

¿Las ondas detectadas por LIGO son las de Einstein, Pirani, Bondi, Trautmann, Kopeikin o qué son?



Por Alfonso León Guillén Gómez

Investigador científico independiente

Colombia

aguillen@gmx.net

Febrero, 2022

Resumen

Desde la formulación geométrica de la gravedad, según las ecuaciones de Einstein-Grosmann-Hilbert, de noviembre de 1915, como el movimiento geodésico en la variedad semirimanniana de curvatura positiva, espaciotiempo, donde por ausencias de simetrías, no es posible la conservación de la energía-impulso tomando en conjunto los procesos materiales y el del campo geométrico gravitacional, sin embargo, dadas esas simetrías en el espaciotiempo plano de Minkowski, usando el modelo de De Sitter, Einstein linealizando la gravitación, por supuesto, realmente en ausencia de gravedad, en 1916, depuradas de algunos errores matemáticos en 1918, introdujo las "ondas gravitacionales"

como perturbaciones en la curvatura del espacio, y en ausencia de saber físicamente qué es el espaciotiempo y filosóficamente en pleito, que previamente en 1936 y definitivamente en 1937, Einstein demostró no existían. Fue por parte de los trabajos surgidos de la dinámica del discurrir académico, desde la perspectiva no de Einstein sino de Weyl, que Bondi, Pirani, Robinson y Trautman, en la década de 1950, posterior al fallecimiento de Einstein, las "ondas gravitacionales" fueron reintroducidas y motivaron que experimentalmente se buscaran. En el 2002, a partir del experimento de VLBI de Sergei Kopeikin fue establecida su supuesta velocidad, sin que obtuviera el reconocimiento unánime de la comunidad de científicos sino dividiéndolos. Y fue en febrero de 2016, que la colaboración aLIGO-aVirgo anunciaron haberlas detectado por primera vez. En este trabajo se presenta la historia que conllevó a este supuesto descubrimiento y se plantea que las ondas detectadas son realmente del vacío cuántico en el cual está inmerso todo lo existente, tesis del autor expuesta inmediatamente como respuesta a ese anuncio de 2016.

Introducción

La aceptación de la llamada “general relatividad” por parte de la comunidad científica, indudablemente, fue muy difícil, sobre todo durante los dos primeros años que siguieron a cuando Einstein en noviembre 1915 presentó ante la Real Academia de ciencias de Berlín, como miembro de ella, las ecuaciones que pasarían a la historia, geometrizando la gravedad. Por supuesto, aún para un académico de un indudable prestigio descomunal por ser el reconocido autor de la relatividad especial donde la velocidad de la luz en el vacío adquirió el carácter de constante absoluta a costa que el espacio y el tiempo dejaran de serlo, aceptados milenariamente como tales, en el sentido de que su medición fuera independiente de los observadores en distintos marcos de referencia. Pero, es que se trataba de destronar a Newton, cerca de dos siglos consolidado en su concepción de la gravedad como una fuerza mientras Einstein ahora sostenía lo contrario y aún peor cuando en búsqueda de la generalización de la relatividad originariamente válida sólo en los marcos inerciales a todo tipo, o sea, a marcos sujetos a aceleración y los gravitacionales, Einstein había, en 1907, comunicado a cuatro vientos su “pensamiento más feliz de su vida” acerca de la equivalencia entre toda las clases de movimientos a la luz de su idea sobre la caída libre de los cuerpos, en virtud de la equivalencia entre sus masas inercial y gravitacional que, por tanto, se anulaban, que en Zúrich, trabajando con Grossmann, desde julio de 1912, en la teoría Entwurf, presentada en 1913, encontró dicha equivalencia era sólo válida en lo que él llamó la gravedad puntual, realmente ausencia de gravedad, la cual como gravedad extendida, la gravedad verdadera, no puede ser eliminada por un simple cambio de las coordenadas entre marcos de referencia distintos y, en consecuencia, la gravedad debía ser un efecto material similar al electromagnetismo, a cambio de ser, un simple efecto de coordenadas. Pero, en noviembre 1915, retrocedía afirmando la gravedad es un efecto geométrico del espaciotiempo curvo y no un efecto físico en el sentido material.

Qué había pasado? Para mal de Einstein a la vista de Lorentz, quien como científico fuera su autoridad paterna, al cual mantenía al tanto de sus avances y retrocesos, de sus contradicciones, siempre apoyándose en su sabiduría de un ser superior, al que veneraba. Al no corregir la anomalía de la órbita de Mercurio, ni tampoco tener las propiedades de la covarianza general y ni en el límite coincidir con las de Newton, las ecuaciones de la teoría Entwurf, que resultaron de la aplicación por parte de Grossmann de los tensores en el espaciotiempo de Minkowski, fueron abandonadas y, para peor, Einstein le había impedido a Grossmann que, como matemático, no vió otra alternativa distinta a emplearlas en la variedad espaciotiempo de Riemann, puesto Einstein como físico comprendió habría tenido que renunciar a su explicación material de la gravedad extendida, debiendo terminar con su asociación con Grossmann, a comienzos de 1914, por tener Einstein trasladarse a Berlín a ocupar el puesto en la Academia. Lorentz a través de una carta lo había felicitado por su teoría Entwurf. En la respuesta a Lorentz, en agosto 14, 1913, Einstein frustrado le comentaba acerca de la no covarianza general de sus ecuaciones: “Por desgracia, las propias ecuaciones gravitatorias no tienen la propiedad de la covarianza general”. Sin embargo, dos días después, en agosto 16, Einstein en una nueva carta le dijo a Lorentz: “que ha renunciado a la creencia de que la covarianza resulta imposible: <Solo ahora, cuando parece que se ha eliminado esa fea mancha negra, la teoría me resulta placentera>”.

En Berlín, Einstein sólo enfrentó la dura confrontación con Hilbert, el mejor matemático alemán de la época, iniciada en julio de 1915, luego de que en sus conferencias en la Universidad de Göttingen, en junio anterior, Einstein lo enterará del estado de desarrollo de su investigación, ahora enfrentándolo precisamente en el terreno de éste, en el cual Einstein no era profesional puesto que su pregrado, en 1901 y su Ph.D, en 1905, los había obtenido en física. A través de una nutrida correspondencia Einstein y Hilbert se mantuvieron informados del trabajo del otro, tomando la delantera Hilbert quien aplicando los tensores en la variedad espaciotiempo de Riemann, lo que le había impedido a Grossmann, le impuso a Einstein seguirlo logrando 5 días antes, lo cual ha sido confirmado, no obstante la controversia de tiempo reciente en contra, el sistema de ecuaciones de la llamada “general relatividad”, que en una versión más elegante Einstein presentó a la Academia Prusiana de Berlín.

En este adverso escenario Lorentz supó del inesperado cambio de concepción de Einstein entre la materialidad de la gravedad extendida en la teoría Entwurf y su geometrización que de inmediato rechazó de acuerdo con la carta del 17 junio 1916, en que Einstein responde una carta-artículo de Lorentz del 6 junio 1916, y se deduce lo invitaba a aceptar el éter como las g_{uv} , cantidades que caracterizan el campo gravitacional, determinando reglas y relojes, reemplazando el escalar gravitacional potencial de Newton. Casi de inmediato, Einstein adoptó $g_{uv} = \text{éter}$, bajo el éter relativístico, de alguna manera, aunque fuera figurada, recuperando la materialidad de la gravedad y le escribió a Lorentz: “Estoy de acuerdo con usted en que la teoría de la relatividad general admite una hipótesis del éter al igual que la teoría de la relatividad especial [no obstante haber descartado el éter

en ese entonces]. Pero esta nueva teoría del éter no violaría el principio de relatividad. La razón es que el estado g_{uv} = éter no es el de un cuerpo rígido en un estado de movimiento independiente, sino un estado de movimiento que es una función de la posición determinada por los fenómenos materiales". Einstein debió ilusionarse aún más cuando De Sitter le propuso la expresión matemática de la gravedad linealizada que lo sacaba del horror de la geometría de Riemann y lo devolvía a Minkowski donde podría tratar materialmente la gravedad por las simetrías que posee, además, contestar la pregunta de Max Born, hecha en 1913, de la velocidad de propagación de la gravedad, ciertamente válido en ese momento, por ser la gravedad extendida un fenómeno material análogo al campo electromagnético, por tanto, la gravedad una de las fuerzas existentes en la naturaleza como lo había planteado Newton.

Einstein 5 días luego de su aceptación del éter relativístico en un corto artículo introducía las "ondas gravitacionales", 22 de junio 1916, que Poincaré, en 1905, había predicho. Einstein lo hacía, con la ingenuidad de quien no era un matemático profesional, de tener unas ecuaciones en la versión linealizada equivalentes a las halladas en Riemann, no dándose cuenta que en el espaciotiempo de Minkowski no hay gravedad y la perturbaciones son solamente como Eddington lo aclarará, en 1922, la expresión de la construcción de un espaciotiempo de Minkowski ondulado. Einstein se gastó cerca de dos años en depurar sus ecuaciones sobre las "ondas gravitacionales" que entregó en 1918, probablemente satisfecho por haberse reconciliado con Lorentz y su teoría Entwurf.

Un año luego, a instancias del muy influyente Sir Eddington, el máximo artífice de la gloria de Einstein: "Los distinguidos miembros de la Real Sociedad Geográfica, la institución científica más venerable de Gran Bretaña, se unieron a sus colegas de la Real Sociedad Astronómica la tarde del 6 de noviembre de 1919 en Burlington House, en Piccadilly, mientras Isaac Newton los contemplaba a todos desde un imponente retrato colgado en la gran sala. «Toda aquella atmósfera de tenso interés era exactamente la de una tragedia griega —anotaría Whitehead—. Nosotros éramos el coro comentando los designios del destino... y en el fondo el retrato de Newton nos recordaba que la mayor de las generalizaciones científicas iba ahora a recibir, después de más de dos siglos, su primera modificación». El Astrónomo Real, sir Frank Dyson, tuvo el honor de presentar los descubrimientos" (Isaacson, 2007), de la supuesta confirmación de la teoría de la llamada "general relatividad" gracias a la expedición de Eddington y a su fenomenal empeño que se impuso al resultado que no lo favorecía de la otra expedición del Brasil, no obstante, por las condiciones atmosféricas del lugar donde se efectuó, mejores que la suya. "Eddington descartó el valor más bajo, procedente de Brasil, con el argumento de que el equipamiento estaba defectuoso, y con cierto sesgo en favor de sus propios resultados difusos en África, obtuvo una media de poco más de 1,7 segundos de arco, lo que coincidía con las predicciones de Einstein. No era aquella precisamente la confirmación más neta posible, pero sí lo fue lo suficiente para Eddington" (Isaacson, 2007). Pero, veamos que tan concluyente fue a esa fecha quedará consolidada la llamada "general relatividad": "El escéptico Silberstein, dirigiéndose a Eddington, dijo que la gente pensaba que

solo había tres científicos en el mundo que entendieran la general relatividad, y que le habían dicho que uno de ellos era Eddington. El tímido cuáquero permaneció en silencio. —¡No sea tan modesto, Eddington! —le dijo Silberstein. —No, nada de eso —repuso él—. Solo me estaba preguntando quién debe de ser el tercero” (Isaacson, 2007).

El autor en su obra “Einstein y las "ondas gravitacionales"”, marzo, 2021, trató en detalle esta historia hasta su desenlace en 1937.

Este nuevo trabajo sobre lo más destacado de la historia de las "ondas gravitacionales", se inicia repasando el final, cerca a dos décadas después de haberlas formulado, en 1937, en que en su artículo “Las ecuaciones gravitacionales y el problema del movimiento” Einstein con Infeld y Hoffman demostraron que a partir de sus ecuaciones de 1915, era imposible derivar "ondas gravitacionales", ratificado por Rosen quien independientemente, en un artículo publicado, mientras se encontraba en Rusia hizo lo mismo, una vez que como su asistente y coautor un año atrás cuando por primera vez las negaron, sin embargo, impedidos por haberseles cruzado la influyente Universidad de Princeton a través del profesor Robertson, en calidad de par censor en la revista donde lo habían enviado para su publicación. En este artículo Robertson en calidad de auxiliar tuvo que admitir de manera tácita que carecía de un motivo fundamental, más bien por su ignorancia acerca de la “general relatividad”, para haberles vetado a Einstein y Rosen su artículo de 1936.

Dentro del escenario del surgimiento y evolución de la geometría se presenta el tensor de Riemann, por estar expresadas la ecuaciones de campo de Einstein 1915 en tensores, que son cantidades, definidas por arreglos de componentes, cuyas propiedades son invariantes respecto del marco de referencia en el que se apliquen. Y, en particular, en estas ecuaciones es de suma importancia, el tensor de Einstein, G_{uv} , construido a partir del tensor de Riemann que en geometría diferencial describe completamente la curvatura de una variedad, midiendo en que la métrica de la variedad difiere respecto de la métrica euclídea. El tensor de Riemann para la variedad espaciotiempo tiene 20 componentes de los que Einstein tomó sólo 10, que constituyen el tensor de Ricci y corresponden a la parte de la curvatura que da la reducción del volumen con el paso del tiempo. Los diez restantes componentes del tensor de Riemann fueron omitidos hasta 1919 cuando fueron representados por el tensor de Weyl que da los cambios de forma con el traslado entre los puntos de una línea geodésica. En el trabajo de Einstein sobre las "ondas gravitacionales" terminado en 1918 sólo se utilizó el tensor de Ricci aunque en la versión linealizada de De Sitter. Por lo tanto, cuando en 1937 se demostró su inexistencia fue respecto a ese tensor.

El siguiente tema trata como a la muerte de Einstein se desarrolló un nuevo marco teorico-matemático utilizando el tensor de Weyl por parte de Bondi, Pirani, Robinson y Trautman con que justificaron la reintroducción de las "ondas gravitacionales", sin embargo, arbitrariamente a nombre de la “general relatividad” con la cual la relación real es que el tensor de Weyl Einstein lo ignoró, mientras estos autores al contrario de lo hecho por Einstein ignoraron el tensor de Ricci al igualarlo a 0, o sea, volver nulo sus 10

componentes y a cambio, redujeron el tensor de Riemann sólo al tensor de Weyl. Por otra parte, no obstante, siendo el tensor de Weyl como el tensor de Ricci caracterizaciones de propiedades geométricas de la variedad espaciotiempo de Riemann, también como lo había hecho Einstein con el tensor de Ricci al resolver sus ecuaciones en ausencia de materia, es decir, haciendo cero el tensor de energía-impulso, injustificadamente el tensor de Weyl ellos lo asimilaron al campo electromagnético como las ondas planas que al infinito se propagan aunque a diferencia de éstas en ausencia de fuentes. Así, el trabajo de ellos pertenece al género académico exploratorio, en este caso más bien especulativo siendo su contribución el haber rescatado el tema de las "ondas gravitacionales" y colocarlo en el escenario experimental, iniciándose su búsqueda.

Enseguida se expone el experimento de Sergei Kopeikin y Formalont detalladamente junto con sus críticas, en que mediante VLBI, técnica de radio-interferometría, la cual utilizó una red de once radiotelescopios intercontinentales combinados para detectar la deflexión de los rayos de radio de una fuente extragaláctica, identificada como el quásar J0842+1835, en los campos gravitatorios del Sol y de Júpiter, durante la alineación visual, ocurrida el 8 de septiembre de 2002, entre este planeta y el quásar. El experimento diseñado por Kopeikin a partir de un modelo tensor escalar de la gravedad aunque métrico alternativo a la "general relatividad", pretendiendo resolver el problema de no localidad de la energía del campo gravitacional, pero aún pendiente, según trabajo posterior donde buscó de nuevo resolverlo. Kopeikin introdujo en las ecuaciones de Einstein, es decir, tanto en lado del tensor de Einstein como en el del tensor impulso-energía, la velocidad de la gravedad, de un sistema que a través del campo gravitacional cercano estaría emitiendo "ondas gravitacionales" en la lejanía, por consecuencia, transmitiendo una fuerza producida por ser esta velocidad finita que en Einstein no existe. Así, la deflexión de la onda electromagnética de radio proveniente del quásar no sólo, como en Einstein, habría dependido del campo gravitacional local, en este caso del campo gravitacional de Júpiter, sino también de la fuerza debida a la velocidad finita de transmisión de la gravedad lo cual le habría permitido medirla coincidiendo aproximadamente con $1,06 c$. Sin embargo, la comunidad científica se dividió entre los que rechazan se haya medido y los que lo aceptan. Los argumentos en contra son muy fuertes, en especial el de que la sensibilidad de los instrumentos no pudieron medir perturbaciones del orden v^2/c^2 que se requerían detectar sino apenas del orden v/c , que Kopeikin y Formalont terminaron admitiendo aunque no aclararon si el experimento realmente lo había logrado.

Por último se presenta la supuesta detección de las "ondas gravitacionales", en el 2015, por parte de la colaboración aLIGO-aVirgo a pocos meses de haber mejorado entre tres a cuatro veces la sensibilidad del interferómetro láser, básicamente según el esquema de Michelson-Morley, 1887, el cual dió lugar en ese entonces al descubrimiento de la constancia de la velocidad de la luz en el vacío, y en la actualidad luego de que durante cerca de quince años, en la versión de su primera generación, infructuosamente las buscaron, aunque sirviéndoles para hacer su potenciación. Por supuesto, la acumulación de experiencia incorporada a la tecnología de la medición para detectar nuevas clases de

ondas tenía que producir resultados que a la luz de la teoría de la “general relatividad” les permitió, en los términos más generales, hacer moñona pues a la vez detectaron ondas cuadrupolares, producidas en el tejido del vacío cuántico (tesis del autor), generadas en la fusión de un sistema binario de astros oscurecidos (tesis de Logunov), y en sus términos particulares, la detección de "ondas gravitacionales" en el tejido del espaciotiempo debidas a la fusión de un sistema binario de "agujeros negros". Lo paradójico es que los autores del diseño del experimento hicieron la comprobación de la detección de las ondas cuadrupolares, por las estaciones Hanford, Washington, y Livingston, Luisiana, de aLIGO, aVirgo no participó porque se encontraba en actualización, usando las ecuaciones, 1918, derivadas de la gravedad linealizada de Einstein según el modelo de De Sitter, 1916, es decir, tomando el tensor de Ricci en una de sus soluciones para el vacío, las cuales fue demostrado no existían, en 1937. De los trabajos donde las "ondas gravitacionales" fueron reintroducidas, a partir del tensor de Weyl, durante la década de 1950, sólo utilizaron las ecuaciones de Bondi- Sachs-Trautman para calcular la masa, llamada masa de Bondi, según ellos, del “agujero negro” resultante de la fusión. Pero, mayormente paradójico es que no saben que es “físicamente el tejido del espaciotiempo” como me consta al haber preguntado, por fuera del auditorio, a uno de los más prestigiosos científicos que acababa de dictar una conferencia magistral afín al tema: ¿Qué es el espaciotiempo? Su respuesta fue “no sé”, agradeciéndome por mi asistencia que probablemente a otros no gustaba, en el “Fifteenth Marcel Grossmann Meeting – MG15”, realizado entre el 1-8 de Julio 1918, en la “University of Rome "La Sapienza", donde los presidentes de la Sesión Paralela DE1 A - B - C - Energía Oscura y Universo en Aceleración: Ph.D. Alexei A. Starobinsky, Medalla de Oro A. D. Sakharov de la Academia Rusa de Ciencias, 2016, y Ph.D. David Polarski, que trabaja en el campo de la cosmología, aceptaron mi contribución: “Are dark matter and dark energy opposite effects of the quantum vacuum?” (“¿Son la materia oscura y la energía oscura efectos opuestos del vacío cuántico?”) para su presentación oral, como conferencia en auditorio.

1. En la "general relatividad" no hay "ondas gravitacionales"

Einstein junto con el físico semita, nacido en Polonia, Leopold Infeld y el físico, matemático del Reino Unido Banesh Hoffmann en su artículo “Las ecuaciones gravitacionales y el problema del movimiento”, poco conocido y mucho menos adoptado como referente por la ciencia normal, que fue recibido por “Annals of Mathematics” el 16 de junio de 1937 y publicado en el Volumen 39, No 1 de enero de 1938, páginas 65-100 [1], y que contó con la colaboración secundaria del físico, matemático estadounidense Howard Percy Robertson quien hizo la integración de las ecuaciones de movimiento de dos cuerpos gravitantes halladas por ellos, en ese trabajo, y la presentó en su artículo-nota, aparecido a continuación del de ellos, con el título: “Nota sobre el documento precedente: El problema de los dos cuerpos en "general relatividad"”, páginas 101-104 [2], pusieron punto final a la existencia de "ondas gravitacionales" en la llamada "general relatividad", soportada en las ecuaciones de Einstein-Grossmann-Hilbert, presentadas ante la Academia Prusiana de Ciencias en Berlín, en la conferencia cuyo escrito fue “Las

ecuaciones de campo de la gravitación”, de 25 noviembre de 1915 [3], y que soportan el que la gravedad estática es el movimiento geodésico, es decir, libre de fuerzas de los cuerpos en un espaciotiempo de curvatura positiva, por lo tanto, equivalente al movimiento inercial en un espaciotiempo de Minkowski, que es lo mismo, de curvatura cero. La diferencia fundamental entre un espaciotiempo curvo y el plano es que mientras el primero carece de simetrías el segundo las posee lo cual es crucial para la formulación de las leyes de conservación de la energía-impulso puesto que el plano lo permite mientras el curvo no. Al final del artículo Einstein-Infeld-Hoffmann le dieron las gracias a Robertson por haber realizado la integración de las ecuaciones que dan el movimiento relativístico de dos masivos cuerpos gravitantes por ellos halladas, es decir, por haber realizado una tarea menor. De otra parte, Robertson tuvo que aceptar tácitamente que no había "ondas gravitacionales", lo cual es de un gran significado si se tiene en cuenta sus famosas "ondas gravitacionales" cilíndricas y, además, manifestar: “Estoy en deuda con estos autores por la oportunidad de ver su artículo en manuscrito y por estimular las discusiones”.

También, así quedó superada elegante y apabullantemente la confrontación surgida entre Einstein, y Robertson, entre el Instituto de Estudios Avanzados y la Universidad de Princeton, a favor de Einstein y del Instituto, debida a su artículo con la coautoría de su asistente el físico semita, nacido en Brooklyn, Nueva York, Estados Unidos, Nathan Rosen: "¿Hay "ondas gravitacionales"?", cuyo original no existe en la actualidad, enviado el 1 de junio de 1936, a la revista Physical Review, cuyo editor era John T. Tate, y donde les habían publicado otros dos artículos sin revisarlos, que habían escrito juntos. Pero, esta vez “El editor de Physical Review envió el manuscrito a Robertson, quien lo examinó cuidadosamente e hizo varios comentarios negativos” [4]. John Tate, a su vez, escribió a Einstein el 23 de julio para pedirle que respondiera a los comentarios de su revisor. La reacción de Einstein fue ira e indignación, contestándole a Tate, el 27 de julio de 1936: “Nosotros (el Sr. Rosen y yo) le habíamos enviado nuestro manuscrito para su publicación y no le habíamos autorizado a mostrarlo a los especialistas antes de que se imprimiera. No veo ninguna razón para abordar los comentarios, en cualquier caso, erróneos, de su experto anónimo. Sobre la base de este incidente, prefiero publicar el artículo en otro lugar” [4]. El 30 de julio, John Tate respondió a Einstein que lamentaba mucho la retirada del artículo, diciendo: "No podía aceptar para su publicación en The Physical Review un artículo que el autor no estaba dispuesto a mostrar a nuestro Consejo Editorial antes de su publicación" [4], por lo cual Einstein nunca volvió a enviarle sus artículos a “Physical Review”.

La inesperada decisión de Tate, es probable, fuera influenciada por la rivalidad entre el “Instituto de Estudios Avanzados”, donde trabajaba Einstein, fundado como entidad privada, en 1930, por semitas para semitas, aunque también admitió a otros, y la “Universidad de Princeton”, fundada en 1746 como el “Colegio de Nueva Jersey”, que institucionalmente no aceptaba semitas, donde era profesor Robertson, mientras Einstein nunca lo fue, si bien falsamente algunos han afirmado lo contrario, aunque si algunas

veces conferencista, asentadas ambas en la ciudad de Princeton, en el Estado de Nueva Jersey, a unas pocas cuadras.

Se debe tener en cuenta que el par revisor fue anónimo, como es la regla, y Einstein no supo quién era ese personaje, que resulto el muy influyente Robertson, egresado de Caltech y quien al final de un año sabático allí, se había reintegrado a la Universidad de Princeton, donde la fuerte corriente antisemita le tenía celos y no gustaba de Einstein.

Einstein bastante acertado en el manejo de la interrelación social, en esta ocasión falló, como se podrá apreciar, lo cual le ocasionó, como suele suceder cuando se reta y hace enojar a alguien con poder, que le organizaran la respectiva represalia, puede que, con la complicidad de alguno de sus compañeros del Instituto, que como debemos insistir, era totalmente ajeno a la Universidad de Princeton, pero no a las estructuras de poder. Es así, que Infeld quien acababa de llegar de Polonia, en busca de un gran futuro en el Instituto, que en parte logro ya que paso a la historia, al lado de su coterráneo étnico el célebre Einstein, en calidad de su asistente, en reemplazo de Rosen quien había viajado a Rusia. En el mismo día que Infeld se presentó a Einstein, quien en un generoso gesto de aprecio y confianza le dio su artículo, resulto increíblemente amigo de Robertson, para peor, mostrándose tanto pronto pudo, se dice de inmediato [5], aunque otros han afirmado que fue Robertson el que buscó a Infeld y después de unos días se hizo amigo de él [6].

Leopold Infeld, (1898, 1968), físico semita, nacido en Cracovia, entonces del imperio austro-húngaro, hoy Polonia, donde estudio en la Universidad Jagellónica y entre 1920-1921, en la Universidad de Berlín donde entró con la ayuda de Einstein, quien apoyando el sionismo ayudaba a los semitas. A su regreso a su universidad en Cracovia obtuvo su Ph.D pudiendo afirmarse “que Einstein actuó como su asesor de tesis” [6]. Entre 1933-1935, Infeld estudió en Cambridge, Inglaterra, mediante una beca de la Fundación Rockefeller, donde conoció a Rutherford y Dirac y colaboró con Max Born, en la electrodinámica Born-Infeld. Una vez de regreso a Polonia se encontró ante la amenaza nazi inminente, por lo que mantuvo correspondencia con Einstein, quien le sugirió solicitara una beca para ingresar al Instituto de Estudios Avanzados en Princeton y con su apoyo llego allí [7].

Infeld estuvo de acuerdo en el error matemático que Robertson que, desde su restringida visión, como par le había encontrado. Días luego, Infeld actuando de mensajero de Robertson, se presentó ante Einstein para decirle que ellos habían hallado el sonado error, dándole a conocer a Einstein quien había sido su anónimo revisor. Einstein se le adelantó a su traidora misión, bien porque fue avisado o por su propia cuenta descubrió la bellaquería, y le dijo que él había encontrado un error en su artículo. ¿Será por esto que Infeld durante los dos años largos que trabajo de asistente de Einstein (1936-1938), no devengo ningún honorario en el Instituto o fue porque los asistentes de Einstein no lo tuvieron?, aunque el célebre Walther Mayer, llamado la calculadora de Einstein, sí. Infeld a fin de obtener un ingreso le propuso a Einstein escribir entre ambos el brillante libro: “La física aventura del pensamiento”, de cuyo beneficio económico obtuvo la mitad, que el

autor en su edición en español de 1961, leyó en su adolescencia en la Biblioteca Luís Ángel Arango en Bogotá.

Infeld participó en el mafioso castigo propinado a Einstein, en que usualmente la gavilla al que no quiso una, en escarmiento le dan dos, en este caso su artículo fue dos veces sometido al escrutinio de Robertson y para el pleno regocijo de éste, haciendo gala de su poder, actúo no como anónimo sino mandándole con quien iba a ser su asistente su grosera misiva. ¿Porqué Infeld resultó más amigo de Robertson y traicionó a Einstein? ¿Pudo ser por haber sido becario de la Fundación Rockefeller? ¿Quizás por haber estudiado en Cambridge y haberse vuelto amigo de los ingleses?

Pues, como Einstein le advirtió acertadamente a Tate, cuando ignoraba quien era su revisor, y cual su error, éste no debía conocer el contexto y así fue, es decir, Robertson paso por alto la concepción geométrica sobre la gravedad de Einstein, desgraciadamente consecuencia de sus ecuaciones de 1915, que debería haber sido la verdadera fuente de sus críticos y la razón de la no existencia de las "ondas gravitacionales" que Einstein presentaba en su artículo, más no un craso error matemático como fue el que pudo encontrar Robertson, que si hubiera sido corregido dentro del contexto adecuado, debería haber confirmado el resultado de Einstein y no postergarlo que al fin al cabo fue lo que Robertson logro. El error matemático fue originado del manejo muy difícil del cálculo diferencial absoluto, que no era precisamente el talento de Einstein como si lo fue de Grossmann y Hilbert, además, dada su calidad por parte de ellos de matemáticos profesionales.

Si bien Einstein rehízo el artículo de 1936, admitiendo la existencia de las "ondas gravitacionales", Nathan Rosen, su coautor, desde la Unión Soviética, donde residió un tiempo para luego regresar y trabajar por el resto de su vida en Haifa (Israel), no estuvo de acuerdo con el giro del artículo con Einstein y publicó su propia versión en Phys. Z Sowjetunion en 1937, reafirmando que las "ondas gravitacionales" no existían (Rosen, 1937).

Por su parte, también en 1937, en un formidable trabajo sobre las ecuaciones del movimiento, conjuntamente con Infeld y Hoffmann, Einstein dejo definitivamente resuelto que no podían obtenerse "ondas gravitacionales" desde su modelo del fenómeno de la gravedad estática entendido como el movimiento geodésico, que extiende el movimiento inercial de Galilei en el espacio tridimensional de curvatura cero de Euclides al espaciotiempo cuatridimensional (tres espaciales y una temporal), de curvatura positiva de Riemann, por lo tanto, explicando la gravedad como inercia y excluyendo toda posibilidad de la generación de "ondas gravitacionales" que transportarían gravitones. Es decir, la gravedad como el movimiento geodésico, en su pretendida existencia real como gravedad extendida en un espaciotiempo de curvatura positiva o en su manifestación ilusoria como gravedad puntual u homogénea en un espaciotiempo de Minkowski, realmente movimiento inercial.

