

Vol 12. Nº 35  
Diciembre 2019

<https://www.eumed.net/rev/delos/35/index.html>

**José Alberto Acosta Guzmán<sup>1</sup>**  
**Fundación Educación, Investigación y Ecoturismo**  
 fuedinec@hotmail.com  
**República Dominicana**

Resumen.....	2
Abstract .....	2
1- Introducción .....	3
2- Antecedentes .....	4
3- Relatividad general .....	5
4- Ondas gravitacionales .....	7
5- Detectores terrestres .....	8
6- Observaciones de la red de detectores avanzados.....	10
7- Los agujeros negros.....	11
8- Detección de agujeros negros.....	13
9- Conclusiones .....	15
10- Bibliografía .....	15

1 Doctor en Administración de Empresas y Economía por la Universidad de Sevilla (España). Ph.D, en Economics, en Atlantic International University, United States of America. Coordinador Investigación y Desarrollo "FUEDINEC"

## RESUMEN

En este trabajo de investigación, se presentaran los principales hallazgos científicos que condujeron al descubrimiento de las ondas gravitacionales por el "Plan Ligo", involucrando esto: la relatividad general, sus predicciones de agujeros negros, ondas gravitacionales y las simulaciones de la colisión. En definitiva, se puede afirmar, la detección de las ondas gravitacionales corroboran la presencia de los incomprensibles agujeros negros. Así mismo, las ondas gravitacionales son los fenómenos análogos producidos por interacciones gravitatorias que viajan con la misma velocidad.

**Palabras clave:** Ondas gravitacionales, agujeros negros, relatividad general y detectores.

## ABSTRACT

In this research paper, he presents the main scientific findings that lead to the discovery of gravitational waves by the "Ligo Plan", involving this: general relativity, his predictions of black holes, gravitational waves and collision simulations. In short, it can be affirmed, the detection of gravitational waves corroborate the presence of incomprehensible black holes. Likewise, gravitational waves are analogous phenomena produced by gravitational interactions that travel with the same speed.

**Key words:** Gravitational waves, black holes, numerical relativity and general relativity.

## 1- INTRODUCCIÓN

Se puede expresar, el génesis de la detección directa del fenómeno que exhiben las ondas gravitacionales, también denominada ondas de espacio-tiempo, las cuales fueron presagiadas en 1916, tiempo más adelante de que Einstein formulara una de las más revolucionarias teorías en física, fundamentalmente denominada, como la Teoría General de la Relatividad. En este mismo orden de ideas, esta se encarga de exponer el comportamiento del campo gravitacional de una forma completamente innovadora, logrando con esto observar el fenómeno descubierto en la curvatura del espacio-tiempo.

Sintes (2019) ha indicado, la existencia de dos tipos de ondas que transportan informaciones sobre los Multiversos, y están son: las ondas electromagnéticas y las ondas gravitacionales. Estas se encuentran viajando a la misma velocidad pero, aún así, suelen ser distintas. Las ondas gravitacionales, ondulaciones en el propio tejido del espacio-producidas por materia acelerada. Se ha demostrado, son en la actualidad, como los "Querubines", las nuevas mensajeras que nos permitirán abrir ventana al cosmos que podrían revolucionar la comprensión del Multiverso en el cual habitamos.

De esta forma, lo concerniente a las ondas gravitacionales y lograr colocarlas en un contexto próximo, se puede saber según las investigaciones que los fenómenos ondulatorios se encuentran en multiplicidad de situaciones; por esta razón se puede aseverar, las ondas mecánicas de sonido, las ondas electromagnéticas esto como un ejemplo palpable, pero lo que hace de mucha importancia a las ondas gravitacionales, es que ellas representan la solución del conjunto de ecuaciones escritas con anterioridad, así mismo, es que también son soluciones de esa fábrica de espacio-tiempo, descrita por el conjunto de ecuaciones de campo de Einstein. De forma inicial, para su descripción muy simple, las ondas gravitacionales son rizos en la curvatura espacio-temporal que se propagan y extienden a la velocidad de la luz, claro, sin ser ondas electromagnéticas, únicamente comparten con estas la velocidad de propagación Castañeda (2017).

Se debe tener presente, lo importante que una vez Einstein presagió que sus ecuaciones postuladas, aguantan soluciones tipo onda, de igual manera, el mismo calculó, haciendo uso de su teoría en el régimen no lineal, las amplitudes de las señales que se esperaban observar, representando este el génesis de los cálculos denominados post-newtonianos, donde, dicha metodología se conserva hasta estos tiempos del posmodernismo. No obstante, en los inicios, estos cálculos no representaban ser tan alentadores, como en su predicción de la desviación de la luz, los escenarios más propicios para la observación de la radiación gravitacional resultaban ser los fenómenos astronómicos.

Castañeda (2017) ha precisado, la importancia de tener en cuenta, que las investigaciones no se limitaron en exclusivo a los fenómenos del área de las ciencias astronómicas. Así mismo, los intentos como los de Joseph Weber, profesor de física en la

Universidad de Maryland en los años 50 - 60, inician la organización para la construcción de instrumentos con miras a detectar la radiación gravitacional producida por distribuciones de masas aceleradas y momentos gravitacionales.

