retienen una masa significativamente más alta al final de sus vidas y pueden formar agujeros negros más masivos que las estrellas con alto contenido de metales. La metalicidad de las estrellas se mide en relación con la del Sol y en nuestra galaxia varía típicamente entre una décima parte y el doble de la del Sol. Este rango puede explicar por qué hasta ahora hemos detectado solo agujeros negros relativamente ligeros en nuestra galaxia.

Un reciente descubrimiento publicado en abril de 2024 parece confirmar este argumento. Se trata del sistema binario Gaia BH3, situado a una distancia de tan solo 1900 años luz del Sol. Con 33 masas solares, es el agujero negro más masivo detectado en la Vía Láctea hasta el momento. Aún más interesante, su estrella acompañante tiene una metalicidad de menos de una centésima parte del valor del Sol, un nivel tan bajo que solo lo alcanza una entre 10.000 estrellas en la vecindad solar. Este descubrimiento se debe a la misión Gaia, un telescopio espacial europeo capaz de medir las distancias y movimientos de unos mil millones de estrellas de nuestra galaxia con altísima precisión.

Los datos de Gaia permiten abrir un nuevo camino para detectar agujeros negros en la Vía Láctea que formen parte de un sistema binario

con una estrella, incluso si no emiten radiación en rayos X, al detectar cómo esta orbita en el campo gravitatorio del agujero negro.

Si Gaia BH3 y su estrella acompañante se formaron en el mismo entorno, entonces la progenitora del agujero negro también era una estrella con un contenido de metales muy bajo. Esto implica que no debió perder mucha materia por efecto del viento estelar, originando así un agujero negro muy masivo de acuerdo con la hipótesis mencionada anteriormente.

¿CUÁL ES LA MASA MÍNIMA DE LOS AGUJEROS NEGROS ESTELARES?

En cuanto a la masa mínima que puede tener un agujero negro estelar, hasta hace poco se consideraba que existe un salto de masas entre las estrellas de neutrones más masivas - aproximadamente dos masas solares - y los agujeros negros más ligeros - alrededor de cinco masas solares. Sin embargo, en mayo de 2023, la colaboración de detectores de ondas gravitatorias LIGO-Virgo-KAGRA detectó un posible agujero negro con una masa entre 2.5 y 4.5 veces la masa del Sol. Con más detecciones de esta naturaleza en el futuro, cabe la posibilidad de que finalmente exista una transición suave en el valor de las masas de estos dos tipos de objetos. Sin embargo, al interpretar estos futuros datos, será necesario considerar que los agujeros negros de muy baja masa también pueden formarse tras la fusión de dos estrellas de neutrones. En este caso, serían objetos secundarios que no se habrían formado directamente a partir del colapso de una estrella masiva.

¿EXISTEN AGUJEROS NEGROS DE MASAS TAN BAJAS, QUE NO PODRÍAN HABERSE FORMADO COMO RESULTADO DE UNA SUPERNOVA?

Finalmente, otra frontera de enorme interés es la posibilidad de descubrir agujeros negros con masas más pequeñas que las de las estrellas de neutrones. Dado que estos no podrían haberse formado a partir de estrellas, se cree que podrían haber surgido como objetos primordiales en los primeros momentos del Universo. La búsqueda continúa.

JÓVENES MIRADAS

EL PROYECTO PIISA DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA



El proyecto PIISA surge de la colaboración entre la Delegación de Educación en Granada, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad de Granada (UGR) con el fin de ofrecer al alumnado granadino de secundaria una forma moderna e innovadora de aprender e interactuar con la ciencia.

Su principal objetivo es mostrar al alumnado de secundaria qué es la investigación y cómo se realiza. Se les ofrece la oportunidad de involucrarse en proyectos liderados por investigadores e investigadoras de reconocido prestigio, y conocer de primera mano en qué consiste el método científico y cómo es el proceso de investigación, algo que les permitirá explorar su posible vocación por una carrera científica.



Durante el proyecto, los y las estudiantes, tutorizados por sus profesores, trabajan con instrumental científico y técnico y conocen de primera mano por qué la Ciencia es fundamental para el desarrollo social y económico de un país. El esfuerzo y la imaginación de los investigadores e investigadoras a la hora de diseñar proyectos se traslada al marco de un proyecto educativo que se desarrolla fuera de las aulas, en los propios centros de investigación.

Las instituciones científicas de Granada ponen todo su potencial humano y técnico a un proyecto por el que ya han pasado más de 2000 alumnos de 35 institutos que han participado en más de 250 proyectos liderados por 400 científicos de la Universidad de Granada y del CSIC. Los resultados finales de este trabajo han formado parte de contribuciones orales y pósters de cinco ediciones del Congreso Final PIISA.

Los resultados de PIISA se verán con el tiempo, pero, sin duda, se ha consolidado como una manera única y excepcional de fomentar vocaciones científicas, así como de una manera innovadora de complementar el trabajo en clase.

El Instituto de Astrofísica de Andalucía participa en este proyecto todos los años y, para 2024, hemos desarrollado en nuestro centro cinco proyectos, ideados por nuestros investigadores e investigadoras. El 21 de mayo se celebró en el Parque de las Ciencias el Congreso Final PIISA 2024, en el que se presentaron los resultados de estos proyectos, llevados a cabo por estudiantes de secundaria de diversos centros granadinos, y, ahora, os queremos mostrar en qué han estado trabajando durante meses.