Einstein había introducido tácticamente las "ondas gravitacionales", el 22 de junio de 1916, 5 días luego de que el físico neerlandés, premio Nobel 1902, Hendrik Antoon Lorentz no le aceptó a Einstein la gravedad como efecto de la geometría del espaciotiempo e hizo, que él tuviera, conferirle realidad física e introducir el llamado éter relativístico. La estrategia de Einstein era no desgastarse en peleas imposibles de ganar cediéndole la razón, al contrario, eso sí de manera temporal, para tan pronto pudiera retornar a sus tesis originales. Einstein se la había recomendado usar a su amigo Paul Ehrenfest, físico semita de Viena que por su origen étnico se sentía desfavorecido y al final opto por suicidarse [8]. Fallecido Lorentz en 1928 y extinguida su influencia por fin Einstein, tentativamente en 1936, tras el traspies con Robertson, y definitivamente en 1937, dio termino a las "ondas gravitacionales" y enseguida, en 1938, al éter relativista.

En 1916, Einstein había presentado el artículo corto de 8 páginas: "Integración aproximada de las ecuaciones de campo de la gravitación" a la Real Academia de Ciencias de Berlín, retomando el problema acerca de la existencia de las "ondas gravitacionales" que en, 1913, en la teoría Entwurf le había planteado Max Born de la velocidad de propagación de la gravedad, ciertamente válido por ser la concepción entonces de Einstein de la gravedad extendida como un fenómeno material análogo al campo electromagnético, por tanto, la gravedad una de las fuerzas existentes en la naturaleza como lo había planteado Newton, no así en la llamada "general relatividad" de 1915, que es el efecto de los potenciales gravitacionales localmente evento a evento de la geometría del espaciotiempo, es decir, del movimiento geodésico en la geometría general de Riemann.

En la teoría Entwurf era obvia la pregunta: ¿cuál es la velocidad de propagación de la fuerza gravitatoria? Newton había respondido que era infinita, no aceptable en la teoría de la relatividad especial, de 1905, al ser uno de sus principios fundamentales el límite universal de la velocidad de la onda electromagnética en el vacío: c . Se debe advertir que el modelo de Newton de la gravedad como fuerza propagándose con velocidad infinita no presenta inconsistencia en la mecánica celeste y, en cambio, es necesaria a fin de mantener estable el acoplamiento gravitatorio estático de los astros dentro de los sistemas del macrocosmos como se constata en el solar, recordado, argumentado y destacado recién a principios de este siglo XXI por el científico estadounidense Tom Van Flandern. Advirtamos que las diferencias en la mecánica celeste newtoniana respecto a las observadas como, por ejemplo, las anomalías de las órbitas, en especial la de Mercurio, la deflexión de la onda electromagnética en la proximidad del Sol, el retardo de Shapiro o los lentes gravitacionales etc. pueden explicarse como consecuencia de los efectos de la curvatura del vacío cuántico en sus interacciones gravitatorias con las colosales macroestructuras másicas (tesis del autor) como la solar, etc.

Poincaré, que precedió a Born a plantear el problema de la velocidad de la gravedad, había propuesto c , es decir, aunque la onda gravitatoria distinta a la electromagnética con igual velocidad, violando el principio de diferenciación que se observa en la naturaleza

entre las magnitudes que le son propias a los cualitativamente distintos fenómenos físicos existentes. Einstein en febrero de ese año, había considerado que en la gravedad no habría una onda gravitatoria similar a la electromagnética, pero sin descartarla del todo. ¿Una onda gravitatoria en la gravedad como efecto geodésico? Sí, podía ser ya que las geodesías no pertenecerían al Universo congelado de Parménides sino como consecuencia del dinamismo de la existencia material deberían reconfigurarse en el tiempo, desde luego a través de un movimiento ondulatorio, pero que debería ser de ser del campo material, que Einstein creyó determinante de la curvatura del espaciotiempo, puesto que, según él, es la materia (tensor impulso-energía) la que da las geodesías y no éstas en sí mismas determinadores de sus configuraciones.

Contundentemente, Einstein en 1915 había excluido el campo gravitacional de los campos materiales al no poder en la geometría de Riemann asignarle un tensor de energía-impulso sino un pseudo tensor que lleva a la energía no localizable. En 1916, Einstein dijo: "Denotamos todo menos el campo gravitacional como materia. Por lo tanto, nuestro uso de la palabra incluye no solo la materia en el sentido ordinario, sino también el campo electromagnético" [9].

No obstante, fue en ese junio de 1916 que influenciado por Lorentz al hacerlo introducir el éter relativista y por el matemático, físico y astrónomo neerlandés William De Sitter que le sugirió linealizar las ecuaciones del campo gravitatorio al que hacerlo podría encontrar la solución de "ondas gravitacionales" transportando energía. Por su puesto, al Einstein usar la expresión linealizada de la gravedad abandonaba la geometría de Riemann y retornaba a la geometría de Minkowski que, por poseer simetrías, en que Einstein había formulado la teoría Entwurf, si es posible conferirle al campo gravitacional un tensor de energía-impulso, así pues, la solución de De Sitter fue espuria e inútil el trabajo de Einstein implementándola.

En 1937, a pesar de este magnífico trío de científicos: Einstein-Infeld-Hoffmann, que trabajaron el tema del movimiento no buscaron hallar una solución exacta sino aproximada por lo cual continuaron usando el modelo del espacio vacío de Willem De Sitter, proveniente desde ese junio de 1916, cuando Einstein había introducido las "ondas gravitacionales", donde la materia es tratada como singularidades, aunque adoptando la nomenclatura hoy día habitual:

$$g_{uv} = \eta_{uv} + h_{uv}$$

por lo tanto, el espaciotiempo plano de Minkowski en coordenadas onduladas como fue establecido por Arthur Eddington, en 1922, en su artículo "La propagación de "ondas gravitacionales"".

Einstein-Infeld-Hoffmann escribieron en la introducción de su trabajo "Las ecuaciones gravitacionales y el problema del movimiento":

“¿Cuáles ecuaciones relativísticas de gravitación determinan el movimiento de los cuerpos ponderables?”

En la actualidad las únicas ecuaciones existentes son las del espacio vacío y se debe saber si ellas solas determinan el movimiento de los cuerpos. En la física clásica hay ejemplos a favor y en contra. Las ecuaciones de Maxwell para el espacio vacío, en que las partículas eléctricas son consideradas singularidades puntuales del campo, el movimiento de estas singularidades no es determinado por las ecuaciones lineales del campo.

En este trabajo se demuestra que las ecuaciones de gravitación para el espacio vacío son suficientes para determinar el movimiento de la materia representada como singularidades puntuales del campo. Las ecuaciones de gravitación son no lineales [por lo que gravedad interactúa consigo misma y crea más gravedad, El autor], y debido a la necesaria libertad de escogencia del sistema de coordenadas, son tales que 4 relaciones diferenciales existen entre ellas así que ellas forman un sobre determinado sistema de ecuaciones. La sobre determinación es responsable por la existencia de ecuaciones de movimiento y el carácter no lineal para la existencia de términos expresando la interacción de cuerpos en movimiento.

Dos pasos esenciales dirigen para la determinación del movimiento.

1. Por medio de un nuevo método de aproximación especialmente adecuado para el tratamiento de campos semi estacionarios, es determinado el campo gravitacional debido a cuerpos en movimiento.
2. Se demuestra que para superficies espaciales 2-dimensionales, conteniendo singularidades, ciertas condiciones integrales de superficie son válidas para determinar el movimiento.

En la segunda parte calculamos las dos no triviales etapas de la aproximación. En la primera de estas las ecuaciones del movimiento toman la forma newtoniana. En la segunda las ecuaciones de movimiento para dos cuerpos masivos toman una forma más complicada pero no envuelven terceras o más altas derivadas respecto al tiempo” [1].

Es importante resaltar que para Einstein a cambio del vacío cuántico, sin lugar a dudas un estado material, había espacio vacío, es decir, espacio desprovisto de materia, por lo tanto, confiriéndole al espacio existencia en sí mismo como lo había hecho Newton. Esta errada concepción perdura por parte de los científicos de las supuestas "ondas gravitacionales" derivadas de las ecuaciones de Einstein, 1915.

Einstein-Infeld-Hoffmann introdujeron un nuevo método para resolver las ecuaciones de gravitación por medio de aproximaciones sucesivas dependientes de un parámetro l y para obtener las ecuaciones de movimiento, en cualquier deseado grado de precisión. En la aproximación $l=0$ hay total ausencia de materia y su solución es trivial conduciendo al caso galileano. Para $l>0$ todas las sucesivas aproximaciones corresponden a la presencia de la materia en la forma de singularidades, en las que no se pueden excluir masas

negativas que ejercerían gravitación repulsiva, a cambio de los puntos de Newton, volviéndose el campo en el infinito galileano, es decir, en el infinito el modelo deja de ser $g_{uv} = \eta_{uv} + h_{uv}$ y se vuelve $g_{uv} = \eta_{uv}$ que es la métrica de un espacio totalmente vacío. Las h_{uv} representan las desviaciones del espaciotiempo respecto del espaciotiempo plano y, en general, las h_{uv} son pequeñas en relación a la unidad, pero Einstein-Infeld-Hoffmann no hicieron suposiciones del orden de su magnitud. La materia es tratada como singularidades en el campo. Tales singularidades, que producen las desviaciones h_{uv} de la métrica, son cuerpos puntuales másicos de simetría esférica, por lo tanto, esferas infinitamente pequeñas cuyos centros son las singularidades, independientes de las coordenadas espaciales no así de la temporal. Todos los cálculos se hacen sólo para dos cuerpos de masa similar que conforman un sistema bipolar. La aproximación $l=1$ tiene un carácter newtoniano. En la aproximación $l=2$ se obtienen las ecuaciones de movimiento de Newton y se pueden obtener las ecuaciones de Lorentz para el movimiento de partículas eléctricas, es decir, a la masa de las singularidades se agrega la carga eléctrica, apareciendo la fuerza electroestática. En la aproximación $l=3$ se obtiene plenamente la fuerza de Lorentz junto con la corrección relativista de la masa introduciendo la principal desviación desde las ecuaciones de movimiento de Newton, dando como resultado el movimiento relativista de dos cuerpos masivos gravitantes. Einstein-Infeld-Hoffmann consideraron que la generalización a p cuerpos era fácil.

Debido a que las singularidades son independientes de las coordenadas espaciales, y la diferenciación de las funciones de las ecuaciones de movimiento usadas por Einstein-Infeld-Hoffmann dependen solamente de la distancia entre la posición de las singularidades, es decir, de la distancia r , como es característico de las teorías basadas en el concepto de acción a distancia, no hay radiación gravitacional, es decir, "ondas gravitacionales". Es de observar, que en general al ser la gravedad estática, la responsable de la mecánica celeste, consecuencia del movimiento geodésico, según las ecuaciones de Einstein-Grossmann-Hilbert de 1915, la supuesta atracción, entre los cuerpos masivos gravitantes, es como si obrará bajo la acción a distancia y, por tanto, también como en Newton fuera subyacente esta teoría a ellos, puesto que siendo la gravedad estática consecuencia de las geodesias espaciotemporales su conexión con las singularidades sería instantánea, con ser del límite c de la velocidad, formulado por Einstein en la Relatividad Especial.

A continuación, de la introducción a su trabajo, Einstein-Infeld-Hoffmann escribieron:

"En la determinación del campo y las ecuaciones de movimiento valores no galileanos en el infinito y singularidades del tipo de dipolos, cuadrupolos y polos más altos, deberán ser excluidos del campo para que la solución sea única. Es importante que nuestras ecuaciones de movimiento no restrinjan el movimiento de las singularidades con más fuerza que las ecuaciones newtonianas, pero esto puede deberse a nuestra suposición simplificadora de que la materia está representada por singularidades, y es posible que no

sea el caso si pudiéramos representar la materia en términos de una teoría de campo de la cual se excluyeran las singularidades.

La representación de la materia por medio de singularidades no permite a las ecuaciones de campo fijar el signo de la masa, de modo que, en lo que concierne a la presente teoría, es sólo por convención que la interacción entre dos cuerpos sea siempre una atracción y no una repulsión. Unas posibles pistas sobre por qué la masa puede ser solo positiva pueden esperarse de la teoría que da una representación de la materia libre de singularidades.

Nuestro método se puede aplicar al caso en el que el tensor de energía-momento de Maxwell se incluye en las ecuaciones de campo y, como se muestra en la Parte II, conduce a una derivación de la fuerza de Lorentz.

En la electrodinámica de Maxwell-Lorentz, como también en el método de aproximación anterior para la solución de las ecuaciones gravitacionales, el problema de determinar el campo debido a los cuerpos en movimiento se resuelve mediante la integración de la ecuación de onda por potenciales retardados. El signo del flujo del tiempo allí juega un papel decisivo ya que, en cierto sentido, el campo se expande en términos sólo de estas ondas que avanzan hacia el infinito.

En nuestra teoría, sin embargo, las ecuaciones a resolver en cada etapa de la aproximación no son ecuaciones de onda sino simplemente ecuaciones de potencial espacial, dado que ecuaciones como las del campo gravitacional y electromagnético son en realidad invariantes bajo una inversión del signo del tiempo, parecería que el método aquí presente, es el natural para su solución. Nuestro método, en el que no se distingue la dirección del tiempo, corresponde a la introducción de ondas estacionarias en la ecuación de ondas y no puede llevar a la conclusión de que en el movimiento circular de dos masas puntuales la energía se irradia al infinito en forma de ondas" [1].

Es evidente que en un espacio vacío no existen estructuras materiales de cuadrupolo, pues serían creadas por un campo gravitatorio fuerte, que según la corriente que condujo a su supuesta detección producirían ondas cuadripolares por lo cual las mismas por esa sola razón quedan excluidas, pero también, a diferencia del campo electromagnético donde el campo se expande en ondas que avanzan hacia el infinito, por ser un campo material, en el caso de un campo geométrico, como el gravitacional, las ecuaciones no son de onda sino ecuaciones del potencial espacial, la razón principal para descartar las susodichas "ondas gravitacionales" y, por último, en el movimiento circular de dos masas puntuales, que de ninguna manera corresponde a su movimiento geodésico que sería rectilíneo, como muy bien lo aclaró Wald, no hay radiación de energía, y en consecuencia "ondas gravitacionales".

Este artículo prácticamente desconocido, o talvez refundido en las referencias controladas por la ciencia normal, fue rescatado por la historiadora israelita Galina Weinstein, quien

ha realizado una descollante labor de preservar el pensamiento científico original de Einstein. En su presentación Weinstein dentro de un contexto más amplio agrega:

“En 1938, Einstein, Infeld y Banesh Hoffmann deseaban crear una teoría de campo unificado que abarcara tanto la gravedad como el electromagnetismo. El problema era que las ecuaciones ordinarias de Maxwell para el espacio vacío eran ecuaciones de campo lineales, en las que las partículas eléctricas se consideraban como singularidades puntuales del campo. Sin embargo, el movimiento de estas singularidades no fue determinado por estas ecuaciones de campo lineal. Además, las ecuaciones de campo de vacío de la "general relatividad" no eran lineales y determinaban el movimiento de los puntos materiales representados como singularidades en el campo.

Hay tres posibles aproximaciones al abordar la tarea de resolver las ecuaciones de campo de Einstein: el campo gravitacional es débil, es estático y las partículas materiales se mueven lentamente.

En 1916 y 1918, Einstein consideró que el campo gravitacional era débil, al igual que las ecuaciones del electromagnetismo lineal. Esta aproximación no limita la aceleración de las partículas de materia y, de hecho, los puntos de materia acelerados producen "ondas gravitacionales".

En 1938, Einstein propuso un nuevo método de aproximación para determinar el campo gravitacional de una partícula en movimiento: eligió una aproximación de campo débil y consideró aceleraciones muy bajas. En el artículo de 1938 con Infeld y Hoffmann, Einstein consideró la aproximación de campo débil y puso un límite a la aceleración de las partículas materiales. Esto se llama aproximación post-Newtoniana.

Einstein con sus ayudantes, Infeld y Hoffmann, calcularon las dos primeras etapas de esta aproximación y encontraron que en la primera etapa las ecuaciones de movimiento toman la forma newtoniana (Einstein, Infeld y Hoffmann 1938, 65-66). En esta aproximación, si consideramos aceleraciones muy bajas, entonces las ecuaciones de movimiento exactas toman la forma newtoniana y obtenemos una partícula material que no puede irradiar. En este estado de cosas, hemos revivido la vieja suposición de que no podría haber "ondas gravitacionales" [5].

2. El tensor de Riemann

La geometría es una ciencia formal diferente a la física que es una ciencia fáctica. Tal división surge por su objeto de estudio que en el caso de la geometría igual que la lógica y la matemática sus objetos pertenecen al pensamiento, por lo cual son objetos ideales, mientras que, en la física, las ciencias naturales y sociales sus objetos son concretos, por lo tanto, existentes en la realidad. Sin embargo, tanto en la ciencia formal como en la fáctica su objeto de estudio es provisto mediante un modelo mental y en ambos casos primitivamente, cuando aún no se había constituido en ciencia, el modelo surgió desde el mundo, por lo que en su origen está profundamente enraizado en éste, a través de una

práctica productiva, en el desenvolvimiento histórico del hombre, en la relación con su existencia en la Tierra y el Universo como productor de una economía dentro de una formación social-económica.

Las actualizaciones científicas, en cada evento crucial, dan lugar a un modelo nuevo, que surge de una práctica científica determinada, que avanza el conocimiento a un momento ulterior, según un discurso teórico, sujeto a un método, produciendo, siempre un ente abstracto, en las ciencias fácticas, como consecuencia de resolver problemas, delante de la aparición de anomalías en un modelo viejo, quedando el nuevo cada vez más conectado a la esencia del fenómeno material de estudio, que éste a la vez revela y oculta; para ser aceptado el modelo nuevo deberá comprobarse por experimentos. O en las ciencias formales el nuevo modelo presenta una lógica superior, soportada en una gran severidad conceptual, de un objeto de estudio, en sí mismo abstracto.

Con el fin de comprender la diferencia cualitativa entre la práctica científica que nos provee los conocimientos necesarios para la elaboración de las tecnologías y sus cambios necesarios para mantener creciente la productividad delante de la práctica productiva suministradora de los bienes y servicios que consumimos, bien sea como intermedios o finales, nos referiremos a cuando su diferencia cualitativa es extrema, presente entre la práctica científica en las ciencias fácticas y la práctica productiva manufacturera. En ésta se cambia la forma a la materia, como son las formas del objeto y demás materias primas intervinientes, a la forma de un bien que previamente preexiste como idea, es el paso de la abstracción de un ente al concreto de éste, la transformación material de la realidad según un modelo mental hasta convertir el ente ideal en real, con el cual el hombre consigue un fin vital propio. En cambio, en la práctica científica el hombre no realiza su fin, sino el de un objeto ideal de conocimiento, que en el caso de la ciencia fáctica, mediante la investigación se adecua más estrechamente al aspecto esencial del objeto real que representa, es el paso de una generalidad a otra generalidad a través de una mayor aproximación a lo concreto, utilizando en el caso de las ciencias formales como medios de trabajo una generalidad que es el acervo de conocimiento científico y tecnológico (Tesis de Althusser de la tres generalidades). Así, en las ciencias fácticas el hombre transforma su pensamiento según el fin de una existencia material, es el proceso de subjetivación de lo objetivo.

La geometría se originó en la solución de problemas de la práctica productiva relativos a la medición, basada en el conocimiento empírico, propio del entendimiento primitivo sobre la forma espacial de nuestro planeta, sobre la longitud, área y volumen en un espacio plano, incorporado a cierta altura de su desenvolvimiento, unos seis siglos antes de nuestra era, al conocimiento práctico de la medición en la cultura de Babilonia principalmente puesto que “la creencia en una Tierra plana se encuentra en los escritos más antiguos de la humanidad. En la primera mitología caldea, el mundo se representa como un disco redondo y plano que flota en el océano, y eso formó la premisa para los primeros mapas geográficos, como los de Anaximandro y Hecateo de Mileto” [10].

Fue en el antiguo Egipto, en el siglo III antes de nuestra era, que la geometría desarrollada por los griegos fue formulada como una ciencia formal, como la rama de las matemáticas que trata de las propiedades fundamentalmente del espacio y, con posteridad, asimilado a éste del tiempo con la introducción de la variedad tetradimensional espaciotiempo, aplicada en las diversas determinaciones métricas de la Tierra y del Cosmos, no obstante sólo reconocida en su nombre la primera a causa que la “medición de la tierra” “fue una elaboración, por parte de los griegos, de los esquemas de mensuración heredados de los egipcios” [10] y omitida la astrometría que la precedió necesaria para la vida económica primitiva, a través de la cual “varias civilizaciones antiguas (Babilonia, China y Mesoamérica en particular) desarrollaron una alta capacidad de cálculo numérico sin llegar a hacer geometría” [10]. Con la astrometría pudieron determinar eclipses, conjunciones y oposiciones de los planetas y elaboraron calendarios precisos y catálogos de fechas de eventos claves. “Hace diez mil años distintas zonas del norte de África y Asia se volvieron desérticas. Las tribus que cazaban en estos territorios tuvieron problemas para conseguir agua y comida, y se vieron obligadas a mantenerse cerca de los grandes ríos. El Nilo en Egipto, el Tigris y el Éufrates en Babilonia, fueron los testigos de uno de los mayores cambios en la historia de la humanidad: las tribus se vuelven sedentarias, construyen ciudades, domestican animales, y nace la agricultura. Si bien esto resolvía el problema de la alimentación, aparecieron nuevos problemas. No se podían esquivar los cambios de estación o las inundaciones emigrando; había que predecir las temporadas apropiadas para la siembra; había que redefinir los roles de cada uno en las nuevas sociedades, repartir bienes y tierras (ya sea para su posesión, o para el trabajo). El hombre necesitaría mayor precisión en la medición del tiempo, de las distancias, de las áreas, y de los volúmenes”. “Para la medición del tiempo durante el día, construyeron relojes de sol, que utilizaban para anticipar la llegada de las estaciones del año y conocer su duración. Estudiaron las constelaciones y trazaron el recorrido aparente del Sol a través del zodiaco” [11]. “Sus cálculos astrométricos formaron la base del sistema de mediciones angulares usado luego por los griegos” [11].

Convertida la geometría en ciencia sus objetos espaciales fueron representados como entes ideales, y definida como modelo geométrico a partir de las relaciones entre sus elementos del punto, la línea, el plano y el ángulo. El modelo fue el de un espacio tridimensional de curvatura nula, conocido como geometría euclidiana. Fue pues el autor, quien la expuso, Euclides, a partir de sus 5 postulados, presentados en su obra “Los Elementos” a saber: 1 entre cualquiera dos puntos se puede trazar una recta. 2 todo segmento de recta puede prolongarse indefinidamente en la misma dirección. 3 con cualquier punto tomado como centro y cualquier radio se puede trazar una circunferencia. 4 todos los ángulos rectos son iguales entre sí. 5 por cualquier punto externo a una recta se puede trazar una y sólo una recta paralela.

El paso de la geometría a una ciencia formal la independizó del fenómeno físico por lo cual, no obstante que también en ese siglo III antes de nuestra era, se descubrió que la Tierra era esférica no fueron a la vez introducidas las geometrías no euclídeas como la del

modelo del espacio de curvatura positiva derivado de las formas esferoidales de los astros. “Esta concepción fue defendida por Pitágoras, quien argumentaba que todos los demás objetos astronómicos eran a su vez esféricos. Aristóteles presentó evidencias de la forma esférica de la Tierra mediante sus observaciones apuntando que los viajeros que viajaban hacia el sur veían las constelaciones de ese hemisferio subir su posición en el horizonte. Eso solo es posible si dicho horizonte se encuentra formando un ángulo con respecto al horizonte de alguien ubicado más al norte. Por lo tanto, la forma de la Tierra no podía ser plana. Además, el borde de la sombra de la Tierra en la Luna durante la fase parcial de un eclipse lunar siempre es circular, sin importar lo alta que esté la Luna sobre el horizonte. Solo una esfera puede generar una sombra circular en cualquier dirección” hasta el siglo III a. C., cuando la astronomía helenística estableció la esfericidad de la Tierra como un hecho cierto, gracias sobre todo a la medición empírica de Eratóstenes” [10].

Fue tan asombrosamente sostenida la separación entre la geometría y el mundo, desde el cual se había originado, que en los problemas prácticos de medición, donde “según el teorema de Pitágoras, supongamos parados sobre algo, si fuera necesario, de tal manera que nuestros ojos quedaran a dos metros de altura, mirando al horizonte, en un día de una muy buena visibilidad de unos diez kilómetros, nuestra línea de visión alcanzaría aproximadamente 6,0000033 kilómetros, es decir, la misma distancia, de una boya luminosa, sólo a seis kilómetros a partir de la orilla de una playa, pero que no podría detectar por quedar debajo de la línea recta que desde la playa la conectaría, debido al efecto de la curvatura de la Tierra, por lo cual no podríamos ver la boya más allá de una distancia de 5,0509 kilómetros” [10], por lo tanto, la geometría de Euclides falla aún en distancias tan cortas, ni que ni siquiera cuando el 12 de octubre de 1492 Cristóbal Colón arribó a América, creyendo haber llegado a la India, y posteriormente Fernando de Magallanes y Juan Sebastián Elcano en su expedición de circunnavegación del mundo (1519–1523) constataron la esfericidad de la Tierra y de que los mapas de ésta, que no pueden obtenerse con la geometría euclidiana, son necesarios para cualquier viajero en larga distancias, sin que la ciencia de la geometría se enterara y fuera actualizada, ni que decir que desde el propio principio de nuestra era se conoció trivialmente la silla de montar, inventada por los guerreros de las estepas asiáticas, que posibilitó se introdujera tempranamente la geometría para un espacio de curvatura negativa.

Fue el siglo XIX, luego de veintidós siglos, como si fuera un parto mágico, como se nos aparecen los actos de creación, que ocurrió la gran revolución en la ciencia de la geometría colocándose adelante y avasallando la ciencia de la física. Es probable que haya sido por la acumulación sistémica de conocimientos científicos que se produjo el salto dialéctico en el pensamiento geométrico. Después del largo retardo del medievo, quizás un factor muy importante fue a causa de la asimilación de los hijos de los siervos, dotados del mayor cociente de inteligencia o talento artístico, al ser detectados por la institución educativo, creada por la iglesia cristiana, quedaban bajo la protección de la nobleza feudal, restándole así a la clase dominada su potencial revolucionario. Todo cambio a

partir del siglo XV: “el Renacimiento significó un reencuentro con la cultura clásica antigua; pero esta vez no fue con la lógica formal o la especulación abstracta y no empírica que habían realizado los escolásticos, sino con algo fundamental: la relación con el mundo y la indagación práctica de la naturaleza, el sentido vital, el humanismo. Fue una época en la que todo se cuestionó y, con ello, se abrió un período extraordinario en la producción intelectual y cultural de la sociedad occidental. Con el Renacimiento, que arrancó en Italia y luego se extendió por otras partes del suelo europeo, comenzó una verdadera revolución de ideas y una nueva actitud ante la sociedad, la naturaleza y el hombre; revolución que afirmamos constituye uno de los principales fundamentos del mundo moderno. El reencuentro con la Antigüedad clásica fue importante, pero no fue el único factor que pesó; diversas condiciones económicas, políticas y sociales fueron un auténtico caldo de cultivo para poder potenciar los resultados cognoscitivos de la Antigüedad que "reentran" en el mundo occidental”. “El Renacimiento no produjo grandes resultados en matemáticas, lo que no era el caso en otras partes de la vida cultural, por ejemplo, en la literatura y el arte. Pero la realidad es que en esta época se estaba logrando crear la infraestructura para dar el salto que se realizó en el siglo XVII y que podemos sintetizar con el nombre de Revolución Científica”. “De esta época, vienen a nuestra mente los nombres de algunos matemáticos: Nicolás de Cusa (1401-1464), Regiomontano (1436-1476), Luca Pacioli (1445-1514). También es necesario mencionar que los importantes trabajos en el álgebra (que como veremos serían fundamentales en el nuevo periodo) estuvieron asociados a los italianos Hierónimo Cardano (1501-1576), y Niccolo Tartaglia (c. 1500-1557). Otros matemáticos de la época fueron: Robert Recorde (1510-1558), Georg Rheticus (1514-1576), Pierre de la Ramée (1515-1572), Johannes Werner (1468-1522), Albrecht Dürer (1471-1528), Gerard Mercator (1512-1594) y Francesco Maurolico (1494-1575)”. “Los cambios que se dieron en este periodo de la historia fueron extraordinarios. En lo que se refiere a los métodos de la ciencia fueron de fundamental impacto las ideas de Francis Bacon (1561-1626), René Descartes (1596-1650) y de Galileo Galilei (1564-1642)”. “Con su trabajo se apoyó el desarrollo de los métodos experimentales y empíricos, y el uso de descripciones matemáticas y mecánicas en la comprensión de la naturaleza” [12].

En lo que concierne a la geometría la revolución traída con el Renacimiento ocurrió en tres etapas:

La primera de preparación, iniciado en el siglo XVIII con las obras de: “Euclides Liberado de Cada Defecto”, 1733, del filósofo escolástico jesuita y matemático italiano Giovanni Saccheri; “Esfuerzo para demostrar la teoría fundamental de la revisión paralela”, 1763, del matemático y físico alemán Georg Klügel y la “Teoría de las líneas paralelas”, 1766, del matemático, físico, astrónomo y filósofo, franco-alemán Johann Lambert.