Se ha demostrado, los cuadrupolares no nulos. Los estudios han arrojado, esta representa la mínima exigencia para que las distribuciones de masa generen patrones de radiación gravitacional. Entonces, se puede inferir, que así se recorren las primeras sendas hacia la ingeniería de antenas gravitacionales. Además, se debe indicar, estos primeros intentos fracasaron debido a que las señales yacían en estados muy débiles para ser detectadas.

En este mismo orden, la evolución de las ondas gravitacionales no se detiene con experimentaciones como las de Weber. También se debe tener presente en este proceso, que se han presentado saltos bruscos en los antecedentes, los esfuerzos tanto teóricos como experimentales comenzaron con la apuesta para la detección directa de las ondas gravitacionales.

Finalmente, se tiene presente, uno de los primeros intentos es el conocido Proyecto Ligo. Así mismo, se han presentado sus particularidades de dicho Plan, donde se halla compuesto por dos interferómetros con brazos del tamaño de 4km de largo, ubicados en Livingston Luisiana y en Handford en Estados Unidos Castañeda (2017) el Plan LIGO inicia en el 1984, teniendo este, un rol de mucha relevancia para la ciencias astronómicas, con sus primeros trabajos de investigación, se debe tener muy en cuenta, que los investigadores Kip Thorne, Rainer Weiss y Bary C. Barish, así mismo, de la colaboración LIGO/VIRGO, estos, meritorios del premio Nobel en 2017. Además, la detección del pulso de radiación gravitacional realizada por los interferómetros se realizó el 14 de Septiembre de 2015. En lo particular, este evento ha sido denominado como GW150914.

## **2- ANTECEDENTES**

Se debe tener presente, en 1911 exactamente cinco años antes de la presentación de la teoría de la relatividad general, Einstein había presentado una investigación con el título "Sobre la influencia de la gravitación en la propagación de la luz" (Einstein, 1952). En esta investigación Einstein expone de forma tentativa, la naturaleza física del campo gravitacional, suponiendo el siguiente escenario de la física: cuando se asume un campo gravitacional homogéneo, con aceleración de la gravedad ; donde uno puede definir un sistema de coordenadas estacionario de tal forma que la aceleración gravitatoria apunta en la dirección negativa del eje z. Además, se puede considerar otra situación en la cual no hay campo gravitatorio y un sistema se encuentra en estado de movimiento con aceleración uniforme en la dirección positiva del eje z de un sistema inercial. Esto indica, las trayectorias de los puntos materiales en los sistemas, así mismo, estarán regidas por una aceleración negativa en la dirección del eje z.

Se debe indicar, que estas ecuaciones pueden ser aplicadas a situaciones físicas que simulan ser diferentes. Sin embargo, se puede obtener una explicación satisfactoria del

experimento de Galileo, correspondiente a la igual caída de distintos objetos en el campo gravitatorio, si se asume que los sistemas y son físicamente equivalentes; en otras palabras, si la aceleración gravitatoria se entiende equivalentemente como producida por la aceleración del sistema. De igual modo, la equivalencia existente entre los sistemas se puede considerar ciertamente válida si uno se restringe a procesos puramente mecanicistas, donde es aplicable la descripción newtoniana. Se ha demostrado, este principio es muy eficiente y representa el fundamento de la relatividad general.

Del mismo modo, se debe destacar que la diferencia básica entre la mecánica newtoniana y la visión de la relatividad especial en la estructura del espacio-tiempo es que, mientras en la imagen newtoniana todas las perturbaciones son instantáneamente detectadas por el resto de los Multiversos, se debe entender, en la visión de la relatividad especial surge una velocidad máxima para la transmisión de información. Se debe enfatizar, con anterioridad (Moreschi, 2000) que las transformaciones de Lorentz pueden ser deducida del principio de la relatividad y de la suposición de una velocidad finita máxima para la propagación de información Moreschi (2016)

En los inicios del pasado siglo XX, la situación desplegada, consintió, que la cinemática de partículas y la electrodinámica atribúan la existencia de una nueva estructura del campo de las matemáticas para el marco teórico de la relatividad especial, que era distinta a la estructura del marco teórico de la física galileana-newtoniana. Por consiguiente, mientras en la relatividad especial se utilizan las transformaciones de Lorentz para relacionar sistemas inerciales con velocidad relativa, en el marco teórico de la física galileana-newtoniana se utilizan las denominadas transformaciones de Galileo Moreschi (2016) Por esa razón, esto ha implicado que la descripción newtoniana de la gravitación se debe considerar incompatible con el marco teórico relativista. En consecuencia, era clara la necesidad de una nueva teoría de la gravitación que no contradijese el resto de las ideas del campo de las ciencias físicas.

Moreschi (2016) se ha expresado sobre la teoría de la relatividad general y la considera la teoría de la gravitación que resolvió este dilema y contiene un cambio de la reingeniería en la noción del espacio-tiempo con relación al punto de vista proveniente de la mecánica newtoniana y aun de la relatividad especial. Así mismo, para tener una noción clara y exacta de la naturaleza de los innovadores conceptos que fueron introducidos, es conveniente recordar algunos de los pensamientos originales que dieron origen al nacimiento a esta teoría.