INVESTIGANDO LA FRONTERA DEL UNIVERSO OBSERVABLE

Rubén Sánchez Ramírez, Ignacio Pérez García (IAA-CSIC)

José Antonio Rodríguez Jiménez, María Cabrera García, Inés Díaz Prados, Adriana Garciolo Domínguez, Custodia González Heredia, Guillermo Maya Barranco, Izan Montes Fernández, Germán Ramírez Muro y Georgina Torrecilla Martín (IES Antigua Sexi de Almuñécar)

Nos adentramos en la astronomía investigando acerca de las fronteras del universo observable para comprobar la evolución del medio intergaláctico a lo largo de la historia del universo y, para ello, analizamos la luz procedente de diferentes cuásares a diferentes redshift.

En el medio intergaláctico el hidrógeno neutro pasa al estado ionizado conforme capta la luz procedente de las galaxias, de tal manera que entre nosotros y las galaxias más lejanas habrá más medio intergaláctico y menos ratio de hidrógeno ionizado. Si definimos la transmisión como la cantidad de fotones que nos llega, i.e. que podemos captar en la Tierra, podemos inferir que cuanto más lejana está la galaxia, menor es la transmisión.

En resumen, hay que tener en cuenta varias premisas:

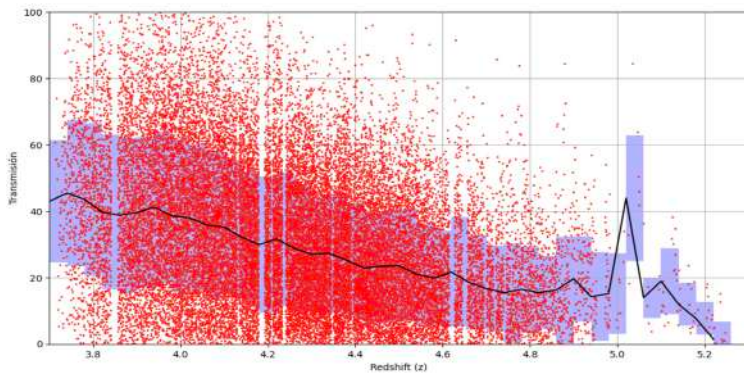
- En el espacio hay hidrógeno sin ionizar.
- La luz de los cuásares ioniza el hidrógeno dejando pasar más luz.
- El espectro electromagnético de los cuásares se desplaza al rojo como consecuencia de la expansión del universo
- Mayor desplazamiento al rojo, más lejana es la galaxia.

En nuestro método de trabajo hemos utilizado los espectros de diferentes cuásares procedentes del Sloan Digital Sky Survey (SDSS), una instalación que ha explorado una cuarta parte del cielo. Entre sus estudios sistemáticos, el Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS), el estudio espectroscópico de oscilación bariónica, utiliza los cuásares para cartografiar las variaciones en la densidad del gas intergaláctico a grandes distancias.

Utilizando TOPCAT, una herramienta para hacer gráficos de datos, manipulación y análisis de tablas, hemos comparado las longitudes de onda de las líneas espectrales emitidas por los cuásares con las longitudes de onda esperadas.

En la figura representamos el redshift de distintos cuásares frente a su transmisión y, a partir de este análisis, llegamos a la conclusión de que, cuanto menos redshift, encontramos más transmisión.





Correlación entre redshift y transmisión en cuásares del SDSS (Sloan Digital Sky Survey). La gráfica muestra la relación entre el redshift (z) y el porcentaje de transmisión de fotones procedentes de cuásares a diferentes distancias. Los datos revelan que cuásares con mayor redshift, que corresponden a galaxias más lejanas y a épocas más tempranas del universo, muestran una menor transmisión de luz debido a la mayor cantidad de hidrógeno neutro en el medio intergaláctico.

En el resultado de nuestra investigación podemos observar que los cuásares más lejanos (los más desplazados al rojo) tienen una transmisión menor y cuando miramos cuásares más cercanos, los estamos viendo en un universo más evolucionado, por lo cual hay más hidrógeno ionizado y más transmisión. A medida que miramos más atrás en el tiempo, la transmisión de luz disminuye debido a la mayor presencia de hidrógeno no ionizado.

En conclusión, nuestra investigación nos ha llevado a comprender mejor la historia del universo usando como candelas estándares a los cuásares. Estos hallazgos no solo dan validez a las teorías actuales sobre la expansión del universo y su evolución química, sino que también abren nuevas ventanas a la comprensión de nuestra historia en el universo.

ESTRELLAS PULSANTES RR LYRAE: LOS FAROS DEL UNIVERSO

Sebastiano de Franciscis, Susana Martín-Ruiz, Alfredo Sota (IAA-CSIC)

Xieya Chen, Guillermo Martínez, José Antonio Martín, Javier Baquero, Matias Margutti, Mario Escobar, Alexis Lemaître, Israel Navarro, Miguel Ángel Clemente Cayuela (Colegio Concertado Juan XXIII Zaidín, Granada)



Las RR Lyrae son estrellas variables con pulsaciones radiales de periodo entre 0,2 y 1,2 días. Estas pulsaciones se dan a raíz de una inestabilidad en las capas más externas de la estrella que las hacen variar de magnitud de manera periódica. También reciben el nombre de “variables de cúmulo”, lo cual cobrará sentido más adelante.

