

# ASTRO

Una publicación de la  
Asociación Salvadoreña de Astronomía.

Año 2 - Edición 2. Enero-Febrero 2022.

## ¡Adiós Arecibo!

El icónico radiotelescopio ha  
cerrado sus puertas... para  
siempre.

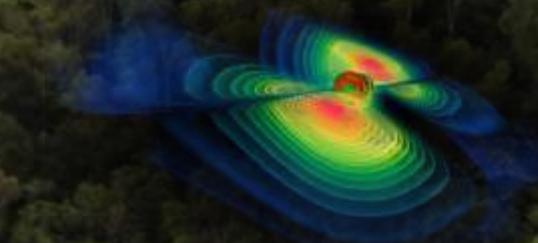
**TELESCOPIO  
ESPACIAL**

**JAMES WEBB**

UNA MAGNÍFICA  
OBRA DE  
INGENIERÍA



**ONDAS  
GRAVITACIONALES**  
EL TEJIDO DEL  
UNIVERSO



# BIENVENIDO 2022

Una vuelta más a nuestro astro rey ha sido completada. Estos últimos años han sido de retos y desafíos en general, pero para aquellos que nos entusiasma la astronomía, hemos encontrado estas circunstancias oportunas para usar tecnologías y métodos de divulgación más provechosos. Los resultados: el número de aficionados a la astronomía se ha incrementado considerablemente y los temas astronómicos han sido incluidos en el repertorio familiar. El 2022 apunta a que continuaremos usando estas tecnologías aún cuando los peligros por la pandemia hayan mermado considerablemente.



CALENDARIO 2022  
POR CORTESÍA DE NASA  
(click en la imagen)

Pág. 3



Tras daños considerables en la estructura de soporte debido al terremoto de Puerto Rico ocurrido en enero de 2020, la Fundación Nacional de Ciencias decidió desactivar las instalaciones por considerarlas demasiado peligrosas. El 1 de diciembre de 2020, la plataforma suspendida colapsó por completo.

Pág. 12



Las ondas gravitacionales son una perturbación del espacio-tiempo que se propaga con carácter ondulatorio. La teoría predice que los frentes de onda de particular intensidad pueden ser generados por fenómenos cósmicos en los que enormes masas varían su distribución repentinamente.

Pág. 20



El telescopio James Webb abrirá nuevos caminos para la astronomía infrarroja con tecnologías de diseño de vanguardia. Es el telescopio más grande jamás enviado al espacio el cual ampliará los caminos abiertos en el universo por el telescopio Hubble.



# Uno de los telescopios más reconocidos en el campo de la astronomía, el radiotelescopio de 305 metros en Arecibo, Puerto Rico, ha cerrado sus puertas para siempre.

Técnicos e ingenieros determinaron la imposibilidad de encontrar una manera segura de repararlo después de que dos cables que sostenían la estructura principal se rompieran repentinamente, catastróficamente, uno en agosto y otro a principios de noviembre de 2020. Este es el fin de uno de los telescopios más icónicos y científicamente productivos de la historia de la astronomía.

El telescopio de Arecibo, fue construido en 1963, siendo el radiotelescopio más grande del mundo durante décadas,

adquiriendo una importancia histórica en la astronomía moderna. Desde sus instalaciones se envió un mensaje interestelar en 1974 con la esperanza de que cualquier alienígena (si existiese)



pudiera escucharlo; también fue pionero en la exploración de muchos fenómenos astronómicos, incluidos los asteroides cercanos a la Tierra y las desconcertantes explosiones celestiales conocidas como *ráfagas rápidas de radio*. Todas esas líneas de investigación han sido clausuradas para siempre, aunque algunas investigaciones continuarán en instalaciones más pequeñas del sitio.



## ¿Qué salió mal?

Los cables rotos sostenían una plataforma de 900 toneladas con instrumentos científicos suspendidos sobre el plato principal. Los funcionarios de la NSF (*National Science Foundation*, por sus siglas en inglés) insisten en que las fallas de los cables fueron una sorpresa.

Después de la primera falla, los equipos de ingenieros detectaron un puñado de cables secundarios rotos en el cable principal, crucial para sostener la plataforma, pero no lo vieron como un problema importante porque el peso que sostenía estaba dentro de su capacidad de

diseño. No fue visto como una amenaza inmediata, pero ese cable principal, que se instaló a principios de la década de 1960, aparentemente se había degradado con el tiempo. A lo largo de los años, los comités de revisión externos habían destacado la necesidad

constante de reemplazar los cables envejecidos, aunque el mantenimiento en los últimos años se había completado según lo programado. Antes de este año, los últimos problemas importantes de cables en el observatorio fueron en enero de 2014, cuando un terremoto de magnitud 6.4 causó daños considerables en otro de los cables principales, reparado oportunamente. La estructura envejecida sufrió más daños en los últimos años, incluyendo el daño a una antena y el plato causado por el huracán María en 2017.

Este telescopio detectó ondas de radio provenientes de asteroides cercanos a la Tierra, revelando la forma y giro de estas amenazadoras rocas espaciales. Sin este radiotelescopio “habrá una gran pérdida”, sostuvo Alan Harris, científico de asteroides en La Cañada, California. Algunos de los proyectos científicos del observatorio podrían transferirse a otras instalaciones, esperando que los científicos propongan hacia dónde

mover su investigación; sin embargo, gran parte del trabajo realizado en Arecibo solo se podría realizar con su gama única de instrumentación astronómica. Muy pocas de sus investigaciones continuarán en otras partes del observatorio, por ejemplo, dos instalaciones LIDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*, por sus siglas en inglés) que disparan láseres al cielo para estudiar los



fenómenos atmosféricos.

El plato de este telescopio se mantenía estacionario debido a su inmenso tamaño, pero sus antenas se podían dirigir a diferentes partes del cielo. Estas antenas se ubicaban en una plataforma suspendida en el aire sobre el reflector.

Para obtener la curvatura necesaria, el plato se construyó dentro de un enorme sumidero natural en un área remota de impresionante belleza. Este observatorio fue parte del Centro Nacional de Astronomía e Ionosfera

(NAIC). Además de la investigación en radioastronomía, apoyaba la investigación de radar planetario y aeronomía terrestre.

Su ubicación cercana al ecuador se eligió especialmente para que, a medida que la Tierra girara una vez al día sobre su eje, el plato del telescopio trazaría una amplia trayectoria circular a través de los cielos y de las doce constelaciones del zodíaco, permitiendo una amplia gama de investigaciones.





# El universo según el radiotelescopio de ARECIBO

**Ei coiapo dei radioteiescopio de Arecibo en Puerto Rico desconcertó al mundo de las ciencias astronómicas. Muchos lamentaron la pérdida de un telescopio que nos ayudó a aprender tantas cosas importantes sobre el universo.**

**Presentamos 12 ocasiones en donde este invaluable radiotelescopio nos ayudó a entender aún más nuestro vasto universo.**

## EL PRIMER EXOPLANETA

En 1990, investigadores descubrieron un púlsar de milisegundos, una especie de estrella de neutrones con un período de rotación de 6.22 milisegundos (9,650 rpm). En 1992, mediciones posteriores encontraron los primeros planetas extrasolares: dos planetas orbitando este púlsar. Dos años más tarde, métodos más refinados encontraron un tercer planeta.