### **3- RELATIVIDAD GENERAL**

En los inicios del pasado siglo XX, Einstein realizó una serie de varias investigaciones en los que se cuestionaba la propia naturaleza del espacio y del tiempo de la física clásica. Por consiguiente, estas investigaciones lograron explicar la existencia de moléculas como entidades físicas. Se puede afirmar, esto representó el punto inicial del pensamiento que dio lugar a la mecánica cuántica y asentaron la estructura de la teoría de la relatividad especial. A partir de ahí, se transitó a la siguiente década logrando desarrollar su teoría de la relatividad

general. Asimismo, en esta innovadora teoría, la gravitación es el resultado de la deformación del espacio-tiempo producida por la presencia de materia y energía, es decir que el espacio deja de ser ese marco "Inmutable" y uniforme en el que se sitúan los objetos donde lograr suceder los fenómenos.

González y Sintés (2015) por consiguiente, el crecimiento y desarrollo de esta creativa e innovadora teoría puede llevar al siguiente desenlace, de que el espacio-tiempo puede ser objeto de investigaciones empíricas, al igual que lo son los átomos, las moléculas o el campo electromagnético. De la misma forma, esta innovadora teoría de la gravitación es uno de los frutos más imponentes de la ciencia física del siglo pasado y es la teoría que en la actualidad promete la mejor descripción de los Multiversos.

Investigaciones realizadas en el campo de la astrofísica, han demostrado, la presencia de la radiación gravitatoria fue presagiada por Einstein en 1916, del mismo modo, como uno de los resultados importantes de su novedosa teoría de la relatividad general, aunque él consideraba que no serían físicamente detectables. La investigación realizada por Einstein sobre la derivación inicial fue mediante la indagación de fenómenos dentro del marco de su teoría linealizada. Por consiguiente, debido a lo complejo de las ciencias físicas y matemáticas de la teoría de la relatividad general, en el inicio se cuestionó si estas ondas gravitacionales describían fenómenos físicos reales o simplemente eran efectos de coordenadas. En consecuencia, debieron pasar aproximadamente 40 años en el 1950, y agradecimientos a Pirani, Feynman, Bondi y más adelante Isaacson, en que se entendió la naturaleza física de las ondas gravitacionales e interpretada como grados gravitacionales de libertad que llevan consigo energía.

Los estudios realizados han indicado, la energía en ondas gravitacionales perdida por un sistema binario de estrellas produce que las estrellas logren acercarse, y esto fue evidenciado cuando los investigadores Hulse y Taylor revelaron en la década de los setenta del pasado siglo XX el primer púlsar en un sistema binario PSR B1913+16. De la forma, que mediciones exactas durante los siguientes 40 años han evidenciado acuerdo con la teoría de Einstein, con una precisión relativa del 0.2 %. Por consiguiente, el descubrimiento de estos investigadores Hulse y Taylor logró como consecuencia el otorgamiento y premiación del premio Nobel de Física en 1993 González y Sintés (2015)

La novedosa teoría de la relatividad general, ha demostrado: cualquier cuerpo acelerado de forma no esféricamente simétrica produce un cambio en el campo gravitatorio que se propaga en los Multiversos a la velocidad de la luz (299.792.458 m/s) de igual manera que las ondas electromagnéticas se crean por cargas en movimiento González y Sintés (2015).

Se debe considerar a las ondas gravitacionales como las distorsiones del espacio-tiempo que llevan consigo información sobre su "Génesis". Por esa razón, y debido a que la gravedad es la más débil de las cuatro interacciones fundamentales, las ondas gravitacionales interactúan muy débilmente con la materia. Por consiguiente, y debido a esto, estas no pueden ser absorbidas, desviadas ni apantalladas, cosa que ha imposibilitado hasta ahora su observación

directa, pero a la vez les permite viajar sin ser distorsionadas a lo largo de distancias cosmológicas.

Se debe tener presente, que el universo ya era transparente a la gravedad momentos después del Big Bang y también, bastante antes de serlo a la luz, las ondas gravitacionales permitirán al ser humano observar el génesis de los Multiversos hasta momentos muy remotos, e incluso podrían indicar cómo era el universo cuando tenía menos de un segundo, cosa esta, hasta este momento, indiscutiblemente imposible con los telescopios tradicionales. Así mismo, se puede indicar, eventos cataclísmicos los Multiversos, la presencia de dos estrellas de neutrones fundiéndose en un agujero negro, colisiones de galaxias con agujeros negros masivos en su centro o estrellas explotando en supernovas emiten ondas gravitacionales que, cuando se detecten, proveerán información prístina sobre las estrellas masivas en los Multiversos.

González y Sintés (2015) en investigaciones recientes han indicado, las ondas gravitacionales no pueden ser consideradas como simplemente una nueva banda, sino mas bien, son todo un nuevo espectro con propiedades diferentes y al mismo tiempo sirven de complemento a las ondas electromagnéticas. Así mismo, el efecto que producen es una compresión fraccional del espacio-tiempo perpendicular a la dirección de propagación, además, con una amplitud  $h=\Delta L/L$  muy pequeña, que dependerá del origen de las ondas y la distancia a la que se observen.