Nuestro proyecto estaba enfocado en determinar a qué distancia están estas estrellas y, para ello, hemos trabajado con las relaciones entre magnitud absoluta, magnitud aparente, periodo de pulsación y distancia.

Para nuestra investigación nos hemos basado en el estudio “On the RR Lyrae stars in globulars. IV. ω Centauri optical UBVRI photometry” (V. F. Braga *et al.*, 2016), en el cual los autores determinan para las RR Lyrae una relación periodo magnitud del tipo $M = a + b \log(P)$ en el filtro fotométrico I. Nos centramos en este trabajo, ya que el filtro I es uno de los filtros disponibles en el Observatorio de Sierra Nevada (OSN), el cual asignó para nuestro proyecto

algunas horas de observación durante 4 noches grises, desde el 30 de enero hasta el 2 de febrero. Además, con este filtro, la contribución de la metalicidad de las estrellas se hace despreciable, ya que esta es tanto más insignificante cuanto más nos acercamos al infrarrojo.

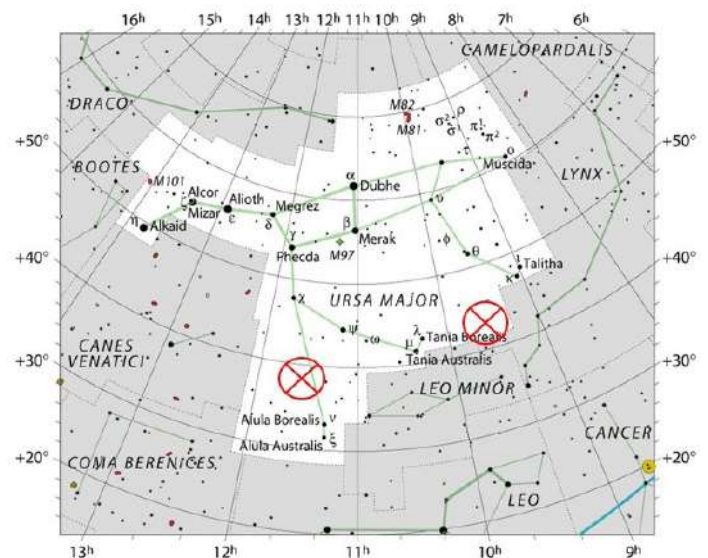
Durante las noches asignadas se observaron, con la cámara CCD (filtro I) del telescopio de 90 cm, dos estrellas variables RR Lyrae de catálogo, la V0373 UMa y la Mu UMa, estrellas que, como indica el sufijo, pertenecen a la constelación de la Osa Mayor.

Los datos se han procesado posteriormente con el software de fotometría diferencial FotoDif. Mediante este programa pudimos comparar el brillo de nuestras estrellas variables con otras estrellas constantes del mismo campo, para obtener el periodo de pulsación. El valor del periodo fue tomado por varios subgrupos por lo que se hizo una media directa entre todos los valores obtenidos y el error cuadrático de las desviaciones estándar que venían con cada resultado. Con esto obtuvimos que el periodo de V0373 UMa es de 0.26799 días, mientras el de Mu UMa de 0.2656 días y, mediante la relación periodo-luminosidad, sus magnitudes absolutas, las cuales son de 14.181 mag y 14.187 mag, respectivamente.

Para la magnitud aparente se dedicó una noche a observar, en los filtros UVBI, tres campos estándares de Landolt (SA29, PG1126, GD310) cercanos a nuestras estrellas variables. Se trata de conjuntos de estrellas catalogadas con las cuales, al comparar su magnitud visual, podemos obtener las de V0373 y Mu. Posteriormente fue necesario calibrar las imágenes tomadas de los campos mediante el software de reducción de datos IRAF y haciendo que queden lo más limpias posible empleando un “flat frame”. Las magnitudes aparentes obtenidas fueron $m(\text{Mu UMa}) = 11.459$ mag y $m(\text{V0373}) = 12.115$ mag.

Una vez conseguidas las magnitudes y el periodo quedaba la guinda del pastel: determinar finalmente la distancia. Para ello se empleó la relación que liga magnitud absoluta, magnitud aparente y distancia, $M = m - 5 \cdot \log_{10}(-d_{\text{pc}}) + 5$. Como resultado, se obtuvieron unas distancias de 2.85 pc para la Mu UMa (9.29 años luz) y 3.86 pc para la V0373 UMa (1.6 años luz).

La determinación de las distancias de las RR Lyrae es más que un simple resultado: nos ayuda a conocer la distancia a la que están los cúmulos globulares del halo de nuestra galaxia a los que pertenecen estas estrellas, de ahí el término “variables de cúmulo”. Esta es la razón por la que son conocidas como “los faros del universo”.