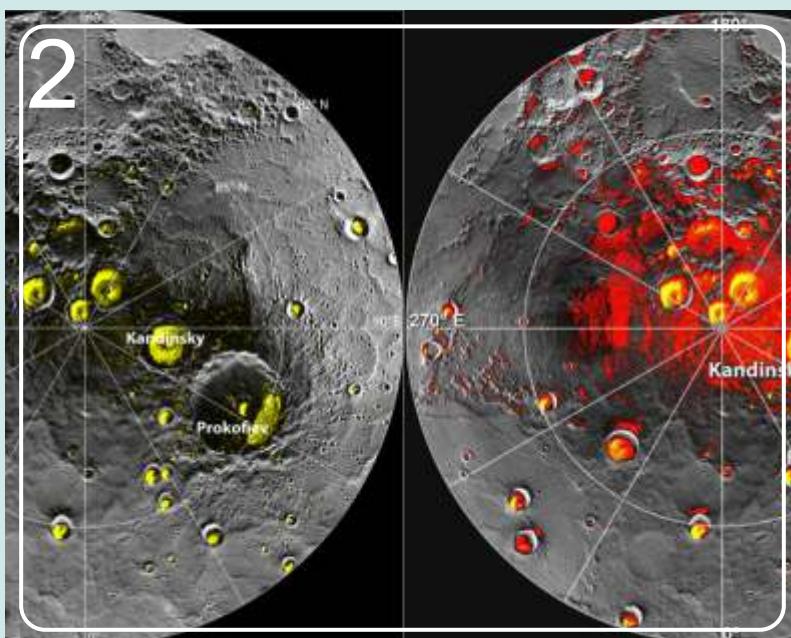
## HIELO EN MERCURIO

Mercurio, el planeta más cercano al Sol, no es lugar donde se esperaría encontrar agua (o cualquier cosa) congelada; pero en 1991, investigadores descubrieron material "extremadamente reflectante" que irradiaba desde la superficie del planeta, lo que muchos interpretaron como evidencia de hielo.

En 2017, los datos de la nave espacial Messenger alrededor de Mercurio



1



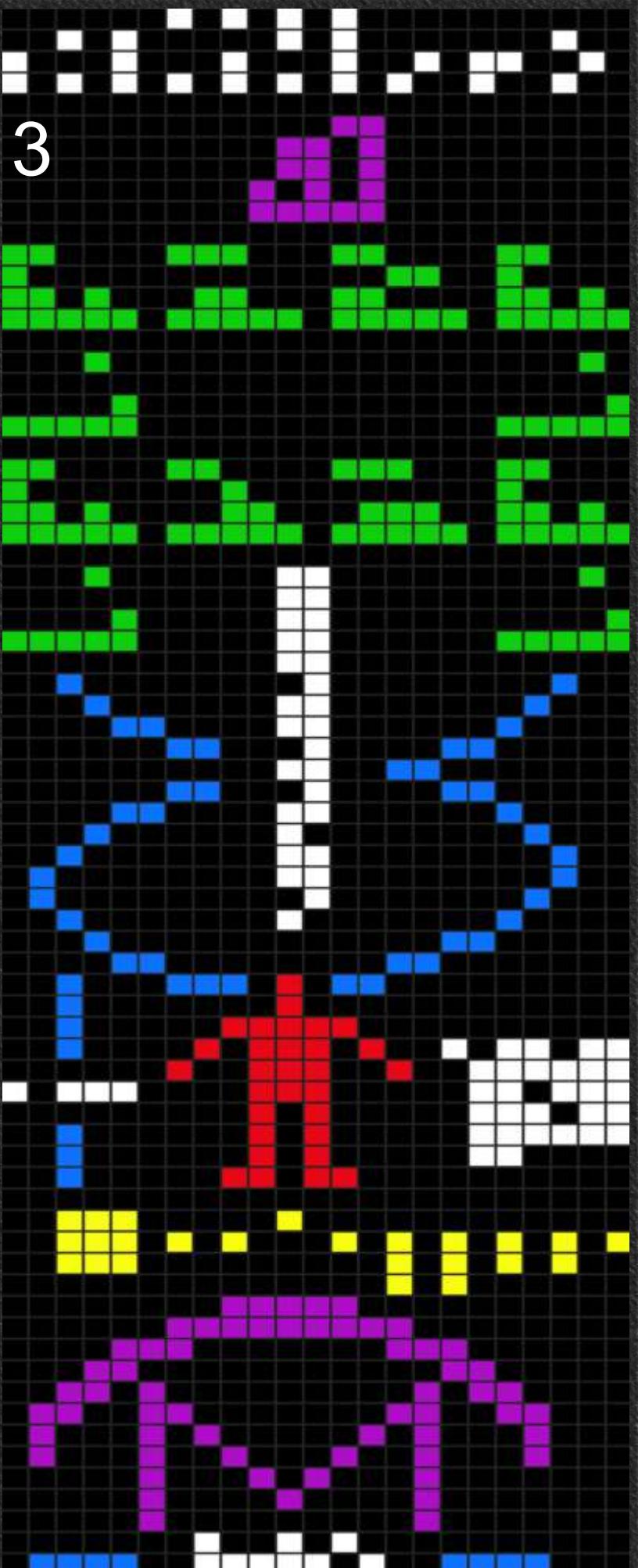
2

confirmaron la existencia de depósitos de hielo, en áreas con cráteres que están permanentemente en penumbra. Este planeta no tiene atmósfera, lo que significa que el calor no se difunde, por lo que puede tener temperaturas abrasadoras junto a regiones que están a temperaturas muy por debajo de los cero grados Celsius.

## EL MENSAJE

El telescopio de Arecibo estuvo muy involucrado en el proyecto SETI, buscando potenciales señales de civilizaciones alienígenas. En 1974 se envió un mensaje de radio interestelar con información básica sobre la humanidad y la Tierra. Este mensaje estaba dirigido al cúmulo globular M13, en la constelación de Hércules, y estaba destinado a servir como demostración de los logros tecnológicos humanos, una forma de demostrar que podemos enviar mensajes interestelares, aunque no fue un intento real de iniciar una conversación.

El mensaje fue diseñado por Frank Drake, con la ayuda de Carl Sagan y otros astrónomos. Este mensaje contenía información sobre los números del 1 al 10 (blanco), los números atómicos de los elementos químicos que componen el ADN (violeta), la dimensión de un humano promedio (azul / blanco), la figura gráfica de un humano (rojo), un gráfico del sistema solar (amarillo) y un gráfico del radiotelescopio de Arecibo (violeta, blanco y azul).

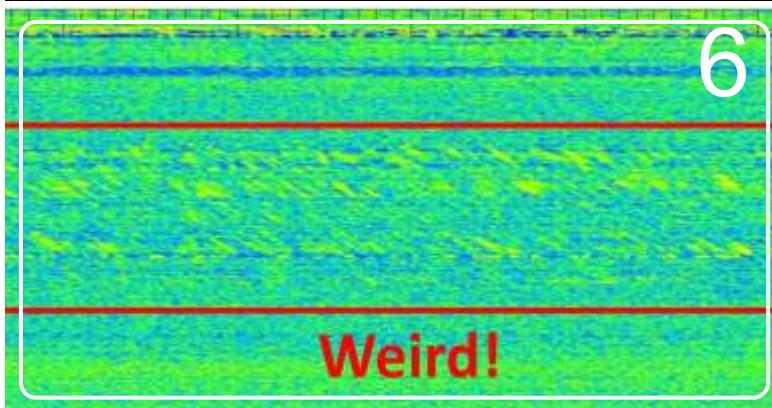




4



5



6

## GALAXIA DE MATERIA OSCURA

En 2006, se descubrió una misteriosa nube de hidrógeno a 50 millones de años luz, nombrada VIRGOHI 21. Para sorpresa de los investigadores, VIRGOHI 21 resultó ser una galaxia de materia oscura que no emitía ninguna luz visible (razón por la cual un radiotelescopio resultó ser tan útil). Si bien todavía existe cierta controversia sobre qué es realmente esta galaxia (o si es una galaxia), los datos de Arecibo permitieron su descubrimiento y análisis, acercándonos un paso más a comprender uno de los fenómenos astronómicos más exóticos que existen.