Los investigadores han expresado en términos físicos, una onda gravitacional intensa emitida por el choque de dos estrellas de neutrones lograrían producir en el globo terráqueo distorsiones en una distancia de 10 kilómetros del orden de  $10^{-18}$  metros una cantidad 1000 veces más pequeña que el diámetro del mismo protón. En consecuencia, considerando este tipo de sistemas es poco frecuente, por consiguiente, este tipo de fuentes se han de localizar a distancias de millones de años luz, sucediendo en galaxias lejos de la Vía Láctea. Por consiguiente, la localización de ondas gravitacionales envuelve intentar encontrar los minúsculos efectos de algunos de los sistemas astrofísicos más energéticos en las profundidades de los Multiversos.

#### **4- ONDAS GRAVITACIONALES**

Se debe tener siempre presente, este grandioso experimento ocurrió aproximadamente hace unos 1300 millones de años y su radiación produjo un desplazamiento (strain) del orden de  $10^{-19}$  m en los interferómetros. Asimismo, este maravilloso evento no solo es uno de los descubrimientos colosales en la evolución de la física gravitacional, sino que por primera vez las ecuaciones de campo de Einstein son corroboradas en su totalidad con todo su esplendor no lineal en objetos astrofísicos. Del mismo modo, se apodera de proporcionar la naciente medida directa de la coalescencia de dos agujeros negros y concede el reconocimiento meritorio a un trabajo emprendido varias décadas en el pasado por los físicos como lo es la solución completa de las ecuaciones de campo utilizando métodos a base de computadoras.



Finalmente, se puede aseverar, representa es línea de investigación de vital importancia, siendo esta denominada como Relatividad Numérica. Además, se debe tener muy en cuenta, sin la presencia de esta importante herramienta no hubiera sido posible interpretar los resultados del Plan LIGO.

Las últimas investigaciones han divulgado la detección de las ondas gravitacionales, las cuales se efectuaron a mediados del 11 de febrero de 2016 y, a partir de ahí, entonces no paran los asombros para este campo. En la actualidad, se han realizado detecciones de nuevos eventos, entre los cuales se debe destacar el patrón de emisión de nuevo de la coalescencia de dos estrellas de neutrones. De igual manera, este fenómeno es denominado, como GW170817 y su primordial relevancia reside en que este también fue detectado por la astronomía óptica.

En la tierra, la humanidad completa fue testigo directa de la fusión de estas dos estrellas de neutrones en una nueva estrella denominada "kilonova". También, estos eventos estelares habían sido presagiados por la teoría de la evolución estelar mas no observados visualmente de forma directa. Así mismo, una vez detectado el patrón de radiación gravitacional, se logró medir prácticamente de manera simultánea, una ráfaga de rayos gamma (gamma-ray burst), este escenario galáctico representa, uno de los eventos más energéticos de los Multiversos, en la región interestelar donde la fusión tuvo lugar. Con este pronóstico se apertura un enorme campo astrofísico de altas energías.

## **5- DETECTORES TERRESTRES**

Sintes (2019) con los últimos avances tecnológicos, estructurales y humanos, en el campo de la astrofísica, se han creado maquinas y aparatos como los detectores terrestres de ondas gravitacionales, "interferómetros tipo Michelson, representan las herramientas ópticas más grandes y sofisticados de la humanidad. Del mismo modo, estos representan la regla más precisa jamás realizada por el hombre, capaces de realizar detecciones de cambios de distancia de escalas sub-nucleares, en el rango de frecuencia de algunas decenas de Hz a varios kHz. Por esta razón se puede indicar, que debido a este rango de frecuencia, son sensibles a ser detectables eventos tipo supernovas, estallidos de rayos gamma, estrellas de neutrones en rotación, u otros objetos compactos como fusiones de sistemas binarios compactos, así mismo, lo suficientemente pequeños (~10 km), capaces de alcanzar altas frecuencias orbitales.

Se puede indicar, LIGO es una derivación de sus siglas en ingles las cuales representan a un "Observatorio Gravitacional con un Interferómetro Laser". A su vez, LIGO se encuentra constituido por dos detectores idénticos, uno de estos se encuentra localizado en el estado de Luisiana, mientras el otro en el estado de Washington, en los Estados Unidos, constituido por brazos colocados en forma de L de cuatro kilómetros de longitud y separados por una distancia de 3000 kilómetros. Así mismo, Virgo se encuentra constituido por tres kilómetros de longitud, este se encuentra ubicado en Italia, específicamente en la zona



geográfica de Cascina, cerca de Pisa. Del mismo modo, estos tres detectores a su vez fueron diseñados en los años 90, construidos alrededor del año 2000 y operados durante la siguiente década en su configuración inicial junto con el detector GEO600, localizado en la zona geográfica de Alemania.

Por consiguiente, en el mes febrero del año 2016 se anunció (Abbott y otros, 2016) la primigenia detección de ondas gravitacionales, llevada a cabo por los observatorios LIGO ubicado uno en Hanford, estado de Washington, y el otro en un pueblo de Luisiana llamado Livingston, estado perteneciente a los Estados Unidos. Se ha demostrado, ambos observatorios se encuentran distanciados por un trayecto aproximado de 3000 km. Así mismo, la detección realizada corresponde a un evento observado el 14 de septiembre de 2015 a las 09:45:45 UTC. Del mismo modo, a este evento se le denominó GW150914 Moreschi (2016).



**Fuente:** Revista de Enseñanza de la Física. Parte central del detector LIGO de 4km de lado, en Livingston, estado de Luisiana, en Estados Unidos.