Localización de las estrellas RR Lyrae: MU UMa (izquierda), y V0373 UMa (derecha), en la constelación de la Osa Mayor.

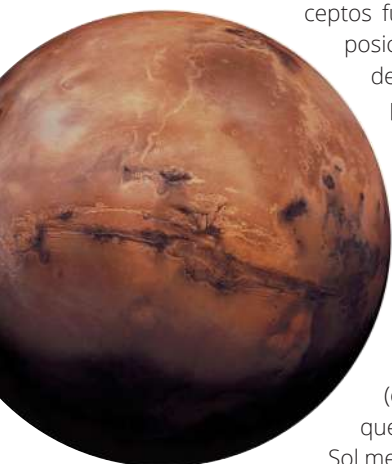
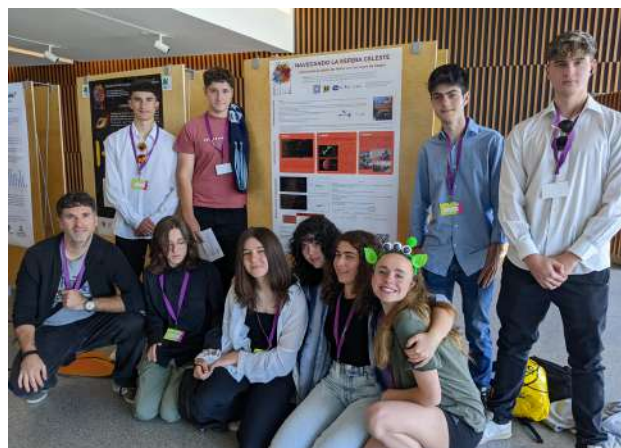
NAVEGANDO LA ESFERA CELESTE

Clara Cabanillas de la Casa, Celia Navas Martin (IAA-CSIC)

Ángela Bueno Durán, Sofía Fernández Palos, Esdras Gálvez Martínez, Sara Gómez Saez, Enrique Insa Ponce de León, Francisco Mas Bautista, Pablo Olmedo Medina, Andrea Perea Vera, Carmen Rosino Vilchez, Alexandru Villalobos Carbonaru (IES Fray Luis de Granada)

La astronomía de posición es la rama de la astronomía observacional encargada de localizar cuerpos en la esfera celeste. Es la rama más antigua, datando del 190 AC, cuando Hiparco desarrolló los primeros catálogos estelares. Su estudio ha revolucionado nuestra visión geocéntrica y antropocéntrica del mundo y nos ha permitido comprender la vastedad del universo y nuestro lugar en él. Actualmente, sigue siendo fundamental para cualquier observación astronómica, así como para nuestra noción y definición del tiempo.

Como primera aproximación a la investigación en astronomía, el alumnado del IES Fray Luis de Granada han participado en esta edición del PIISA con el proyecto: "Navegando la esfera celeste", aprendiendo los conceptos fundamentales de astronomía observacional y de posición. Para ello emplearon *Stellarium*, un software de planetario de código abierto para computadora personal. Mediante simulaciones del cielo, obtuvieron medidas astrométricas con las que caracterizaron la dinámica y propiedades físicas de astros y cuerpos del sistema solar.



Los alumnos y alumnas se centraron en el estudio del planeta Marte, que es el planeta con órbita externa más cercano a la Tierra. Para ello, analizaron el fenómeno de movimiento retrógrado, por el cual la trayectoria aparente de un planeta de órbita externa a la Tierra parece trazar un lazo en el firmamento, en lugar de un simple arco. El tiempo transcurrido entre la fase central del movimiento retrógrado en 2 ciclos seguidos del planeta Marte es igual a su periodo sinódico, definido como el tiempo que tarda un objeto en volver a aparecer en un mismo punto del cielo cuando se observa desde la Tierra. Para el caso de Marte, resultó ser de 2 años, 1 mes, 13 días (entre el 05/12/2022 y el 18/1/2025). El periodo sinódico de un planeta depende del periodo sidéreo, i.e. el tiempo que tarda en darle una vuelta al Sol. Finalmente, el periodo sidéreo está directamente relacionado con la distancia al Sol mediante la tercera ley de Kepler. En esta investigación se obtuvo una distancia Marte-Sol de 1.5 UA (Unidades Astronómicas), siendo 1.526 UA el valor más preciso medido y aceptado actualmente.

La exactitud de este procedimiento puramente observacional valida nuestros conocimientos teóricos sobre la dinámica celeste. Después de esta experiencia los y las estudiantes deben tener las competencias necesarias para planificar sus propias observaciones de objetos celestes, y para acceder y consultar las bases de datos públicas en las que hallar parámetros complementarios para su estudio.

En particular, a finales del año 2025, coincidirá el punto de mayor aproximación de Marte a nuestro planeta con las fases centrales de su movimiento retrógrado. Habiendo calculado ya su periodo de visibilidad desde Granada, sólo nos queda salir y observar el cielo, y paso a paso aprender más, y crecer, hasta convertirnos en verdaderos astrónomos.