La segunda etapa de realización: transcurrió en el siglo XIX. Precursoras de las geometrías no euclídeas aparecieron a comienzos de este siglo, las obras: “La teoría de las líneas paralelas, junto con la sugerencia de su destierro de la geometría”, 1807, del jurista-

matemático alemán Ferdinand Schweikart y la "Teoría de líneas paralelas. Con tablas de piedra", 1825, del también matemático alemán, Franz Taurinus. Pero fue en la primera mitad del siglo XIX, que se produjo la gran revolución en la geometría, obra de un grupo como si cada uno fuera el mismo, aunque a espaldas de cada otro, pero formados en los precursores y cohesionados en torno a Gauss, quienes instauraron las primeras geometrías no Euclídeas, para espacios homogéneos en los que la curvatura del espacio es la misma en cada punto. El matemático ruso Nikolai Lobachevsky, es reconocido como el padre por haberlo publicado antes que el resto, con sus trabajos "Sobre los fundamentos de la geometría", 1829-1830, y "Nuevos Fundamentos de la Geometría con una Teoría Completa de las Paralelas", 1835-1837, exponiendo su concepción para espacios de 2 y 3 dimensiones [13] y el matemático húngaro, János Bolyai coautor con su obra "Ciencia absoluta del espacio", 1831-1832, que creyó lo había plagiado Lobachevsky. Ellos demostraron los teoremas fundamentales de la geometría hiperbólica de curvatura negativa y suma de los ángulos menor que 180 grados, con un número infinito de curvas paralelas; sin embargo, el matemático, astrónomo y físico alemán Carl Friedrich Gauss, un indudable super genio, llamado el "Príncipe de los matemáticos", los precedió más por no haberlo proclamado no se llevó el galardón, lo que hubiera causado mayor prontitud, su precocidad se remonta a cuando tuvo 15 años; en una carta a Taurino en 1824, Gauss menciona: "La suposición de que la suma de ángulos [del triángulo] es menor de 180° conduce a una geometría curiosa, bastante diferente de la nuestra [la euclidiana] pero completamente consistente, que he desarrollado para mi entera satisfacción. Los teoremas de esta geometría parecen paradójicos y, para los no iniciados, absurdos, pero la reflexión tranquila y constante revela que no contienen nada en absoluto imposible" [14]. Con posteridad, se atribuye al matemático alemán Georg Bernhard Riemann en su obra "Sobre las hipótesis que yacen en los fundamentos de la geometría", 1854, la geometría elíptica, generalizada para espacios de cualquier número de dimensiones, pero también fue Gauss quien primero la formuló, aunque, para un espacio bidimensional, de curvatura positiva en que la suma de los ángulos de un triángulo es mayor que 180 grados y no hay curvas paralelas; de la que en particular resulta la geometría esférica que se basa en la superficie de una esfera y no en la superficie de un elipsoide, es decir, cuando los tres semiejes del elipsoide son iguales, siendo éste generado por el giro de una elipse respecto a uno de sus dos semiejes, en cambio la esfera por el giro de un semi círculo alrededor de su diámetro. Todos ellos conservaron cuatro de los postulados de Euclides y controvirtieron su quinto, conocido como de las paralelas, que en vano a través de semejante extenso lapso fuera el propósito de los matemáticos de derivarlo de los otros, tarea en que se ocuparon quienes quisieron actualizar la planimétrica concepción helenista de la Grecia clásica, vuelta ciencia en boca de Euclides, increíblemente sacrificando al mundo esferoide, delante de conservar por siempre su primera abstracción geométrica coherente y sistemática de carácter axiomático, es decir, basado en proposiciones por sí mismas evidentes que no requieren demostración, quizás posibilitado por existir nulidimensional el ente ideal y poseer el atributo de entelequia. Que como anillo al dedo fue aprovechado por la política puesto que "trágicamente la ciencia se

vuelve política delante de los intereses, que es el verdadero meollo del poder reinante sobre los humanos, pues como dijera Aristóteles el hombre es un animal político, en el sentido en que el hombre no puede ser concebido fuera de su relación con el Estado en su condición de perteneciente a él. El científico, como ningún hombre puede desprenderse de esta condición, ni que su producto la ciencia sea atrapada en la estructura política, que a través de los paradigmas subyace el poder, que procura mantenerlos vigentes por siempre” [15].

Las nuevas geometrías no obtuvieron la suficiente relevancia para volverse parte del pensamiento matemático del siglo XIX, hasta el trabajo de 1854 de Riemann, aunque publicado en 1868, alumno de Gauss en la Universidad de Göttingen, quien, basado en el artículo, de 1827, de su profesor “Investigaciones generales sobre superficies curvas”, por primer vez, realizado con soporte en la geometría diferencial, que la integró al cálculo diferencial e integral creados por el británico Newton y el alemán Leibnitz, en el siglo XVIII, pudo estudiar las propiedades geométricas que varían de punto a punto imposible sin este, y crear la variedad diferenciable, en inglés manifold, como un conjunto de puntos distribuidos en n dimensiones, que le permitió a Riemann estudiar el espacio no como un todo sino por pedazos originando el concepto de espacio local. Así, Riemann universalizó la geometría a una infinidad de posibles geometrías, cuyos postulados difieren por lo menos en alguno de los de Euclides, por lo tanto, incluyendo las geometrías no homogéneas que como la geometría de las ecuaciones, de 1915, de Einstein-Grossman-Hilbert, conocidas como de la "general relatividad", su curvatura intrínseca varíe de un punto a otro, que es un caso de la geometría riemanniana general, siendo las geometrías homogéneas: euclídea, hiperbólica y elíptica casos particulares. Además, mediante la variedad, Riemann generalizó la geometría a n dimensiones, cuyos precursores habían sido los alemanes Immanuel Kant con sus espacios euclídeos de más de 3 dimensiones, Hermann Grassmann que en 1844 trabajo con espacios de n dimensiones y el británico Arthur Cayley que había usado este concepto en 1843.

La Tercera etapa de complementación y consolidación ocurrió en los comienzos del siglo XX, llevada a cabo por los matemáticos semitas Hermann Minkowski con su estructura de espaciotiempo y el “pensamiento y método geométrico” del programa Erlangen del matemático alemán Felix Klein sobre las nuevas geometrías, quien junto con el matemático italiano Eugenio Beltrami, entre 1868-1872, asumiendo la consistencia de la geometría euclídea habían demostrado la consistencia de las otras geometrías, dando lugar, en 1908, a una versión geométrica de la relatividad especial de Einstein y Marcel Grossmann quien enteró y capacitó a Einstein en el uso del cálculo diferencial absoluto, el cual aplicado al espaciotiempo como variedad de Riemann, en 1915, concluyó el programa Erlangen, sacando la gravedad de la física y colocándola en la geometría, al explicarla como efecto del movimiento geodésico.

Según las ecuaciones de Einstein-Grossman-Hilbert, la materia representada por el tensor energía-impulso causa una curvatura positiva no homogénea directamente proporcional a

su valor, incluyendo un factor constante, en la geometría del espaciotiempo, representado por el tensor métrico de curvatura de la variedad riemanniana de cuatro dimensiones, espaciotiempo, que se percibe como el campo gravitacional, bajo cuya acción los entes materiales siguen las trayectorias más cortas entre sus puntos, que se denominan líneas geodésicas.

Una variedad riemanniana es una variedad diferenciable, o sea, a la que se puede aplicar las nociones del cálculo diferencial, junto con un tensor métrico, en la que mediante la métrica se puede medir curvatura, distancia, longitud, área, volumen, etc. Por lo tanto, el par (M,g) donde M representa la variedad y g la métrica. “En su investigación Riemann concluyó que para estudiar el espacio debía hacerse localmente y no como un todo. Es decir, se debía analizar el espacio por pedazos. No se podía dar resultados aplicables para todo el espacio. Esto era precisamente lo que hacía la llamada geometría diferencial al estudiar las propiedades de las curvas y superficies en el espacio. Usando los resultados de Gauss en la geometría de las superficies en un espacio euclidiano, Riemann generalizó este tipo de resultados a variedades de cualquier número de dimensiones. Una variedad diferencial era precisamente uno de esos pedazos a estudio, compuestos de puntos, por tanto, diferenciables. Riemann formuló entonces una geometría de n dimensiones (aunque el caso de mayor interés era el de tres dimensiones). Una variedad está compuesta por puntos con n coordenadas $(x_1, x_2, x_3, x_4 \dots x_n)$. El conjunto de puntos forma una variedad”. “Riemann demuestra que el espacio físico es un caso específico de variedad y, entonces, concluye que la geometría del espacio no puede ser deducida del conjunto de propiedades generales de las variedades. Para Riemann estas propiedades que distinguen el espacio físico de otras variedades de tres dimensiones deben ser obtenidas por medio de la experiencia. Puesto de otra forma: la experiencia es la que debe decidir si las propiedades específicas que sintetiza la geometría euclidiana corresponden a la realidad o no. Los axiomas de la geometría euclidiana pueden corresponder o no con la realidad que nos rodea. Descubrir eso, decía Riemann, no es un asunto para la geometría sino para la física” [16]. Acertadamente, Riemann distinguía el espacio como modelo, abstracción geométrica, y el espacio físico, aunque, sin siquiera sospechar que fuera propiedad geométrica de la materia. Para Riemann la geometría de un espacio es la métrica que le asignemos, en función de la curvatura que debe obtenerse de la física del espacio, es decir, de la realidad, pero él desconoció: ¿qué es el espacio físico? incógnita que persiste al día de hoy.

La representación matemática de una variedad es mediante un tensor de orden n . Un tensor “es una entidad matemática, representada por arreglos de componentes, cuyas propiedades no varían respecto del marco de referencia en el que se elija situarlo. A modo de ejemplo, recordamos a los escalares, vectores y matrices: tensores de orden cero, uno y dos, respectivamente” [17].

En términos teóricos, o sea, puramente matemáticos, Riemann generalizó la curvatura de Gauss para la superficie en un espacio bidimensional a la superficie en una variedad de n dimensiones, universalmente a una variedad de n dimensiones.

En Gauss la curvatura es un número real K_i , o simplemente escalar, que da la curvatura intrínseca, o sea, la medida en que la métrica se desvía en un punto i de una superficie respecto del 0 de la métrica euclídea, o sea, su desviación respecto de su tangente, que para el conjunto de puntos que conforman la superficie constituye un campo escalar. Esta curvatura gaussiana en general varía de un punto a otro de la superficie. Un caso particular es la superficie esferoide, o sea, algo así como un cascaron hueco, pero téngase en cuenta un objeto ideal por espacialmente ser sólo de dos dimensiones, que tiene la misma curvatura en todos sus puntos y que como objeto geométrico es distinto a la superficie de una esfera existente en un espacio tridimensional, aunque ambas son de curvatura positiva constante. La superficie de una esfera no de Gauss sino de Riemann, no obstante, fíjese bien también un objeto ideal, si bien por espacialmente tener 3 dimensiones, según la “experiencia”, hay uno correspondiente en el mundo físico. Se debe recordar siempre que todos los objetos geométricos son ideales.

En Riemann el escalar, tensor de orden 0, del caso de Gauss, se vuelve un tensor de orden n . Por lo tanto, el tensor de Riemann asigna a cada punto p de la variedad M un tensor de tipo $(1,3)$, es decir, 1 vez contravariante y 3 veces covariante, representado por R^i_{jkl} , que da la curvatura de la variedad en ese punto p , constituyendo el conjunto de tensores correspondientes a todos los puntos, para toda la superficie, sección de una variedad o universalmente espacio, un campo tensorial.

El objeto geométrico que contiene toda la información de la curvatura de un punto p es el tensor de Riemann, que para un tensor de orden 2 o 3 la curvatura es completamente determinada por el tensor de Ricci, que resulta de la primera contracción del tensor de Riemann, igualando el primer índice contravariante i con el tercero covariante k .

Pero, para variedades de orden > 3 la curvatura de un punto solo queda determinada totalmente por el tensor de Riemann que algebraicamente se puede representar como la suma del tensor de Ricci hallado, en 1903, por el matemático italiano Gregorio Ricci, vía el tensor de Einstein, y el tensor de Weyl, “que es básicamente el tensor de Riemann con todas sus contracciones posibles removidas” [18], obtenido, en 1919, por el matemático alemán Hermann Weyl.

En una variedad espaciotiempo de 4 dimensiones, de los 20 componentes independientes del tensor de Riemann diez de ellos son representados por el tensor de Ricci que da la reducción del volumen con el paso del tiempo, mientras que los diez restantes son representados por el tensor de Weyl que da los cambios de forma con el traslado entre los puntos de una línea geodésica, conocido como “fuerzas de marea”, que no tienen nada que ver con ondas de la curvatura, extrañas al tensor de Riemann, sino simple propiedad geométrica complementaria de las geodesias.

En el caso de la variedad espaciotiempo, la estructura algebraica del tensor de Riemann puede analizarse tomando independientemente el uno del otro sus dos componentes complementarios: el tensor de Ricci y el tensor de Weyl. Al primer tensor, Einstein le dio un significado físico mediante empíricamente relacionarlo con el contenido de energía-impulso a partir de la ecuación sobre la gravedad de Newton, según el formalismo de la ecuación de Poisson. Con lo cual Einstein habilitó interpretar el segundo tensor, o sea el de Weyl como una “curvatura de vacío”, o sea, de la curvatura aún de la variedad espaciotiempo vacía de materia, cuya presencia indica en qué medida el espaciotiempo no es conformemente plano, pero téngase bien en cuenta que es una interpretación puesto que en términos puros el tensor de Riemann descompuesto en los tensores de Ricci y de Weyl, estos fijan simples propiedades geométricas de un objeto geométrico ideal: una variedad tetradimensional de curvatura positiva.

Con base en la Ecuación de Poisson, en la cual el potencial gravitacional escalar, como fuerza de gravedad de Newton, es igual a la densidad escalar de la masa según la ecuación diferencial: $\nabla^2\phi = 4\pi G\rho$, en 1915, Einstein reemplazó el primer término por el tensor de Ricci_{ij}, para la variedad riemanniana espaciotiempo y el segundo término por el tensor de energía-impulso local T_{ij}. Así, Einstein le confirió al tensor de Riemann un significado físico que en adelante sus seguidores dan. Entiéndase que la ecuación de Poisson es la de Newton expresada como ecuación diferencial.

De tal procedimiento resultó el conjunto de 10 ecuaciones a cambio de la única cantidad de Newton para medir el campo gravitacional, que se reducen a 6 mediante las 4 identidades de Bianchi. Estas ecuaciones, son en geometría diferencial, ecuaciones diferenciales parciales tensoriales no lineales, las conocidas ecuaciones de campo de Einstein: $G_{uv} = k T_{uv}$

Einstein en el término puramente geométricos, obtuvo G_{uv} restando del tensor de Ricci la mitad del producto del escalar de curvatura de Ricci multiplicado por el tensor métrico, o sea, $G_{uv} = R_{uv} - \frac{1}{2} R g_{uv}$. Riemann había usado antes las g_{uv} , del tensor métrico para determinar las distancias entre puntos en una variedad, en cambio Einstein las usó para personificar el campo gravitacional; el tensor y escalar de Ricci son las dos contracciones posibles del tensor de Riemann, el tensor de Ricci como la primera y el escalar como la segunda. De otra parte, al otro lado de las ecuaciones con claro contenido físico, Einstein obtuvo $k = 8\pi G/c^4$, donde G es la constante de gravitación de Newton y c la velocidad de la onda electromagnética en el vacío cuántico que multiplico por el tensor de energía-impulso de una configuración local de materia en reemplazó del escalar de densidad de una masa local. Los subíndices uv un simple cambio de nomenclatura de los subíndices ij. Así, en Einstein la variedad espaciotiempo se define por el par (M, g), donde M es la variedad diferenciable dotada con el tensor métrico lorentziano g.

A Einstein, la formulación de las ecuaciones de campo le emplearon 7 años de trabajo arduo. Desde el punto de vista del autor fueron tres los grandes problemas que Einstein tuvo: El primero generalizar el principio de relatividad de Galilei, restringido al movimiento inercial, a toda clase de movimiento, es decir, acelerado y gravitacional, manteniendo una teoría física de la gravedad que no logró. El segundo no obstante tratarse de la generalización del concepto de Gauss de curvatura tan fácil de entender, la gran complejidad operativa del manejo de los tensores en una variedad de Riemann de 4 dimensiones que por basarse en una geometría de curvatura positiva lo condujo a

aceptar el movimiento gravitatorio como el movimiento geodésico, al fin al cabo alcanzando lo que en principio se había propuesto de generalizar el movimiento inercial pero obligado a explicar la gravedad como propiedad geométrica del movimiento, renunciando a reconocerla como un fenómeno físico, análogo al electromagnetismo. El tercero cuando tuvo que consolarse con darle a la explicación geométrica de la gravedad un sentido físico, acomodándola al modelo de Poisson en que el tensor de energía-impulso determina la curvatura de la variedad espaciotiempo y ésta determina el movimiento geodésico de la materia, concebido como movimiento gravitacional (Wheeler).

El error de Einstein de 1915, sometido a la fuerte presión de Hilbert ocurrida entre julio y noviembre de ese año, fue haber geometrizado la gravedad, renunciado a su concepción correcta de 1913, cuando trabajando con Grossmann, produjeron la teoría Entwurf, concibiendo la gravedad extendida, como un fenómeno material análogo al electromagnetismo, imposible de anular por cambio de coordenadas entre marcos de referencia de distintos observadores, ésta la verdadera gravedad puesto que la tal gravedad puntual es verdaderamente ausencia de gravedad, que obtuvo del "mejor pensamiento de su vida" cuando introdujo el principio de equivalencia entre los movimientos inercial, acelerado y gravitacional, pues fue el espejismo del que transita en el desierto bajo el rigor de sol candente y la insoportable sed de la ausencia de agua, en el caso de Einstein buscando la generalización de la relatividad especial bajo la inclemencia de las limitaciones históricas de su mundo. Recordemos, que en 1913 Einstein no le aceptó a Grossmann, que veía como matemático que para resolver la anomalía de la mecánica celeste con base en Newton presente en la órbita de Mercurio tenían que trabajar los tensores en la variedad espaciotiempo semi riemanniana, y él como físico comprendió que al renunciar a trabajar los tensores en el espaciotiempo de Minkowski lo hacía a la materialidad del campo gravitacional. El autor es quien corrige el error, que aún en la actualidad persiste en todos los físicos teóricos sobre la gravedad que la explican totalmente (los einstenianos) o parcialmente (Logunov) a partir de la curvatura de la variedad espaciotiempo. No, el autor sostiene lo que se curva es el vacío cuántico, por la acción de las estructuras másicas, donde ocurre la mecánica celeste y la propagación de la onda electromagnética. La gravedad que es la responsable del movimiento gravitatorio es totalmente una fuerza real, por lo tanto, la gravedad es un fenómeno totalmente material [19], [20].

3. Las "ondas gravitacionales" regresan

Entre 1959 y 1960 fueron reintroducidas las "ondas gravitacionales", bajo algo de influencia de Sir Arthur Eddington, por el grupo de científicos pertenecientes a la Universidad de Cambridge: Ivor Robinson, Herman Bondi, y Felix Pirani, sorprendentemente conectados con el Canada, de donde paso a los científicos de los Estados Unidos y con el transcurso de los años a la mayor parte del planeta, quedando el legado de Einstein a su fallecimiento en 1955, en el mundo de habla inglesa. Ellos fueron prácticamente coincidentes con Andrzej Trautman de la Universidad de Varsovia bajo la tutoría de Leopold Infeld. Todos convencidos lo hacían dentro del marco de la llamada "general relatividad". Aunque a diferencia de cuando, en dos artículos, entre 1916 y 1919, Einstein había formulado las pretendidas "ondas gravitacionales" en la versión linealizada de sus ecuaciones para el espaciotiempo vacío, de acuerdo con el modelo de De Sitter, en cambio ellos a partir del tensor de Weyl. Si bien ellos consideraron cuando el tensor de

Einstein se hacía igual a cero, por lo cual sus ecuaciones las presentaron como soluciones de las de Einstein en tal límite, más propiamente como sus soluciones para una variedad espaciotiempo vacía de materia. En tal contexto, se podría reclamar las ecuaciones de Einstein-Grossmann-Hilbert de 1915 serían cuando el tensor de Weyl fuera cero, cuestión que no fue así. En realidad, Einstein tomó el tensor de Ricci y el grupo de Cambridge el tensor de Weyl del tensor de Riemann. Es decir, Einstein para la variedad tetradimensional espaciotiempo tomó los diez primeros componentes independientes y los de Cambridge los diez restantes componentes independientes del tensor de Riemann. En ese sentido el tensor de Ricci ni el tensor de Weyl tienen que ver con la materia o su ausencia, simplemente expresan propiedades geométricas de una variedad tetradimensional de curvatura positiva que Minkowski, 1908, dentro del contexto de la Relatividad Especial, había introducido como espaciotiempo.

Leopold Infeld con posteridad al trabajo realizado, en 1938, con Hoffmann y Einstein sobre las ecuaciones del movimiento, dejó de ser asistente de éste y se desvinculó del Instituto de Estudios Avanzados partiendo hacia Canadá, donde se nacionalizó. Con la ayuda de Percy Robertson, su repentino e inusitado amigo hecho a su llegada a Princeton, ingresó a la Universidad de Toronto [21], desempeñándose como profesor entre 1939 y 1950, debiendo salir a causa de su militancia en un movimiento por la paz, surgido como reacción del lanzamiento por parte de los Estados Unidos de las bombas de Hiroshima y Nagasaki, por lo que se lo acusó de comunista, y optó por regresar a Polonia su país de nacimiento, a la altura incorporado a la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Acusado de traidor le retiraron la nacionalidad canadiense. En adelante hasta su fallecimiento en 1968, Infeld trabajó en la Universidad de Varsovia como director del Instituto de Física Teórica, también fue miembro del Presídium de la recién formada Academia Polaca. En 1959, Infeld fue tutor del físico y matemático polaco Andrzej Trautman, 1933-a la actualidad, en su trabajo sobre "ondas gravitacionales" con que obtuvo su Ph.D, quien había estudiado en el Instituto, no obstante que Infeld las había totalmente descartado, pero que a instancias de Jerzy Plebański, considerado el tutor no oficial, para quien la existencia de "ondas gravitacionales" era obvia, y fuera quien propuso las "ondas gravitacionales" como tema del doctorado de Trautman, Infeld permitió hacerlo a título de un simple trabajo de grado y a la libertad de su supervisado de elegir el tema. Plebański fue un físico polaco, 1928-2005, especializado en la "general relatividad", doctorado en la Universidad de Varsovia, en la que fue vicedecano de la Facultad de Matemáticas y Física, 1958-1962, y coautor con Infeld del libro "Motion and Relativity", 1960, finalmente emigrante en México donde se incorporó al Centro de Investigación y Estudios Avanzados hasta su fallecimiento.

En ese mismo año de 1959, Ivor Robinson, 1923-2016, físico y matemático, especializado en la "general relatividad", semita nacido en Liverpool, Inglaterra, luego nacionalizado en Estados Unidos, perteneciente a la Universidad de Cambridge donde estudió. Junto con Bondi y Pirani publicaron: "Gravitational Waves in General Relativity III. Exact Plane Waves" y, en 1960, con Trautman, "Spherical Gravitational Waves". Robinson fue,

además, principalmente reconocido por ser pionero en campos electromagnéticos nulos, por el tensor de Bel-Robinson, crear el marco matemático de la teoría de twistor desarrollado por Sir Roger Penrose y ser uno de los organizadores del primer Simposio de Texas sobre Astrofísica Relativista, 1963, celebrado cada dos años en sitios de todo el mundo. Robinson trabajó en la University College of Wales, King's College London, University of North Carolina, University of Hamburg, Syracuse University, Cornell University, Southwest Center for Advanced Studies convertida en la Universidad de Texas, en Dallas, donde se jubiló en 2000, siendo profesor emérito en el Departamento de Ciencias Matemáticas [Wikipedia], [22].

Hermann Bondi, 1919-2005, fue un físico, matemático y cosmólogo semita nacido en Viena, Austria, nacionalizado en el Reino Unido en 1946, que no obstante haber llegado a Cambridge en 1937, por iniciativa de Sir Eddington, buscando refugio del progresivo antisemitismo, en su país, al estallar la segunda guerra mundial fue hecho prisionero y confinado en la Isla de Man y luego en Canada, por provenir de un país aliado de Alemania. En 1941, lo liberaron para trabajar en un sistema de radar con el astrónomo, matemático y físico británico Fred Hoyle, 1915-2001, premio Nobel 1983 compartido con Subrahmanyan Chandrasekhar, por el núcleo síntesis estelar. Bondi se estableció en Cambridge, donde estudio en Trinity College, perteneciente a la Universidad de Cambridge y bajo la supervisión de Sir Eddington obtuvo su Ph.D, donde fue profesor de matemáticas, 1945-1954. En 1948, Bondi con Hoyle y el astrofísico, astrónomo e ingeniero austriaco, posteriormente nacionalizado en Estados Unidos, Thomas Gold, a la altura estudiante en la Universidad de Cambridge, elaboraron la teoría del Estado Estacionario del Universo, una alternativa a la teoría del Big Bang con poquísima aceptación luego del descubrimiento del fondo cósmico de microondas. Su mejor obra fue sobre las supuestas "ondas gravitacionales"., Fue profesor en el King's College de Londres, 1954, designado emérito, 1985. Fue secretario de la Royal Astronomical Society, 1956-1964. Ocupó importantes cargos entre otros, Director General de la Organización Europea de Investigación Espacial, 1967-1971, más tarde Agencia Espacial Europea, presidente de la Asociación Humanista Británica, 1982-1999, y presidente de la Asociación de Prensa Racionalista, 1982-2005. Fue uno de los firmantes del Manifiesto Humanista. Entre otros honores, fue miembro de la Royal Society, 1959; Caballero Comandante de Bath, 1973; galardonado con la Medalla de Oro de la Sociedad Einstein, 1983, la Medalla de Oro del Instituto de Matemáticas y su Solicitudes, 1988, y Medalla de Oro de la Royal Astronomical Society, 2001; premio Internacional GD Birla de Humanismo [23], [Wikipedia].

Felix Pirani, 1928-2015, físico teórico inglés inmigrante con su familia en Canada donde realizó sus estudios de pregrado en la University of Western Ontario, 1948, el master en la Universidad de Toronto, 1949, y el primer Ph.D en el Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, 1951, contribuyendo a uno de los intentos de formular una teoría cuántica de la gravedad, luego obtuvo su segundo Ph.D, en cosmología y "general relatividad", 1956, bajo la dirección del entonces profesor de matemáticas Hermann Bondi, reuniéndose como docentes en el King's College London, 1958. King's College London es una

universidad pública, miembro de la Universidad federal de Londres y de organizaciones académicas que incluyen la Asociación de Universidades de la Commonwealth, la Asociación de Universidades Europeas y el Grupo Russell. King's fue fundada por el rey Jorge IV y Arthur Wellesley, primer duque de Wellington, 1829, ha tenido 14 premios Nobel, entre los ex alumnos y su personal. Pirani especializado en "general relatividad", se unió al grupo de investigación que Bondi en el King's, 1955, donde hizo una aplicación muy original a la teoría de la radiación gravitacional del trabajo de Petrov; cuando Bondi dejó King's, 1967, Pirani se convirtió en el jefe del grupo y supervisó a un gran número de estudiantes de investigación, convirtiéndose en profesor emérito de la Universidad de Londres e investigador principal visitante en el departamento de matemáticas de King's. Su gran obra fue con Bondi, 1959-1989, sobre las supuestas "ondas gravitacionales". Por lo demás, Pirani se destacó por su actividad política de izquierda, décadas de 1970-1980, oponiéndose al uso sin más de la ciencia para fines militares, siendo miembro de la Sociedad Británica de Responsabilidad Social en la Ciencia. Pirani, durante una visita académica a la Universidad de Carolina del Norte, donde trato los problemas sobre la esclavitud y la guerra civil estadounidense fue golpeado en la cara, a su regreso a Inglaterra, se unió a los Científicos de la Izquierda y la Campaña por Desarme, fundando el Science Forum como un grupo de científicos que se reunían mensualmente para discutir los problemas sociales de la ciencia. Pirani luchó contra la creencia pública de que "la ciencia resolverá los problemas del mundo" lo cual es una ilusión porque "la financiación de la investigación proviene de los niveles superiores de la jerarquía social, que controlan la dirección del progreso científico para sus propios fines" [Wikipedia], [24].

El trio de Cambridge se hizo al trabajo de Einstein sobre "general relatividad", a partir de su arbitraria incorporación de las por ellos restablecidas "ondas gravitacionales", quedando así en adelante en manos de científicos de habla inglesa, extraños a su cabal comprensión en términos geométricos en que fue formulada originalmente, en algo similar a cuando la gravedad de la física newtoniana pasó a la geometría de Riemann, aunque al revés puesto que en éste se esfumo su materialidad y en Cambridge la readquirió.

A diferencia de Einstein, tanto Trautmann como el grupo de Cambridge, trabajaron las "ondas gravitacionales" usando el tensor de Weyl según la clasificación de Petrov. Es frecuente se afirme que la obra de ellos se inscribe en las soluciones de las ecuaciones de Einstein para la variedad espaciotiempo vacía de materia que estrictamente se hallan para cuando $R_{uv} - \frac{1}{2} g_{uv} R = 0$ que trabajaron Einstein-Rosen-Infeld-Hoffmann. No es así, ellos del tensor de Riemann tomaron el tensor de Weyl por lo que "estas soluciones residen, principalmente, en ciertas analogías formales que tienen con las soluciones onda-plana de las ecuaciones de Maxwell del espacio vacío. Pero, así como las soluciones onda-plana electromagnéticas, éstas llamadas ahora de campo gravitacional nulo, se tienen que considerar como una idealización, en el sentido de que ambos tipos de soluciones no están relacionadas a ninguna fuente estructural, como se requeriría de soluciones de onda producidas por algún medio material" [25]. Sin embargo, otros les confieren a tales ondas

energía: “la clase de métrica que obedece a la definición de Bondi-Pirani-Robinson de una onda gravitacional plana depende de dos funciones libres de una variable que pueden interpretarse como la amplitud de onda y la dirección de polarización. Usando estas funciones libres, Bondi, Pirani y Robinson obtuvieron una onda sándwich, es decir, una onda gravitacional que difiere del espaciotiempo de Minkowski solo en una tira de 4 dimensiones que se mueve en una dirección dada con la velocidad de la luz. Utilizaron esta onda sándwich y analizaron lo que sucede cuando golpea un sistema de partículas de prueba. De ello se deduce que la onda afecta su movimiento, lo que lleva a la conclusión de que las ondas del plano gravitacional en la teoría completa transportan energía” [26], o a partir de introducir fuentes de radiación gravitacional desmarcándose de la idea central de Bondi-Pirani-Robinson, de acuerdo con su desarrollo posterior, por parte de algunos, donde han intervenido nuevos científicos: “El comportamiento asintótico de las "ondas gravitacionales" cerca del infinito se aproxima a cómo aparecería la radiación gravitacional que emana de una fusión de "agujeros negros" distantes cuando la observa LIGO. Asintóticamente, las "ondas gravitacionales" parecen ser planas, en direcciones de estiramiento y contracción perpendiculares a la dirección de viaje de la onda... en su desarrollo posterior consideremos la fusión de dos "agujeros negros". Mucho antes de la fusión, la energía total del espaciotiempo de dos "agujeros negros", la llamada energía ADM o "masa", llamada así por sus creadores Arnowitt-Deser-Misner, es esencialmente la suma de las masas de los "agujeros negros" individuales. Durante la fusión, la energía y el impulso se irradian en forma de "ondas gravitacionales". Después de la fusión, una vez que las ondas se han propagado fuera del sistema, la energía que queda en el sistema, lo que se conoce como la masa de Bondi, disminuye y se puede calcular a través del formalismo introducido por Bondi, Sachs y Trautman. La radiación gravitacional viaja a lo largo de hipersuperficies nulas en el espaciotiempo. Como la fuente está muy lejos de nosotros, podemos pensar que estas ondas nos alcanzan (el experimento) en el infinito nulo” [27].