## EL PRIMER PÚLSAR BINARIO

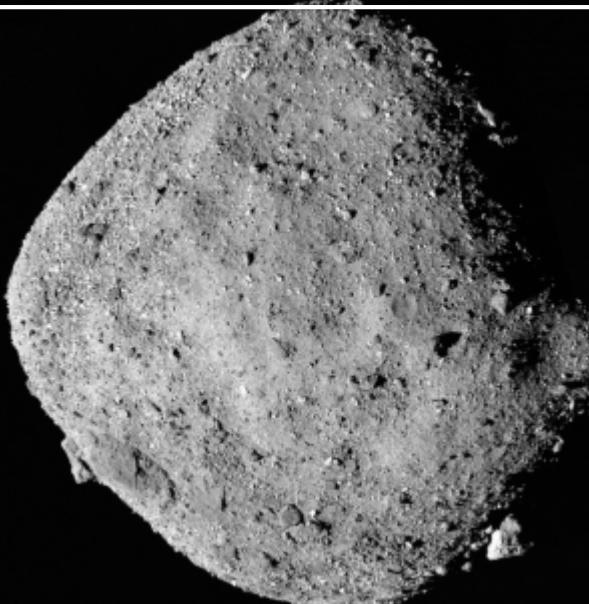
Los púlsares son estrellas compactas giratorias altamente magnetizadas que emiten rayos de radiación electromagnética desde sus polos magnéticos. A veces, los

púlsares tienen compañeros, como una enana blanca o una estrella de neutrones, en cuyo caso se llaman púlsar binario. El primer púlsar se descubrió en 1967, pero fueron Russell A. Hulse y Joseph H. Taylor utilizando la instrumentación del observatorio de Arecibo quienes descubrieron el primer púlsar binario en 1974. Estos dos investigadores hicieron sus descubrimientos utilizando física gravitacional, allanando el camino para el descubrimiento de las legendarias ondas gravitacionales. Su trabajo fue recompensado con un premio Nobel.

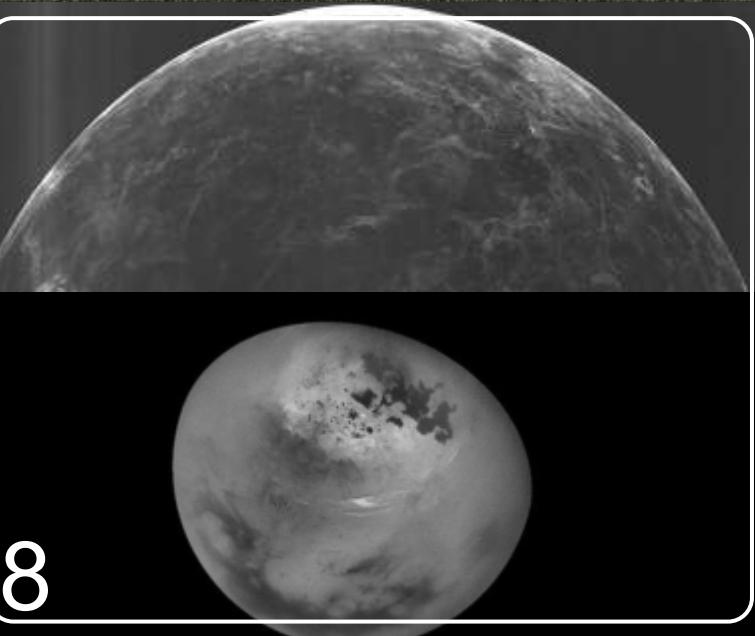
## THE 'WEIRD!' SIGNAL (LA SEÑAL ¡EXTRAÑA!)

En 2017 se informó de una señal extraña, formalmente llamada 'Weird!' en el mundo de la astronomía. Como sucede a menudo, la imaginación popular se dirigió de inmediato a los extraterrestres, pero resulta que este no fue el caso. Los astrónomos sospecharon una señal de una enana roja tenue, pero esto tampoco resultó ser cierto.

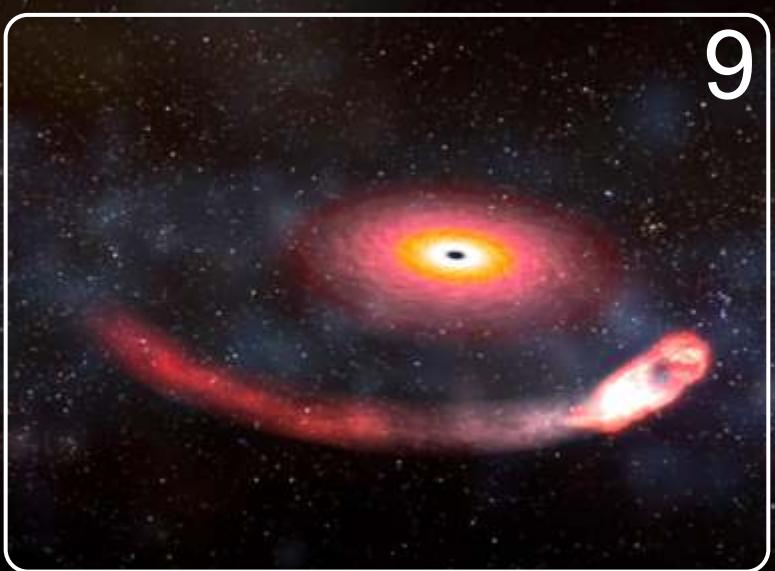
Usando datos del telescopio de Arecibo, los investigadores encontraron que la señal era mucho más prosaica: una interferencia de un satélite cercano.



7



8



9

Los mapas se perfeccionaban constantemente. Ahora se pueden ver muchas características, incluidas cadenas montañosas, cúpulas volcánicas y cráteres. Titán, la luna más grande de Saturno, es un lugar extraño. Es un mundo helado cuya superficie está completamente oscurecida por una atmósfera brumosa dorada y, como hemos aprendido gracias al telescopio de Arecibo, tiene lagos de hidrocarburos líquidos en la superficie.

### ASTEROIDE BENNU

El asteroide Bennu fue interceptado por la nave espacial OSIRIS-REx de la NASA, acercándose y capturando imágenes desde una distancia de 600 metros de la superficie. Pero antes de que la NASA pudiera conocer de cerca este asteroide, Bennu fue estudiado extensamente con el telescopio de Arecibo, lo que ayudó a preparar mejor la misión.

### MAPAS DE VENUS Y DE TITÁN

Los primeros mapas de radar de Venus se hicieron con el telescopio de Arecibo a fines de la década de 1970, mostrando parte del relieve y su geología, dejando ver que su superficie tiene menos de mil millones de años.

### ESTRELLAS DE NEUTRONES Y AGUJEROS NEGROS

Las estrellas de neutrones y los agujeros negros son los dos objetos más masivos conocidos en el universo. Pero no siempre son lo que parecen. De hecho, las estrellas de neutrones pueden ser considerablemente más masivas de lo que se creía anteriormente, y es aún más difícil estudiar agujeros negros, según una investigación de 2008 de Arecibo . "La materia en el centro de las estrellas de neutrones es la más densa del universo. Es de uno a dos órdenes de magnitud más denso que la materia en el núcleo atómico. Es tan denso que no sabemos de qué está hecho", dijo Paulo Freire, astrónomo del observatorio, quien presentó la investigación