Este proyecto, de sustancial importancia para las ciencias astronómicas, LIGO se ha logrado financiar con los recursos económicos de la NSF y operado por Caltech y MIT, los cuales pactaron LIGO y condujeron a los proyectos de LIGO inicial y avanzado. El apoyo financiero para el desarrollo del proyecto LIGO avanzado fue liderado por la NSF junto con el país de Alemania (Sociedad Max Planck), el Reino Unido (Science and Technology Facilities Council) y Australia (Consejo OzGrav australiano de Investigación). Se debe considerar, la estela de aproximadamente de 1300 investigadores del campo científico de la astronomía de todo el planeta terráqueo, la República Dominicana no ha logrado participar, debido esto, a su

escases de científicos en esta rama astronómica. Del mismo modo, la cooperación Virgo está constituida en la actualidad por unos 350 científicos de los siguientes países: Bélgica, Francia, Alemania, Hungría, Italia, los Países Bajos, Polonia y España. Sintés (2019), El Observatorio Europeo Gravitacional (EGO, por sus siglas en inglés) acoge al detector Virgo cerca de Pisa en Italia, y ha sido fundado por el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en Francia, el Instituto Nazionale di Física Nucleare (INFN) en Italia, y Nikhef en los Países Bajos.

## **6- OBSERVACIONES DE LA RED DE DETECTORES AVANZADOS**

Dado que, estos detectores gravitacionales y todos sus elementos que los componen desde los espejos y el sistema de vacío hasta los fotodiodos que detectan el haz láser, en la actualidad están siendo mejorados de manera continua para incrementar de manera considerable su sensibilidad en un factor 10 de forma aproximada. Por consiguiente, el programa de mejora en el proyecto LIGO inició en 2010 y un año más adelante en Virgo. Se puede informar, los detectores LIGO, en su configuración avanzada, tomaron datos entre septiembre de 2015 y enero de 2016 en su primera fase de observación (llamado O1) y entre el 30 de noviembre de 2016 y 25 de agosto de 2017 (O2). Más adelante Virgo se empalmó a O2 el 1 de agosto de 2017 y ello cedió no solo una mejor localización de las fuentes, sino que también logró reducir las posibilidades de que las señales que se detectaran representara un ruido local. De la misma forma, con estas dos etapas iniciales de operación, la red de detectores LIGO-Virgo ha permitido lograr hasta la actualidad la detección de diez fusiones de agujeros negros de nuestra bóveda Celestial y un choque gigantesco y colosal de dos estrellas de neutrones.

Publicaciones realizadas por Sintés (2019) ha indicado, que pasados estas primeras fases de de operación los detectores avanzados no poseían la sensibilidad de diseño completa. De la misma forma, durante O1, para fusiones de binarias de estrellas de neutrones (BNS- “Binary Neutron Stars”) LIGO logró alcanzar un rango de 60-80Mpc, y su sensibilidad permitió confirmar las primeras detecciones de binarias de agujeros negros: GW150914, GW151012 y GW151226. De la misma forma, durante O2, la sensibilidad alcanzada durante esta fase para BNS por LIGO se puede manifestar fue del orden de 60 a 100 Mpc, de forma ligera, pero superior a O1, además, nuevas señales procedentes de fusiones de agujeros negros fueron detectadas, junto con la primera observación de una fusión de binarias de neutrones: GW170817. Por consiguiente, estos proyectos han dado los resultados esperados y se tiene los pronósticos de continuar mejorando en la medida que la tecnología avance a un ritmo sorprendente.

Se ha demostrado, la casería de nuevas ondas gravitacionales se ha reactivado de manera reciente, a partir del 1 de abril de 2019. En consecuencia, durante esta nueva fase de observación (O3), que durará aproximadamente 12 meses, la colaboración LIGO-Virgo tratará registrar datos científicos de forma continua. De la misma forma, los tres detectores operarán como un observatorio global y al que se unirá el detector KAGRA en estos momentos. Esto

debido, a las innovadoras mejoras, con estas medidas se espera que las detecciones de señales procedentes de esa región espacio-tiempo donde la masa se contrae de manera compacta, donde la luz no es capaz de escapar, es decir, la fusión de agujeros negros sean muy comunes, logrando con esto, hasta una por semana. Los investigadores de esta ciencia gravitacional, además, esperan observar probablemente hasta decenas de fusiones de estrellas de neutrones, como GW170817, que abrió la era de la astronomía de multi-mensajeros. Finalmente, estas observaciones de muchas señales, que se espera tengan lugar durante O3, suministrarán un censo de la población de remanentes de masa estelar y una mejor comprensión de los Multiversos caóticos violentos."

Con estas medidas, se espera que durante O3, la red global LIGO-Virgo se encargue de notificar en cuestión de minutos a la comunidad científica de astrofísicos la observación de candidatos potenciales de ondas gravitacionales a través del sistema de alertas públicas. Así mismo, esto consentirá hacer un rastreo de las señales de ondas gravitacionales con búsquedas electromagnéticas y de neutrinos, llevando esto por tanto a los hallazgos en astronomía de multi-mensajeros.