El autor tuvo el alto honor de asistir en Kazan, Federación de Rusia, al centenario del nacimiento de Aleksei Zinovyevich Petrov, 1910-1972, en cuya conmemoración se realizó un simposio sobre "general relatividad" y Gravitación, donde el autor participó con la obra “Spacetime structural property of matter in motion“, Universidad Federal de Kazan, 2010 [19].

Petrov, nació en una aldea, dentro de doce hijos. Huérfano de padre a los 5 años y poco luego destruida su casa por un incendio su madre tuvo que entregarlo en adopción a una tía paterna, una maestra del pueblo, donde inició la primaria que terminó en la ciudad provincial de Melex, 1926. Luego del primer año de secundaria, tuvo que trabajar en Saratov como carpintero. En 1931, encontró trabajo en Kazán en la construcción de una central termoeléctrica. En 1932 aprobó el examen final de la secundaria y entró en el departamento de física y matemáticas de la Universidad de Kazán, donde a su regreso de Göttingen, el profesor N.G. Chataev, junto con N.G. Chebotarev, miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de la URSS, trasladado a Kazán, realizaron un famoso programa de matemática que conllevó a profundas investigaciones realizadas en la teoría de Riemann y espacios generalizados por el profesor P.A. Shirokov. Estas

personas, se convirtieron en mentores de Petrov. Shirokov, uno de los geómetras soviéticos más destacados, conoció muy de cerca a N. I. Lobachevsky y sus ideas sobre la influencia de la materia sobre las propiedades del espacio, además, de las aplicaciones de la geometría lobachevskiana. Shirokov le sugirió a Petrov hiciera la monografía "Espacios de Einstein", luego convertida en el tema de su tesis doctoral que, debido a la segunda guerra mundial, en la que en Moscú participó como comandante de un destacamento de morteros, sólo pudo sustentarla, gracias a una breve licencia, en enero de 1943. Desmovilizado, Petrov trabajó como profesor asistente en el Instituto de Aviación de Kazán, donde en 1945 se unió al Partido Comunista, en ese año se trasladó a la sección de Geometría de la Universidad. Entre 1952-54 demostró la existencia de tres tipos de espacios de Einstein (llamados tipos de Petrov) conocida como "clasificación de Petrov" que lo hizo famoso mundialmente. En octubre de 1956, Petrov se convirtió en profesor en la Cátedra de Geometría de la Universidad de Kazán y en 1960 dirigió la Cátedra de Teoría de la Relatividad y Gravitación, en calidad de cofundador. En 1960, Petrov fue elegido presidente de la sección del consejo científico de la URSS dedicada a las investigaciones gravitacionales y presidente de la comisión soviética del comité internacional de gravitación y teoría de la relatividad, puestos que ocupó hasta su fallecimiento [28].

Peroni, Bondi y Robinson, auxiliados por Trautman, basaron su trabajo sobre retorno a la teoría de las "ondas gravitacionales" en la clasificación de Petrov del tensor de Weyl que de acuerdo a la bibliografía oficial de la ciencia normal también se le atribuye a Peroni afirmando que la halló independientemente, aunque tres años luego, 1957, no obstante, en esta fecha, no sólo Peroni sino todos, incluyendo a Trautman registran su clarísimo reconocimiento al trabajo de Petrov de 1954.

El tensor de Weyl, en el uso dado por Pirani-Bondi-Robinson-Trautman, debido a sus simetrías, puede representarse por una matriz 6×6 , bajo las consideraciones siguientes:

- Aporta curvatura a la variedad espaciotiempo en ausencia de materia, o sea, dotándolo de curvatura intrínseca, a diferencia de las ecuaciones de Einstein, que relacionan empíricamente el tensor de Ricci con el tensor de energía e impulso de la materia, y hacen que la clasificación del tensor de Ricci sea equivalente a la clasificación del tensor de energía-impulso, por lo tanto, más allá, de la mera estructura algebraica de Riemann que también le confiere a este tensor curvatura intrínseca.

- Asocia arbitrariamente estados de radiación gravitatoria sin tener en cuenta sus fuentes, es decir, en forma autónoma, dependiente totalmente de la métrica, a determinadas clases algebraicas (Lichnerowicz, Bel, Pirani), y dichas clases permiten analizar el comportamiento con la distancia del campo gravitatorio de sistemas acotados (Sachs, Bondi). Pirani, Bondi y Robinson rechazaron la restricción con que Rosen había trabajado las ondas planas de que "todo el espaciotiempo estuviera cubierto por un sistema de coordenadas no singular", condición necesaria para que las ondas planas llenaran todo el espaciotiempo, para ello se basaron en el trabajo matemático de Lichnerowicz. Según ellos "Rosen no distinguió suficientemente entre singularidades coordinadas (como la singularidad en el origen de las coordenadas polares) y singularidades físicas, que, en principio, podrían descubrirse experimentalmente. En ese momento, los fundamentos

matemáticos de la "general relatividad" no estaban bien desarrollados, pero desde entonces Lichnerowicz los ha puesto en orden en una serie de artículos ahora reunidos en un tratado de 1955". Con ese argumento ellos sostuvieron: "las métricas de ondas planas de Rosen son física y matemáticamente aceptables, como lo descubrimos de forma independiente dos de nosotros (Robinson 1956, inédito; Bondi 1957; véase también Bonnor 1957). Mientras tanto, una aplicación diferente de las condiciones de Lichnerowicz, con algunas otras consideraciones, condujeron (Pirani 1957) a un criterio general de radiación gravitacional, que la métrica de onda plana de hecho satisface". Pero, ellos advirtieron: "Desafortunadamente, las "ondas gravitacionales" planas no exhiben su planeidad de una manera tan clara como lo hacen las ondas electromagnéticas planas, y las soluciones de ondas planas publicadas han recibido algunas críticas"... "Nuestro interés por las ondas planas no deriva, por supuesto, desde la expectativa de que tales ondas puedan existir en la naturaleza, pero desde la presunción de que, a grandes distancias de una fuente finita de "ondas gravitacionales", estas ondas deben parecer aproximadamente planas".

- Permite la clasificación de todas las simetrías algebraicas del tensor de Weyl, en cada evento en una variedad de Lorentz, según la clasificación de Petrov, 1954, de las simetrías del espaciotiempo conforme, o sea, llevado al infinito. Simetría significa invariantes después de cualquier cambio e invariante "es una igualdad de las partes de un sistema bajo la aplicación de cualquier transformación, por lo que es indispensable que para que dicho sistema quede invariante todo tiene que preservarse" (Brading & Castellani, 2003). Pirani, Bondi y Robinson justificaron las "ondas gravitacionales" en una variedad espaciotiempo curvo en el vacío siempre "que admitan grupos de movimientos", aunque carente de simetrías físicas, pero no de simetrías algebraicas de acuerdo con Petrov, que por asociación se le pueda conferir algún sentido de materialidad como la hecha por Einstein entre el tensor de Ricci y el tensor de impulso-energía, con el argumento de: "Afortunadamente, no tenemos que investigar métricas de espaciotiempo vacías que admitan grupos de movimientos. Esta laboriosa tarea ha sido emprendida por Petrov (1957), que ha enumerado todas esas métricas. Según sus resultados (citados en Petrov 1955), ningún espaciotiempo vacío excepto el espaciotiempo de Minkowski admite un grupo con más de 6 parámetros. Hay varios espaciotiempos vacíos que admiten grupos de 6 parámetros; desde el punto de vista actual, pueden considerarse como casos especiales de la clase de espaciotiempos vacíos que admiten un grupo de 5 parámetros. Siempre es posible reducir la métrica de esta clase en una región finita (aunque no necesariamente a lo largo del espaciotiempo) a la forma, suficientemente general para nuestros propósitos"... dada anteriormente (Bondi 1957). Esta forma es equivalente localmente a la dada por Petrov".

La clasificación de Petrov, que es esencialmente algebraica, Pirani, Bondi y Robinson la concibieron desde la relación introducida por Einstein entre el tensor de Ricci y el tensor de energía-impulso e introdujeron tipos de tensores de Riemann de radiación pura, es decir, en ausencia del tensor de Ricci. Ellos supusieron encontrar que la radiación estaba

siempre presente cuando el tensor de Riemann fuera de tipo II o de tipo III según la clasificación de Petrov. “Como veremos, los tensores de Riemann de la métrica de onda plana son de tipo II”. Las “ondas electromagnéticas planas, sin fuentes reales, constituyen un campo de radiación pura, así las "ondas gravitacionales" planas, también sin fuentes reales, constituyen un campo de radiación gravitacional pura, que tiene un tensor de Riemann de tipo II”.

A partir de la clasificación de Petrov, Pirani-Bondi-Robinson-Trautman definieron siete tipos de tensores de Riemann confiriéndoles las siguientes interpretaciones físicas, dentro del contexto de la clasificación de campos gravitacionales:

- Regiones de tipo D correspondiente a cuerpos masivos aislados tales como las estrellas caracterizados totalmente por su masa y momento angular. El tensor electrogravítico (o tensor de mareas) es muy semejante a los campos gravitacionales descritos en la gravedad newtoniana mediante un potencial gravitacional de tipo Coulomb. Un campo de mareas de este tipo se caracteriza por la tensión en una dirección y la compresión en las direcciones ortogonales; si el astro gira alrededor de algún eje, además de los efectos de marea, habrá varios efectos gravitomagnéticos, como fuerzas de giro en giroscopios transportados por un observador.

- Regiones tipo III de radiación gravitacional longitudinal y las fuerzas de las mareas tienen un efecto de cizallamiento que es la acción resultante de fuerzas aplicadas que causa que dos partes contiguas de un cuerpo o dos cuerpos se deslicen uno con respecto al otro en dirección paralela a su plano de contacto.

- Regiones tipo N de radiación supuestamente gravitacional transversal de largo alcance, que LIGO reclama haber detectado como "ondas gravitacionales", correspondientes a la denominada simetría N de la clasificación de Petrov inicialmente estudiada como las soluciones de frente de onda plana (y simetría cilíndrica) introducida, por Einstein y sus asistentes, como necesaria para estudiar las ondas y la radiación gravitacional. Esta simetría N fue usada por Felix Pirani en 1957, por lo tanto, excluyendo los trabajos sobre "ondas gravitacionales" de Einstein y Rosen de 1936, y el de Rosen de 1937, que fueron basados en el tensor de Ricci para un espaciotiempo de De Sitter. Pirani logró que las ecuaciones de Einstein se pudieran escribir de una manera similar con las ecuaciones de Maxwell de la teoría electromagnética, a partir de darle un carácter físico al tensor de Weyl en sí mismo eminentemente geométrico, por lo tanto, falseándolo, además, en un entorno local que es paradójico pues si bien para los que creemos en la teoría de la gravedad cuántica el campo gravitacional es local mientras la onda gravitacional se extiende hacia el infinito semejante como el campo electromagnético es local y la onda electromagnética no lo es, cuestión por ellos sabida más cuando se basaban en la pretendida por ellos similitud entre la onda gravitacional plana y la onda electromagnética plana que se da en una distancia muy alejada de una fuente radiante, pero ellos escribieron: “Hemos optado por definir la planeidad de las "ondas gravitacionales" exigiendo que tengan tanta simetría como las ondas electromagnéticas planas” y “Con

esta información sobre la simetría de las ondas electromagnéticas planas, pasamos ahora a la definición de "ondas gravitacionales" planas. Ya hemos asumido que una métrica de onda plana es una solución no plana de las ecuaciones de espaciotiempo vacías", además, párrafos luego: "No es necesario considerar un espaciotiempo que está lleno de radiación en todas partes. Es más simple y esclarecedor considerar ondas de duración finita, ondas 'sándwich', con amplitud distinta de cero solo para un rango finito ... en el 'relleno' del sándwich. En otros lugares, el espaciotiempo es plano. Tal situación es permisible, porque las condiciones de Lichnerowicz no requieren que los componentes del tensor métrico sean funciones analíticas de las coordenadas, o que un sistema de coordenadas cubra todo el espaciotiempo".

- Regiones de tipo II que combinan los efectos considerados en los tipos D, III y N de una manera no lineal bastante complicada.

- Regiones de tipo O conformalmente planas por desvanecerse el tensor de Weyl siempre que también se desvanezca el tensor de Ricci, puesto que en el caso contrario se mantendrá la curvatura en los términos puros de Ricci, pero, de acuerdo con la espuria relación con el tensor de energía-impulso empíricamente asignada por Einstein. "En una región conformemente plana, cualquier efecto gravitacional debe deberse a la presencia inmediata de materia o la energía de campo de algún campo no gravitacional (como un campo electromagnético). En cierto sentido, esto significa que ningún objeto distante está ejerciendo una influencia de largo alcance en los eventos de nuestra región. Más precisamente, si hay campos gravitacionales que varían en el tiempo en regiones distantes, la noticia aún no ha llegado a nuestra región conformemente plana" [29].

Las "ondas gravitacionales" planas polarizadas fueron introducidas por primera vez por Rosen, a título exploratorio sobre su posible existencia. Rosen llegó a la conclusión de que tales ondas no podrían existir porque la métrica tendría que contener ciertas singularidades físicas. Taub y McVittie demostraron que no había ondas planas no polarizadas, y por esta vía favorecieron de que las "ondas gravitacionales" planas verdaderas no existen en el espacio vacío en la "general relatividad". No obstante, Bondi afirmó: "Scheidegger y yo hemos expresado la opinión de que podría haber "ondas gravitacionales" portadoras de energía. Por lo tanto, es interesante señalar, como lo demostró por primera vez Robinson y ahora lo he probado de manera independiente, que el argumento de Rosen es inválido y que las verdaderas "ondas gravitacionales" existen de hecho. Además, se demuestra aquí que estas ondas transportan energía, aunque todavía no ha sido posible relacionar la intensidad de la onda con la cantidad de energía transportada" [30].

En 1959, Bondi, Pirani y Robinson escribieron: "Las "ondas gravitacionales" planas se definen aquí como soluciones no planas de las ecuaciones de campo del espaciotiempo vacío de Einstein que admiten tanta simetría como las ondas electromagnéticas planas, es decir, un grupo de movimientos de 5 parámetros. Se escribe una métrica general de ondas planas y se estudian en detalle las propiedades de los espaciotiempos de ondas planas. En

particular, su caracterización como 4 planos "se justifica aún más por la construcción de 4 ondas sándwich" limitadas a ambos lados por hiperplanos (nulos) en el espaciotiempo plano. Se muestra que el paso de una onda sándwich produce una aceleración relativa en las partículas de prueba libres, y de esto se infiere que tales ondas transportan energía" [30].

En esta formulación ellos optan por limitar la existencia de las "ondas gravitacionales" planas a ciertos "corredores" del espaciotiempo, de acuerdo con el tensor de Weyl, que denominan ondas sándwich a diferencia de Rosen que había estudiado su posibilidad de existencia en el espaciotiempo conforme a partir del tensor de Ricci. También, las asimilan a las ondas electromagnéticas planas que se propagan muy distantes de las fuentes hacia el infinito con ser que en las ecuaciones de Einstein-Grossmann-Hilbert en que supuestamente justifican tal existencia de ondas el campo gravitacional, g_{uv} , es la curvatura de la variedad espaciotiempo, por lo tanto, de carácter geométrico y no físico como en cambio si lo es el campo electromagnético en las regiones de radiación. Ellos creen ante la carencia de fuentes físicas de radiación gravitacional justificar las ondas por las equivalencias entre las simetrías algebraicas del tensor de Weyl, vía la clasificación de Petrov, y el tensor de impulso-energía. Es desde luego, una argumentación que al relacionar un modelo algebraico con un modelo físico conduce el reemplazo de uno por el otro imposible de aceptar como sustentación de una teoría física, es tanto, como pretender que una foto pueda reemplazar físicamente lo representado en ella, no obstante, las igualdades algebraicas posibles de establecer.

Con los resultados establecidos por Hermann Bondi y Felix Pirani (Bondi, 1957; Bondi et al., 1959; Bondi et al., 1962), y con los aportes fundamentales de Ivor Robinson y Andrzej Trautman (Robinson y Trautman, 1960) si bien se elaboró una teoría nueva de la radiación gravitacional a partir de la métrica misma sin considerar sus fuentes y aunque ausentes asimilándolas al fenómeno electromagnético del que se atrevieron a igualar con el gravitacional pues escribieron "así como las ondas electromagnéticas planas, sin fuentes reales, constituyen un campo de radiación pura, que tiene exactamente la forma autoconjugada, así las "ondas gravitacionales" planas, también sin fuentes reales, constituyen un campo de radiación gravitacional pura, que tiene un tensor de Riemann de tipo II" [30], cuando el campo electromagnético realmente posee realidad física y no geométrica como es la implícita en el tensor de Ricci usado por Einstein, falseando el carácter geométrico original del tensor de Riemann, pero, fue con un claro propósito de amparar nuevas líneas de investigación respecto a las "ondas gravitacionales" a cambio de reclamar su existencia real, ya que Pirani, Bondi y Robinson concluyeron: "Hemos visto cómo las "ondas gravitacionales" planas pueden definirse por analogía con las ondas electromagnéticas planas; la analogía depende de las propiedades de simetría de tales ondas. Como se señaló anteriormente, no esperaríamos encontrar "ondas gravitacionales" planas en la naturaleza, excepto como las formas limitantes a grandes distancias de ondas de una fuente finita. Las soluciones de ondas planas, sin embargo, proporcionan modelos útiles e interesantes para estudiar las propiedades de las "ondas gravitacionales"; es de

esperar que ahora se vea que su planeidad está fuera de toda duda: la existencia de ondas sándwich que se encuentran enteramente entre dos superficies que son planos en el espaciotiempo de Minkowski da el apoyo más fuerte posible a esta afirmación. La existencia de ondas sándwich sugiere también que las "ondas gravitacionales" pueden no tener masa gravitacional. Una onda gravitacional con masa gravitacional necesariamente poseería una región detrás de ella en la que los efectos de la región de la onda se hicieran sentir como un fenómeno ordinario de campo gravitacional (no radiactivo). Sin embargo, las ondas cilíndricas tienen ondas, por lo que este puede ser un punto en el que el modelo de onda plana no es confiable y el argumento no puede considerarse concluyente. Este es un problema más cuya solución estará al alcance solo cuando estén disponibles soluciones exactas que representen ondas de una fuente finita. En ausencia de tales soluciones, nos hemos abstenido de intentar discutir el transporte de energía por "ondas gravitacionales". Se desprende de la aceleración relativa adquirida por las partículas de prueba, como se describe en 3 y 4, que la energía se transfiere a las partículas de prueba mediante una onda plana, pero esto no nos permite hacer afirmaciones cuantitativas sobre el transporte de energía en general. El estado fluido actual de la teoría del pseudo-tensor de energía no parece justificar una discusión del transporte de energía en términos de este concepto" [30]. No así quienes usan a estos autores para sostener que ellos probaron que las tales "ondas gravitacionales" sustentadas en algunas de las métricas de Weyl transportan energía.

A la altura de 1970, de acuerdo con la clasificación del físico ruso Valerii Dmitrievich Zakharov, profesor de la Universidad Estatal de Moscú, en su obra "Gravitational Waves in Einstein's Theory" [31] había las siete categorías de trabajos sobre "ondas gravitacionales" siguientes:

- La primera trata "la definición de "ondas gravitacionales" en su aspecto puramente geométrico, en base a las propiedades algebraicas de campos gravitacionales como se define en la clasificación de Petrov (Pirani, Trautman, Lichnerowicz, Debever, Petrov, Ehlers y Sachs, Hely, Roy y Radhakrishna, Zakharov, Staruszkiewicz, Parizet, Zund y Levine, Misra y Singh, Maldybaeva, Sokolik y Konopleva, Aichelburg, Lukačević, Coburn, Yadav y Nikolaenko)".

- La segunda parte "de una definición de la energía del campo gravitacional y procede a definir "ondas gravitacionales". Estos trabajos, en contraste con las obras geométricas del primer grupo, son de enfoque físico (Infeld, Singer, Peres y Rosen, Arnowitt, Deser y Misner, Brill, Moller, Gutman, Shirokov y Bud'ko, Petrov, Wu T'han Khiet, Denisov, Signore, Isaakson, Rodichev y Dozmorov, Zakharov). Ciertos autores (por ejemplo, Singer, Wu T'han Khiet, Møller (1961), Rodichev y Dozmorov, Denison, Gutman, Isaacson) emplean generalmente la definición covariante (o tétrada) de la energía del campo gravitacional. A este respecto (covarianza del criterio) su enfoque puede igualmente bien estar clasificado con el primero. Un enfoque tradicional "pseudotensorial" fue utilizado por Peres, Rosen, Møller (1958). Por último, Araki, Brill, Geissler, Tredera y Papapetrou

determinan la energía del campo gravitacional en un sistema de coordenadas especialmente elegido”.

- La tercera estudia “ondas de una forma específica (plana, esférica), o la emisión gravitacional de sistemas aislados de fuente (Ondas planas: Rosen, Boardman y Bergmann, Bondi, Pirani y Robinson, Kundt y Ehlers, Weber y Zipoy, Kerr y Goldberg, Avez, Newman, Penrose, Chevreton, Johari; ondas esféricas: Robinson y Trautman, Cahen y Leroy, Foster y Newman, Marder; emisión de sistemas aislado: Bondi, Stachel, Janis, Newman, Torrence y Couch, Hawking, Biéak, Van der Burg, Isaacson, Winicour y Derry, Le Denmat, Madore, Persides, Halliday y Janis, Sachs, Newman y Tamburino, Szekeres, Unti y Torrence, Collinson y French)”.

- La cuarta comprende los “trabajos sobre soluciones exactas o aproximadas de las ecuaciones de Einstein que describen "ondas gravitacionales" en el sentido de un cierto criterio (Einstein y Rosen, Takeno, Petrov, Weber y Wheeler, Marder, Lichnerowicz, Geissler y Treder, Kompaneets, Peres, Robinson y Trautman, Pandya y Vaidya, Sciamia, Bonnor, Friedlander, Nordtvedt y Pagels, Krishna Rao y Pandey, Harrison, Leroy, Wyman y Trollope, Zakharov, Johari, Misra, Bartrum, Foster y Newman, Lal y Prasad, Dangvu, Hoffman, Dozmorov, Szekeres y Aichelburg; las soluciones aproximadas de ondas se investigan en los trabajos de Rosen y Shamir, Bonnor, Pirani, Peres, Lias, Mehra, Vaidya y Kushwaha, Murenbeeldand Trollope; un método general para la construcción de soluciones de ondas aproximadas se da en los trabajos de Choquet-Bruhat.)”.

- La quinta trata las "ondas gravitacionales" “por métodos de aproximación: ya sea utilizando ecuaciones linealizadas de gravitación (Einstein, Eddington, Matte, Dirac, Vavilov, Gertsenshtein y Pustovoit, Bonnor, Carmeli, Cooperstock, Rotenberg, Campbell) o mediante la representación de las ecuaciones en una forma aproximada de un orden de pequeñez especificado (Bonnor, Fock, Infeld, Papapetrou, Tonnelat, Isaacson y Winicour, Treder, Cooperstock, Unt, Zerilli, Vishveshwara, Couch, Kinnersley y Torrence), o, finalmente, derivando la ecuación de onda de gravitación modificada "Maxwellizada" (Rumer, Kroki, Mavrides, Singer, Berger)”.

- La sexta estudia la gravedad como causada por la emisión de partículas elementales iniciado por Staniukovich y en adelante De Witt, Kundt y Thompson, Halpern, Laurent y Desbrandes. “En vista del hecho de que la teoría de Einstein de la gravitación es inaplicable a la descripción de sistemas microscópicos, Staniukovich reemplaza las ecuaciones de Einstein por otras que implica una variable "constante" de gravitación”.

- La séptima compuesta “por trabajos dedicados a problemas de investigación experimental de "ondas gravitacionales", principalmente detección. Los trabajadores en este campo incluyen Weber, Braginskii, Rudenko, Rukman, Gertsenshtein y Pustovoit, Kopvillem y Nagibarov, Bashkov, Mironovskii, Petrov, Forward y Berman, Heintzman, Winterberg, Zipoy y Bertotti, Dyson, Slabkii, Vodyanitskii y Dimanshtein, Lavrentev, Dautcourt, Melosh, Wick, Papini, Boccaletti, de Sabbata, Gualdi y Fortini. Varios trabajos

de esta categoría tratan de estimaciones del poder de la radiación gravitacional de fuentes cósmicas, y perspectivas para el estudio de laboratorio de este último; estos incluyen el trabajo de Wheeler, Fowler, Zel'dovich y Novikov, Thorne, Cooperstock, Carmeli, Weber, Boccaletti, de Sabbata, Gualdi y Fortini, Weinberg, Shklovskii, Greenstein, Kafka, Sciama, Field y Rees, Kaufman, Peters, Alladin y Sastry, Chandrasekhar, Ezawa, y Chau y Henriksen”.

Como se puede apreciar, en el lapso 1916 - 1970, entre Einstein y los seguidores de las "ondas gravitacionales" no hubo una única teoría sobre estas, así como ninguna fue aceptada como satisfactoria y en cambio sí un espectro de teorías, desde la puramente geométrica de Pirani a la puramente física de Staniukovich. Asimismo, fueron realizados un gran número de trabajos.

Desde la perspectiva teórica, lo notable del período fue, por un lado, la convicción por parte de Einstein, Rosen, Infeld y Hoffmann que a partir de las ecuaciones de Einstein-Grossmann-Hilbert de 1915 no hay "ondas gravitacionales" y, por el otro lado, la presentación por parte de los físicos soviéticos M. Vasiliev y K. Staniukovich de la gravedad como un estado de la existencia material, en su obra "El Cosmos y sus siete estados" [32], según lo sostenido en las referencias bibliográficas, con posteridad al físico soviético Andrei Dmitrievich Sakharov que en su propuesta sobre la gravedad inducida o emergente (1967) se había aproximado a la introducción de la teoría de la gravedad cuántica, aunque el autor leyó la obra en español de ellos en una publicación de la editorial MIR en ese mismo año, lo cual remite la obra en ruso a un año anterior, por lo que serían ellos los verdaderos precursores, bien como autores o divulgadores, puesto que, en 1967, ellos explican el fenómeno gravitatorio newtoniano en términos del gravitón: "Existen porciones de gravitación, los llamados gravitones, que son irradiados espontáneamente por todos los cuerpos. La intensidad de irradiación de los gravitones es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura nuclear (reserva de energía en el interior del núcleo), igual que la intensidad de emisión de los cuantos de luz o, más simplemente, la capacidad de luminiscencia de un cuerpo incandescente es tanto mayor, cuanto mayor es su temperatura. Ahora bien, la intensidad de la irradiación de los gravitones por los cuerpos no depende de la temperatura de todo el cuerpo, sino de la temperatura interior de las partículas elementales, de sus componentes, es decir, del grado de excitación. Puesto que todas las partículas elementales oscilan y estas oscilaciones no operan en el vacío que no existe, sino en el campo, es decir, en un ambiente de contrapresión, se puede suponer que durante cada oscilación la partícula entregue una porción sumamente pequeña de energía al ambiente circundante. Llamamos al equivalente material de esta porción de energía masa del gravitón y a la energía irradiada gravitón. Además conviene suponer que la cantidad de los gravitones irradiados, siendo predeterminado el grado de excitación es proporcional a la masa de la partícula que emite esos gravitones" [32], colocando la teoría sobre la gravedad más allá de las ecuaciones de Einstein de 1915, o sea, rompiendo con él, que con el trabajo posterior de Staniukovich sobre la onda gravitacional, permitió, con el tiempo, para algunos, la entendamos como manifestación del campo gravitacional

dinámico, dotado del gravitón real, que sería originado desde el campo gravitacional estático, provisto de la partícula portadora del gravitón virtual, comprendiendo así el fenómeno gravitacional como una fuerza fundamental, una fuerza del tipo de Lorentz, en total analogía con el campo electromagnético. En transición entre la consideración puramente geométrica a la física sobre las "ondas gravitacionales" se las asimiló paulatinamente a las ondas electromagnéticas. Desde luego, en tal escenario multi teórico sobre las "ondas gravitacionales" surgiría la perspectiva experimental de hallarlas no importó, no obstante, con teorías insuficientes, pero quienes perseveran buscando, no importa que sea, algo terminan encontrando.

Durante un largo período, 1958-2015, los experimentos realizados no arrojaron la detección de las supuestas "ondas gravitacionales" buscadas a partir de los modelos sobre ellas que sucedieron a la formulación del campo gravitacional como efecto geométrico de la curvatura positiva de la variedad espaciotiempo semi riemanniana. Pero, el descubrimiento del púlsar binario PSR B1913+16, 1974, por los astrofísicos estadounidenses Joseph Hooton Taylor Jr, 1941-actualidad, Ph.D, en astronomía de la Universidad de Harvard, 1968, y Russell Alan Hulse, 1950-actualidad, Ph.D, 1975, a esa fecha su estudiante de doctorado de la Universidad de Amherst, quien llevó acabo las observaciones, utilizando el radiotelescopio de Arecibo, en Puerto Rico, condujo a que se sostuviera haberse detectado radiación de energía que debería producir "ondas gravitacionales" como Einstein las había pronosticado en 1918, por el que estos científicos obtuvieron el premio nobel de física, 1993.