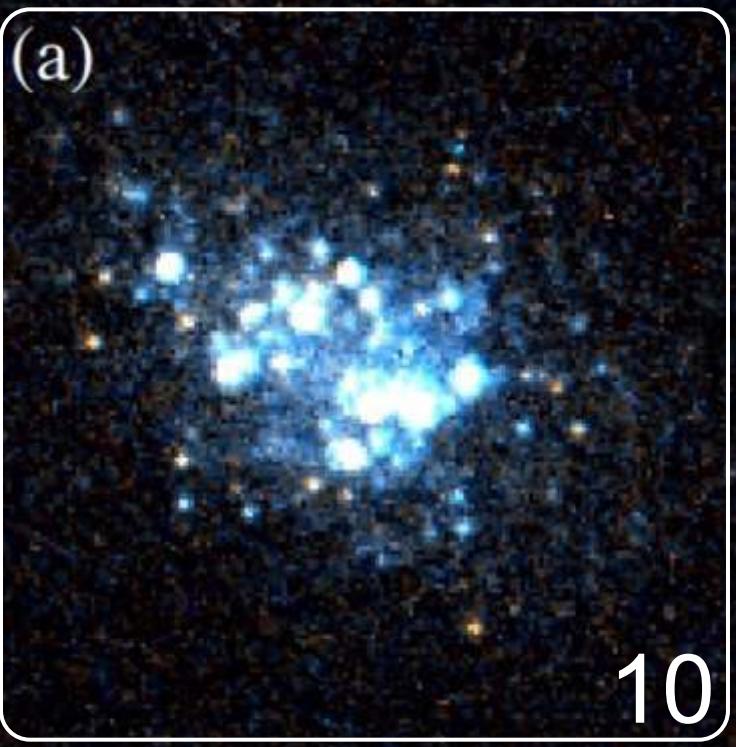
## LA GALAXIA MAS POBRE EN METALES

En astronomía, la metalicidad de un objeto se refiere a la abundancia que tenga de elementos que sean más pesados que el hidrógeno o el helio. Las galaxias con baja metalicidad son de especial interés para los astrónomos porque podrían proporcionar información crucial sobre la evolución química de las estrellas y los procesos astrofísicos que ocurrieron en el universo temprano.

En 2016, astrónomos del observatorio de Arecibo encontraron una galaxia con la metalicidad más baja conocida, lo que podría

10

(a)



10

ofrecer un vistazo a los primeros días del universo y también marcar un cambio de paradigma en la búsqueda de galaxias pobres en metales.

## INGREDIENTES PARA LA VIDA EN GALAXIAS DISTANTES

En 2008, astrónomos del Observatorio de Arecibo detectaron moléculas de metenamina y cianuro de hidrógeno en una galaxia a unos 250 millones de años luz de distancia.

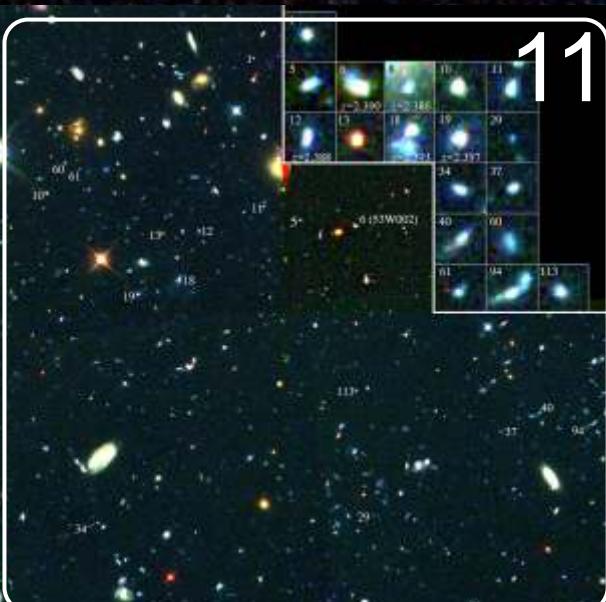
El hecho de que pudieran observarse a una distancia tan grande sugiere que estos compuestos son muy abundantes en la galaxia. Es notable que podamos hacer observaciones sobre una galaxia tan lejana y que podamos decir que tiene moléculas potencialmente formadoras de vida.

11

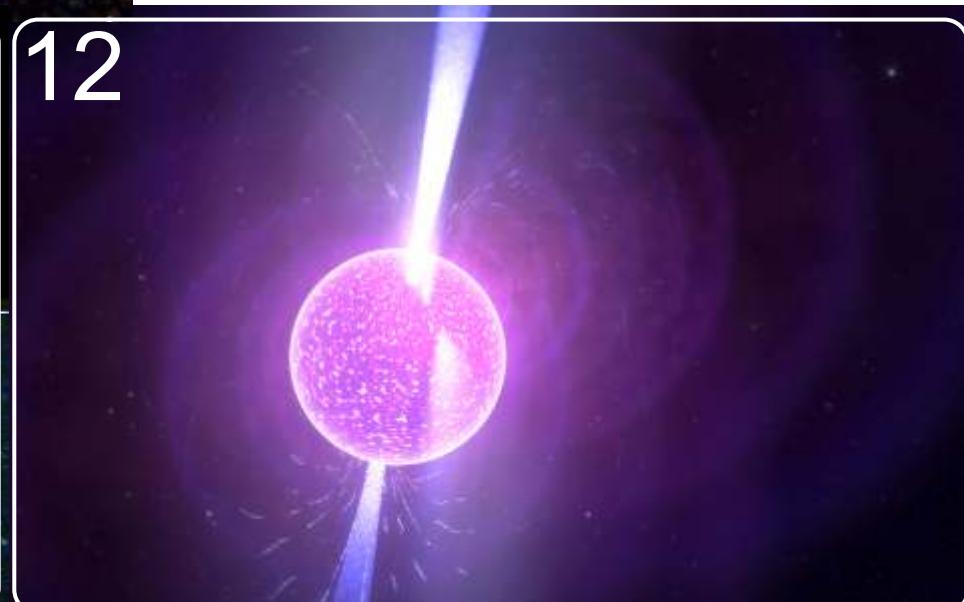
## PÚLSARES A "TIEMPO PARCIAL"

Un nuevo descubrimiento contradijo la opinión generalizada de que todos los púlsares son relojes ordenadores del universo. Un estudio realizado en el Observatorio de Arecibo, descubrió fortuitamente dos púlsares extremadamente extraños, que realizan un "acto de desaparición cósmica". A veces están ahí, y luego, durante largos períodos de tiempo, no lo están.

12



11



12



Las ondas gravitacionales son ondas en el espacio-tiempo (el legendario "tejido" del universo) causadas por objetos masivos en movimiento con aceleraciones extremas; objetos como estrellas de neutrones o agujeros negros orbitando entre sí a velocidades cada vez mayores.

**E**l evento que provocó la onda gravitacional **GW150914** es bastante significativo en términos de comprensión del universo, pues marcó la primera detección directa de ondas gravitacionales.

En primer lugar, confirmó con éxito una predicción hecha por la teoría de la relatividad general que Albert Einstein planteó hace casi un siglo. Dicha predicción sostiene que los eventos a gran escala que ocurren en el universo no solo deforman el espacio-tiempo, sino que, en ciertos casos, pueden enviar ondas a través de este tejido cósmico.

El segundo aspecto significativo de esta observación fue el hecho de que representaba una forma completamente nueva de "ver" el universo, sus eventos y objetos. Este nuevo método de investigar el cosmos ha dado lugar a una forma completamente nueva de estudios en astronomía: la astronomía de múltiples mensajeros. Esto combina las observaciones "tradicionales" del universo en el espectro electromagnético con la detección de ondas gravitacionales, lo que nos permite observar objetos casi inobservables.

## Fundamentos teóricos.

Imagínese sentado a la orilla de un lago, observando en silencio la superficie tranquila del agua sin ser molestada por la naturaleza, el viento o incluso por la más mínima brisa. De repente, un niño pequeño pasa corriendo arrojando una piedra al lago. La tranquilidad se rompe

momentáneamente. Pero incluso cuando regresa la paz observa cómo las ondas que se extienden desde el centro del lago disminuyen a medida que llegan a las orillas, a menudo dividiéndose o reflejándose cuando encuentran un obstáculo.