BUSCANDO UN NUEVO HOGAR: CAMINO A PRÓXIMA CENTAURI

Gerardo García-Moreno, Daniel Guirado, Roberto Varas González (IAA-CSIC)

Eduardo Antúnez Ruiz, Pablo Castillo Mancilla, Jorge González Hernández, Pablo González Román, Mouad Kabich, Ángel Pineda Martín, María del Mar Rodríguez Rubio, Sergio Daniel Rodríguez Zevakhin (IES Francisco Giner de los Ríos de Motril)



El objetivo de nuestro proyecto PIISA 2024 ha consistido en la búsqueda de exoplanetas habitables y el análisis de cuáles son las limitaciones fundamentales y tecnológicas que se presentan cuando nos planteamos la posibilidad de viajar a ellos. En particular, hemos centrado el estudio en el sistema Alfa Centauri, que es el sistema estelar más próximo a la Tierra.

El sistema Alfa Centauri se encuentra a una distancia de 4,36 años luz. Es un sistema múltiple formado por tres estrellas orbitando entre ellas. Dos de las estrellas, llamadas Alfa Centauri A y B, orbitan la una alrededor de la otra en un sistema binario, mientras que Alfa Centauri C (más conocida como Próxima Centauri), orbita a una gran distancia de estas dos primeras, a unos 0,21 años luz.

Existen tres candidatos a exoplanetas orbitando Próxima Centauri: Alfa Centauri b, c y d. Sin embargo, no se ha detectado de momento ningún planeta orbitando Alfa Centauri A o B. Tanto Alfa Centauri b como Alfa Centauri d están en la zona de

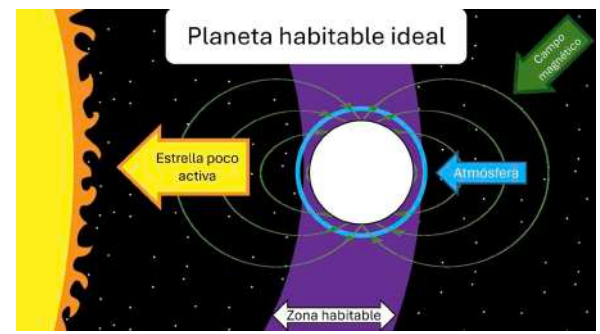
habitabilidad: esto quiere decir que están a una distancia de la estrella que es compatible con la presencia de agua líquida. En regiones más cercanas a la estrella, en la región interna a la zona de habitabilidad (ver Figura) la temperatura es demasiado alta para que el agua esté en estado líquido y, en regiones más alejadas de la estrella, la región externa a la zona de habitabilidad, la temperatura es demasiado baja. En particular, Alfa Centauri d está cerca de la frontera interior de la región de habitabilidad y presenta condiciones algo más extremas que Alfa Centauri b. Para que estos planetas fueran habitables, la estrella en torno a la que orbitan debe ser estable: es decir, el flujo de energía que emite debe ser más o menos continuo en el tiempo. Próxima Centauri es una estrella enana roja estable, aunque menos brillante y más fría que el Sol.

Adicionalmente, sería necesario también que estos planetas cuenten con un campo magnético que permita desviar los vientos estelares generados por la estrella y una atmósfera que permita mantener la temperatura del planeta estable. A día de hoy, desconocemos si alguno de estos planetas tiene campo magnético o atmósfera, por lo que aún no sabemos si sería posible habitarlos.

Analicemos ahora las posibilidades para realizar un viaje hacia estos exoplanetas. La primera opción que podríamos plantearnos consistiría en viajar a velocidad constante teniendo en cuenta la velocidad máxima que alcanzan las naves actuales, unos 60.000 km/h (que es la velocidad aproximada a la que viaja la sonda Voyager 1), tardaríamos aproximadamente 77.000 años. El problema de ir a velocidad constante, es que estaríamos flotando en ingravidez un tiempo que supera nuestras posibilidades de supervivencia y nuestros cuerpos se atrofiarían debido a la aparición de problemas cardiovasculares, pérdida de masa muscular y ósea, etc.

La segunda opción para solventar este problema consistiría en acelerar a $9,8 \text{ m/s}^2$ para crear una gravedad artificial que nos permitiera sobrevivir al viaje. Haciendo el cálculo con la física tradicional newtoniana (no relativista) tardaríamos únicamente 2,86 años, un periodo razonable. Sin embargo, como la velocidad crece constantemente, llegará un punto en el que superaremos la velocidad de la luz, cosa que, según las leyes de la relatividad especial de Einstein, no es posible. Si se repite el cálculo utilizando la física relativista de Einstein, llegamos a la conclusión de que tardaríamos 450 años y nunca alcanzaremos la velocidad de la luz, lo cual sigue siendo una cantidad de tiempo inviable.

Por tanto, por una parte, encontramos que, a pesar de ser los candidatos más cercanos a nosotros, aún no sabemos si los exoplanetas del sistema Alfa Centauri son habitables o no, porque desconocemos si tienen campo magnético o atmósfera. Y, por otro lado, la relatividad especial pone limitaciones fundamentales al tiempo que tardaríamos en llegar a estos exoplanetas. Quizás en el futuro podamos inventar alguna tecnología que nos permita llegar a otros exoplanetas, como el motor de curvatura propuesto en la serie *Star Trek*, que deforma el propio espaciotiempo a voluntad utilizando la relatividad general de Einstein. Mientras tanto, debemos centrarnos en seguir investigando para desarrollar nuevas tecnologías y descubrir los secretos del universo.