El pulsar PSR B1913+16 y su compañera son estrellas de neutrones magnetizadas formando un sistema binario donde siguen órbitas elípticas alrededor de su centro de masas común que, con el tiempo varia, lo cual produce un cuadrupolo que reúne la relación de la energía de cuatro momentos angulares asimétricos de dos masas, lo que hace que su período orbital se acelere ligeramente y la órbita de este sistema binario se reduzca lentamente a medida que pierde energía. La rata de decaimiento orbital observada del pulsar binario PSR B1913+16, está por encima aproximadamente en el 0.3%, de la rata estimada a partir de las ecuaciones de la "general relatividad" linealizada, 1918, o sea, según el modelo de De Sitter, de un espaciotiempo plano, descrito como una perturbación de la métrica de Minkowski, que es un valor altamente coincidente, no obstante, que dichas ecuaciones perdieron toda credibilidad para Einstein, 1937, por lo cual quienes se aferran a ignorar a su propio creador, las han presentado, desde entonces, como prueba indirecta de la existencia de las ondas que, según ellos, serían gravitacionales. También, se debe destacar la total ausencia para Taylor-Hulse de requerir del soporte de Bondi-Pirani-Robinson-Trautmann y posteriores que reintrodujeron las "ondas gravitacionales" a partir del tensor de Weyl una vez que Einstein-Rosen-Infeld-Hoffmann descartaron su posible origen desde el tensor de Ricci. La tesis a la que el autor se acoge es que el trabajo de Einstein sobre por él desechadas "ondas gravitacionales" usando el espaciotiempo de Minkowski muy suavemente ondulado, 1918, valga destacar escenario por excelencia de las ondas electromagnéticas, lo llevo a sus espaldas a

pronosticar la existencia de ondas electromagnéticas cuadripolares que deben darse a partir de sistemas binarios de órbita elíptica en alguna medida cargados que, con cierta similitud, como es el caso de la Tierra produce campos electromagnéticos, aunque dipolares, que generan su campo magnético. El científico doctor Tom Van Flandern objetó que las ondas irradiadas por los púlsares binarios son "ondas gravitacionales" sino alguna forma de electromagnetismo, lo cual le ratificó al autor, mediante email del 1/11/2000.

Por su parte el autor ha establecido que la radiación de los pulsares binarios pertenece al espectro electromagnético. En las ecuaciones de estimación de la radiación gravitatoria de la "general relatividad" linealizada se asume el gravitón real con masa 0 a fin de hacer coincidir el pronóstico exactamente con el valor esperado del modelo usado en ausencia del gravitón. Pero cuando se combinan las tasas de decaimiento orbital de los pulsares binarios PSR B1913+16 y PSR B1534+12 se obtiene que la masa del gravitón real no es cero sino máximo menor que $1,35342 * 10^{-52}$ gramos ($7.6 \times 10^{-20} \text{eV}/c^2$), con un 90% de confianza [33]. Este límite superior para la masa del gravitón real fue calculado, en el 2002, por Lee Samuel Finn y Patrick J. Sutton del Center for Gravitational Wave Physics, de la Universidad del Estado de Pensilvania, USA. El valor de la supuesta masa del gravitón real menor que $1,35342 * 10^{-52}$ gramos está muy cerca del valor del límite superior de la masa del fotón real el cual es menor que $1.2 * 10^{-51}$ gramos [34], de acuerdo con su cálculo más reciente del 2003, realizado por Jun Luo y sus colegas en la Universidad Huazhong de ciencia y tecnología en Wuhan, China. Y muy lejos del valor límite superior de la masa del gravitón real menor que $4,5 * 10^{-66}$ gramos [35], estimada por Gershtein, Logunov y Mestvirishvili, 1997, con base en los parámetros observados de la expansión del Universo, y que es consistente con el valor menor que $0.5 * 10^{-65}$ gramos estimado por Staniukovich y Vasiliev, 1967, con base en la relación de Einstein $E = m * c^2$ [32]. Por lo tanto, el autor ha verificado y confirmado lo afirmado por el doctor Tom Van Flandern de que la radiación de energía por parte de los pulsares binarios, son realmente de electromagnetismo y por coincidir con la pronosticada por la "general relatividad" linealizada el autor agrega que sin Einstein haberlo entendido ni haber sido ese su propósito, tal pronóstico verdaderamente corresponde a la radiación de ondas cuadripolares electromagnéticas que se propagan en el vacío.

Tom Van Flandern, 1940-2009, fue un matemático de la Universidad Xavier, 1962, astrónomo, Ph.D, 1969, de la Universidad de Yale, físico, visionario y escritor estadounidense de ciencia en temas controversiales, especializado en mecánica celeste. Becado para sus estudios de doctorado por el Observatorio Naval de los Estados Unidos, 1963, donde trabajo, como jefe de investigación y luego como jefe de mecánica celeste de la Oficina del Almanaque Náutico, retirándose, 1983, debido a su honesta y valerosa discrepancia con la ciencia normal que "cuando la evidencia experimental es incompatible con las teorías científicas dominantes, la ciencia oficial las ignora para evitar poner en peligro su financiación". Con posteridad se dedicó a destacar tesis erradas en la física y cosmología, formulando sus propias teorías como la de que la velocidad de la gravedad es mínimo $2 * 10^{22}$ veces c, 1998, inscribiéndose en la teoría corpuscular de la gravitación del

físico suizo Georges-Louis Le Sage, aunque brillante desarrollo de la tesis del autor acerca de la existencia de velocidades en la naturaleza mayores que la velocidad de la luz, 1969-1970 [36], formulada con base en la incipiente teoría cuántica de la gravedad expuesta por Staniukovich y Vasiliev, así como los posteriores trabajos del autor proponiendo medir la velocidad de la gravedad, 1991-1996 [36]. De otra parte, Van Flandern negó el Big Bang, propuso su concepción sobre la formación y evolución del sistema solar, y rechazó la geometrización de la gravedad. Asimismo, promovió sus ideas científicas heterodoxas en internet y la revista online "Meta Research Bulletin", dedicada a presentarlas como artículos, además, de su libro "Dark Matter, Missing Planets and New Comets: Paradoxes Resolved, Origins Illuminated", 1993, que en su capítulo 24 adquiere connotación de ciencia ficción al plantear el origen del cinturón de asteroides entre las órbitas de Marte y Júpiter como la explosión de un planeta que habría albergado una civilización, la cual habría construido, según él, la "cara en Cydonia" en el planeta Marte, realmente efecto de un espejismo óptico como fue establecido con los datos de la sonda "Mars Global Surveyor". En 2003, desarrolló la hipótesis de Van Flandern-Yang con Xin-She Yang después de las observaciones efectuadas durante el eclipse solar del 9 de marzo de 1997. En su honor el asteroide 52266 fue nombrado Van Flandern, como reconocimiento de su trabajo en la predicción y análisis de las ocultaciones lunares en los EE.UU. y por sus artículos sobre la dinámica de los satélites asteroidales. [Wikipedia].

4. El experimento espectacular de Kopeikin

El siguiente gran evento que concurre como nuevo fundamento experimental de la existencia de las "ondas gravitacionales", con anterioridad a su supuesta detección por LIGO, ocurrió en el 2002 cuando mediante una espectacular experimento astronómico el científico ruso Sergei Kopeikin reclama haber medido la velocidad de las "ondas gravitacionales", dividiendo a la comunidad científica entre quienes lo avalan y el resto que niegan haberlo hecho.

Kopeikin como Taylor y Hulse descartó a Bondi-Pirani-Robinson-Trautman, por tanto, no se basó en el tensor de Weyl para diseñar su experimento. Además, se apartó de Einstein-Grossmann-Hilbert puesto que sus ecuaciones de 1915 determinan el campo gravitacional como solo un campo tensorial y Kopeikin parte de una teoría escalar tensor sobre la gravedad que como en la de Brans-Dicke la interacción gravitacional está mediada por un campo escalar y causada por el campo tensorial de Einstein, aunque en conjunto los marcos teóricos de Kopeikin-Brans-Dicke-Einstein-otros son llamados teorías métricas por tener en común que el espaciotiempo genérico es curvo y, por lo tanto, carece de simetrías espaciotemporales.

De acuerdo con el experimento de radio-interferometría intercontinental, que combinó varios radiotelescopios sobre una vasta distancia a fin de obtener una imagen en conjunto, realizado, el 8 de septiembre de 2002, por el equipo de astrónomos dirigido por Kopeikin, de la universidad de Missouri, en Columbia, y Edward Fomalont, un radioastrónomo del National Radio Astronomy Observatory (NRAO) la velocidad de la

gravidad sería de $1,06 c$, con un error entre el 10% y hasta el 20% [37]. Este dato, fue presentado por Kopeikin y Fomalont, durante la primera semana de enero del 2003, en la reunión anual de la Sociedad de Astronomía de Estados Unidos, que se realizó en Seattle, USA.

En la técnica de radio-interferometría, llamada VLBI (Very Long Baseline Interferometry), se combinan dos o más radiotelescopios para establecer la dirección de origen de un rayo de radio a partir de la diferencia de tiempos de llegada de los rayos de la onda electromagnética a cada uno de los radiotelescopios, componentes de la red establecida para un experimento determinado. Una radio onda emitida por una fuente viaja en el espacio formando un frente esférico que se expande alrededor del emisor. El frente de onda al expandirse se mueve en dirección radial lejos del emisor. Los rayos de la onda electromagnética al pasar en la vecindad del astro, cuyo potencial gravitatorio produce su deflexión, sufre retardos. Para el caso del Sol o de una estrella es mínimo el retardo del rayo que pasa más alejado y máximo el del rayo que pasa más cerrado a una estrella. Para el caso de los planetas es máximo el retardo del rayo que pasa más alejado y mínimo el del rayo que pasa más cerrado a un planeta. Entre estos extremos el retardo de un rayo es inverso o directamente proporcional a su distancia respecto del astro que causa la deflexión. Todos los rayos, una vez que ocurre su deflexión, continúan paralelos y alcanzan los radiotelescopios en diferentes instantes ligeramente distanciados. La fijación de la dirección de un rayo es mayormente exacta en función a la distancia entre los radiotelescopios, por lo que se usan radiotelescopios distantes dentro de la escala intercontinental. En el experimento de Kopeikin la VLBI permitió medir la separación angular de dos cuásares lejanos con un error menor a 0.1 milisegundos de arco. Además, la VLBI fue utilizada para detectar la deflexión de rayos de radio de fuentes extragalácticas en los campos gravitatorios del Sol y de Júpiter. En el caso del Sol la deflexión coincide con el valor predicho por la "general relatividad" dentro de un margen de error de 0.1%. Pero, téngase muy en cuenta esta altísima precisión se refiere al valor de la deflexión. La VLBI es la tecnología actual que permite medir con la mayor exactitud posible el valor de la deflexión que sufren las ondas electromagnéticas, sujetas a los campos gravitatorios, de acuerdo con la teoría de la relatividad de Einstein, es decir, como consecuencia, de la interacción entre las ondas electromagnéticas y la curvatura del "tejido del espaciotiempo" (que no se sabe qué es [38]) causada por la masa de los astros. La energía-masa no sólo afectaría el espacio sino también el tiempo y ambos a la vez. De las ecuaciones se deduce que cuanto mayor es la presencia de la energía-impulso en una región del espaciotiempo tanto más éste se curva y, por tanto, más se apartan sus propiedades de la geometría euclídea. La métrica es proporcionada por las ecuaciones $ds^2 = g_{uv} dx_u dx_v$ (distancias y ángulos) en la geometría de Riemann para continuos curvos tetradimensionales, internamente compuesta de cuatro ejes curvilíneos que se interceptan, donde la suma de los ángulos de un triángulo, inscrito sobre su superficie, sería menor de 180 grados y los puntos que la componen serían los eventos. El espaciotiempo sería una estructura dinámica como lo es el campo-sustancia (materia)

que lo determina y a la que el espaciotiempo le da su curso y dirección a su movimiento geodésico y no es el fondo fijo pasivo e independiente (representado geoméricamente, por la malla tetradimensional) de Newton sobre el cual se mueve la materia que a su vez causaría el espaciotiempo se mueva e incluso se tuerza (gravitomagnetismo). Como consecuencia de su curvatura, dependiente de la energía-impulso, el espaciotiempo pierde el carácter absoluto que tiene en la relatividad especial y adquiere el carácter relativo, puesto queda determinado por las condiciones físicas de lo que contiene. Espaciotiempo curvo implica que la rata del flujo del tiempo y el patrón de longitud es determinada por la tensión del campo gravitacional (curvatura) en cada evento (punto, posición, instante). La curvatura cambia en el tiempo y espacio en función de la distribución de la energía-masa cambiante. El espacio y tiempo no cambian independientemente el uno del otro, sino en estrecha conexión. En proporción directa a la densidad en reposo, o sea de la densidad de la materia, se dilata el tiempo y contrae la longitud. Por lo tanto, el tiempo fluye con una rata propia y existe un patrón de longitud entre cada dos eventos contiguos, puesto que ds^2 se conoce en función de x_ν en intervalos finitos. Así, la medición del tiempo y la longitud cambia de evento a evento del espaciotiempo y se requiere de un reloj en reposo para medir el tiempo, dt , y de una varilla métrica de longitud unitaria en reposo para medir la longitud, dx_1 , en cada evento de un intervalo finito. El espaciotiempo tangente, en cada evento es el espaciotiempo de Minkowski donde vale la relatividad especial. Por ello, el espaciotiempo en la “general relatividad” se denomina variedad de Lorentz o semi riemanniano, esto es, por ser el espaciotiempo curvo en cada evento diferenciable en el espaciotiempo plano.

En cuanto al llamado tejido del espaciotiempo, término que ha hecho carrera afin de eludir el problema ontológico del espaciotiempo, y con el cual se pretende haber resuelto su naturaleza, proviene de los trabajos sobre gravedad cuántica desde el enfoque de su unificación con la llamada “general relatividad”, que en última instancia coloca a la geometría como el origen de la materia. Entre otras teorías, en la de bucles de Abhay Ashtekar (Instituto de Física Gravitacional y Geometría, Univ. Estatal de Pensilvania, 1985) y otros se formula el tejido del espaciotiempo “como una red de enlaces que portan información cuántica sobre las áreas y los volúmenes. Estos enlaces pueden cerrarse sobre sí mismos formando bucles. Los bucles son cuánticos y definen una unidad mínima de área (la unidad de área en la escala de Planck) de forma similar a como la mecánica cuántica aplicada a un átomo de hidrógeno define un estado de energía mínima para su electrón. Esta unidad de área no se puede curvar demasiado con lo que no se pueden producir singularidades en curvatura como las que predice la gravedad de Einstein en el interior de los agujeros negros o en el Big Bang” (Francis, 2013). Rafael Sorkin (Perimeter Institute, Waterloo, Canada, 1987) y otros plantearon los conjuntos casuales los que “son puntos matemáticos conectados por enlaces causales, que conectan pasado con futuro” (Francis, 2013). En la teoría de supercuerdas el tejido del espaciotiempo está formado por nudos puntuales, llamados calabi yau, que resultan de la compactación del cruce de un

determinado número de dimensiones. Por lo tanto, en estas teorías la naturaleza del espaciotiempo continúa siendo geométrica pero produciendo efectos físicos.

En el experimento de Kopeikin-Fomalont se midió la distancia angular entre dos quásares, astros productores de todo el espectro electromagnético en especial de radio ondas y los de mayor luminosidad del Universo, situados en galaxias distantes, durante la alineación visual del 8 de septiembre de 2002 entre el planeta Júpiter y uno de esos quásares, llamado J0842+1835. Esta alineación ocurre una vez cada década. Para este experimento se usó una red compuesta por el VLBA (Very Large Baseline Array), del grupo NRAO, que son 10 radiotelescopios de 25m, localizados en los Estados Unidos, que cubren desde Hawai hasta las Islas Vírgenes y el radiotelescopio de 100m del Instituto para Radioastronomía "Max Planck", ubicado en Effelberg (Alemania).

La hipótesis formulada por Kopeikin, autor del diseño del experimento, es que la gravedad de Júpiter debe causar un ínfimo desplazamiento de la posición en el cielo del quásar de referencia. Este fenómeno es conocido como la deflexión de las ondas electromagnéticas por la gravedad. Einstein explicó la deflexión como causada por el cambio de la trayectoria rectilínea de un rayo electromagnético al pasar del continuo espaciotiempo cuasi plano, que existe cuando la densidad de las distribuciones de masa-energía tienden a cero, al espaciotiempo curvo creado, por ejemplo, por un astro de una gran masa como la del Sol. Esta deflexión del rayo electromagnético, al seguir cerradamente la curvatura del espaciotiempo, presenta alterada la posición verdadera de la fuente, según la dirección donde el rayo se originó con respecto al astro que provoca la deflexión.

El procedimiento que usó Kopeikin comprendió los siguientes pasos:

1. Modificó las ecuaciones de Einstein para expresarlas en la que llamó "general relatividad" parametrizada:

$$G_{uv} [cg] = 8\pi G/c^4 T_{uv} [c]$$

donde [cg] es velocidad de la gravedad estática y [c] la velocidad de la luz.

Kopeikin supuso la presencia de la velocidad de la gravedad de manera implícita en el tensor de Einstein por lo cual "hemos mostrado explícitamente la presencia de la velocidad de la gravedad cg en el tensor de Einstein, que debe usarse en las derivadas de tiempo del tensor métrico". "La teoría de la relatividad general de Einstein supone que todas las derivadas en el tiempo ∂_0 del tensor métrico en las ecuaciones de Einstein están acopladas con c, es decir, $\partial_0 = c - 1\partial_t$. La convención actual es llamar a la constante c "la velocidad de la luz". Sin embargo, el tensor métrico $g_{\mu\nu}$ no es simplemente un objeto geométrico, sino que representa uno de los objetos más fundamentales en física: el campo gravitacional. Por esta razón, la constante c en el tensor de Einstein caracteriza la velocidad del campo gravitacional y tiene que estar asociado con la velocidad de la gravedad más que con la velocidad de la luz que tiene una naturaleza electromagnética y es físicamente irrelevante para el tensor de Einstein. Por otro lado, el tensor de tensión-

energía $T_{\mu\nu}$ se define localmente como un objeto relativista especial y no puede depender físicamente de la velocidad de la gravedad de forma directa porque el campo gravitacional no está localizado. No obstante, $T_{\mu\nu}$ puede depender de la velocidad de la gravedad indirectamente a través del tensor métrico $g_{\mu\nu}$. Esta dependencia puede ser importante en órdenes superiores del esquema de aproximación post-Newtoniano. Por lo tanto, debemos tener en cuenta que la velocidad fundamental c que entra en la definición (relativista especial) de $T_{\mu\nu}$ es la velocidad de la luz” [37].

2. Cambió c por c_g también en el tensor de energía-impulso con el fin de conseguir la conservación de la energía conjuntamente con el campo gravitacional el quebradero de Einstein puesto que originalmente conduce a la energía no localizable. “Para preservar la ley de conservación del tensor impulso-energía, se debe introducir explícitamente el parámetro c_g en el lado derecho de las ecuaciones de Einstein” [37].

No obstante, Kopeikin escribió con posteridad a la realización de su experimento donde a partir de la creencia acerca de la radiación gravitacional de las pulsares binarias, cuya velocidad de propagación supuestamente midió, reconoció la persistencia del problema de la conservación de la energía en las teorías métricas, cuando trabajó en su propuesta para resolverlo, 2017: “Hasta ahora, hasta donde sabemos, no se ha dedicado ningún a monografía a la discusión del problema de la construcción de leyes de conservación en la "general relatividad" y en otras teorías métricas, aunque se pueden encontrar varias reseñas y capítulos valiosos en libros que exponen este tema” [39].

3. Por segunda vez, volvió a parametrizar las ecuaciones para expresarlas en el esquema post-newtoniano. “En el esquema de aproximación post-Newtoniano, el límite newtoniano de la relatividad general se logra para $\varrho \rightarrow 0$. Esto es equivalente al enunciado de que la velocidad de propagación de la interacción gravitacional, c_g , va al infinito ($c_g = \infty$) porque en el límite newtoniano el campo gravitacional se propaga instantáneamente por definición. Es obvio que en este límite las ecuaciones del campo gravitatorio de Einstein deben reducirse (al menos en un marco preferido) a ecuaciones diferenciales parciales de tipo elíptico que no pueden contener derivadas temporales de las variables del campo gravitacional (el tensor métrico) en absoluto” [37].

“De esta consideración se deduce que la parametrización es equivalente a la afirmación de que el parámetro post-Newtoniano ϱ puede definirse como $\varrho = c / c_g$, donde c es la velocidad de la luz y c_g es el parámetro de la velocidad gravedad que va desde $c_g = c$ hasta $c_g = \infty$ ($0 \leq \varrho \leq 1$). La velocidad de la luz c pertenece a todos los fenómenos no gravitacionales que tienen lugar en un espaciotiempo plano, mientras que la velocidad de la gravedad caracteriza la tasa máxima de variación temporal del campo gravitacional y la velocidad de su propagación. Por esta razón, desde un punto de vista físico, es natural correlacionar cada derivada temporal del tensor métrico g con la velocidad de la gravedad c_g . Esto está de acuerdo con el enfoque de la relatividad general como una teoría de campo de espín-2 con auto-interacción” [37].

“El desarrollo de la parametrización g de la relatividad general exige que la expansión post-Newtoniana de las ecuaciones de Einstein con el parámetro $q = c / cg$ que va de $q = 0$ (Newton) a $q = 1$ (Einstein) debe preservar todas las propiedades geométricas de relatividad general: la identidad Bianchi, la relación entre los símbolos de Christoffel y el tensor métrico, la invariancia de gauss y coordenadas del lado izquierdo de las ecuaciones del campo gravitatorio” [37].

Las ecuaciones parametrizadas post-newtonianas quedaron:

$$\hat{G}_{\mu\nu} = 8\pi\Theta_{\mu\nu} \quad (2.12)$$

La identidad Bianchi asume que

$$\nabla^{\nu}\Theta^{\alpha\beta} = 0 \quad (2.13)$$

4. Linealizó las ecuaciones para obtener una solución aproximada. Refiriéndose a las ecuaciones parametrizadas post-newtonianas escribió: “esta ecuación está en concordancia con la ley de conservación del espaciotiempo plano para el tensor de tensión-energía de la materia $T^{\alpha\beta}$. Introducimos la descomposición de campo débil del tensor métrico

$$g_{\alpha\beta} = \eta_{\alpha\beta} + h_{\alpha\beta}, \quad (2.14)$$

donde $h_{\alpha\beta}$ es la perturbación del tensor métrico de Minkowski $\eta_{\alpha\beta}$. En lo que sigue nos restringimos con la aproximación lineal de las ecuaciones de Einstein con respecto a las perturbaciones métricas $h_{\alpha\beta}$. Sin embargo, mantendremos todas las potencias del parámetro q en la expansión post-Newtoniana de la teoría linealizada” [37].

5. Resolvió las ecuaciones linealizadas post-newtonianas según los potenciales retardados del tensor de Lienard-Wiechert, semejante a como lo había hecho Einstein en 1918, aunque no parametrizadas post-newtonianas lo verdaderamente original de Kopeikin. Puesto que, Kopeikin sostiene que en el fenómeno de deflexión no sólo se produce el retardo de Shapiro sino adicionalmente existe el retardo debido al valor finito de la velocidad de la gravedad.

De tal manera, Kopeikin en última instancia generó un modelo del campo gravitatorio que no es el de la "general relatividad", en cuanto éste como tal no transmite una fuerza ni, por tanto, posee velocidad. El campo gravitatorio einsteniano es precisamente la ausencia de fuerza. Las mediciones realizadas en el pasado de la deflexión por parte del Sol se refieren al efecto del campo gravitatorio estático, o sea, del potencial gravitatorio sobre una onda electromagnética, esto es, al efecto de la curvatura del espaciotiempo, que en su cercanía causa un cuerpo esferoide, sobre el rayo electromagnético que inercialmente sigue tal curvatura. Este efecto también produce un retardo del rayo electromagnético delante a cuando su trayectoria es rectilínea, el cual para radio ondas es conocido como retardo de Shapiro, y consiste, en general, que cuanto mayor es la curvatura del espaciotiempo, de una región determinada del Universo, los rayos que la crucen gastan un

mayor tiempo en aparecer ante un observador colocado en la lejanía. O sea, de acuerdo con Shapiro los pulsos de las corrientes de radiación electromagnética sufren un retardo directamente proporcional al valor de la curvatura del espaciotiempo de la región del Universo que atraviesan.

Kopeikin, partió del modelo de Einstein del campo gravitatorio esférico simétrico estático, modificando tanto el tensor de Einstein como el tensor de impulso-energía al agregar la velocidad de la gravedad en ambos, justificando por un lado la existencia de una fuerza y por el otro la conservación de la energía, expresando las ecuaciones según una parametrización post-newtoniana, no obstante conservando en todo el formalismo einsteniano, para convertirlas a su expresión en la solución de las ecuaciones de campo linealizadas, que de acuerdo con su concepción de la existencia de una fuerza procedió a resolverlas usando un tipo retardado de Lienard-Wiechert. En todo, verdaderamente un trabajo descomunal de Kopeikin que sedujo a los mejores astro físicos del mundo y logró su irrestricto apoyo para realizar su espectacular experimento. Kopeikin los convenció que el fenómeno de la deflexión no sólo lo produce la curvatura del espaciotiempo sino adicionalmente existe el efecto de una fuerza que es consecuencia de la propagación de la gravedad con una velocidad finita. En su versión post-newtoniana la velocidad de la gravedad podría darse dentro del lapso $(\infty, 0)$ que según el término c/c_g , usado en las ecuaciones de Kopeikin, puede estar entre $(0, 1)$.

Kopeikin escribió: "El campo gravitacional del sistema solar provoca un retraso en la propagación de las señales de radio, el efecto descubierto por Shapiro. Notamos que la precisión actual de las mediciones de VLBI de referencia de fase es lo suficientemente buena como para detectar una corrección relativista del retardo de tiempo de Shapiro dependiendo de la posición orbital retardada de Júpiter causada por la velocidad finita de propagación de la gravedad. Calculamos esta corrección para Júpiter haciendo uso de la solución retardada tipo Lienard-Wiechert de las ecuaciones del campo gravitatorio de Einstein para la perturbación $h_{\mu\nu}$ del tensor métrico" ... el retraso "es causado por el valor finito de la velocidad de propagación de la gravedad, c_g , de acuerdo con la naturaleza causal de la solución de Lienard-Wiechert de las ecuaciones de Einstein" [37].

La amplitud de ese desplazamiento, debe manifestarse en forma de una ligera deformación de las ondas de radio que emanaban del quásar, que debe depender de la velocidad de propagación de la gravedad. El doctor Kopeikin escribió: "Si la velocidad de la gravedad fuera infinita el quásar aparecería circular en el cielo al paso de Júpiter. Pero, si la velocidad de la gravedad es finita el quásar deberá aparecer elíptico" [37]. Es decir, si $c/c_g = 0$ entonces el quásar aparecería circular; de lo contrario $c/c_g=1$ el quásar aparecería elíptico.

¿Pero cuál velocidad de la gravedad?. De acuerdo, con el e-mail que en respuesta recibió el autor del doctor Kopeikin, el 11 de enero de 2003, 20:43, esta velocidad no es la de las ondas gravitatorias previstas por Einstein en 1918 y abandonadas en 1937, sino del cambio del campo gravitatorio de Júpiter, a lo largo de la trayectoria del rayo de radio,

entre el quásar J0842+1835 y el baricentro del sistema solar, como consecuencia de su movimiento acelerado no uniforme respecto a este quásar.

Kopeikin hizo coincidir la supuesta velocidad de propagación gravitatoria dentro del campo gravitatorio estático con la velocidad de las "ondas gravitacionales". Kopeikin, probablemente a sus espaldas, se acogió a la fuerte analogía entre el electromagnetismo, fenómeno material, y la gravedad estática, de acuerdo a la "general relatividad" efecto geométrico" confiriéndole a ésta sentido material. Puesto que, su razonamiento fue: "Ellis y Uzan [37] han sugerido un esquema de clasificación para evitar confusiones entre diferentes c que facilitarían una correcta interpretación de experimentos en física fundamental. Ampliando la idea de Ellis y Uzan definimos un conjunto de c en una teoría de campo electromagnético

(i) c_{ew} - la velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío,

(ii) c_l - la velocidad máxima de la luz (constante electrodinámica),

(iii) C_M - la constante de acoplamiento entre el campo electromagnético y la corriente eléctrica,

y un conjunto de c en una teoría de campo gravitacional

(i) c_{gw} - la velocidad de las "ondas gravitacionales" en el vacío

(ii) c_g - la velocidad máxima de la gravedad (constante gravitodinámica),

(iii) c_E - la constante de acoplamiento entre el campo gravitacional y la materia.

El significado físico de las constantes c_l y c_g es que determinan la tasa máxima de cambio de campos electromagnéticos y gravitacionales respectivamente. Significa que aparece c_l delante de las derivadas temporales de campos eléctricos y/o magnéticos, mientras que c_g aparecerá en frente a las derivadas temporales del campo gravitacional (el tensor métrico)"

"Es probable que la teoría más general de la gravedad debería, en principio, contener también tres constantes: c_{gw} , c_g y c_E para ser diferentes. La teoría de la "general relatividad" de Einstein asume que $c_{gw} = c_g = c_E$ y equipara c_g y c . Estos supuestos no contradicen las observaciones de tiempo de púlsares binarios con una precisión cercana al 0,4%. Sin embargo, no significa que la sincronización del púlsar mida el valor numérico de c_{gw} con esta precisión porque el modelo de sincronización de las observaciones binarias del púlsar no incorpora las constantes c_{gw} , c_g y c_E explícitamente. Se requiere mucho más trabajo para incorporar estos parámetros en el software de procesamiento de observaciones de tiempo con el fin de medirlos por separado. Continuaremos nuestro análisis del experimento VLBI en discusión en el marco de la "general relatividad" parametrizando sus ecuaciones con un solo parámetro $c_g \equiv c_{gw} = c_g = c_E$. Observamos que la razón G/c^2 en la ecuación de Einstein está fijada por el principio de correspondencia de las ecuaciones de Einstein con la gravedad newtoniana. Por lo tanto, el parámetro c_g

puede aparecer en el lado izquierdo de las ecuaciones de Einstein como un coeficiente en derivadas temporales del tensor métrico o en el lado derecho de las ecuaciones de Einstein en términos proporcionales a $G/(cv^2cg)$ y/o $G/(c^2c^2g)$. Llamamos al parámetro cg como la velocidad (última) de la gravedad en estrecha analogía con la teoría electromagnética, donde una constante unificadora similar c se llama velocidad de la luz. Enfatizamos que la velocidad de la gravedad cg pertenece a todos los fenómenos gravitacionales dependientes del tiempo, pero no solo a la propagación de "ondas gravitacionales" en el vacío. Cualquier teoría del campo gravitacional en la que $cgw \neq cg \neq cE$ tendrá ecuaciones con propiedades matemáticas diferentes a las de la "general relatividad". En cualquier teoría, el principio de relatividad de Einstein exige $cgw \leq cg$, por lo que las teorías por las que se viola esta desigualdad deben considerarse inválidas" [37].