La superficie del lago es una analogía en dos dimensiones, vaga para la estructura del espacio-tiempo, la piedra representa un evento como la colisión de dos agujeros negros, y nuestra posición en la Tierra es equivalente a una brizna de hierba en la orilla que apenas siente la onda que ha disminuido tremadamente en su recorrido hacia nosotros.

Las ondas gravitacionales fueron predichas por primera vez por Henri Poincaré en 1905 como perturbaciones en el tejido del espacio-tiempo que se propagan a la velocidad de la luz, pero los físicos tardarían otros diez años en captar el concepto. Esto sucedió cuando Albert Einstein predijo el mismo fenómeno como parte de su revolucionaria teoría geométrica de la gravedad de 1916, más conocida como *relatividad general*.

Si bien esta teoría es más conocida por sugerir que los objetos con masa causarían una deformación del espacio-tiempo, también fue un paso más allá al postular que un objeto en aceleración debería cambiar esta curvatura y causar una onda que resuene a través del espacio-

tiempo. Tales perturbaciones en el espacio-tiempo no habrían sido permisibles en la visión newtoniana de la gravedad, que veía el tejido del espacio y el tiempo como entidades separadas sobre las cuales simplemente se desarrollan los eventos del universo.

Las ondas gravitacionales surgieron de la posibilidad de encontrar una solución a las ecuaciones de la relatividad general. Einstein creía que las ondas gravitacionales deberían generarse en masa mediante la interacción de cuerpos masivos como los sistemas binarios de estrellas de neutrones superdensas y la fusión de agujeros negros.

La relevancia de las ondas gravitacionales es que, a medida que se irradian hacia afuera desde su fuente en todas las direcciones y a la velocidad de la luz, transportan información sobre el evento u objeto que las creó. No solo esto, sino que las ondas gravitacionales pueden decírnos mucho sobre la naturaleza del propio espacio-tiempo.

## ¿De dónde vienen?



Hay una serie de eventos que pueden arrojar ondas gravitacionales lo suficientemente poderosas como para ser

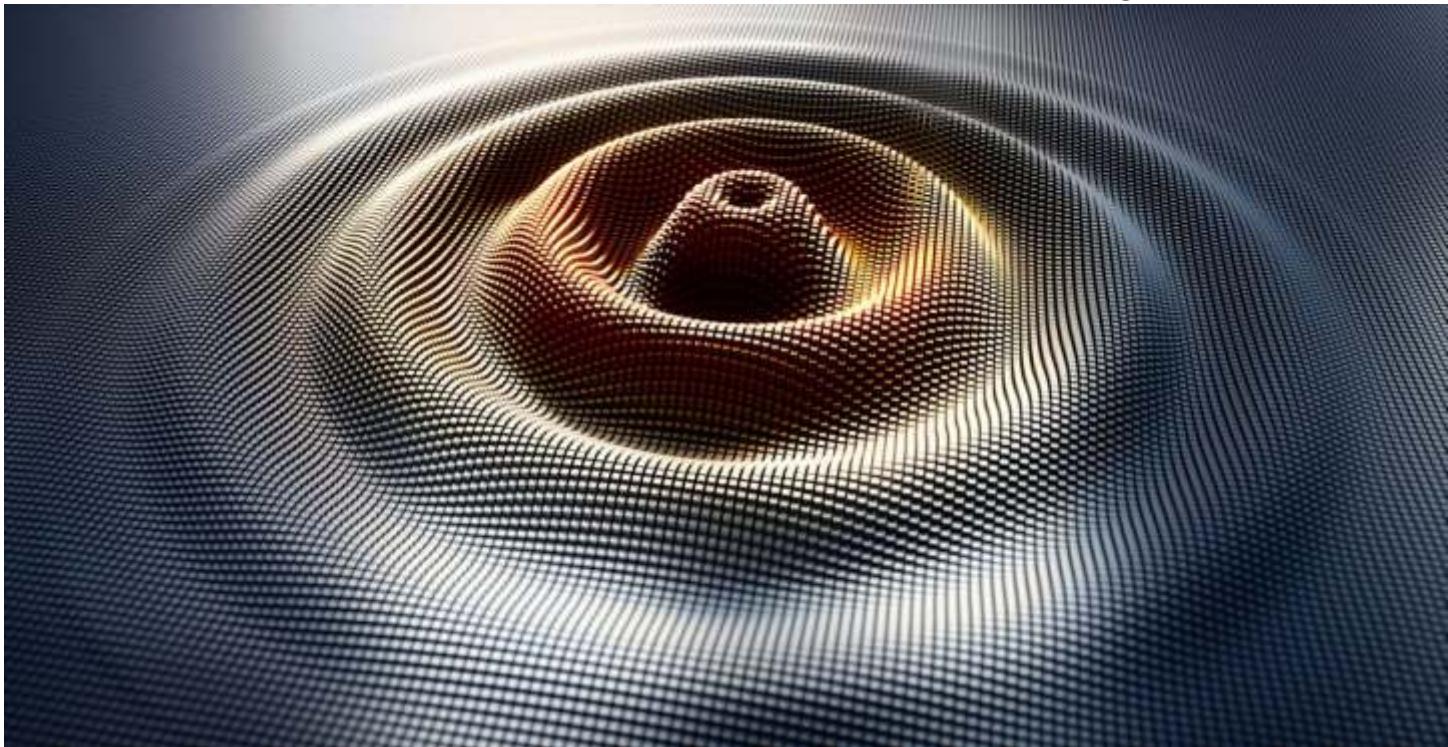
detectadas con equipos increíblemente precisos aquí en la Tierra. Estos eventos son algunos de los sucesos más poderosos y violentos que el universo tiene para ofrecer. Por ejemplo, las ondulaciones más fuertes en el espacio-tiempo probablemente sean causadas por colisiones de agujeros negros.

Otros eventos de colisión están asociados con la producción de fuertes ondas gravitacionales; por ejemplo, la fusión entre un agujero negro y una estrella de

neutrones, o dos estrellas de neutrones que chocan entre sí.

Pero, un cuerpo cósmico no siempre necesita un compañero para hacer ondas. El colapso estelar a través de la

explosión de una supernova, el proceso que deja restos estelares como los agujeros negros y las estrellas de neutrones, también provoca la producción de ondas gravitacionales.



## ¿Cómo detectarlas?

No debe sorprendernos que la detección de una onda gravitacional requiera un equipo de alta sensibilidad. Si bien el efecto de las ondas gravitacionales, el espacio aplastante y estirado en sí mismo suena como algo que debería ser preminentemente visible, el grado en el que se produce esta perturbación es tan pequeño que es totalmente imperceptible. Afortunadamente, hay una rama de la física que es bastante experta en lidiar con lo diminuto. Para detectar ondas gravitacionales, los investigadores utilizan un efecto llamado interferencia, algo demostrado en el experimento de física cuántica más famoso de todos los tiempos; el experimento de la doble rendija.

Los físicos se dieron cuenta de que se podía usar un interferómetro láser para medir el pequeño aplastamiento y estiramiento del espacio, ya que haría que los brazos del equipo se encogieran en una cantidad mínima. Esto significa que al dividir un láser y enviarlo a través de los brazos de un interferómetro, la compresión del espacio causada por el paso de una onda gravitacional haría que un láser llegara ligeramente por delante del otro, lo que significa que estarían desfasados y causarían una interferencia destructiva. Por lo tanto, esta diferencia en los tiempos de llegada provoca una interferencia que da una indicación de que las ondas gravitacionales se han ondulado a través de uno de los brazos.