NUESTRO ENTORNO ELECTROMAGNÉTICO: ¿PODEMOS SENTIR EN GRANADA UNA TORMENTA EN ÁFRICA?

Alejandro Luque Estepa, Alejandro Malagón Romero, Francisco Manuel Bayo Muñoz (IAA-CSIC)
Paula Ballesteros García, Paula Lozano García, Lucía Espinosa Callejo, África Bouallal Pulido, Sofía Parrilla Fuentes, Boyuan Zheng,
Abril Angulo Madrid, Irene Rodríguez La ella (IES Francisco Ayala de Granada)



La radiación electromagnética nos rodea y familiarizarnos con ella es cada vez más importante para entender el mundo natural así como muchas de las tecnologías que empleamos cada día. ¿Qué distingue y qué asemeja fenómenos como los rayos X, la luz visible y las ondas de radio? ¿Cómo nacen y a qué velocidad viajan estas señales? Estas son algunas de las preguntas que abordamos en nuestro proyecto.

Como hilo conductor de nuestra investigación, nos centramos en el funcionamiento de las redes meteorológicas que monitorizan la presencia de ondas electromagnéticas para detectar rayos de tormenta. Un rayo es, esencialmente, una descarga eléctrica que mueve una gran cantidad de carga; por ello está siempre asociado a la emisión de un pulso electromagnético. A cientos o incluso miles de kilómetros del rayo una antena, incluso rudimentaria, puede detectar este pulso. Es más, si disponemos de varias antenas y sabemos combinar sus señales, podremos encontrar con cierta

precisión el desafortunado lugar que recibió el impacto del rayo.

Hemos empezado nuestro trabajo buscando la forma de medir y caracterizar nuestro entorno electromagnético, mediante la conexión de una antena a un ordenador portátil. Una posibilidad nos la ofreció la entrada de audio, es decir, la conexión a un micrófono, de la que aún disponen algunos ordenadores. Hicimos pruebas también con un conversor analógico-digital, implementado en una placa Arduino. Además de detectar la presencia de campos electromagnéticos a nuestro alrededor, en nuestras sesiones nos familiarizamos con los conceptos de frecuencia y espectro de una señal, estudiando sus analogías con las señales de sonido.

En una segunda fase de nuestro estudio hicimos uso de la velocidad de propagación de las señales para medir distancias.

La velocidad de propagación de la radiación electromagnética, unos 300.000 km/s, dificulta su análisis y observación con materiales fácilmente accesibles. Sin embargo, el sonido se propaga con una velocidad de apenas 300 m/s, lo que nos permite medir distancias de algunos metros sin otro accesorio que las grabadoras de los teléfonos móviles.

En nuestro setting experimental situamos tres teléfonos móviles en los vértices de un triángulo y, haciendo explotar globos, que son, a la par de los rayos, emisores de sonidos suficientemente intensos y repentinos, pudimos medir las longitudes de los tres lados del triángulo. Tras introducir el concepto de trilateración y usando unas fórmulas de cálculo geométrico, pudimos poner a prueba este método sobre el terreno, localizando la posición del limonero del patio del IAA.

En nuestro proyecto también encontramos dificultades. No hubo tormentas cercanas durante las mañanas en que montamos nuestros detectores así que no detectamos señales provenientes de rayos. Estos contratiempos son también una parte sustancial de la investigación científica.

Esperamos que en cualquier caso nuestra actividad pueda motivar a otros estudiantes de secundaria a conocer mejor nuestro entorno electromagnético.

Dispositivo rudimentario de detección de ondas de radio, en el que conectamos un objeto metálico plano que actúa como antena a una placa Arduino.



HISTORIAS

Beatrice Hill Tinsley, la lucha entre la familia y la profesión

Beatrice Hill Tinsley (1941-1981) fue una astrónoma británica, que creció y se educó en Nueva Zelanda. Estudió en escuelas para chicas, siempre obteniendo las máximas calificaciones, tanto en los estudios reglados como en sus estudios musicales de violín y en idiomas.

A los 17 años ingresó en la Universidad de Canterbury, obteniendo el doble grado de Matemáticas y Física. En 1961 se casó con el profesor de física Brian Tinsley y en 1963 se trasladaron a Estados Unidos a la Universidad de Texas en Dallas, donde a Brian le ofrecieron un puesto en el Centro Suroeste para Estudios Avanzados (SCAS, por sus siglas en Inglés). Sin embargo, Tinsley nunca fue considerada para un puesto decente, a pesar de ser más brillante que su esposo, para preservar a la Universidad de practicar políticas de favoritismo con las esposas. La única posibilidad que tuvo durante el desarrollo de su trabajo de investigación fue aceptar trabajo a media jornada en el departamento de astronomía de Austin, a 300 kilómetros de su casa (¡¡5 horas de autobús!!).