De tal manera, Kopeikin reformuló las ecuaciones de la "general relatividad" agregando al retardo de Shapiro el retardo antes referido. Kopeikin especificó: "Las ecuaciones de Einstein se resuelven en términos de los potenciales del tensor de Lienard-Wiechert que se utilizan para integrar las ecuaciones de propagación de rayos de luz. Una expresión analítica exacta para el retardo de tiempo relativista en la propagación de una onda de radio desde el quásar a un observador se calcula bajo el supuesto de que los cuerpos que desvían los rayos de luz se mueven con velocidades constantes. Una expansión post-Newtoniana del retardo de tiempo demuestra que en la relatividad general el retardo de tiempo se ve afectado por la velocidad de la gravedad ya en el primer orden en $1/cg$ más allá del término principal (estático) de Shapiro." [37]. Esta reformulación le permitió a Kopeikin diseñar el experimento en mención, muy similar al que, en 1919, permitió comprobar la predicción de Einstein del curvamiento que sufre un rayo de luz proveniente de una estrella por la gravedad del Sol, aunque en este caso la estrella se reemplazó por un quásar, el Sol por Júpiter, por ser el planeta más masivo, aproximadamente representa una milésima de la masa del Sol, y el rayo de luz por un rayo de radio ondas. Y su objetivo no fue el de establecer el curvamiento que sufre el rayo de radio ondas por la gravedad sino la velocidad de la gravedad. Kopeikin toma Júpiter a cambio del Sol con el objetivo de contar, respecto al marco geocéntrico, con el movimiento de Júpiter y, adicionalmente, disminuir el retardo que causa el plasma solar al interactuar con los fotones que componen los rayos de la onda electromagnética. Este retardo es muy difícil de medir como fue demostrado por el físico e inventor canadiense Paul Marmet, (1932, 2005), profesor de física en la Universidad de Ottawa y constituye el principal problema para obtener un resultado confiable de la deflexión y para Kopeikin el de la velocidad de la gravedad. Pero, si bien Kopeikin atenúo este tipo de interacción no puede en cambio eliminar las interacciones de los rayos con los fuertes campos electromagnéticos creados por Júpiter al rotar sobre su eje y trasladarse en su órbita en torno del baricentro solar.

¿Cuál cambio del campo gravitatorio?. El modelo de gravedad de Kopeikin introduce una fuerza, producida por algo que se trasmite y en este sentido Kopeikin hace transición a la teoría cuántica. Ya que en este modelo a través del campo gravitatorio se trasmite momento entre Júpiter y el rayo de radio ondas. Entonces se tendría que Kopeikin

reformula la "general relatividad" manteniendo su carácter geométrico y agregándole términos cuánticos según cierta dudosa aproximación puesto que no hay una satisfactoria.

La fuerza de la que habla Kopeikin es una especie de preformación, dentro del campo gravitatorio cercano, de la onda gravitatoria que ocurre lejos. Por tanto, esta fuerza que, tampoco mueve a los cuerpos celestes en sus translaciones alrededor de otros, es la que en el campo gravitatorio estático se originaría con la velocidad c . Y como preformación de la onda gravitatoria debería poseer la misma velocidad de esta pretendida onda c , que sería la onda gravitatoria einsteniana que recordemos fue concluyentemente descartada por su autor. Esto fue lo que Kopeikin se propuso medir para así confirmar la teoría relativista einsteniana. O sea, la preformación de la onda de gravedad remite a Kopeikin a la onda de gravedad de Einstein, que no tiene nada que hacer delante del modelo de la mecánica celeste de la teoría de la relatividad general y además resulta anacrónica y repudiada.

El experimento de Sergei Kopeikin elude afrontar lo realmente en debate científico que a la altura actual en los términos de la velocidad de la gravedad exige primero se resuelva el debate entre la teoría de la gravedad según Einstein y la física cuántica sin mezclar ambas teorías como lo hizo Kopeikin. Y, segundo, se realice un experimento crucial que establezca la velocidad con que se transmite la fuerza de interacción entre la fuente y el objetivo gravitatorio, que transporta el campo gravitatorio estático, no así la onda gravitacional que bien está aún por fuera del alcance tecnológico alcanzado puesto que el gravitón real de acuerdo con el cálculo de Logunov existe en una escala muy inferior a la que fue accesada en la medición de LIGO de las supuestas "ondas gravitacionales" por primera vez en septiembre de 2015. El tipo de experimento para establecer la velocidad de la fuerza gravitacional el autor viene reclamando se haga desde principios de 1990. La velocidad de transmisión, por el campo gravitatorio estático, de la fuerza gravitatoria debe ser superior a c , como lo posibilita los experimentos con velocidades superluminales realizados a partir de la década de 1990, en especial el del físico teórico-experimental en partículas elementales, Ph.D, estadounidense William Delany Walker, (1923, 2010), quien trabajó en las universidades estadounidenses de California, Berkeley, Rochester, Wisconsin Madison y Duke y, una vez jubilado, en el Royal Institute of Technology, KTH-Visby, Department of Electrical Engineering, Suecia. Walker experimento con la onda electromagnética en su preformación dentro de la zona reactiva, campo cercano. Y el de los físicos alemanes Gunter Nimtz (1936, actualidad), profesor en las universidades de Colonia, Montreal, Shanghai y Beijing e inventor y Alfons Stahlhofen, quienes en la Universidad de Koblenz, Alemania, generaron ondas evanescentes.

Walker escribió: "Se presenta un experimento simple que indica que los campos electromagnéticos se propagan superluminalmente en el campo cercano junto a una fuente de dipolo eléctrico oscilante. Una señal eléctrica sinusoidal de alta frecuencia de 437 MHz y 2 vatios se transmite desde una antena dipolo a una antena detectora dipolo

de campo cercano paralela. La diferencia de fase entre las dos señales de antena se controla con un osciloscopio a medida que aumenta la distancia entre las antenas. El análisis de la curva de fase frente a distancia indica que las ondas de campo eléctrico transversal superlumínico (fase y grupo) se generan aproximadamente un cuarto de longitud de onda fuera de la fuente y se propagan hacia y lejos de la fuente. Tras la creación, las ondas transversales viajan con una velocidad infinita. Las ondas transversales salientes se reducen a la velocidad de la luz después de que se propagan aproximadamente a una longitud de onda de la fuente. Los campos transversales que se propagan hacia adentro se reducen rápidamente a la velocidad de la luz y luego aumentan rápidamente a una velocidad infinita a medida que viajan hacia la fuente. Se muestra que los resultados son consistentes con la teoría electrodinámica estándar" [40].

Por su parte Nimtz y Stahlhofen escribieron: "Feynman uno de los fundadores de Quantum Electronic Dynamics (QED) introdujo en sus diagramas partículas virtuales como estados intermedios de un proceso de interacción. Tales partículas virtuales no son observables, sin embargo, desde el punto de vista teórico representan estados intermedios necesarios entre los observables reales Este tipo de partículas virtuales se introdujeron para describir el proceso de interacción entre un electrón y un positrón y para procesos de interacción mucho más complicados. Otros candidatos para fotones virtuales son los modos evanescentes conocidos por la óptica. Los modos evanescentes tienen un número de onda puramente imaginario, representan la analogía matemática de las soluciones de efecto túnel de la ecuación de Schrödinger. Los modos evanescentes están presentes en los procesos ópticos de reflexión total y en guías de onda de tamaño insuficiente, por ejemplo. El ejemplo más destacado de la aparición de modos evanescentes es la reflexión interna total frustrada en prismas dobles. Sommerfeld, 1949, señaló que este fenómeno óptico representa la analogía del túnel mecánico cuántico. Los modos evanescentes y tunelización violan la teoría de la relatividad especial, obviamente, representan la excepción que prueba la teoría de la relatividad especial. Demostramos el comportamiento de la mecánica cuántica de los modos evanescentes con señales de microondas digitales a una escala macroscópica del orden de un metro y mostramos que los modos evanescentes están bien descritos por fotones virtuales según lo predicho por cálculos anteriores de QED. Los modos evanescentes o tunelización fotónica como las soluciones tunelizadoras de la ecuación de Schrödinger tienen un número de onda puramente imaginario. Esto significa que no experimentan un cambio de fase al atravesar el espacio ". "Los experimentos con modos evanescentes revelaron energía y velocidades de señal superluminales" [41].

Ya en 1969, el autor propuso la existencia de velocidades superluminales, una de las cuales sería la de la gravedad, entendiéndola de naturaleza puramente cuántica, que deber ser la gravedad real existente en la naturaleza, que hoy día cuenta con el aval de Tom Van Flandern. La propuesta de medir la velocidad de la onda gravitatoria en los términos de Einstein es desconocer el debate esencial de la física contemporánea entre si la gravedad es un fenómeno geométrico del espaciotiempo o el de una fuerza

fundamental como lo propone la teoría cuántica. Se dirá: ¿cómo se puede proponer medir la velocidad de propagación del campo gravitatorio estático?. Pero, es que este campo está compuesto de gravitones virtuales, que se propagan y transportan momento, cuestión que desde 1969 he reclamado. Y en términos, de Tom Van Flandern el campo gravitatorio estático se renueva cada instante.

Kopeikin escribió: "Todas las pruebas experimentales anteriores de la relatividad general en el sistema solar se han basado en la solución estática de Schwarzschild (Will 1993) y, por lo tanto, no fueron sensibles a los efectos completamente asociados con la velocidad de propagación de la gravedad. Vale la pena señalar que las "ondas gravitacionales" son inherentes a la zona radiativa (lejana) de un sistema que emite ondas (Misner, Thorne y Wheeler 1973; Barish y Weiss 1999). Sin embargo, las "ondas gravitacionales" no se propagan libremente a través del interior de una zona no radiativa (cercana) del sistema. Sin embargo, el proceso de generación de "ondas gravitacionales" produce efectos retardados en la zona cercana que conduce a la aparición de la fuerza de reacción de la radiación gravitacional en las ecuaciones relativistas de movimiento de cuerpos extendidos que comprenden un sistema astronómico autogravitante (Damour et al. 1989). La existencia de esta fuerza es una consecuencia de la velocidad finita de propagación de la gravedad, como fue confirmado experimentalmente por Taylor (1994)" [42].

Kopeikin incluye en su modelo matemático los retardos de Shapiro debidos al Sol, la Tierra y Júpiter y, también, el retardo debido a la fuerza que originaría la velocidad finita de la gravedad. Es decir, el experimento de Kopeikin parcialmente abandona la explicación dada por Einstein del fenómeno de la deflexión, que sería la simple consecuencia de la curvatura del espaciotiempo, y lo hace también depender de una clase de momento, que trasmite el campo gravitatorio estático, como resultado de la velocidad finita de la preformación de la onda de gravedad. Es decir, Kopeikin con su explicación de la deflexión elabora un modelo mixto del fenómeno de la gravedad que sería entonces efecto geométrico de la curvatura del espaciotiempo y cuántico de la onda gravitatoria. Por tanto, este experimento no sólo conlleva el problema de validación científica del instrumento usado sino, lo que es más dramático, que la teoría de Kopeikin subyacente a sus ecuaciones cuente con la aceptación de la comunidad científica mundial, donde ya existe la corriente que defiende, dentro de la teoría cuántica de la gravedad, en la variante que explica la mecánica celeste como consecuencia de la acción de la fuerza de gravedad del campo gravitatorio estático, que es transportada por el campo gravitatorio de composición cuántica, la tesis de que la velocidad de la gravedad es mayor que c . La teoría de Kopeikin, que busca pasar por einsteniana, en realidad da un salto al vacío en aras de salvarse, en su encuentro con la teoría cuántica que, no obstante, intenta burlar.

Por el otro lado, el autor encuentra que el modelo gravitacional usado por Kopeikin está basado en un campo gravitacional esférico y simétrico para Júpiter, que se ajusta exactamente al campo estático de la "general relatividad", y que como ocurre con el del Sol creó es inadecuado, ya que en realidad el sistema solar es un sistema acelerado no

uniforme. Es decir, ese campo de Júpiter deberá producir una aceleración no uniforme y una fuerza en el sentido en que lo intuye Tom Van Flandern, y que puede ser la descubierta por Taylor. Pero, insisto, a partir de comprender el campo gravitatorio "estático" compuesto por gravitones virtuales que se propagan y transportan momento.

El resultado de c para la velocidad de la gravedad, que defiende Kopeikin, puede que en realidad corresponda a una frecuencia de las ondas electromagnéticas, radiada por el intenso campo magnético de Júpiter al trasladarse en su órbita. Con anterioridad, debido al movimiento de rotación de Júpiter, alrededor de su eje, ha sido detectada radiación electromagnética, en la banda de radio ondas decimétricas y centimétricas. Pero, esta tesis requiere reelaborar nuestro entendimiento acerca del fenómeno de la deflexión a partir de la teoría cuántica y de la interacción entre los diferentes campos existentes y dentro de un mismo campo entre diferentes frecuencias notablemente distintas. Es decir, que entendamos por deflexión sólo el efecto de la transmisión de momento por parte de los diferentes campos presentes en la región del Universo con los que interactúa la radiación electromagnética al cruzarla. El autor en su obra "Velocidades Superfotónicas" desarrolla ampliamente la interacción de la onda electromagnética con los fenómenos substanciales, o sea, la interacción de la onda electromagnética con las estructuras atómicas y presenta la interacción de la onda electromagnética consigo misma que es el fundamento del fenómeno de refase, que en el experimento de Princeton, USA, realizado en el 2000, permitió para la onda electromagnética alcanzar la velocidad de grupo de $310c$ [43]. Pero, aún sabemos muy poco acerca de la interacción entre los diferentes campos existentes en la naturaleza.

Mediante E-mail del 15 de mayo de 2003, 18:05, los científicos canadienses Paul Marmet y C Couture, del Departamento de Física de la Universidad de Ottawa, quienes son autores de un magnífico estudio sobre la deflexión de los rayos de radio-ondas electromagnéticas por el plasma del Sol, en respuesta a mi consulta acerca de si este plasma afectó el experimento de Kopeikin manifestaron: "Nosotros leímos que Sergei Kopeikin comparó la velocidad de la luz cerca de Júpiter con la velocidad de la luz después de su retardo debido al plasma cerca de Júpiter. El encontró que la diferencia es demasiado pequeña para medirla (mismo valor de c). Usted deberá anunciar que actualmente lo que ha sido medido es la velocidad de la luz. Esto no es la velocidad de la gravedad".

El profesor estadounidense de física en la Universidad de California, Ph.D, Steven Carlip, (1953, actualidad) reconocido por su trabajo sobre la gravedad cuántica (2+1)-dimensional, escribió: "Fomalont y Kopeikin han logrado recientemente medir el componente dependiente de la velocidad del retardo de tiempo de Shapiro de la luz de un quásar que pasa detrás de Júpiter. Si bien existe un acuerdo general en que esta observación prueba las propiedades de transformación de Lorentz del campo gravitacional, ha surgido una controversia sobre la cuestión de si los resultados dependen de la velocidad de la luz, c , o de la velocidad de la gravedad, c_g . Al analizar el retardo de tiempo de Shapiro en un conjunto de modelos de "marco preferido", demuestro que esta

pregunta está mal planteada: la distinción solo se puede hacer en el contexto de una clase de teorías en las que $c = c_g$, y la respuesta luego depende de la clase específica de teorías que se elija. Sin embargo, sigue siendo cierto que para una gran clase de teorías "lo suficientemente cercanas" a la relatividad general, la principal contribución al retraso de tiempo depende de c y no de c_g ; podría decirse que, por lo tanto, las observaciones aún no son lo suficientemente precisas para medir la velocidad de la gravedad" [44].

El físico teórico canadiense, Ph.D, Clifford Martin Will, (1946, actualidad) profesor de las universidades de Chicago, Stanford, Washington en St. Louis y Florida, reconocido por sus expansiones post-Newtonianas de soluciones aproximadas a la ecuación de campo de Einstein, escribió: "Calculamos el retraso en la propagación de una señal de luz a través de un cuerpo masivo que se mueve con velocidad v , bajo el supuesto de que la velocidad de propagación de la interacción gravitacional c_g difiere de la de la luz. Usando la aproximación post-Newtoniana, consideramos una expansión en potencias de v/c más allá del efecto de retardo de tiempo de "Shapiro", mientras trabajamos en primer orden solo en Gm/c^2 , y mostramos que la velocidad de propagación alterada de la señal gravitacional tiene ningún efecto en absoluto sobre el retardo de tiempo al primer orden en v/c más allá del término principal, aunque tendrá un efecto al segundo orden y superior. Mostramos que los únicos otros efectos posibles de una velocidad alterada c_g en este orden surgen de una modificación del coeficiente α_1 parametrizado post-Newtoniano (PPN) de la métrica a partir del valor cero predicho por la relatividad general. Las mediciones actuales del sistema solar ya proporcionan límites estrictos a tal modificación. Concluimos que las mediciones recientes de la propagación de señales de radio más allá de Júpiter son sensibles a α_1 , pero no son directamente sensibles a la velocidad de propagación de la gravedad" [45].

En el 2009, siete años después, del diseño de su experimento, Kopeikin y Fomalont afinaron sus cálculos y aceptaron que con los del 2002 era válida la crítica de Will pero no dijeron si el experimento poseyó la sensibilidad suficiente para haber detectado el efecto que persiguieron. "Fomalont y Kopeikin en 2002 afirmaron que con un 20% de precisión confirmaron que la velocidad de la gravedad es igual a la velocidad de la luz en el vacío. Su trabajo fue inmediatamente contradicho por Will y otros varios físicos. Fomalont y Kopeikin aceptaron que su medición no es lo suficientemente precisa para detectar términos de orden v^2/c^2 , que pueden distinguir experimentalmente la interpretación de Kopeikin de la interpretación de Will. Informaron sus mediciones en 2009 y afirmaron que estas mediciones son más precisas que el experimento VLBI de 2002, pero no señalaron si se han detectado los términos de orden v^2/c^2 ." [46].

El físico-matemático teórico estadounidense, Ph.D, Stuart Samuel, graduó de la Universidad de Princeton, fue miembro del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, profesor de física en la Universidad de Columbia y en el City College de Nueva York, reconocido por su trabajo sobre la velocidad de la gravedad y por su trabajo con Alan Kostelecký sobre la violación espontánea de Lorentz en la teoría de cuerdas, asimismo autor de contribuciones significativas en la teoría de campos y la física de partículas

escribió: “Usando un método relativamente simple, calculo la corrección v/c del retardo de tiempo gravitacional para la luz que pasa por un objeto masivo que se mueve con velocidad v . Resulta que los efectos v/c son demasiado pequeños para haber sido medidos en el experimento reciente que involucra a Júpiter y el quásar J0842 + 1845 que se utilizó para medir la velocidad de la gravedad”. También, aclaró: “El propósito de estas letras es señalar un error en la fórmula teórica utilizada para analizar el experimento de Júpiter/quásar y proporcionar el resultado correcto. En referencia, se encuentra que una corrección v/cg del retardo de tiempo de Shapiro en el experimento de Júpiter/quásar es proporcional a $1/\theta^2$, donde θ es el ángulo entre el quásar y Júpiter. Dado que θ es pequeño, se produce una mejora que hace factible la medición. Sin embargo, utilizando un método simple, esta letra calcula las correcciones v/c y no encuentra tal término. Se entiende la discrepancia entre la fórmula del trabajo actual y la utilizada en el experimento: el ángulo θ en este último no era en realidad el observable sino un ángulo definido artificialmente” [47].

El astro-físico japonés Hideki Asada escribió: “La gravedad de Einstein con dimensiones adicionales o las teorías de la gravedad alternativas podrían sugerir que la velocidad de propagación de la gravedad puede ser diferente de la velocidad de la luz. Tal diferencia puede jugar un papel vital en el Universo primordial. Recientemente, Kopeikin y Fomalont reclamaron la primera medición de la velocidad de la gravedad por VLBI. Sin embargo, la medición no tiene relevancia con la velocidad de la gravedad como lo había mostrado antes de que se hiciera la observación. Parece que nuestra conclusión se ha establecido bien al volver a examinar los artículos recientes con gran cuidado” [48].

"El experimento es maravilloso, pero no tiene nada que ver con la velocidad de la gravedad", dice Kenneth Nordtvedt, profesor de física jubilado de la Universidad Estatal de Montana en Bozeman. Nordtvedt dice que el equipo en realidad está viendo un análogo gravitacional de la fuerza del magnetismo, creado por electrones que se mueven a una velocidad cercana a la de la luz. "En la edición del 20 de julio de *Astrophysical Journal Letters*, el físico Hideki Asada de la Universidad de Hirosaki en Japón calculó que la prueba mediría la velocidad de la luz, no la gravedad" [49].

"Es una completa tontería", dice Peter van Nieuwenhuizen, físico de la Universidad Stony Brook de Nueva York, que ha dedicado gran parte de su carrera al estudio de la gravedad". "El experimento es maravilloso, pero no tiene nada que ver con la velocidad de la gravedad", dice Kenneth Nordtvedt, profesor de física jubilado de la Universidad Estatal de Montana en Bozeman. Nordtvedt dice que el equipo en realidad está viendo un análogo gravitacional de la fuerza del magnetismo, creado por electrones que se mueven a una velocidad cercana a la de la luz" [50].

Por supuesto hay aún más físicos que rechazan Kopeikin y Fomalont hayan medido la velocidad de la gravedad.

Por último, como he hecho antes respecto a la gran constelación de científicos referidos en este ensayo, ampliare la biografía de los autores del espectacular experimento de VLBI que buscó medir la velocidad de la gravedad.

Sergei Kopeikin (1956-actualidad) es un físico teórico y astrofísico ruso, con dos Ph.D, uno en astrofísica relativista del Instituto de Investigaciones Espaciales de Moscú cuya tesis fue asesorada por Yakov Borisovich Zel'dovich y el otro de la Universidad Estatal de Moscú.

Con motivo de la disolución de la URSS, mediante el tratado de Belavezha, diciembre de 1991, firmado por los presidentes de tres de las quince repúblicas de la unión: Borís Yeltsin, de Rusia, Stanislav Shushkévich de Bielorrusia, y Leonid Kravchuk, de Ucrania, a espaldas de la abrumadora voluntad de los soviéticos, 78%, expresada en el Referéndum de marzo de ese año, por mantenerla y de su presidente Mijaíl Gorbachov, Kopeikin emigró a Tokio, 1993, para enseñar astronomía en la Universidad Hitotsubashi, donde fue miembro adjunto del personal del Observatorio Astronómico Nacional de Japón, 1993-1996, y profesor invitado en el mismo observatorio, 1996-1997. Vivió en Alemania, 1997-1999, donde trabajó en el Instituto de Física Teórica de la Universidad Friedrich Schiller de Jena y en el Instituto Max Planck de Radioastronomía. Se radicó en los Estados Unidos, 2000, en Columbia, donde trabaja como profesor e investigador de física, en la Universidad de Missouri.

Kopeikin estudia teórica y experimentalmente la relatividad y la gravedad desde la "general relatividad" y otras teorías alternativas, incluyendo las capacidades de la técnica Lunar láser Ranging (LLR) para medir características dinámicas en el movimiento lunar y la posibilidad de LLR para medir la interacción gravitomagnética. Además, es una reconodísima autoridad en el campo de los marcos de referencia astronómicos y la metrología del tiempo, geodesia relativista y aplicaciones de relojes atómicos para navegación de alta precisión y datos geodésicos, siendo el responsable del taller sobre metrología del espaciotiempo, relojes y geodesia relativista que se lleva a cabo en el Instituto Internacional de Ciencias Espaciales (Berna, Suiza). "Su teoría relativista general de los marcos de referencia post-newtonianos que había elaborado junto con Victor A. Brumberg, fue adoptada en 2000 por las resoluciones de la Unión Astronómica Internacional como un estándar para la reducción de la observación astronómica terrestre". "Sergei Kopeikin ha elaborado una teoría post-newtoniana completa de ecuaciones de movimiento de N cuerpos extendidos en la teoría de la gravedad del tensor escalar con todos los momentos multipolares de masa y espín de orden arbitrario y derivó el Lagrangiano del problema relativista de N-cuerpos".

Kopeikin ha publicado 198 artículos científicos y 2 libros y editor de otros dos libros sobre avances en la mecánica celeste relativista. "Su investigación actual se centra en encontrar una explicación teórica de varias anomalías astrométricas como la anomalía Pioneer, la anomalía de sobrevuelo, etc., que fueron descubiertas en el movimiento de planetas y sondas de espacio profundo. También está trabajando en el desarrollo de la mecánica celeste relativista en el espaciotiempo conforme del universo en expansión. El objetivo

final de esta investigación es construir una teoría de generación, propagación y detección de "ondas gravitacionales" que nos llegan desde la época del Big Bang" [51], [Wikipedia].

El astrónomo estadounidense Edward Fomalont (1940, actualidad), investiga en radiogalaxias, sistemas binarios de rayos X, astrometría y relatividad general utilizando interferómetros de línea de base larga para obtener imágenes de alta resolución de fuentes galácticas y extragalácticas, y para obtener posiciones precisas de fuentes compactas. Desde 1970, trabaja en el Observatorio Nacional de Radioastronomía (NRAO) con sede en Green Bank, Socorro y Charlottesville. También, entre 1997 y 2002, trabajó con telescopios en órbita terrestre y pasó 15 meses trabajando en el Instituto de Investigación Espacial y Aeronáutica (ISAS) en Sagami-hara, Japón para el proyecto VSOP. Y estuvo involucrado con el Proyecto Ruso Radioastron. Recientemente, formó parte de un equipo en NRAO, JPL y NASA para usar el VLBI para rastrear naves espaciales en su viaje a Marte (Phoenix) y orbitando alrededor del sistema de Saturno (Cassini). Ahora trabaja a tiempo parcial en Chile para apoyar el esfuerzo de ALMA. En 1975, Fomalont y Richard Sramek hicieron un primer experimento de ocultación radio-interferométrica para probar la teoría de la relatividad general midiendo la curvatura de la radiación de microondas en el campo gravitacional del Sol. Fomalont ha publicado más de 330 artículos [52], [Wikipedia].

5. La detección de ondas de LIGO-VIRGO.

LIGO anunció en febrero y luego en junio, 2016, haber detectado durante septiembre y diciembre, 2015, sorprendentemente, en ambos eventos, antes y después, muy cerca de la celebración del centenario de la formulación de las ecuaciones de Einstein-Grossmann-Hilbert, noviembre de 1915, por primera vez "ondas gravitacionales", no obstante que a partir del tensor de Ricci, fundamento del tensor de Einstein, no hay radiación gravitatoria como muy bien lo establecieron Einstein-Rosen-Infeld-Hoffmann, 1936-1938, que reintroducidas como las "ondas gravitacionales" planas sandwich de Pirani-Bondi-Robinson-Trautman, 1956-1962, basadas en el tensor de Weyl, sus ecuaciones no fueron tenidas en cuenta, ya que básicamente se han usado las linealizadas de Einstein, 1918, aunque el trabajo de ellos abrió paso a que experimentalmente se buscaran las "ondas gravitacionales" ausentes de respaldo teórico a partir del momento en que Einstein renunció a ellas, ni tampoco del trabajo de gravedad métrica, en entredicho, a partir del escalar tensor de Kopeikin, conducente al espectacular experimento de VLBI, Kopeikin-Fomalont, 2002, y que, en 1989, fue demostrado las "ondas gravitacionales" no son corolario de la "general relatividad", por el físico teórico-matemático, Ph.D, ruso Anatoli Logunov, 1926-2015, director desde sus inicios del Instituto de Física de Altas Energías, 1971-2006, rector de la Universidad Estatal de Moscú, 1977-1992, vicepresidente de la Academia Soviética de Ciencias y autor con Mestvirishvili, Petrov, Lokustov y otros de la teoría relativista de la gravitación, alternativa superior que la "general relatividad" por ser sus predicciones muy similares respecto al movimiento de las partículas materiales, ecuaciones de campo y curvatura y soluciones en regiones vacías, pero eliminar las

singularidades, asignar un tensor de energía-impulso al campo gravitatorio de manera unívoca y el campo gravitacional poseer en todo las propiedades de un campo físico, dado que es una teoría gauge, compatible con las teorías de la física cuántica de las fuerzas electromagnética, débil y fuerte, que define la gravedad como la cuarta fuerza existente en la naturaleza, como campo estático dotada de la partícula transmisora del gravitón virtual de espines 2 y 0, dentro del espíritu del principio de relatividad de Galilei, en su generalización de la relatividad especial de Poincaré que le permitió a los autores la universalización de que las leyes físicas de la naturaleza se cumplen con independencia de los marcos de referencia donde se apliquen, aunque, integrada a la teoría Entwurf de Grossmann-Einstein, 1913, preservando las leyes de conservación de la energía-impulso y del impulso angular conjuntamente del campo gravitacional y los demás campos materiales existentes en la naturaleza, en el espaciotiempo efectivo de Riemann, mediante su identidad con el espaciotiempo pseudo Euclídeo de Minkowski, y diferenciando el movimiento gravitatorio del movimiento geodésico al separar la inercia de la gravedad [53].

En 1962 los físicos soviéticos Mijail Gertsenshtein y Vladislav Pustovoit propusieron usar la interferometría láser, que a principios de la década de 1970, permitió se iniciara la búsqueda de "ondas gravitacionales", con esta tecnología, por parte entre otros de los físicos profesores, el alemán Rainer Weiss (1932, actualidad) del MIT, quien creó un prototipo, 1968, el del Reino Unido Ronald Drever, (1931, 2017), constructor también de otro prototipo y el Ph.D estadounidense Kip Thorne, (1940, actualidad) de Caltech, especialista en el tema. Weiss y Thorne junto con el físico experimental estadounidense de origen semita, Ph.D, Barry Clark Barish, también de Caltech, 1936-actualidad, recibieron el premio Nobel de física en 2017, por sus contribuciones a LIGO y a la observación de las supuestas "ondas gravitacionales".

Pero, solo fue a comienzos de la década de 2000, que se contó con el conjunto de detectores terrestres, de primera generación, el TAMA 300, precursor de KAGRA operativo a partir de febrero 2020, en Japón, GEO 600 en Alemania, LIGO en los Estados Unidos y Virgo en Italia, además LIGO-India que se enlazará en línea en la década de 2020, y los que emplean satélites triangulados como son LISA de la ESA-NASA y los similares DECIGO del Japón y el Taiji de la China, todos en implementación, que operaran sobre la década de 2030.

