

Efecto Doppler relativista

Heber Gabriel PICO JIMÉNEZ

Resumen

Este artículo explica convenientemente el corrimiento precoz hacia el rojo del Doppler transversal, también de manera unificada por primera vez la relatividad especial y general ambas modificadas, han logrado explicar juntas un fenómeno como el efecto Doppler relativista. Se encuentra en este artículo una manera matemático-teórica de trabajar conjuntamente sin contradicción al efecto Einstein y la relatividad especial modificada. Otro punto demasiado interesante en el artículo es que hace una explicación del Doppler relativista que facilita al observador para poder localizar a la fuente tras el Doppler, hecho que puede tener desmedida importancia si se utiliza como base para la construcción de un instrumento con esa capacidad localizadora. Finalmente este artículo al unificar el efecto Einstein al del Doppler relativista, encuentra un factor que revela la explicación de la multiplicación adicional que tiene el corrimiento al rojo gravitacional de las galaxias, sin necesidad de utilizar la explicación de la expansión métrica del espacio para poder justificar ese mayor corrimiento adicional al rojo en la práctica.

Palabras claves: Dilatación del tiempo, Dilatación gravitacional del tiempo, Expansión métrica del Espacio, Efecto Doppler, Efecto Doppler Transversal, Corrimiento al rojo, Corrimiento al rojo gravitacional.

Abstract

This article properly explains the precocious landslide towards red of the Doppler transversal, also of way unified for the first time special relativity and general both modified, have managed to explain meetings a phenomenon like the relativista Doppler Effect. A mathematician-theoretical way is in this article to jointly work without contradiction to the effect Einstein and modified special relativity. Another too interesting point in the article is that it makes an explanation of the relativista Doppler that facilitates the observer to be able to locate to the source after the Doppler, fact that can have excessive importance if it is used as it bases for the construction of an instrument with that localizadora capacity. Finally this article when unifying the effect Einstein to the one of the relativista Doppler, finds a factor that reveals the explanation of the additional multiplication that has the red landslide to the gravitational one of the galaxies, with no need to use the explanation of the metric expansion of the space to be able to actually justify that greater additional landslide to the red one.

Key Words: Expansion of the time, gravitational Expansion of the time, metric Expansion of the Space, Doppler Effect, Cross-sectional Doppler Effect, Landslide to the red one, Red landslide to the gravitational one.

1. Introducción

En física se considera **Reposo** a un estado de movimiento rectilíneo uniforme tanto del observador como del sistema observado, estado en el cual la velocidad es nula entre ellos. El **reposo** sólo existe con respecto a un determinado punto de

referencia. En el universo no existe el **reposo** absoluto. En este trabajo el **Reposo** se mantendría en la eventualidad de que el observador rote sobre su propio eje o el objeto observado rote alrededor del observador y viceversa.

Ahora vamos a tomar y traer a colación recordando la conclusión de la nueva relación de energía-momento con Cuadri-Lorentz Relativa incluido, donde se deja identificado y especificado que para una partícula que se mueve en el espacio a velocidad uniforme \mathbf{v} y precisamente se aleja o se acerca relativamente a la velocidad transversal $\mathbf{vcos}\theta$ del observador en reposo relativo, se describe pues su movimiento con la siguiente ecuación número uno (1) si precisamente ese objeto se aleja y, la siguiente ecuación número dos (2) si por lo contrario ese mismo objeto se acerca relativa y transversalmente al respectivo observador:

$$(mc^2)^2 = (mv^2 \cos^2 \theta)^2 + \left(mc^2 \sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}} \right)^2 \quad (1)$$

$$\left[\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}}} \right]^2 = \left[\frac{mv^2 \cos^2 \theta}{\sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}}} \right]^2 + m^2 c^4 \quad (2)$$

Donde m es la masa invariante de la partícula u objeto observado, c es la velocidad de la luz, v es la velocidad resultante en el espacio de la partícula, θ es el ángulo entre $\mathbf{vcos}\theta$ la velocidad transversal y \mathbf{v} .