A pesar de todas las dificultades, Beatrice Tinsley fue la astrónoma que descubrió cómo evolucionan las galaxias. Su tesis titulada “Evolución de Galaxias y su importancia para la cosmología”, constituyó uno de las contribuciones fundamentales del siglo XX seleccionada por la prestigiosa revista *The Astrophysical Journal*, entre un total de 53 contribuciones. Marcia Bartusiak, una de sus biógrafas, describe que en principio Tinsley se interesó por la cosmología para estudiar si el universo era abierto o cerrado, pero mientras examinaba todos los datos útiles en esta línea, tales como diámetros de los cúmulos de galaxias, magnitudes de las galaxias, tamaños de estas, etc, una pregunta la seguía atormentando: ¿cómo estaban cambiando las galaxias con el tiempo? ¿Cómo evolucionaban? Ella se planteó el objetivo titánico para esa época - su tesis es de 1967 - de simular la evolución de las galaxias creando un modelo numérico que seguía los cambios de co-

lor y brillo de las estrellas que las componen. Nadie antes había abordado un problema semejante. Beatrice Tinsley construyó su modelo basándose en las mejores pruebas teóricas y observacionales disponibles en aquel momento. Aún hoy se sigue usando la misma metodología, pero obviamente con simulaciones mucho más sofisticadas.

Su trabajo le valió el respeto y consideración de los astrónomos y astrónomas más eminentes de la época, pero, sin embargo, no la consideración de la Universidad de Texas, donde no pudo obtener el puesto al cual aspiraba, de profesor ayudante. Ella describe así su situación: “*la Universidad de Texas en Dallas (UTD) me llevó a un estado de angustia vital difícil de explicar. Yo soy una excelente científica y entre mis colegas de profesión soy tratada como una persona respetable y valiosa, sin embargo la UTD me ha mantenido trabajando en el nivel más bajo posible...*”

En ese momento tenía ofertas de la Universidad de Cambridge en Inglaterra, la Universidad de Chicago y la Universidad de Yale, decidiéndose por esta última para estar lo más cerca posible de su familia. Esta decisión le costó la separación de su marido y la renuncia a la custodia de sus dos hijos. Aún recuerdo, en mis primeros años en esta profesión, el juicio de “mala madre” que le otorgaban los colegas de profesión por el abandono de sus hijos.

Una vez aterrizada en Yale, a pesar del dolor que le causaba estar separada de sus hijos, floreció desde todos los puntos de vista, tanto científicamente como en su vida personal. En 1978 recibió la noticia oficial de que se había convertido en la primera mujer en ostentar el cargo de “*Full Professor of Astronomy*” en la Universidad de Yale. Ella recibió el honor de ser la Directora de Estudios de Grado, cargo que adoraba por su gran interés en dirigir el trabajo de jóvenes realizando el doctorado. Dada su naturaleza disciplinada pasaba las mañanas enseñando astronomía y las tardes las dedicaba a la investigación y a su vocación musical practicando con su violín.

Toda esta vida idílica fue truncada por el diagnóstico ese mismo año de un melanoma, que le causó la muerte el 23 de marzo de 1981. No obstante, estuvo trabajando hasta el último minuto. Su último artículo, publicado por la prestigiosa revista *Astrophysical Journal* en noviembre de 1981, fue escrito desde el hospital con su mano izquierda. La derecha ya no le respondía debido a los fuertes tratamientos de quimioterapia. No alcanzó a verlo publicado. Murió con apenas 40 años.

En sólo 14 años de vida profesional publicó más de 100 artículos. En palabras de la eminente cosmóloga Sandra Faber en su obituario publicado en *Physics Today*, los trabajos de Beatrice Tinsley han cambiado el curso de la cosmología.

POR JOSEFA MASEGOSA (IAA-CSIC)

LOURDES VERDES-MONTENEGRO, MEDALLA MARGARITA SALAS 2023



Lourdes Verdes-Montenegro Atalaya, investigadora del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y miembro de la SEA, ha sido galardonada con la Medalla Margarita Salas 2023 a la mejor trayectoria en supervisión de personal investigador, otorgada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Este premio reconoce institucionalmente la importancia de la supervisión o dirección.

Tal y como se puede leer en la convocatoria: “De todas las actividades que tienen lugar en un grupo de investigación, quizás la menos visibilizada y la menos reconocida es la de tutorizar, dirigir y supervisar al personal investigador que inicia o desarrolla su carrera científica. Sin embargo, constituye una labor crucial para la formación y el desarrollo profesional del personal investigador, y para nuestra institución”

Lourdes Verdes-Montenegro es doctora en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada e Investigadora Científica en el IAA-CSIC. Su carrera en investigación está centrada, fundamentalmente, en el estudio multifrecuencia de la evolución de las galaxias, con énfasis especial en observaciones radioastronómicas. Actualmente su equipo está formado por 20 personas provenientes de seis países distintos (Angola, Bolivia, Burkina Faso, España, Madagascar y Suecia). Este grupo trabaja conjuntamente desde el IAA-CSIC en la preparación científica para el observatorio Square Kilometer Array (SKA), la coordinación de SKA-Spain y el desarrollo de un Centro Regional del SKA que de soporte a nuestra comunidad para posicionarse estratégicamente en los Key Science Projects de SKA.

Lourdes ha mentorizado a lo largo de su carrera a casi 50 personas, incluyendo astrónomos, ingenieros y expertos en gestión y comunicación. ¡Felicidades muy merecidas!