Las combinaciones de los detectores de interferometría láser, primera generación, realizaron observaciones conjuntas desde 2002 hasta 2011, sin haber alcanzado detecciones pero estableciendo límites para desarrollos ulteriores a la vez que evolucionaban hacia una red global.

El experimento LIGO fue financiado por la Fundación Nacional de Ciencias a principios de la década de 1990, y diseñado por Caltech y el MIT, con dos instalaciones gemelas, una en Hanford, Washington, y la otra en Livingston, Luisiana, con resultados nulos durante la primera fase de operación. La sensibilidad de los instrumentos fue triplicada a

cuadruplicada, aumentando la potencia del láser para reducir el ruido cuántico, espejos más grandes y pesados para reducir el ruido térmico y de presión de radiación, mejores fibras de suspensión para los espejos para reducir el ruido térmico de suspensión, entre muchas otras mejoras con lo cual se pasó a la fase avanzada, segunda generación, de aLIGO y aVirgo que comenzaron a tomar datos en el 2015 [54].

A los pocos meses, ya que aVirgo se encontraba en actualización, solo los dos observatorios de aLIGO detectaron las señales GW150914, 14 de septiembre 09:50:45 UT, y GW151226, 26 de diciembre 03:38:53 UTC, asociadas a lo que el proyecto identifica como "ondas gravitacionales" que habrían sido generadas, en cada evento, en la coalescencia de un sistema binario de "agujeros negros", es decir, su inspiración orbital, su fusión, y posterior caída final, en el primer evento a 1300 millones de años luz de distancia con masas de 36 (-4, +5) veces y 29 ± 4 veces la masa del Sol, resultando un agujero negro de 62 ± 4 masas solares, de tal modo que $3,0 \pm 0,5$ masas solares restantes corresponden a energía emitida en forma de ondas, según la ecuación de equivalencia entre masa y energía de Einstein y en el segundo evento a 1400 millones de años luz de distancia con 14,2 (-3,7, +8,3) y $7,5 \pm 2,3$ mientras el agujero negro resultante $20.8 (-1.7, +6.1)$ veces la masa del Sol, por lo tanto, la masa convertida en ondas fue aproximadamente el 4,6% de la masa total inicial.

“Solo los detectores LIGO estaban observando en el momento de GW150914. Con solo dos detectores, la posición de la fuente se determina principalmente por el tiempo de llegada relativo” [54] otro tanto ocurrió con la observación de GW151226. Sin embargo, aLIGO y aVirgo anunciaron en colaboración haber verificado ambas detecciones.

Solamente hasta el 1 de agosto de 2017, aVirgo se unió al segundo periodo de observación de aLIGO, entre el 30 de noviembre de 2016 y el 25 de agosto de 2017, ocurriendo que fue detectada la señal GW170814, 14 de agosto de 2017 a las 10:30:43 UTC, por un software automático que analiza los datos recogidos por los tres detectores avanzados, deduciéndose “que la señal era consistente con los momentos finales de la coalescencia de dos "agujeros negros" de masas estelares. Análisis posteriores con toda la información disponible de los tres detectores mostraron evidencia de que la señal también se encontraba presente en los datos del detector Virgo avanzado. Esto convierte a GW170814 en el primer evento confirmado de onda gravitacional que ha sido visto por tres detectores” [55].

El interferómetro utilizado por la red de detección de las supuestas "ondas gravitacionales" es básicamente el de Michelson su inventor, que fue usado para medir el tiempo diferente que debería gastar una onda electromagnética afectada por el arrastre del éter, substancia que se creía existía, realmente el vacío cuántico (tesis del autor), su medio de propagación, que al poseer velocidad sería su valor \pm sumado a la velocidad de la onda moviéndose en igual dirección, +, o en contra, -, del movimiento de la Tierra, aplicando las ecuaciones de suma de velocidades de la mecánica de Newton, con relación a otra onda que al moverse perpendicular a la primera carecería de tal componente con el

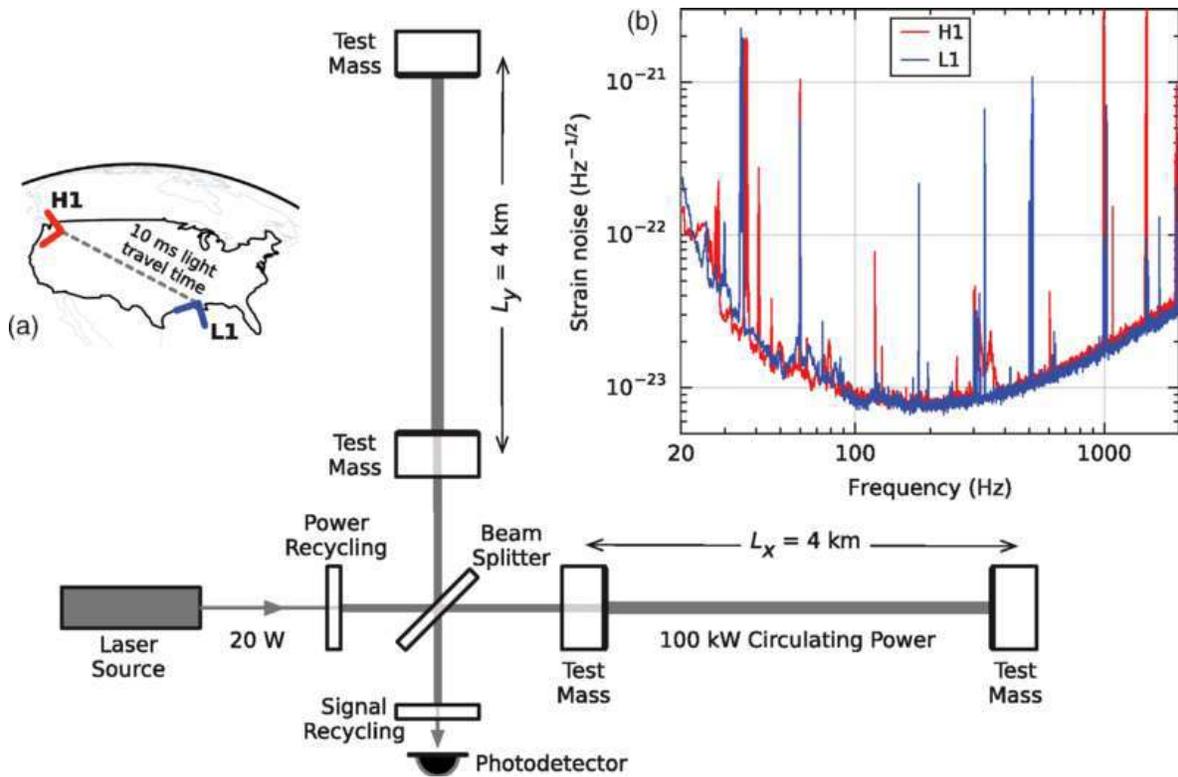
resultado que ambas ondas emplearon igual tiempo, conocido como el experimento de Michelson y Morley, 1887, por lo cual se determinó la constancia universal de la velocidad de la luz en el vacío, adoptado como un principio de la relatividad especial de Einstein, que le mereció el premio Nobel de física en 1907, al físico teórico-experimental, Ph.D, polaco de origen semita, residenciado en los Estados Unidos, Alberto Abraham Michelson, 1852-1931, educado en la Academia Naval de EE.UU y en las universidades de Berlín, Heidelberg, Collège de France y École polytechnique, profesor de física de Case School of Applied Science de Cleveland, 1882-1889, Clark, Worcester, Massachusetts, 1890-1892, Jefe del Departamento de Física de la de Chicago, 1893-1929, además, presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, 1923-1927, y miembro del Observatorio astronómico del Monte Wilson, también, perfeccionó la técnica de la medición de la velocidad de la luz, 1926. El otro autor del famosísimo experimento, fue el químico y físico estadounidense Edward Williams Morley, 1838-1923, profesor de química en el Western Reserve, Hudson, Ohio, 1868, Cleveland Medical College, 1873-1888, y en el Case Western Reserve University, 1869-1906, pero sus contribuciones mayores fueron en la física y la óptica al lado de Michelson, quienes nunca consideraron que con sus hallazgos experimentales refutaban la hipótesis de la existencia del "éter luminífero" [Wikipedia].



Interfómetro de Michelson (Fuente: Wikipedia)

El interferómetro para detectar las supuestas "ondas gravitacionales", fue aislado rigurosamente de perturbaciones externas. El interferómetro divide un rayo láser, en dos

sub rayos que viajan por conductos al vacío dispuestos ortogonalmente, conocidos como brazos. Rebotan cada sub rayo en un espejo plano colocado originalmente a igual distancia, en LIGO a cuatro kilómetros, y luego regresan para recombinarse. Si el tiempo de viaje de los sub rayos es el mismo, entonces las ondas electromagnéticas de los sub rayos se recombinan constructivamente, pero si una onda cuadrupolar propagándose en el tejido del vacío cuántico (tesis del autor [56]), no como pretenden en el tejido del espaciotiempo (que no saben que es [38]), mal llamada onda gravitacional, atraviesa el detector, entonces, durante un infinitesimal lapso, el tiempo de viaje de los sub rayos no es el mismo puesto que la distancia del tejido del vacío cuántico mientras en un brazo se contrae en el otro se dilata y, por lo tanto, al combinarse los dos sub rayos se produce una interferencia, que requiere medir distancias que son tan pequeñas como 10^{-3} veces el tamaño de un protón en una línea de base de 4 km [27]. Los interferómetros de las mal llamadas "ondas gravitacionales" "son dispositivos que utilizan este proceso de interferencia para medir pequeños cambios en el tiempo de viaje de la luz con mucha precisión para aprender sobre las "ondas gravitacionales" que los produjeron y, a su vez, sobre las propiedades de la fuente de "ondas gravitacionales" [57]. Los sub rayos láser para alcanzar los espejos que están suspendidos de cables, como un péndulo, durante un lapso infinitesimal, recorren distancias en infinitésimos distintas que el interferómetro láser mide directamente como perturbación métrica mediante el tensor de Riemann multiplicado por la separación que ocurre en los espejos respecto al punto de división del rayo láser en los dos sub rayos puesto que en un brazo la distancia se contrae y en el otro se expande [27].



Esquema Interferómetro LIGO (Fuente: Wikipedia)



LIGO Hanford Observatory (Fuente: Wikipedia)

La hipótesis en que se bazan los experimentos de interferometría láser para la detección de "ondas gravitacionales" es: "Las "ondas gravitacionales" son ondas en la curvatura del espaciotiempo que son emitidas por eventos astrofísicos violentos y que se propagan a la velocidad de la luz" [58], "Las "ondas gravitacionales" son vibraciones en el espaciotiempo que se propagan a la velocidad de la luz alejándose de su fuente" [27], "Las "ondas gravitacionales" son 'ondas' en el espaciotiempo causadas por algunos de los procesos más violentos y energéticos del Universo" [59], "Una onda gravitacional es una ondulación invisible (aunque increíblemente rápida) en el espacio. Las "ondas gravitacionales" viajan a la velocidad de la luz (186 000 millas por segundo). Estas ondas aprietan y estiran todo lo que encuentran a su paso" [60].

Como se puede observar para la mayoría de las fuentes, incluso Caltech, las "ondas gravitacionales" son ondas del espaciotiempo en contraste con la NASA para la cual son ondas del espacio justamente como aparecen en las ecuaciones linealizadas de Einstein, 1918. El autor demostró, 2006, por una parte, que según Einstein son realmente ondas del espacio, adoptado posteriormente por la NASA, y por la otra parte, que si fueran ondas del espaciotiempo se propagarían en cinco dimensiones sin que desde nuestras cuatro dimensiones pudiéramos detectarlas [61].

Las "ondas gravitacionales", según la concepción de los continuadores a espaldas de Einstein, serían vibraciones en el espaciotiempo que se propagan a la velocidad de la luz alejándose de su fuente. Pueden producirse, por ejemplo, cuando los "agujeros negros" se fusionan. Asintóticamente, las "ondas gravitacionales" parecen ser planas, con direcciones de estiramiento y contracción perpendiculares a la dirección de viaje de la onda. Esto es lo que realmente detectó aLIGO, pero no del espaciotiempo sino del tejido del vacío cuántico. Desde luego, las inmensas cantidades de energía e impulso generados en los procesos estelares como los de fusión de sistemas binarios, máximos para los astros oscurecidos ("agujeros negros") deberán generar ondas, en este evento, ondas cuadrupolares en el medio del vacío cuántico, contenedor de la materia en todas sus estructuras másicas, constituido por la superposición de toda clase de campos como los de Higgs, electromagnético, gravitacional cuántico, etc (tesis del autor). "Mucho antes de la fusión, la energía total del espaciotiempo de dos "agujeros negros", la llamada energía ADM" o "masa", llamada así por sus creadores Arnowitt-Deser-Misner [6], es esencialmente la suma de las masas de los "agujeros negros" individuales. Después de la fusión, una vez que las ondas se han propagado fuera del sistema, la energía que queda en el sistema, la llamada masa de Bondi, disminuye y esto lo calculan aplicando el formalismo introducido por Bondi, Sachs y Trautman, que es lo único aún en uso de los trabajos de Bondi-Pirani-Robinson-Trautman.

La colaboración aLIGO y aVirgo informaron en febrero, 2016, "sobre la primera detección directa de "ondas gravitacionales" y la primera observación directa de un sistema de "agujeros negros" binarios que se fusionan para formar un solo agujero negro. Nuestras observaciones brindan un acceso único a las propiedades del espaciotiempo en el régimen

de campo fuerte y alta velocidad y confirman las predicciones de la relatividad general para la dinámica no lineal de los "agujeros negros" altamente perturbados" [54].

De acuerdo con los profesores, Ph.Ds, la matemática suiza Lydia Bieri, directora Michigan Center for Applied and Interdisciplinary Mathematics, universidad de Michigan, el físico estadounidense David Garfinkle investigador en relatividad numérica para estudiar los campos gravitacionales extraordinariamente fuertes, universidad de Oakland y el físico-teórico argentino Nicolás Yunes director fundador del Centro de Estudios Avanzados del Universo, universidad de Illinois los principales procedimientos matemáticos, 2017, [27] usados para la comprobación de que las mediciones de aLIGO corresponden a la detección de las pretendidas "ondas gravitacionales" de Einstein, 1918, fueron:

1. Teoría Linealizada.

Debido a que en la teoría que sustentaría las "ondas gravitacionales" se volverían más débiles a medida que se propagan lejos de sus fuentes se trabajan en las ecuaciones linealizadas que describirían aproximadamente la radiación gravitacional para gran parte de su propagación, que el autor supone ocurrió en el vacío cuántico y no en el espaciotiempo como se concibe, y para su interacción con el detector.

"la onda detectada por el equipo de aLIGO/aVIRGO fue tan débil que se trató como si fuera una onda plana gravitatoria de la teoría linealizada" [62]. No obstante, según el autor la onda al entrar en contacto con los detectores lo haría en un vacío cuántico curvado por su interacción principalmente con el Sol.

En la gravedad linealizada, se usa la métrica del espaciotiempo según De Sitter-Einstein:

$$g_{uv} = \eta_{uv} + h_{uv}$$

donde η_{uv} es la métrica de Minkowski y h_{uv} es $\ll 1$, muy pequeño.

Lo novedoso respecto a 1918 es que las ecuaciones son modificadas aplicando la invariancia de coordenadas de la "general relatividad" en lo que se denomina invariancia de gauss linealizada, mediante el uso del parámetro ϵ de la condición de Lorenz gauge, tomada del electromagnetismo, no obstante corresponder a un campo material, no así en la relatividad. Esta condición fue introducida por el físico-matemático danés Ludvig Valentin Lorenz (1829-1891) para utilizarse en los cálculos de campos electromagnéticos dependientes del tiempo a través de potenciales retardados.

Las coordenadas armónicas hicieron que las ecuaciones de vacío de Einstein parecieran la ecuación de onda. Para hacer algo similar en la gravedad linealizada se impone la condición de gauss de Lorenz:

$$\partial_u \hat{h}^{uv} = 0$$

donde

$$\hat{h}_{uv} = h_{uv} - (1/2)\eta_{uv} h.$$

Las ecuaciones de campo de Einstein linealizadas se convierten en

$$\square \hat{h}_{uv} = -16\pi G T_{uv}$$

donde \square es el operador de onda en el espaciotiempo de Minkowski.

En el vacío se puede elegir ϵ para imponer las condiciones de que h_{uv} solo tiene componentes espaciales x, y, z sin trazas, mientras se permanece en el gauge de Lorenz, denominado gauge TT, que permite inferir las perturbaciones de las "ondas gravitacionales" solo tienen dos polarizaciones h_+ y h_x .

A partir de la "general relatividad" la métrica en gauge TT tiene una interpretación física dada por la siguiente fórmula para el tensor de curvatura de Riemann linealizado

$$R_{itjt} = -1/2 \ddot{h}^{\text{TT}}_{ij}$$

que genera la ecuación de desviación geodésica y, por lo tanto, cómo se comportaría la materia en presencia de tales "ondas gravitacionales". Combinando esta ecuación y la ecuación de Hamilton-Jacobi, que permite encontrar las ecuaciones de evolución temporal, alternativa a la mecánica lagrangiana y la mecánica hamiltoniana siendo la única mecánica en la que el movimiento de una partícula y el de una onda se describen en los mismos términos, se puede calcular el cambio de distancia entre dos masas de prueba en caída libre:

$$\Delta d(t) = 1/2 h^{\text{TT}}_{ij}(t) d_0^j$$

donde d_0^j es la distancia inicial entre las masas de prueba.

La onda gravitacional h_+ en el espacio estiraría la dirección x mientras apretaría la dirección y , y h_x viceversa. El interferómetro utilizado por aLIGO y aVIRGO mediante los dos brazos perpendiculares detecta esta doble y simultánea distorsión, realmente según el autor no sería del espacio sino del vacío cuántico. Por lo tanto, se debe aproximar estos desplazamientos para predecir lo que verá el interferómetro en varios escenarios. [27].

2. La aproximación posnewtoniana

La aproximación posnewtoniana (PN) para las "ondas gravitacionales" extiende el estudio lineal, tratado en 1, a órdenes más altos en la perturbación métrica, al tiempo que asume que los cuerpos que generan el campo gravitatorio se mueven lentamente en comparación con la velocidad de la luz y cuando los objetos descritos no son "agujeros negros" o estrellas de neutrones con una gravedad propia gigantesca. De tal manera, en general, el procedimiento iterativo PN proporciona una aproximación perturbativa a la solución de las ecuaciones de Einstein, a un orden dado, en la interacción gravitatoria débil y velocidad baja de los cuerpos. Sin embargo, Damour ha demostrado que mediante la aproximación PN, hasta un orden dado en la teoría de perturbaciones, todavía puede describir excepciones. Además, simulaciones numéricas recientes de la fusión de "agujeros negros" binarios y estrellas de neutrones han demostrado que la aproximación

PN es precisa incluso bastante avanzada la inspiración durante la fusión de sistemas binarios, aún cuando los objetos se mueven cerca de un tercio de la velocidad de la luz.

Durante la primera parte de la coalescencia binaria, o sea, la fase inspiral, las formas de las supuestas ondas gravitatorias emitidas se describen con precisión mediante expansiones analíticas posnewtonianas de las ecuaciones de campo de Einstein.

El enfoque de PN fue desarrollado por Einstein, Infeld, Hoffman, Damour, Deruelle, Blanchet, Will, Schaefer y muchos otros.

En el gauss armónico $\partial_\alpha(\sqrt{-g}g^{\alpha\beta}) = 0$ comúnmente empleado en la teoría PN, las ecuaciones expandidas toman la forma

$$\square h^{\alpha\beta} = -16\pi G/c^4 \tau^{\alpha\beta},$$

donde \square es el operador de onda y $\tau^{\alpha\beta} = -(g)T^{\alpha\beta} + (16\pi)^{-1} N^{\alpha\beta}$, con $N^{\alpha\beta}$ compuesta de formas cuadráticas de la perturbación métrica.

Estas ecuaciones expandidas se pueden resolver orden por orden en la perturbación a través de los métodos de la función del matemático británico George Green, hacia 1830, usada para la resolución de ecuaciones diferenciales no homogéneas con condiciones de contorno especificadas, donde la integral está sobre el cono de luz pasado del espacio de Minkowski para $x \in M$.

Cuando se trabaja con un orden de PN suficientemente alto, las integrales resultantes pueden ser divergentes, pudiendo evitarse mediante métodos asintóticos de coincidencia (como en el método de integración directa de las ecuaciones relajadas de Einstein) o mediante técnicas de regularización (como en Hadamard, de Blanchet y Damour y el enfoque de regularización dimensional). Se ha demostrado que todos los enfoques usados conducen exactamente al mismo resultado final para la perturbación métrica.

La perturbación métrica se resuelve orden por orden, donde en cada orden se usa la información previamente calculada en la expresión para $N^{\alpha\beta}$ y también para encontrar el movimiento de las fuentes de materia, lo que conduce a una expresión mejorada para $T^{\alpha\beta}$ en cada orden. En particular, la emisión de "ondas gravitacionales" por un sistema binario provocaría un cambio en el período de ese sistema, y Hulse y Taylor usaron este cambio para detectar indirectamente las supuestas "ondas gravitacionales" a través de sus observaciones del púlsar binario. [27].

3. Relatividad numérica

Cuando la gravedad es muy fuerte y altamente dinámica, como ocurre en la fusión de un sistema binario de "agujeros negros", el único método posible es usar la relatividad numérica, generadora de simulaciones de las ecuaciones de campo de Einstein, mediante un programa, que puede ser codificado en Matlab, para ejecutarse en una computadora.

Este es el escenario de las anunciadas supuestas primeras ondas gravitacionales detectadas por aLIGO, 2015, puesto que provenirían de un sistema de agujero negro binario fusionado que de acuerdo con la teoría relativista de la gravitación de Logunov serían realmente astros oscurecidos. Mientras que para los sistemas de relativa baja masa, como estrellas, comparada con la de estrellas de neutrón y los "agujeros negros", solo la primera parte de la evolución binaria, la inspiración, es accesible para aLIGO, para los sistemas de alta masa también las etapas posteriores, en particular la fusión y el anillo del agujero negro final, son visibles en la sensibilidad de banda de aLIGO. La fase inspiral se refiere a los segundos finales antes de que los objetos colapsen, la fase de fusión se refiere a la colisión en sí de los dos objetos. La fase anillo es durante la que el objeto final se recupera del evento por el cual se ha formado. Para obtener las formas de onda para las etapas de fusión y anillo finales, se requieren las soluciones no lineales completas de las ecuaciones de campo, que son proporcionadas por la relatividad numérica que permite determinar la masa y el espín (momento rotacional) del agujero negro remanente, y para investigar sesgos sistemáticos debido a errores de modelado de forma de onda. En cambio, en la fase inspiral se usan las ecuaciones posnewtonianas.

Las ecuaciones de campo de Einstein, son ecuaciones diferenciales, y las técnicas más sencillas para simular ecuaciones diferenciales son las ecuaciones en diferencias finitas. En el entorno unidimensional, se aproxima una función $f(x)$ por sus valores en puntos equidistantes

$$f_i = f(i\delta) \text{ por } i \in \mathbb{N}.$$

Luego se aproximan las derivadas de f usando diferencias

$$f' \approx (f_{i+1} - f_{i-1})/(2\delta)$$

y

$$f''(i) \approx (f_{i+1} + f_{i-1} - 2f_i)/\delta^2.$$

Para cualesquiera ecuaciones diferenciales parciales con un valor inicial, se reemplazan los campos por sus valores en una red de espaciotiempo, y las ecuaciones de campo por ecuaciones en diferencias finitas que determinan los campos en el tiempo $n + 1$ a partir de sus valores en el tiempo n . Por lo tanto, las ecuaciones de vacío de Einstein se escriben como ecuaciones en diferencias donde la información del paso 0 es el conjunto de datos inicial.

En las simulaciones pueden presentarse inestabilidades de hiperbolicidad, amortiguamiento de restricciones y escisión, insuperables antes de 2005, que fueron resueltos primero por Frans Pretorius, quien produjo la primera simulación binaria de "agujeros negros" exitosa. Luego, mediante métodos diferentes, por los dos grupos: uno formado por Campanelli, Lousto, Marronetti y Zlochower y el otro por Baker, Centrella, Choi, Koppitz y van Meter.

- Hiperbolicidad. Se requiere que las ecuaciones sean fuertemente hiperbólicas. Sin embargo, Pretorius usó coordenadas armónicas generalizadas, como lo sugirió por primera vez Friedrich, por requerirse la coordenada del tiempo, satisfaciendo una ecuación de onda con una fuente. Los otros grupos implementaron la hiperbolicidad usando las ecuaciones BSSN (nombradas así por sus inventores: Baumgarte, Shapiro, Shibata y Nakamura). Estas ecuaciones descomponen la métrica espacial en un factor conforme y una métrica de determinante unitario y luego evolucionan cada una de estas cantidades por separado, agregando cantidades apropiadas de las ecuaciones de restricción para convertir el tensor espacial de Ricci en un operador elíptico.

- Amortiguación por restricción. Debido a que las restricciones deben ser cero en las soluciones exactas en la práctica inalcanzable, para aproximarse se tiene la libertad de agregar cualquier múltiplo de las restricciones al lado derecho de las ecuaciones de campo sin cambiar la clase de sus soluciones. En particular, con elecciones apropiadas de múltiplos de las restricciones en el lado derecho, se puede arreglar que en las nuevas versiones de las ecuaciones de campo, las pequeñas violaciones de las restricciones se reduzcan con su evolución en lugar de crecer. Carsten Gundlach demostró cómo hacerlo para la evolución usando coordenadas armónicas y Pretorius implementó su método. Por parte, de las ecuaciones BSSN se tienen algunos reordenamientos de las ecuaciones de restricción y su evolución. Se encontró que la elección particular de lapso y desplazamiento tiene buenas propiedades de amortiguamiento de las restricciones.

- Excisión. Debido a que en la teoría estándar nada puede escapar de un agujero negro, nada de lo que ocurre dentro puede influir en nada de lo que ocurre fuera. Por lo tanto, al realizar simulaciones de la fusión de "agujeros negros", mediante la relatividad numérica, se permite eliminar su interior de la simulación para establecer qué sucede fuera de los "agujeros negros". Con lo cual se omiten las singularidades. La excisión fue propuesta por Unruh y Thornburg, implementada por Seidel y Suen, y utilizada en las simulaciones de Pretorius. Los demás grupos logran la excisión por otros métodos. Uno es el "método de punción en movimiento" que involucra un segundo extremo asintóticamente plano dentro de cada agujero negro, que se compacta en un solo punto. La región entre la punción y el horizonte de sucesos del agujero negro sufre un enorme estiramiento, de modo que la simulación numérica solo cubre el exterior del agujero negro [27].

6. La infraestructura utilizada en RN por aLIGO.

En el experimento de aLIGO la estimación de parámetros, para probar la detección de la supuesta onda gravitacional se realizó mediante la infraestructura creada durante años para la relatividad numérica (RN) compuesta de los generadores de modelos de formas de ondas y los observatorios que las buscan y retroalimentan, ambos soportados en un sistema de información basado en un banco de formas de ondas y una biblioteca de algoritmos de búsqueda.

En ejercicios teóricos previos, en particular, formas de onda híbridas de agujeros negro binario fueron construidas combinando una forma de onda de la fase de inspiral con una forma de onda de la fase de anillo resultante posterior a la fase de fusión. Los modelos teóricos de la inspiración, la fusión y el anillo resultante de los sistemas binarios de "agujeros negros" fueron necesarios para producir el banco de formas para búsquedas de filtros coincidentes y para usar como señales modelo para probar búsquedas tanto de filtros coincidentes como no modeladas.

Las formas de onda son tratadas como una aproximación de forma de onda "discreta", que se obtiene desde el banco de formas mientras las búsquedas usan los algoritmos de la biblioteca de algoritmos aLIGO (LAL).

A partir de las formas de ondas se realizan simulaciones, en particular para la coalescencia de un sistema binario de agujeros, para lo cual se requieren los datos relativos a las formas de onda gravitacionales dadas como modos armónicos esféricos obtenidas desde las ecuaciones post newtonianas, metadatos que describen la simulación e identifican el origen de la simulación en la relatividad numérica y opcionalmente, información adicional sobre la dinámica de los "agujeros negros".

La parte inspiral de la forma de onda se modeló mediante cálculos analíticos posnewtonianos (PN), mientras que se requirieron soluciones numéricas RN de las ecuaciones de campo de la relatividad general para modelar con precisión las órbitas del anillo y la fusión. Antes de los avances en la relatividad numérica en 2005, el banco de formas y las pruebas de búsqueda usaban solo formas de onda inspirales. Desde 2007, las formas de onda de RN se han utilizado para calibrar modelos analíticos de forma de onda. A medida que RN avanzó hacia nuevas regiones del espacio, los parámetros y las formas de onda fueron usadas directamente para probar búsquedas empleando formas previamente calibradas, y el grado en que estas búsquedas resultaron insuficientes motivaron nuevos modelos de forma y simulaciones adicionales.

Recalquemos que las formas de las ondas, almacenadas en el banco de formas, se crearon como híbridos uniendo la señal de la fase inspiral, calculada con ecuaciones PN conocidas, y la señal de la fusión, estimada con códigos numéricos RN. Las señales de las "ondas gravitacionales" simuladas (inyecciones) resultantes fueron suministradas directamente para análisis y estimación de parámetros en tiempos aleatorios a los astrónomos que mediante los algoritmos las buscaron en los observatorios.

Fue así que de acuerdo con el análisis de datos obtenidos de LIGO, primera generación, el avance en relatividad numérica y la estimación de parámetros en los proyectos Análisis de Inyecciones Numéricas (NINJA-1, activo desde 2008, NINJA-2), cuyo objetivo principal fue estudiar la capacidad de detectar "ondas gravitacionales" emitidas por la coalescencia de sistemas binarios de "agujeros negros" binarios y recuperar sus parámetros con observatorios de "ondas gravitacionales" de última generación, en términos operativos se estableció la colaboración formal entre científicos que trabajan en el modelado numérico de colisiones

de "agujeros negros" y científicos que trabajan en los observatorios de "ondas gravitacionales". Quienes trabajan en el modelado adquieren experiencia en cómo sus simulaciones se utilizan en la astronomía de "ondas gravitacionales" y obtienen información sobre qué simulaciones de coalescencia de sistemas binarios se realizarán en el futuro. Por su parte, los que trabajan en los observatorios reciben los modelos de ondas que pueden encontrar y ellos los almacenan en el banco de formas de ondas y usan para aumentar la sensibilidad en las posteriores búsquedas.