En definitiva, la comunidad científica de astrofísica, espera que el resultado científico logrado de O3 se convierta en un hecho revolucionario, y potencialmente revelador de nuevas señales inquietantes originarias de nuevas fuentes tales como la fusión de sistemas binarios compuestos por un agujero negro y una estrella de neutrones. De esta misma forma, O3 poseerá asimismo como propósito las ondas gravitacionales de larga duración, originadas supuestamente por estrellas de neutrones girando de manera no simétrica con respecto a su eje de rotación. Por el contrario, la detección de tales señales, así como las de aquellas procedentes de explosiones supernova producidas tras el colapso de núcleos estelares y otras fuentes, representan hasta la actualidad un desafío enorme y la colaboración LIGO-Virgo se encuentran trabajando de manera laboriosa para lograr este propósito Sintes (2019),

## **7- LOS AGUJEROS NEGROS**

Las recientes investigaciones, han demostrado, la formación de agujeros negros se encuentra estrechamente relacionada al colapso y muerte de las estrellas. Por consiguiente, el ciclo de vida de las estrellas es una lucha constante entre la presión térmica, que tiende a expandir la estrella, y la gravedad, que tiende a colapsarla. Por consiguiente, la generación de presión térmica representa el calor producido por las reacciones nucleares. De esta misma forma, cuando el combustible para estas reacciones llega al punto de agotamiento, la estrella en este punto toca su final. Este final, puede presentarse de varias formas, dependiendo de la masa de la estrella. En consecuencia, el final puede presentarse de manera violenta o serena De Vicente (1996).

En las últimas décadas, con respecto al marco teórico de la relatividad general han aparecido nuevas situaciones y terminologías, como el término de agujero negro. Una forma de comprender la generalidad de agujero negro es asociar la definición de velocidad de escape

de un cuerpo y la existencia de la velocidad máxima. Para este caso, se puede afirmar, si observamos a un elemento en la superficie de un cuerpo celeste, como un planeta y se arroja una partícula hacia arriba, la misma probablemente caerá nuevamente en la superficie. Así mismo, la velocidad de escape de un cuerpo celeste, o de un planeta, puede ser definida: como la velocidad que debe tener una partícula para poder alejarse indefinidamente de la superficie del planeta. Entonces, se puede indicar, para cada cuerpo celeste de radio  $r$  y masa  $M$  se puede calcular su velocidad de escape.

Ahora, se debe reflexionar en la situación en que manteniendo constante la masa del planeta, se puede lograr disminuir su tamaño, de tal forma que la superficie del mismo cada vez obtenga radios de tamaño menor. En consecuencia, podría ocurrir que a medida que se disminuye el radio del planeta, le velocidad de escape logré extender su tamaño. De tal forma, como existe una velocidad máxima de las interacciones, por consiguiente, también para las partículas, llegará un instante, disminuyendo el tamaño del planeta ficticio, en que la velocidad de escape alcanzará el valor de esta velocidad máxima. Se ha demostrado, en ese escenario, nada podrá escapar de dicha superficie, ni siquiera la luz, por lo que a un cuerpo tal se le puede denominar agujero negro. Así mismo, a cada masa le corresponde un radio tal que si tiene ese tamaño su velocidad de escape es  $c$ . En definitiva, se ha calculado, el radio de un agujero negro con la masa del Sol será de aproximadamente 3km; mientras que el radio de un agujero negro con la masa del globo terráqueo será de aproximadamente 9 milímetros.

Acosta (2019), se tiene entendido, en el centro de las galaxias se encuentra un agujero negro, el cual tiene su génesis, cuando se produce una alta concentración de masa, o su equivalente en energía, esto se ubica, en una región esférica cerrada del espacio denominada horizonte. Se puede indicar, la teoría de la relatividad general ha confirmado que el campo gravitacional dentro del horizonte es tan intenso, que la luz no puede escapar de su interior y queda atrapada para siempre. Según las últimas investigaciones, los neutrinos son los únicos que pueden escapar a esta dinámica. Pero como según la física relativista nada en el universo puede desplazarse más rápido que la luz, se concluye que ninguna forma de materia o energía encerrada en el horizonte puede atravesarlo y escapar hacia lo externo.

Ahora bien, se debe tener presente, según la teoría de que la luz estaba formada por ondas, no quedaba bastante claro cómo respondería ésta ante la presencia de la gravedad. Por consiguiente, si la luz se encontraba constituida por partículas, se podría esperar que éstas fueran afectadas por la gravedad del mismo modo que lo son las balas, los cohetes y los planetas Acosta (2019).. En el génesis, se tenía pensado que las partículas de luz se transportaban con infinita rapidez, de forma que la gravedad no hubiera sido capaz de frenar, pero la revelación de Roemer de que la luz viaja a una velocidad finita, esto significa el que la gravedad pudiera tener un efecto relevante sobre la luz Hawking (1987).

## **8- DETECCIÓN DE AGUJEROS NEGROS**

Los últimos hallazgos, han revelado la forma rutinaria de observar los Multiversos esto se realiza a través de las radiaciones emitidas por los objetos astrofísicos, en las diferentes regiones del espectro electromagnético. En la era del conocimiento y un mundo que aglutina cambios significativos entorno a: lo humano, tecnológico y estructural, existen gigantescos telescopios, varios de ellos orbitando alrededor del globo terráqueo, los cuales detectan emisiones de diferentes longitudes de onda. Se puede afirmar, Hubble es sensible en la región visible y en las regiones infrarroja y ultravioleta mientras que el Chandra lo es en la región de rayos X. Por el contrario, los agujeros negros no emiten ningún tipo de radiación. Por lo tanto, Se ha indicado, hasta el momento presente, la única forma de inferir su presencia es a través de los efectos de su campo gravitacional.