Quiere decir todo esto que la Cuadri-Constracción Relativa del Cuadri-Lorentz sería el factor que remplazaría a las transformaciones clásicas y absolutas de Lorentz al contraer el tiempo a través de la componente transversal relativa de la velocidad de la fuente en la relatividad especial, tal como lo expresa la siguiente relación número tres (3) llamada **contracción relativa del tiempo por la velocidad**:

$$\Delta t = \Delta t_0 \sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}} \quad (3)$$

La Cuadri-Constracción Relativa del Cuadri-Lorentz sería también el factor que remplazaría a las transformaciones clásicas y absolutas de Lorentz al dilatar el tiempo con la componente transversal relativa de la velocidad de la fuente en la relatividad especial, tal como lo expresa la siguiente relación número cuatro (4) llamada **dilatación relativa del tiempo por la velocidad**:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}}} \quad (4)$$

Se puede decir que la dilatación o constracción relativa por velocidad transversal del tiempo en la relatividad especial entre dos observadores, vista como dos relojes que se mueven es reciproca entre sí es decir: si se va a dilatar el tiempo en uno de ellos cuando se acercan pues lo hacen también en el otro y, si se va a contraer el tiempo en uno de ellos cuándo se alejan también lo hace en el otro, todo dependería de si los relojes se acercan o se alejan. Si los relojes se alejan algún grado, el tiempo se contrae por la velocidad transversal pero, si los relojes se acercan en alguna medida el tiempo se dilata por la respectiva velocidad transversal, simplemente de manera reciproca a través de la Cuadri-Constracción Relativa de Lorentz o Cuadri-Lorentz Relativa, que es demasiado importante por que nos permite dejar de ignorar (comenzando con Hubble) a la componente transversal de la velocidad sobre todo en los trabajos relacionados con observaciones astronómicas:

$$\sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}} = \text{Cuadri-Lorentz-relativa} \quad (5)$$

Quiere decir todo esto que la cuadri-contracción relativa del cuadri-Lorentz sería el factor útil también para describir la **contracción gravitacional del tiempo por la aceleración transversal relativa de la fuente** en la relatividad especial, que nos permitiría en trabajos relacionados con observaciones astronómicas, utilizar la velocidad transversal de fuga y las aceleraciones transversales relativas de las galaxias: (6).

$$\Delta t = \Delta t_0 \sqrt{1 - \frac{(a_{rf} \Delta t_0)^4}{c^4}} \quad (6)$$

Donde Δt_0 es el intervalo temporal entre dos eventos co-locales para un observador en algún sistema de referencia inercial (por ejemplo el número de tic-tac que ha hecho su reloj), Δt es el intervalo entre los dos mismos eventos tal y como lo mediría otro observador que se aleja o se acerca transversalmente moviéndose inercialmente, a_{rf} es la aceleración transversal relativa de la fuente en la Cuadri-Lorentz-relativa y c es la velocidad de la luz.

También recordamos del anterior trabajo Corrimiento al rojo o, Corrimiento al rojo gravitacional donde se describe el corrimiento hacia el rojo que sufre un fotón que viaja en un campo gravitatorio, identificado como el: **Corrimiento al rojo gravitacional ocasionado por la relación entre la intensidad del campo gravitacional (ago) del observador en el tiempo y la intensidad del campo gravitacional de la (agf) fuente al mismo tiempo.**

$$\Delta t = \Delta t_0 \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{GM\Delta t_0}{r^2 c}\right)^4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{GM\Delta t_0}{R^2 c}\right)^4}} \quad R > r \quad (7)$$

Donde Δt_0 es el intervalo temporal entre dos eventos co-locales para un observador en algún sistema de referencia no inercial como la superficie del planeta u otro potencial gravitatorio, Δt es el intervalo entre los dos mismos eventos, tal y como los mediría otro observador en reposo a cierta altura de distinto potencial, G es la constante de gravitación universal, M es la masa del planeta o cuerpo másico, r es la distancia radial medida desde el centro de gravedad del planeta o cuerpo másico hasta el sitio donde está ubicado el observador o fuente según el caso, R es la distancia radial medida desde el centro de gravedad del cuerpo másico al sitio en que está ubicado una fuente u observador según el caso, c es la velocidad de la luz.