Pero no basta con cualquier interferómetro láser. Los físicos necesitan un interferómetro tan grande que constituye una hazaña legítima en ingeniería. El detector LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*, por sus siglas en inglés) utiliza dos emisores láser ubicados en los observatorios Hanford y Livingstone, Estados Unidos, separados por miles de kilómetros para formar un interferómetro increíblemente sensible. Desde estos emisores, los láseres se envían por los "brazos" del interferómetro, que en

realidad son cámaras de vacío de 4 km de largo. Esto da como resultado un sistema que es tan sensible que puede medir una desviación en el espacio-tiempo que es tan pequeña como  $1 / 10,000$  del tamaño de un núcleo atómico. Para poner esto en un contexto astronómico ¡es equivalente a detectar una estrella a una distancia de 4.2 años luz y señalar su ubicación dentro del ancho de un cabello humano! Esta constituye la medida más pequeña jamás intentada en la práctica en cualquier experimento científico.

## INTERFERÓMETRO LIGO

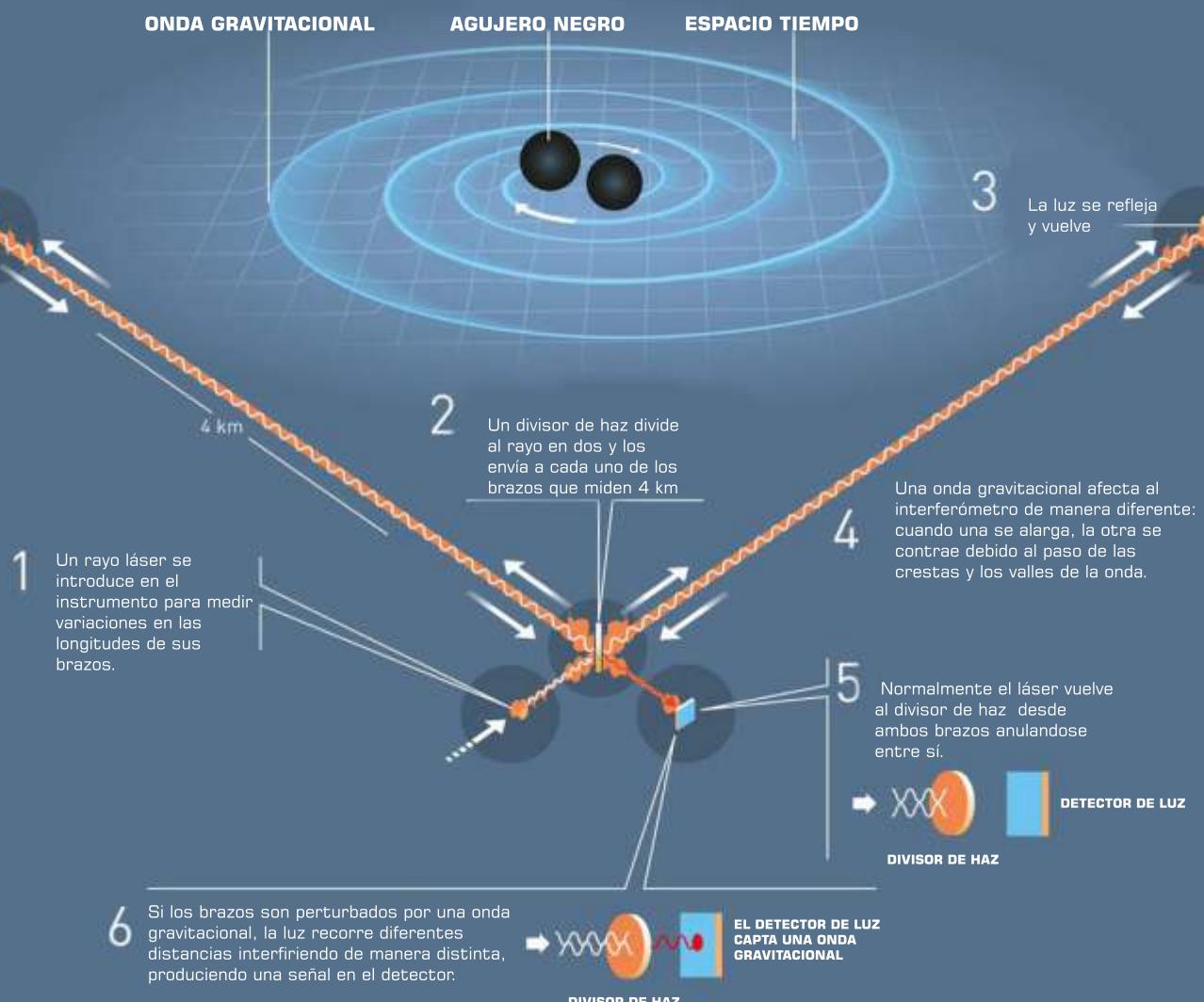


Ilustración de ©Johan Jarnestad/Real Academia Sueca De Ciencias

Esta minuciosa operación dio sus frutos. El 14 de septiembre de 2015, la colaboración entre LIGO y VIRGO detectó una señal de onda gravitacional que emana de la espiral y eventual fusión de dos agujeros negros, uno 29 veces la masa del Sol, el otro 36 veces la masa de nuestra estrella. A partir de los cambios en la señal recibida, los científicos también pudieron observar el único agujero negro resultante.

La señal, llamada **GW150914**, representó no solo la primera observación de ondas gravitacionales, sino también la primera vez que la humanidad había 'visto' un sistema binario de agujeros negros de masa estelar, lo que demuestra que tales fusiones podrían existir en la época actual del universo.



Interferometro VIRGO. Debe su nombre al Cúmulo de Virgo, que contiene unas 1,500 galaxias en la constelación de Virgo y está localizado en Santo Stefano a Macerata en Cascina, Italia.

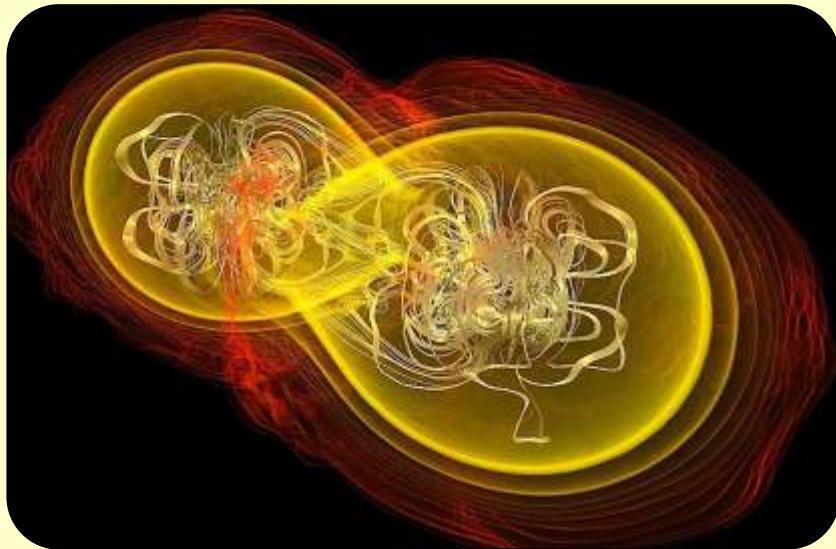


LIGO, WASHINGTON STATE



# TIPOS DE ONDAS GRAVITACIONALES

Desde la detección inicial de ondas gravitacionales, los investigadores han realizado una serie de detecciones importantes y reveladoras. Estos han permitido a los científicos clasificar diferentes tipos de ondas gravitacionales y los objetos que pueden producirlas.



## ONDAS GRAVITACIONALES CONTÍNUAS.

Se cree que un solo objeto masivo giratorio como una estrella de neutrones causa una señal de onda gravitacional continua como resultado de imperfecciones en la forma esférica de esta estrella. Si la velocidad de giro permanece constante, también lo son las ondas gravitacionales que emite; es continuamente la misma frecuencia y amplitud, como un cantante que sostiene una sola nota.



objetos masivos como agujeros negros o estrellas de neutrones.