Según las últimas investigaciones, la inicial evidencia de la presencia de agujeros negros se logró a partir de la observación de sistemas estelares binarios. Esto es, un sistema binario es un agregado de dos estrellas que orbitan una alrededor de la otra. Así mismo, en cuantiosos sistemas binarios, por lo general, sólo una de las dos estrellas es visible. A partir de ahí, se la observa rotando alrededor de un punto en el cual no aparece ningún astro visible. Aun así, en ese punto existe algún cuerpo que genera el campo gravitatorio suficiente como para obligar a la compañera visible a describir órbitas a su alrededor. Se ha demostrado, que computando ciertos parámetros de la órbita de la estrella visible es permitido la estimación de la masa de su agregada invisible. Por consiguiente, en algunas situaciones, se ha logrado encontrar que la masa del objeto invisible supera las 3  $M_{\odot}$ . Finalmente, se ha llegado a la síntesis, sobre la tentativa más razonable es suponer que el acompañante oscuro es un agujero negro.

Es la década de los 60 del pasado siglo XX, donde se detecta el primer agujero negro, aplicando este método, el cual fue ubicado en Cygnus X – 1. Básicamente fue descubierto en 1965 y según los cálculos realizados se encuentra a 2.5 kpc del globo terráqueo. Se ha calculado, que posee una masa entre 6 y 20  $M_{\odot}$ . como se ha demostrado, si bien la no certeza en la determinación de la masa es inmensa, todas las medidas realizadas muestran que el ente oscuro de ese sistema binario tiene una masa superior a 3  $M_{\odot}$  por lo que muy probablemente se puede considerar, se está frente a un agujero negro estelar. A partir de este hallazgo Cygnus X –1 se han encontrado decenas de candidatos a agujeros negros estelares. De esta misma forma, en la galaxia M 33 se ha detectado un sistema binario en el cual se han logrado verificar con bastante exactitud los parámetros, dando por resultado para el acompañante oscuro una masa de aproximadamente 15  $M_{\odot}$  (Orosz et al., 2007; Valsecchi et al., 2009; Valsecchi et al., 2011).

Hasta la actualidad, las observaciones realizadas de los centros de galaxias activas y del centro de la Vía Láctea proveen certidumbre adicional que corroboran la presencia de los agujeros negros. De la misma forma, los movimientos existentes de las estrellas próximas al centro de la Vía Láctea y la crecida emisión de radiación desde algunos núcleos galácticos han

señalado la presencia de objetos muy compactos en el centro de las galaxias. Además, las masas estimadas en estas situaciones, se calculan, oscilan entre 106 y 1010 MO. Se ha estimado, la existencia de uno de estos agujeros negros en el centro de cada galaxia, incluida la Vía Láctea. En definitiva, y siendo coherente con las últimas evidencias se considera que existen también agujeros negros de masa intermedia en el centro de los cluster globulares (Gerssen et al, 2002. Gebhardt et al., 2002).

Los investigadores han encontrado otra forma de deducir la presencia de un agujero negro y esta es mediante sus efectos como lentes gravitacionales. De la misma forma, un objeto compacto curva el espacio tiempo a su alrededor de tal manera que un haz de luz que pase cerca será desviado de su dirección o punto inicial. Por consiguiente, los cuerpos compactos actúan como lentes, causando la deflexión de la luz. Se puede inferir entonces, el ángulo de deflexión está relacionado con la masa del objeto que lo produce. Por lo tanto, cuando se mide el ángulo de deflexión es probable reslizar estimaciones de esta masa masa (Bartelmann and Schneider, 2001). Además, cuando se logra que la luz sea deflactada por un ente invisible cuya masa es superior a 3 MO entonces podría inferirse la existencia de un agujero negro (Eiroa, 2012).

De ahí, la condición fundamental de que la masa existente sea mayor a 3 MO es considerada necesaria pero no suficiente para la determinación, que un objeto pueda ser considerado y clasificado como un agujero negro. De la misma manera, la única forma de probar que se trata ciertamente de un agujero negro es la verificación realizada que posee un horizonte de los eventos ya que ésta es la única particularidad que lo diferencia de otro tipo de estrella extremadamente masiva. Demostrado esto, cuando un agujero negro se encuentra ante la presencia de un astro extremadamente luminoso la luz que logra llega al observador se encuentra deflactada. Así mismo, la parte de los fotones emitidos por la fuente, aquellos que pasan más cerca, logran caer hacia el agujero negro generando una región oscura denominada sombra. Por el momento, se considera, la estructura aparente del agujero negro es definida por la sombra.