En la culminación del proyecto NINJA-2, siguiente a NINJA-1, se potenció la capacidad de observar la coalescencia de sistemas binarios, en particular, de "agujeros negros" usada exitosamente en 2015-2016, para lo cual fueron creadas siete señales simuladas RN, con masas que oscilan entre 14,4 M y 124 M, que se añadieron a los datos construidos a partir de datos reales de los detectores LIGO y Virgo, primera generación, tomados entre 2009-2010, pero modificados para tener una sensibilidad equivalente a la esperada en las primeras pruebas de los detectores avanzados, segunda generación aLIGO y aVirgo. Estos nuevos datos se distribuyeron a los analistas que sabían que tales "inyecciones ciegas" estaban presentes pero no tenían información sobre el número, los parámetros o la ubicación temporal de estas formas de onda. Esto fue similar a las pruebas de inyección a ciegas realizadas por las colaboraciones LIGO y Virgo en sus últimas ejecuciones científicas. Usando una búsqueda de transitorios de "ondas gravitacionales" no modeladas, encontraron que una de estas señales se recuperó, con una tasa estimada de falsas alarmas de 1 cada 47 años. Las 6 señales restantes fueron consistentes. Usando un algoritmo de filtrado combinado con un banco de formas de onda, que no se calibraron con las señales NR utilizadas en NINJA-2, 6 de las señales se recuperaron con más importancia que todos los eventos de fondo. Esto permitió que se establecieran límites superiores en la tasa de falsas alarmas que oscilaban entre 1 cada 5000 años y 1 cada 40000 años en cada inyección a ciegas. La señal restante no se recuperó debido a que tenía una relación señal/ruido de red baja y poseía un giro antialineado grande, no modelado en el banco de formas de onda utilizadas en la búsqueda [63].

NINJA-1 utilizó un total de 23 formas de onda numéricas, que se inyectaron en ruido gaussiano coloreado, es decir, a través de señal aleatoria caracterizada porque sus valores en tiempos diferentes presentan correlación estadística y cuya función de densidad responde a una distribución normal, con la sensibilidad de frecuencia de LIGO y Virgo, primera generación, datos que estuvieron a cargo de nueve grupos de análisis mediante búsqueda y algoritmos de estimación de parámetros. Al final solo 126 señales simuladas fueron realizadas lo que impidió estudios estadísticos detallados de la efectividad de los algoritmos y la estimación. Pero, NINJA-1 condujo a un marco dentro del cual realizar estudios de inyección utilizando formas de onda calculadas por la "general relatividad" usando la relatividad numérica.

Los objetivos de NINJA-2, fueron mejorar NINJA-1 y probar sistemáticamente la eficiencia del análisis de datos para los detectores de segunda generación, recibiendo inicialmente

60 formas de onda RN preparados por 8 grupos. Estas formas de onda fueron ajustadas a un conjunto de requisitos de longitud y precisión, proporcionando las señales de inspiración PN necesarias para producir las formas de onda híbridas PN-RN que se podían inyectar en toda la gama de masas binarias totales físicamente relevantes. En la colaboración Numerical-Relativity and Analytical-Relativity, un proyecto complementario a NINJA-2, se produjeron y analizaron rigurosamente 22 nuevas formas de onda RN que fueron comparadas con los modelos analíticos calibrados más recientes y se encontró que la pérdida de tasas de eventos debido al modelado fue inferior al 3 %.

Las búsquedas, tanto en NINJA-1 como en NINJA-2, se realizaron utilizando los mismos métodos que se usan para buscar las señales de sistemas binarios de "agujeros negros" reales.

En el caso de NINJA-2 se determinó con casi total seguridad que seis de las siete señales agregadas, hacia 2014, eran de las supuestas "ondas gravitacionales", según la falsa concepción de ser perturbaciones en el espacio, un marco geométrico, a cambio de perturbaciones en el tejido del vacío cuántico un estado de la existencia material (tesis del autor), la señal restante estaba demasiado lejos para ser recuperada. Además realizaron las primeras investigaciones para determinar la confianza con la que se podría estimar las masas y espines de los "agujeros negros". De las pruebas realizadas demostrarán que, dada la sensibilidad prevista para la red de detectores de segunda generación, aLIGO y aVirgo serían capaces de detectar la fusión de dos "agujeros negros" a una distancia de observación unas 1000 veces mayor que la distancia a la galaxia Andrómeda si los "agujeros negros" son 10 veces más masivos que el Sol. Asimismo, fue examinado si aLIGO y aVirgo podrían determinar, a partir de una señal de onda gravitacional que fuera detectada, las propiedades del sistema binario que la emitió: principalmente las masas de los "agujeros negros" lo que si es posible, aunque no con absoluta precisión o certeza. [64], [65].

7. Conclusiones

Dentro del marco teórico-matemático en que Einstein formuló la existencia de las "ondas gravitacionales", entre 1916-1918, en el espaciotiempo de Minkowski, en coordenadas onduladas, no puede existir radiación gravitacional por no haber gravedad. Las ecuaciones son de ondas de origen cuadrupolar para la solución en el vacío de la ecuaciones de Einstein que nos remiten al vacío cuántico puesto no es aceptable la existencia de un espaciotiempo desnudo, o sea, existiendo en sí mismo como fue la concepción de Newton.

El autor una vez conoció, la supuesta detección de las "ondas gravitacionales" por parte de aLIGO-aVirgo intervino en los foros que fueron abiertos a través de internet para los artículos:

- The black-hole collision that reshaped physics, by Davide Castelvecchi, Nature, 531, pages 428–431 (2016).

- Here's the first person to spot those gravitational waves, by Adrian Cho, Science, 2016.
- The Gravity Wave Hunter, by Michael Segal , Nautilus, 2016.
- About Those Gravitational Waves, by Will Sweatman, Hackaday, 2016.

De los cuales solamente permanece en línea el foro "About Those Gravitational Waves" que se puede acceder en la dirección:

<https://hackaday.com/2016/02/17/about-those-gravitational-waves/>

En su intervención el autor manifestó:

"La Relatividad General define matemáticamente, a través de un modelo tensorial diferencial geométrico dinámico, el campo gravitacional estático como el tensor métrico de una variedad lorentziana, que representa la curvatura de una entidad geométrica de cuatro dimensiones conocida como espaciotiempo, dependiendo del tensor impulso-energía. Por otro lado, Einstein formuló conceptualmente el espaciotiempo como cualidad estructural del campo gravitatorio, es decir, una definición circular entre la gravedad y el espaciotiempo, también Einstein señaló "El espacio y el tiempo son modos en los que pensamos, no condiciones en las que existimos" y "Nosotros denotamos todo menos el campo gravitatorio como materia", por lo tanto, el espacio-tiempo no es nada y el campo gravitatorio no es un campo material sino en primera aproximación un efecto de cambio de coordenadas, y definitivamente un campo geométrico, es decir, nada. El modelo matemático genera predicciones cuantitativas coincidentes con observaciones en alto grado de exactitud sin significado físico. La filosofía de la ciencia ha intervenido la General Relatividad desde dos corrientes: en el Sustantivalismo, el espaciotiempo se define existiendo en sí mismo, almacenando todos los eventos, a orden de situación y a orden de sucesión mientras que en el Relacionalismo como las relaciones métricas de coexistencia y sucesión entre eventos. Pero "el espaciotiempo sigue siendo un enigma para la ciencia y la filosofía" (Lorente, 2006) porque "realmente no sabemos qué es el espaciotiempo" (Odenwald, 2015). De tal manera, los resultados de la caja negra, que es el modelo matemático, dentro del contexto del positivismo científico dominante, ha sustentado durante un siglo la vigencia de la General Relatividad, que en ausencia de significado físico intrínseco, se falsifica arbitrariamente. Debido a su modelo matemático dinámico, Einstein formuló, a partir de fuentes de cuadrupolos de energía, la formación de ondas en el espaciotiempo que se propagan como ondas gravitacionales, viajando en el espacio. El 11 de febrero de 2016, la Colaboración Científica LIGO anunció que habían detectado por primera vez, el 14 de septiembre de 2015, ondas gravitacionales de un par de agujeros negros fusionados. Dicen que son ondas del tejido del espaciotiempo, por tanto, interpretándolas según el Sustantivalismo, una concepción filosófica convencional en disputa con el Relacionalismo. Esas ondas detectadas por LIGO verdaderamente son ondas cuánticas mecánicas transversales cuadrupolares del vacío cuántico un medio físico; transportan energía pero gravitones no. ("Esas no son ondas gravitacionales", Alfonso Guillén, 2016)" traducido del original en inglés, fuente: Hackaday, 2016.

Por supuesto, desde la perspectiva filosófica si fueran las ondas detectadas por aLIGO-aVirgo ondas gravitacionales la opción Relacionalista habría terminado como fue reconocido por el epistemólogo, filósofo y físico, Ph.D honoris causa, argentino de origen alemán, nacionalizado en el Canadá, Mario Bunge (1919-2020) quien de haber sido destacadísimo exponente de dicha corriente filosófica respecto al espaciotiempo en su obra “La teoría relacional y objetiva del tiempo físico”, 1968, y su declaración tajante: el espaciotiempo “lejos de existir por cuenta propia, es la trama básica de los objetos cambiantes, o sea, de las cosas materiales”, espaciotiempo existe “en virtud de la existencia de los objetos materiales” y “si las cosas se esfumaran también desaparecerían el espacio y el tiempo” con motivo del anuncio del supuesto descubrimiento de las ondas gravitacionales se convierte al Sustantivalismo pero no newtoniano sino materialista, o sea, el espaciotiempo es un campo material aunque lo identificó con el campo gravitacional estático. Bunge usó el siguiente encadenamiento de proposiciones [66]:

P1. Detectores activados por ondas gravitacionales.

P2. Los detectores reaccionan solo a estímulos materiales específicos.

P3. LIGO ha detectado ondas gravitacionales. Por lo tanto, las ondas gravitacionales son materiales.

P'1. Las ondas gravitacionales son ondas en el espacio-tiempo.

P'2. Las ondas gravitacionales son materiales (primer argumento).

Por lo tanto, el espacio-tiempo es material.

Desde luego, el error en que incurrió Bunge fue aceptar que las ondas detectadas por aLIGO-aVirgo son ondas gravitacionales.

Como anécdota a través de un e-mail le envié a Bunge mi artículo sobre mi tesis que el espaciotiempo es la forma estructural geométrica de la materia [19]. Su lacónica respuesta fue: “los gases no tienen forma” de la cual discrepo puesto que la forma del estado gaseoso es precisamente la forma gaseosa.

La tesis del autor acerca de que las ondas detectadas por aLIGO-aVirgo son realmente ondas de origen cuadrupolar en el vacío cuántico generadas por las extraordinarias cantidades de energía provenientes de la fusión de sistemas binarios, en especial de astros oscurecidos (tesis de Logunov), en la ciencia normal: agujeros negros, la presentó en su artículo “Wave detected by LIGO is not gravitational wave”, 2016 [67].

Recordemos que en física una estructura cuadrupolar es un campo ligado a una configuración de cuatro fuerzas originadas desde cargas, corrientes eléctricas o masas. El más conocido es el cuadrupolo eléctrico. O el pronosticado para el caso, de un sistema binario de astros que de lugar a un cuadrupolo momento de masas radiante siempre que varíe en el tiempo. Lo erróneo en la “general relatividad” es que las ondas producidas son perturbaciones de la curvatura del espaciotiempo en primera aproximación un campo

geométrico puesto que en la “general relatividad” el espaciotiempo tiene sólo métrica la cual mide la distancia espacio-temporal entre eventos. Otra cosa diferente es el cuadrupolo momento variante en el tiempo de dos masas radiantes de ondas en el vacío cuántico. La polarización lineal de estas ondas de la radiación cuadrupolar deben sus oscilaciones simultáneamente contraer y expandir la distancia entre dos puntos ortogonalmente, formando un plano también perpendicular a la dirección de propagación de la onda, según la ecuación diferencial de onda de D’Alambert-Einstein, es decir, en teoría, como la supuesta onda geométrica de la “general relatividad” con toda razón descartada en 1937. De acuerdo a la teoría cuántica de campos, las interacciones, incluyendo la gravitacional, se producen por el envío y recepción de cuantos de energía, siendo sus efectos macroscópicos, por el desarrollo de Fourier, análogo a una onda.

El vacío cuántico, es un medio material, que anega totalmente el Universo y en el cual se encuentra todo lo existente contenido, tanto en la escala macrocósmica como en el microcosmos, constituido por la superposición de diversos campos cuánticos, sujetos al principio de incertidumbre de Heisenberg, que impide determinar el valor exacto en todo punto del vacío, que nunca desaparecen y cuyo valor mínimo no es cero. Por tanto, los campos constitutivos del vacío cuántico son los campos de Higgs, electromagnético, también el gravitacional estático, etc. El vacío cuántico está sujeto a fluctuaciones cuánticas y a la aparición y desaparición de partículas virtuales desde un proceso de creación-destrucción. En 1981, los autores de la teoría del Origen Cuántico de la Estructura del Universo, trabajando en el Lebedev Physical Institute en Moscow, los rusos cosmólogos, Ph.Ds, Gennady Chibisov (1946-2008) y además físico teórico Viatcheslav Mukhanov (1956-actualidad) publicaron su descubrimiento teórico de que en la actualidad la estructura del Universo en la escala $\leq 10^{-27}$ cm son fluctuaciones cuánticas, que produjeron originalmente el espectro de inhomogeneidades, como las galaxias y sus cúmulos, en el Universo primitivo [68]. Los numerosos experimentos, durante la era de la cosmología de alta precisión, caracterizados por el uso de los satélites COBE, en 1992, WMAP, en 2003, y completados por la misión Planck, en 2013, en los que se midieron las fluctuaciones de temperatura de la Radiación Cómica de Fondo de Microondas, CMB, descubierta experimentalmente, en 1965, por los premios Nobel, Ph.Ds, físicos y cosmólogos, el alemán, Arno Penzias (1933-actualidad) y el estadounidense Robert Wilson (1936-actualidad), trabajando en los Laboratorios Bell en Holmdel, Nueva Jersey. Estas fluctuaciones, están muy de acuerdo con las predicciones de Mukhanov y Chibisov que la comunidad mundial de científicos acepta fueron confirmadas definitivamente, y que nos aseguran que todo en nuestro Universo se originó a partir de fluctuaciones cuánticas. Las mediciones de CMB han demostrado sólidamente el origen cuántico de la estructura del Universo, independientemente de cualquier teoría alternativa a la inflación [69]. Desde la perspectiva del autor, lo más destacable de la obra de Mukhanov y Chibisov, además, es su correcta comprensión sobre la gran división de la existencia física: en la materia bosónica (vacío cuántico y radiación) y la materia fermiónica (el resto) fijando el límite

cuantitativo entre ambos y deduciendo la existencia del segundo a partir del primero, es decir, sin vacío cuántico no existiría materia fermiónica.

Tampoco es extraño las detecciones de ondas de origen cuadrupolar de aLIGO-aVirgo puesto que, al ser resultado de la utilización de una tecnología de interferometría de altísima sensibilidad, progresivamente mayor, para detectar perturbaciones por supuesto de orden cuadrupolar tenían que aparecer aspectos de la materia desconocidos, aunque insuficiente para detectar las verdaderas "ondas gravitacionales" irradiadas por las masas a través de un campo gravitacional cuántico por su extraordinaria debilidad cuyo gravitón Logunov estima tendría una masa bajo el orden de $4.5 \cdot 10^{-66}$ g. Ya lo había anunciado Tom Van Flandern cuando analizó la radiación del púlsar binario PSR B1913+16, descubierta por Hulse-Taylor, aunque manifestó deberían ser una clase de onda electromagnética.

LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration informaron que en el análisis del evento GW170104, registrado el 4 de enero de 2017 a las 10:11:58,6 UTC, por los dos detectores gemelos de aLIGO, con una relación señal-ruido de red de 13 y una falsa alarma menos de 1 en 70.000 años, correspondiente supuestamente a una señal de onda gravitacional producida por la coalescencia de un sistema binario de supuestos agujeros negros cuyas masas estimadas fueron $31,2 + (+8,4, -6,0)$ M y $19,4 + (+5,3 -5,9)$ M (en el nivel creíble del 90 %) a una distancia de luminosidad de la fuente de $880 + (+450 -390)$ Mpc correspondiente a un desplazamiento al rojo de $z = 0,18 + (+0,08 -0,07)$, y bajo el supuesto que los gravitones se dispersan en el vacío como partículas masivas, fue estimada la masa del gravitón real en miligramo-energía $\leq 7,7 \times 10^{-23}$ eV/c² [70], algo similar a la masa en miligramo-energía $\leq 7.6 \times 10^{-23}$ eV/c² (en gramos $\leq 1,35342 \cdot 10^{-52}$) calculada, en el 2002, por Lee Samuel Finn y Patrick J. Sutton del Center for Gravitational Wave Physics, de la Universidad del Estado de Pensilvania a partir las ratas de decaimiento orbital de los pulsares binarios PSR B1913+16 y PSR B1534+12 de Hulse y Taylor [33] y que está muy cerca del valor del límite superior de la masa del fotón real $\leq 1.2 \cdot 10^{-51}$ gramos [34], de acuerdo con el cálculo, del 2003, realizado por Jun Luo y sus colegas en la Universidad Huazhong de ciencia y tecnología en Wuhan, China. Pero, muy lejos del valor límite superior de la masa del gravitón real $\leq 4,5 \cdot 10^{-66}$ gramos [35], estimada por Gershtein, Logunov y Mestvirishvili, 1997, con base en los parámetros observados de la expansión del Universo, y que es consistente con el valor $\leq 0.5 \cdot 10^{-65}$ gramos estimado por Staniukovich y Vasiliev, 1967, con base en la relación de Einstein $E = m \cdot c^2$ [32]. Razón tuvo Tom Van Flander en proponer que la radiación de las pulsares binarias más bien es de una clase de onda electromagnética. Así, la masa de ese gravitón-fotón falso sería cerca de 10^{15} más fuerte que la masa del gravitón verdadero estimada por Logunov. Es obvio que si fuera cierto que la masa del gravitón fuera del orden de la masa del fotón no existiríamos, ya que la fuerza gravitacional proveniente de semejante masa habría impedido nuestra aparición, debido a que la fuerza de Lorentz del campo gravitacional estático sería próxima a la del campo electromagnético estático, lo cual no corresponde con nuestro bien establecido conocimiento acerca de la extrema debilidad de la gravedad. Las ondas detectadas por aLIGO-aVirgo no son ondas gravitacionales.

Referencias

- [1] Einstein, Albert, Infeld, Leopold and Hoffmann, Banesh. (1938): The Gravitational Equations and the Problem of Motion: The Annals of Mathematics, 39: 65–100.
- [2] Robertson, H. P. (1938). Note on the Preceding Paper: The Two Body Problem in General Relativity: Annals of Mathematics, Second Series, Vol. 39, No. 1, pp. 101-104
- [3] Einstein, A. (1915). The field equations of gravitation: Volume 6: The Berlin Years: Writings, 1914-1917
- [4] Cervantes-Cota, Jorge L, Galindo-Uribarri, Salvador and Smoot, George F. (2016). A Brief History of Gravitational Waves: arXiv:1609.09400
- [5] Weinstein Galina. (2016). Einstein and Gravitational Waves 1936-1938: arXiv.org
- [6] Chiang-Mei Chen, James M. Nester and Wei-Tou Ni. (2016). A brief history of gravitational wave research: arXiv:1610.08803
- [7] O'Connor, J J and Robertson, E F. (2007). Leopold Infeld (1898-1968). Biography. MacTutor History of Mathematics. University of St Andrews. Scotland
<https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Infeld/>
- [8] Isaacson Walter. (2007). Einstein su vida y su Universo. Preparado por Patricio Barros.
- [9] Einstein, A., Ann. Physik 354, (1916) 769. English translation in The Collected Papers of Albert Einstein, vol. 6, The Berlin Years: Writings, 1914-1917. (English translation supplement). Translated by A. Engel. Princeton University Press, Princeton, (1997).
- [10] Varilly, Joseph C. (1995). La geometría en su contexto histórico: Las Matemáticas y su Enseñanza. 6(17) págs:n 21–34, Costa Rica
- [11] Pinasco, Juan Pablo; Amster, Pablo; Saintier, Nicolás; Laplagne, Santiago y Saltiva, Inés. (2009). Las Geometrías: Colección “Las Ciencias Naturales y la Matemática”, Buenos Aires
- [12] Ruiz, Angel. (1999). Geometrías no euclidianas: Editorial de la Universidad de Costa Rica
- [13] Smogorzhevski, A. S. (1978). Acerca de la Geometría de Lobachevski: Editorial MIR, Moscú, traducción del ruso de Virgilio Llanos Mas, preparado por Patricio Barros
- [14] Sunada, Toshikazu. (2019). From Euclid to Riemann and Beyond: arxiv.org/pdf/1904.01845
- [15] Guillén, Alfonso. (2021). Einstein y las "ondas gravitacionales": PhilPapers y ResearchGate

- [16] Sáez Moreno, Juan Antonio. (2001). Geometría del tensor de Weyl y simetrías del campo gravitatorio: Universidad de Valencia, España
- [17] Bareilles, Federico. (2021). Tensores: Generalidades de su aplicación en "general relatividad": Universidad de la Plata, Argentina
- [18] Martínez Téllez, Armando. (2009). La Teoría de la Relatividad, México.
- [19] Guillen, A. L. (2010). Spacetime structural property of the matter in movement: Relativity, Gravity and Geometry, Petrov 2010 Anniversary Symposium on General Relativity and Gravitation, 1-6 November 2010, Kazan Contributed Papers, pages 101-109
- [20] Guillen, Alfonso. (2014). Is gravity, the curvature of spacetime or a quantum phenomenon?: Journal of Advances in Physics, Vol 4, No 1
- [21] Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E. (2004). Biografía de Leopold Infeld. En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea. Barcelona (España). <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/i/infeld.htm> el 7 de julio de 2021.
- [22] Texas Dallas, University. (2016). Ivor Robinson, Founding Leader of Math, Physics Departments, Dies. USA.
- [23] Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E. (2004). Biografía de Hermann Bondi: En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea. Barcelona, España.
- [24] Robinson, David. (2016). Felix Pirani obituary: The Guardian, London.
- [25] Meléndez Lugo, Leandro. (2004). Nuevas soluciones de las ecuaciones de Einstein para los modelos de Universo Mixmaster Taub y el fenómeno de la antigravedad: Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- [26] Hill, C. Denson and Nurowski, Paweł. (2017). How the Green Light Was Given for Gravitational Wave Search: Notices of the AMS, Volume 64, Number 7
- [27] Bieri, Lydia; Garfinkle, David and Yunes, Nicolás. (2017). Gravitational Waves and Their Mathematics: arXiv:1710.03272
- [28] Kazan, University. (2010). A biography of Petrov from Kazan State University.
- [29] Gamboa, Jorge y Méndez, Fernando. (2020). Sobre "ondas gravitacionales": Contribuciones científicas y tecnológicas - vol. 45 Nº 2 Pag. 21-26.
- [30] Bondi H, Pirani F, Robinson I. 1959. Gravitational waves in general relativity III. Exact plane waves. Proc Roy Soc Lond A 251: 519.
- [31] Zakharov, Valeri Dmitrievich. (1973). Gravitational Waves in Einstein's Theory: Israel Program for Scientific Translations
- [32] Vasiliev, M y Staniukovich, K. (1967). El Cosmos y sus siete estados: Editorial MIR, Moscú.

[33] Finn, Lee Samuel and Sutton, Patrick J. (2002). Bounding the mass of the graviton using binary pulsar observations: Phys. Rev. D 65, 044022

[34] Luo, Jun; Tu, Liang-Cheng; Hu, Zhong-Kun, and Luan, En-Jie. (2003). New Experimental Limit on the Photon Rest Mass with a Rotating Torsion Balance: Phys. Rev. Lett. 90, 081801

[35] Gershtein, S.S; Logunov, A.A and Mestvirishvili, M. A. (1997). The upper limit on graviton mass: Institute for High Energy Physics

[36] Guillén, Alfonso. (1969-1970). Una velocidad mayor que la de la luz. La substancia y el campo. Lo que actualmente se sabe sobre la gravedad. La velocidad de la gravedad: El Siglo, Semanario Dominical.

<http://www.alfonsoleonguillen.net/SUPERLUMINALPHYSICIST.html>

Guillén, Alfonso. (1991-1992). Propuestas para medir la velocidad de la gravedad: Letters 1991-1992

<http://www.alfonsoleonguillen.net/experimentos.html>

Guillén, Alfonso. (1993). Propuesta para la realización de un experimento que sirva para medir la velocidad de propagación de la gravitación según las mareas: Almacenado por ResearchGate

<http://www.alfonsoleonguillen.net/MAREAS.htm>

Guillén, Alfonso. (1996). Propuesta para medir la velocidad de la gravedad con base en la Astronomía de Posición.

<http://www.alfonsoleonguillen.net/velograve.html>

[37] Kopeikin, Sergei M. (2004). The Speed of Gravity in General Relativity and Theoretical Interpretation of the Jovian Deflection Experiment: arXiv:gr-qc/0310059

[38] Guillén, Alfonso. (2020). ¿Resuelta la naturaleza del espaciotiempo?: Almacenado por PhilPapers y ResearchGate

[39] Petrov, Alexander N.; Kopeikin, Sergei M.; Lompay, Robert R. and Tekin, Bayram. (2017). Metric theories of gravity: Perturbations and conservation laws: CPI books GmbH, Leck, Germany

[40] Walker, D. William. (2000). Analysis of Causality Issue in Near-field Superluminally Propagating Electromagnetic and Gravitational Fields: arXiv

[41] Nimtz, G. and Stahlhofen, A. (2007). Macroscopic violation of special relativity: arXiv:0708.0681

[42] Kopeikin, S. y Formalont, E. (2002). General relativistic model for experimental measurement of the speed of propagation of gravity by VLBI: arXiv:gr-qc/0206022v1

- [43] Guillén, Alfonso. (2001). Velocidad superluminal, Tecnología ganancia asistida, Grupo de Princeton: Almacenado por ResearchGate
- [44] Carlip, S. (2004). Model-Dependence of Shapiro Time Delay and the "Speed of Gravity/Speed of Light" Controversy: arXiv:gr-qc/0403060
- [45] Will, Clifford M. (2003). Propagation Speed of Gravity and the Relativistic Time Delay: arXiv:/astro-ph/0301145v2
- [46] Zhu, Yin. (2011). Measurement of the Speed of Gravity: arXiv:/papers/1108/1108.3761v1
- [47] Samuel, Stuart. (2003). On the Speed of Gravity and the v/c Corrections to the Shapiro Time Delay: arXiv:astro-ph/0304006v2
- [48] Asada, H. (2003). Comments on "measuring the gravity speed by VLBI: arXiv:/astro-ph/0308343
- [49] Irion, Robert. (2003). The Speed of Gravity? Not So Fast: Science
- [50] Brumfiel, Geoff. (2003). Gravity experiment sparks spat between physicists: Nature, 421, 198
- [51] Universidad de Missouri. (2021). Sergei Kopeikin
- [52] National Radio Astronomy Observatory. (2021). Ed Formalont: Homepage
- [53] Guillen, Alfonso. (2020). La teoría relativista de la gravitación superior que la relatividad general: Almacenado por ResearchGate y PhilPapers.
- [54] Abbott, B. "P. (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger: PRL 116, 061102
- [55] LIGO scientific collaboration. (2022): GW170814: Observando "ondas gravitacionales" procedentes de una binaria de "agujeros negros" en coalescencia mediante tres detectores: Caltech
- [56] Guillén, Alfonso. (2006). La gravedad si es una fuerza: Ciencia Abierta No. 60, Cartas, de la Universidad de Chile; INMENSA, revista oficial de MENSA Colombia, Volumen. VII Número 78, y la Flecha de España.
- [57] Sintés, Alicia y Sorazu, Borja. (2017). La observación de "ondas gravitacionales" con LIGO: 18 Investigación y Ciencia
- [58] Thorne Kip. (2012). Gravitational Waves and Experimental Tests of General Relativity: 350-17 Caltech, Pasadena CA 91125 caltech.edu
- [59] LIGO-Caltech. (2022). What are Gravitational Waves?: California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125

- [60]. NASA. (2022). What Is a Gravitational Wave?: NASA Official: Kristen Erickson
- [61] Guillen, Alfonso. (2006). Gravitational wave in 5D: Almacenado por ResearchGate y publicado en español por Ciencia Abierta y la Flecha
- [62] Hill, C Denson y Nurowski, Pawel. (2016). Cómo se dio luz verde a la búsqueda de "ondas gravitacionales": arxiv.org/pdf/1608.08673
- [63] Aasi, J; Abbott, B. P; Abbott, R; Abbott, T; Abernathy, M. R and others. (2014). The NINJA-2 project: Detecting and characterizing gravitational waveforms modelled using numerical binary black hole simulations: arxiv.org/pdf/1401.0939
- [64] Schmidt, Patricia; Harry, W. Ian and Pfeiffer, Harald P. (2016). Numerical Relativity Injection Infrastructure: LIGO-T1500606-v5
- [65] LSC. (2014). ¿Podemos escuchar la colisión de "agujeros negros"?: LIGO scientific collaboration Virgo
- [66] Bunge, Mario. (2018). Gravitational waves and space-time: . Found Sci 23, 399–403
- [67] Guillén, Alfonso. (2016). Wave detected by LIGO is not gravitational wave: Almacenado por PhilPapers y ResearchGate
- [68] Chibisov, Gennady and Mukhanov, Viatcheslav. (1981). Quantum fluctuations and a nonsingular Universe: P. N. Lebedev Physics Institute, Academy of sciences of the USSR, Pis'ma Zh. Eksp. Theor. Fiz. 33, No.10, pp 549-553
- [69] Mukhanov, Viatcheslav. (2015). Quantum Universe: Conference, MG14, Rome
- [70] Abbott, B. P; Abbott, R; Abbott, T. D; Acernese, F; Ackley, K; Adams, C; Adams, T; Addesso, P and others. (2018). GW170104: Observation of a 50-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence at Redshift 0.2: arxiv.org/pdf/1706.01812