Las fuentes encajan en tres subcategorías distintas:

- Agujero negro binario(BBH),
- Estrella de neutrones binaria(BNS),
- Binario de estrella de neutrones y agujero negro (NSBH)

Cada uno de estos tipos de emparejamiento binario crea su propio patrón único de ondas gravitacionales, pero comparte el mismo mecanismo de generación de ondas en espiral. Este proceso ocurre durante millones de años con ondas gravitacionales que se llevan la energía del sistema y hacen que los objetos se acerquen más y más en espiral hasta encontrarse. Esto también da como resultado que los objetos se muevan más rápidamente y, por lo tanto, crean ondas gravitacionales de fuerza cada vez mayor.

## ONDAS GRAVITACIONALES EN ESPIRAL COMPACTAS BINARIAS.

Todas las señales detectadas por LIGO hasta ahora encajan en esta categoría como ondas gravitacionales creadas por

## ONDAS GRAVITACIONALES ESTOCÁSTICAS.

Pequeñas ondas gravitacionales que ni siquiera LIGO es capaz de localizar con precisión podrían estar pasando sobre la

Tierra desde todas las direcciones en todo momento. Estas se conocen como ondas gravitacionales estocásticas debido a su naturaleza aleatoria. Es probable que al menos parte de esta señal estocástica se haya originado en el Big Bang.

Si eventualmente pudiéramos detectar esta señal, nos permitiría observar más atrás en la historia del universo de lo que podría hacerlo cualquier señal electromagnética, hasta la época anterior a que los fotones pudieran viajar libremente a través del espacio.

pintado con radiación electromagnética y, por lo tanto, nuestras observaciones se habían limitado a ese espectro en particular.

Usando solo el espectro electromagnético, los astrónomos han podido descubrir cuerpos astronómicos e incluso la radiación de fondo cósmico de microondas CMB (*cosmic microwave background* por sus siglas en inglés), una 'reliquia' de uno de los primeros eventos en el universo temprano, de la época de recombinação en la que los electrones se unieron con los protones, permitiendo que los fotones comenzaran a viajar en lugar de dispersarse. Por lo tanto, el CMB es un marcador del punto en el que el universo comenzó a ser transparente a la luz.



Sin embargo, a pesar de los avances que la astronomía tradicional nos ha permitido hacer en nuestra comprensión del cosmos, el uso de la radiación electromagnética está muy limitado. No nos permite estudiar directamente los agujeros negros, de los cuales la luz no puede escapar. Tampoco nos permite ver materia oscura no bariónica ni luminosa, la forma predominante de materia en las galaxias, que representa alrededor del 85% de la masa total del universo. Como el término "no luminoso" sugiere la materia oscura no interactúa con el espectro electromagnético, no absorbe ni emite luz. Esto significa que las observaciones en el espectro electromagnético por sí solas nunca nos permitirán ver la mayor parte de la materia del universo.

## UNA NUEVA ERA

**E**l evento GW150914 se ajustó precisamente a las predicciones de la relatividad general, confirmando la teoría más revolucionaria de Einstein casi exactamente seis décadas después de su muerte en 1955. Eso no significa que las ondas gravitacionales hayan terminado de enseñarnos sobre el universo. De hecho, estas ondas en el espacio-tiempo nos han dado una forma completamente nueva de ver el cosmos.

Antes del descubrimiento de las ondas gravitacionales, los astrónomos estaban restringidos a una vista del universo

Claramente, esto es un problema. Pero es uno que puede evitarse utilizando el espectro de ondas gravitacionales, ya que tanto los agujeros negros como la materia oscura tienen efectos gravitacionales considerables.

Las ondas gravitacionales también tienen otra ventaja significativa sobre la radiación electromagnética.

Esta nueva forma de astronomía mide la amplitud de la onda viajera, mientras que la astronomía de ondas electromagnéticas mide la energía de la onda, que es proporcional a la amplitud de la onda al cuadrado. El brillo de un objeto en la astronomía tradicional viene dado por  $1/\text{distancia}^2$ , mientras que el "brillo gravitacional" se calcula como  $1/\text{distancia}$ . Esto significa que la visibilidad de las estrellas persiste en ondas

gravitacionales a una distancia mucho mayor de la que persiste el mismo factor en el espectro electromagnético.

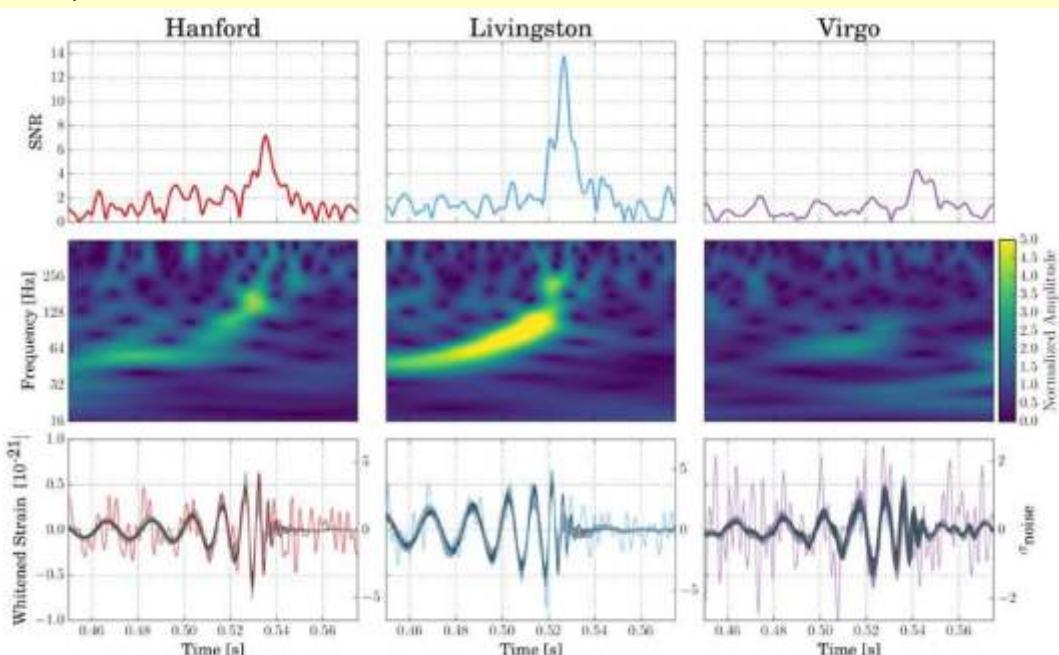
Por supuesto, nada de esto sugiere que la astronomía de ondas gravitacionales "reemplace" la astronomía tradicional del espectro electromagnético. De hecho, los dos son más poderosos cuando se unen en una nueva y emocionante disciplina: la astronomía de múltiples mensajeros.



Comparación de plantillas de señales de ondas gravitacionales a partir de observaciones recientes de LIGO.

### Firmas de ondas gravitacionales detectadas en cada observatorio

Este gráfico muestra los datos de cada uno de los tres observatorios. El gráfico superior muestra la relación señal-ruido, o aproximadamente qué tan significativa fue la detección. El gráfico central muestra el "chirrido" o cambio de frecuencia a través del tiempo. El gráfico inferior muestra la forma de onda.



TELESCOPIO ESPACIAL  
**JAMES  
WEBB**



**una mirada a los inicios del universo**

**El telescopio espacial James Webb es el telescopio espacial más poderoso jamás construido y una compleja pieza de tecnologías, superando con creces los logros alcanzados por la ingeniería humana hasta ahora.**



Para el 25 de diciembre de 2021, después de años de retrasos y miles de millones de dólares en sobrecostos, se programó su puesta en órbita, marcando así el comienzo de una nueva era en el campo de la astronomía.