A consecuencia, de la observación directa de esta forma aparente, representa una de las mayores esperanzas de la ciencia astrofísica, debido esto, que suministrará una descripción de la zona o región próxima al horizonte de los eventos. De ahí, en un futuro cercano los proyectos RadioAstron en la región de radioondas y Maxim (Micro Arc second X-ray Imaging Mission) en la región X del espectro, estos logran ser idóneos de explorar el centro galáctico con una mayor resolución. Finalmente, con la adquisición de tecnología de ultrapunta galáctica, estos instrumentos eran capaces de ejecutar mediciones de gran precisión en torno de manera exclusiva, al agujero negro supermasivo que se localiza en el centro de la Vía Láctea y se espera que puedan expulsar información acerca de la sombra que posee y de su forma aparente (Eiroa, 2013).



## 9- CONCLUSIONES

En definitiva, y para ir cerrando porciones mínimas, sobre las ondas gravitacionales, es importante aludir que el estudio de la astronomía de las mismas ha dejado deserción y es una realidad. Esta nueva ventanita de observación astronómica proporcionara grandes descubrimientos y esgrimirá la posibilidad de explorar regiones de los Multiversos, como lo es, el caso del universo temprano o los interiores estelares, lo que no ha sido posible mediante las ondas electromagnéticas.

Se ha demostrado, varias especies que se han desarrollado en el planeta Tierra, incluido el Homosapiens, estos tienen la posibilidad de detectar la luz. En lo individual, los ojos de los humanos se han adaptado a distinguir con mayor precisión las frecuencias de luz para las cuales la radiación solar es mayor en la superficie del globo terráqueo. De ahí, que no existe en los antecedentes de los humanos, una fecha en exclusiva que se pueda asociar a la primera detección de ondas electromagnéticas; dado que la humana la ha detectado desde sus orígenes. Por el contrario, sí podríamos colocar con exactitud, una fecha para la inicial detección de ondas gravitacionales: fue el 14 de septiembre de 2015. Esa es considerada, la primera vez que especie la humana detectó ondas asociadas a otro tipo de interacción, la gravitatoria.

Como se ha demostrado, esto representa la "Piedra Angular, en los antecedentes del Homosapiens. A partir de ese día se ha comenzado a observar los Multiversos por medio de otros ojos. Así mismo, las probabilidades de obtener información de objetos y sistemas astrofísicos por medio de la radiación gravitacional abren un nuevo panorama y han ido en aumento, esto indica, que sus implicaciones solo podrán ser entendidas a lo largo del tiempo y son inimaginables en el presente. En la medida en que vayan logrando más información por medio de estas nuevas detecciones, se tendrá mayores probabilidades del hombre ir completando una mejor y real imagen del Universo el cual habita.

## 10- BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Abernathy, M. R., Acernese, F., Ackley, K., [...] Zweizig, J. (2016). Observation of gravitational waves from a binary black hole merg
- Acosta José A. (2019): Los Agujeros Negros: Equilibrio universal. Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible.
- Bartelmann, M and Schneider, P. (2001). Weak Gravitational Lensing. Physics Reports, 340, 291 – 472.
- Castañeda Leonardo (2017): Ondas Gravitacionales: de su predicción a los premio Nobel. Universidad Nacional de Colombia.
- De Vicente Pablo A. (1996): Viaje a un Agujero Negro. Centro Astronómico de Yebes .Instituto Geográfico Nacional.



- Eiroa, E. (2013). Strong deflection gravitational lensing. Gravitation, Relativistic Astrophysics and Cosmology, En Proceedings of the First Argentinian- Brazilian Meeting, (33-52). Sao Paulo: Livraria da Fisica.
- Gebhardt, K; Rich, R. M. and Ho, L. C. (2002). A 20 thousand solar mass black hole in the stellar cluster G1. Astrophys. J., 578, 41 – 46.
- Gerssen, J.; van der Marel, R. P.; Gebhardt, K.; Guhathakurta, P; Peterson, R. C. and Pryor, C. (2002). Hubble Space Telescope Evidence for an Intermediate- Mass Black Hole in the Globular Cluster M15—II. Kinematical Analysis and Dynamical Modeling. Astron. J., 124, 3270–3313
- González Gabriela y Sintés Alicia (2015): Ondas gravitacionales: mensajeras del universo. Relatividad General de Einstein. NASA/C. Henze.
- Moreschi Osvaldo M. (2016): Primera detección de ondas Gravitacionales. Universidad Nacional de Córdoba, Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG), CONICET, Ciudad Universitaria,(5000) Córdoba, Argentina.
- Orosz, J. A.; McClintock, J. E.; Narayan, R.; Bailyn, C. D.; Hartman, J. D.; Macri, L. et al. (2007). A 15.56 solar mass black hole in an eclipsing binary in the nearby spiral galaxy M 33. Nature, 449, 872 – 875.
- Sintés Alicia M.(2019): El nacimiento de la astronomía de ondas gravitacionales. Encuentros multidisciplinario. Universidad de las Islas Baleares.
- Valsecchi, F.; Glebbeek, E.; Farr, W. M.; Fragos, T.; Willems, B.; J. A. Orosz, J. A. et al. (2011). An Evolutionary Model for the Massive Black Hole X-ray Binary M33 X-7. En Evolution of compact binaries. ASP Conference Series, 447, 271 – 277.
- Valsecchi, F.; Willems, B.; Fragos, T. and Kalogera, V.(2009). The Eclipsing Black Hole X-ray Binary M33 X-7: Understanding the Current Properties. En Hot And Cool: Bridging Gaps in Massive Star Evolution. ASP Conference Series, XXX.