JULIO ARRECHEA RODRÍGUEZ, PREMIO SEA TESIS 2024



Los Premios SEA Tesis 2024 reconocen las tesis doctorales de mayor impacto presente y futuro defendidas durante el año 2023 en las áreas de astronomía y astrofísica, e instrumentación, computación y desarrollo tecnológico en astronomía y, en la categoría de astronomía y astrofísica, el Premio SEA Tesis 2024 se ha concedido a Julio Arrechea Rodríguez, por la tesis “Hydrostatic equilibrium in the semiclassical approximation”, realizada en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) bajo la dirección de los Profs. Carlos Barceló Serón, Luis J. Garay Elizondo y Raúl Carballo Rubio, y defendida en la Universidad de Granada.

El resultado central de la tesis es el descubrimiento de un nuevo tipo de configuraciones, bautizadas como “estrellas semiclásicas”, que describen estrellas tan masivas, compactas y oscuras como los agujeros negros, pero carentes de horizontes de sucesos y singularidades, constituyendo una alternativa sólida a estos últimos desde una perspectiva fundamental.

Julio Arrechea, natural de Plasencia, realizó sus estudios de Física en la Universidad Complutense de Madrid, donde también realizó el Máster y la Tesis fin de Máster correspondiente. Desde 2019 a septiembre de 2023 fue estudiante contratado predoctoral en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y desde octubre de 2023 es investigador postdoctoral en el Institute for Fundamental Physics of the Universe (IFPU), Trieste (Italia). ¡Enhorabuena, Julio!

RECOMENDADOS

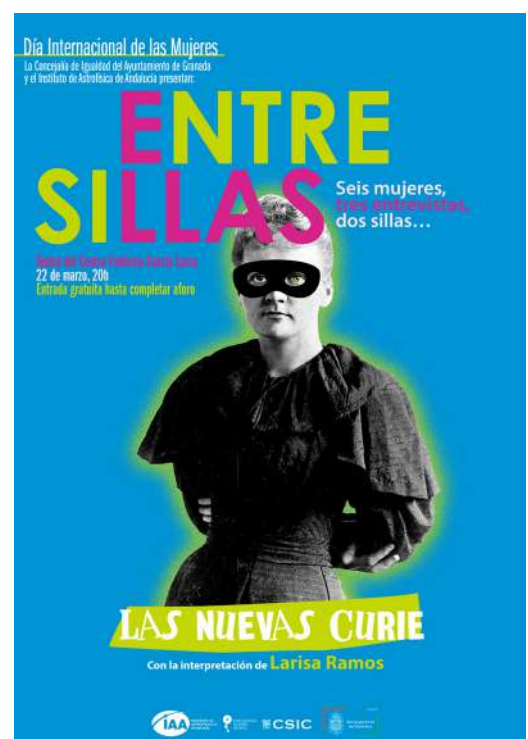
ENTRE SILLAS: LAS NUEVAS CURIE

En el teatro del Centro Federico García Lorca, el día 22 de marzo a las 20 horas, se celebró “Entre Sillas: Las nuevas Curie”, una actividad organizada conjuntamente por la Comisión de igualdad del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y la Concejalía de Igualdad del Ayuntamiento de Granada, enmarcada dentro de la conmemoración del 8 marzo, Día Internacional de las Mujeres. “Entre Sillas: las nuevas Curie” es una nueva edición de un formato que ya tuvo su primera puesta en escena en el año 2022.

Este evento combina el teatro con el formato periodístico de la entrevista. Por un lado, encontramos una pequeña ficción teatral, interpretada por la actriz Larisa Ramos, en la que en una fría tarde de abril, Marie Curie rememora ante la tumba de su marido alguno de los aspectos que han marcado su trayectoria laboral y personal.

Por otro lado, en las entrevistas escuchamos a seis mujeres de ámbitos diferentes conversar sobre tres aspectos engranándose con la vida y el trabajo de Marie Curie y que siguen formando parte del paisaje vital y laboral de muchas mujeres en la actualidad. Ana Tamayo, comunicadora científica, entrevistó a Elena González, más conocida como Elenaiser, ingeniera de sonido de referencia en España para muchos grupos como Lori Meyers o Niños Mutantes. Ambas conversaron sobre lo que supone en la actualidad trabajar en un entorno laboral predominantemente masculinizado. Carolina González, experta en comunicación con perspectiva feminista social, charló con Blanca Torres, sexóloga y antropóloga, sobre lo que implica actualmente la exhibición pública y social del deseo femenino. Por último, Pilar Aranda, catedrática de Fisiología y primera mujer rectora de la Universidad de Granada, fue entrevistada por Alba Fernández Barral, comunicadora científica, acerca de lo que supone ser la primera mujer en alcanzar un determinado puesto de relevancia.

La grabación del evento está disponible en nuestro canal de YouTube y puedes acceder a ella desde este Código QR





INSTITUTO DE
ASTROFÍSICA DE
ANDALUCÍA



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA



CSIC

NUESTRAS REDES



@iaa.comunicación



@iaa_csic



@iaaudc

Instituto de Astrofísica de Andalucía
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Excelencia Severo Ochoa