# La “edad media” del universo



**L**a evidencia colectada hasta ahora muestra que el universo comenzó con un evento llamado Big Bang hace 13.8 mil millones de años atrás, que lo dejó en un estado ultracaliente y ultradenso. El universo comenzó a expandirse inmediatamente después del Big Bang, enfriándose en el camino. Un segundo después del Big Bang el universo tenía ciento cincuenta mil millones de kilómetros de diámetro con una temperatura promedio de unos increíbles 10 mil millones de grados Celsius. Aproximadamente 400,000 años después del Big Bang el universo tenía 10 millones de años luz de diámetro y la temperatura había caído a 3,000° C. Entonces, el universo brillaba con una tonalidad rojiza tenue como una lámpara de calor gigante.

A lo largo de este tiempo, el espacio se llenó de una suave mezcla de partículas de alta energía, radiación, hidrógeno y helio. No había estructura. A medida que el universo en expansión se hacía más grande y más frío, los “ingredientes” se diluían tornándose oscuro. Este fue el comienzo de algo que los astrónomos llaman la Edad Media del Universo.

Los materiales de la Edad Media no eran perfectamente uniformes; debido a la gravedad, pequeñas áreas de gas comenzaron a agruparse y volverse más densas. Aunque no había nada que ver, la Edad Media fue una fase importante en la evolución del universo.

# MÁQUINAS DEL TIEMPO



**L**os telescopios son como máquinas del tiempo. Si un objeto está a 10,000 años luz de distancia, significa que la luz tarda 10,000 años en llegar a la Tierra. Entonces, cuanto más lejos miremos en el espacio, estaremos mirando más atrás en el tiempo.

El James Webb ha sido optimizado para detectar específicamente la luz tenue infrarroja de las primeras estrellas o galaxias. En comparación con el telescopio espacial Hubble, este telescopio tiene un campo de visión 15 veces más amplio, recolectando seis veces más luz con sus sensores sincronizados para ser aún más

sensibles a la luz infrarroja.

Su misión consistirá en mirar fijamente una parte del cielo durante mucho tiempo, recolectando tanta luz e información de las galaxias más antiguas y distantes como sea posible. Con estos datos, será posible responder cuándo y cómo terminó la **Edad Media**, pero hay muchos otros descubrimientos importantes por hacer. Por ejemplo, desentrañar esta historia también puede ayudar a explicar la naturaleza de la materia oscura, la forma misteriosa de la materia que constituye aproximadamente el 80% de la masa del universo.



El telescopio James Webb tiene un espejo de más de 6 metros de ancho, un parasol del tamaño de una cancha de tenis, y cuatro sistemas de cámaras y sensores separados; todos para recolectar datos. Funciona como una antena parabólica. La luz de una estrella o galaxia rebotará en el espejo principal y de ahí hacia los cuatro sensores: CÁMARA DE INFRARROJO CERCANO, ESPECTÓGRAFO DE INFRARROJO CERCANO, INSTRUMENTO DE INFRARROJO MEDIO Y EL ESPECTÓGRAFO DE INFRARROJO CERCANO.

## Galaxias jóvenes y atmósferas alienígenas.

Desde que Edwin Hubble demostró que las galaxias distantes son como pares de la Vía Láctea, los astrónomos se han preguntado: ¿Qué edad tienen las galaxias más antiguas? ¿Cómo se formaron por primera vez? y ¿cómo han cambiado con el tiempo? El telescopio James Webb fue originalmente apodado la "Primera Máquina de Luz" porque está diseñado para responder a estas mismas preguntas.

Uno de los principales objetivos del telescopio es estudiar galaxias distantes



cercanas al borde del universo observable. La luz de estas galaxias tarda miles de millones de años en atravesar el universo y llegar a la Tierra. Encontrar las primeras acreciones de estrellas que se formaron después del Big Bang es una tarea abrumadora por una sencilla razón: las protogalaxias están muy lejos y, por lo tanto, su luz parecería ser muy débil.

El espejo está hecho de 18 segmentos separados y puede recolectar seis veces más luz que el espejo del telescopio espacial Hubble. Los objetos distantes también parecen ser muy pequeños, por lo que el telescopio debe poder enfocar su luz con la mayor precisión posible.

El James Webb también tiene que hacer frente a otra complicación: dado que el universo está en expansión, las galaxias que los científicos pretenden estudiar, se están alejando y el efecto Doppler entra en juego.

## ¿Cómo se puede llevar algo así de forma segura al espacio y garantizar su funcionamiento?

El Telescopio Espacial James Webb orbitará a una distancia de un millón y medio de kilómetros de la Tierra, unas 4,500 veces más distante que la Estación Espacial Internacional; demasiado lejos para darle mantenimiento.

Durante los últimos 12 años, el equipo ha probado este telescopio y sus instrumentos, agitándolos para simular las fuerzas generadas durante el

## PROBAR Y ENSAYAR

lanzamiento del cohete que lo llevará fuera de la atmósfera terrestre. Todo ha sido refrigerado y probado en las condiciones operativas extremas de la órbita.

Después de las pruebas vinieron los ensayos. El telescopio se controlará de forma remota mediante comandos enviados a través de un enlace de radio, pero debido a que el telescopio estará tan

lejos, no existirá control en tiempo real ya que se necesitan seis segundos para que una señal vaya en una dirección.

Además, se necesitará esperar 35 días después de su lanzamiento para que las piezas se enfrien antes de comenzar su alineación. Una vez que se despliegue el espejo, la NIRCam tomará secuencias de imágenes de alta resolución de los segmentos individuales del espejo. El equipo del telescopio analizará las imágenes y le dirá a los motores que ajusten los segmentos en pasos medidos en mil millonésimas de metro. Una vez que los motores muevan los espejos a su posición, se confirmará que su alineación sea perfecta.

Este proceso de alineación y verificación debería tomar seis meses. Cuando termine, el telescopio James Webb comenzará a recopilar datos.

## CRÉDITOS

**ONDAS GRAVITACIONALES:**  
ROBERT LEA

**ADIÓS ARECIBO:**  
[WWW.NATURE.COM](http://WWW.NATURE.COM)  
<https://phys.org>

**TELESSCOPIO ESPACIAL JAMES WEBB**

<https://theconversation.com>  
[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

**IMÁGENES:**  
[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)  
[www.pixabay.com](http://www.pixabay.com)  
[www.flickr.com](http://www.flickr.com)

**Nos gustaría saber de usted.**

¿Desea formar parte de nuestro equipo editorial?

¿Desea ser parte de nuestra asociación?

Después de 20 años de diseñar y probar esta instrumentación de vanguardia, los astrónomos tendrán por fin un telescopio capaz de observar los rincones más lejanos y distantes del universo.

## ÓRBITA SOLAR

El telescopio espacial James Webb no estará en órbita alrededor de la Tierra, como el telescopio espacial Hubble, sino que orbitará alrededor del Sol, a un millón y medio de kilómetros de la Tierra, en lo que se llama el segundo punto de Lagrange o L2. Lo que tiene de especial esta órbita es que permite que el telescopio se mantenga alineado con la Tierra mientras se mueve alrededor del Sol. Esto permitirá al gran parasol del telescopio protegerlo de la luz y el calor del Sol, de la Tierra (y de la Luna).

**¡ESCRÍBANOS!**

[informacionesastro@gmail.com](mailto:informacionesastro@gmail.com)



La Asociación Salvadoreña de Astronomía es una organización sin fines de lucro. Fundada en enero de 1991, acoge a casi un centenar de socios que comparten la pasión por esta ciencia. Es pionera en el establecimiento de un observatorio astronómico en Centroamérica y ofrece charlas regularmente a socios, cursos introductorios y casas abiertas al público en general.



## COMITÉ EDITORIAL



Alicia Alvarenga

Leonel Hernández

Fernando Ayala