2. Desarrollo del Tema

Efecto Doppler Relativista en la Relatividad Especial.

La teoría de la relatividad especial modificada y solita basta con el principio de equivalencia de la relatividad general, para poder explicar el efecto Doppler relativista solo sí la fuente y el observador no presentan profundas diferencias en los respectivos potenciales gravitatorios. Si no es así entonces un observador en reposo relativo, puede estudiar solo con la relatividad especial modificada y el principio de equivalencia de la relatividad general a un objeto en movimiento rectilíneo uniforme, involucrando juntas tanto a la dilatación o contracción del tiempo por la velocidad transversal de la fuente como, al corrimiento al rojo gravitacional ocasionado por la aceleración transversal relativa (a_{rf}) de la fuente en el tiempo. Recordamos que este corrimiento al rojo gravitacional producto de la aceleración transversal relativa de la fuente en la relatividad especial modificada,

explica incluso hasta el mismo desplazamiento precoz al rojo en el efecto Doppler transversal.

Es decir: cuando un objeto o fuente se mueve uniformemente acercándose hacia un observador, ocurre al instante, tanto contracción como dilatación del tiempo. Una cantidad de tiempo es dilatada por la velocidad transversal de acercamiento y otra cantidad de tiempo es contraída por el sentido que tiene hacia el rojo la (\mathbf{a}_{rf}) aceleración transversal relativa de la fuente. Cuando la fuente se aproxima, moviéndose en ángulos casi rectos con respecto al observador, incluso aunque la fuente se esté aproximando todavía hacia él, la cantidad de tiempo dilatada por velocidad si el observador se encuentra ubicado muy cerca a la trayectoria del objeto y este se mueve a suficiente velocidad, no se produce la cantidad de corrimiento hacia el azul esperado por velocidad transversal de acercamiento, en vez de eso el efecto Doppler transversal provoca entonces es un desplazamiento precoz hacia el rojo por predominar el efecto gravitacional de la contracción por aceleración transversal relativa (\mathbf{a}_{rf}) de la fuente que prevalece al instante en sentido contrario. En el Doppler transversal u oblicuo cuando la fuente aun se está acercando en movimiento uniforme se cumple la siguiente relación:

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - \frac{(a_{rf}t)^4}{c^4}}}{\sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}}} \quad (8)$$

Donde ν_0 es la frecuencia original de la onda electromagnética emitida por la fuente, ν es la frecuencia tal como lo mediría un observador que se acerca relativamente a la fuente a la velocidad transversal $v \cos \theta$, la velocidad \mathbf{v} es la velocidad de la fuente en el espacio-tiempo, \mathbf{a}_{rf} es la aceleración transversal relativa con que se acerca al instante la fuente al observador y c es la velocidad de la luz.

Cuando el observador construye su línea de visión formando un ángulo de 90 grados con la fuente, los efectos de la dilatación del tiempo por velocidad transversal de la fuente desaparecen y el fenómeno solo queda bajo la influencia de la contracción del tiempo por la (\mathbf{a}_{rf}) aceleración transversal relativa de la fuente:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{(a_{rf} \cdot t)^4}{c^4}} \quad (9)$$

Donde ν_0 es la frecuencia original de la onda electromagnética emitida por la fuente, ν es la frecuencia tal y como lo mediría un observador que está parado momentáneamente al frente de la fuente que pasa transversalmente, \mathbf{a}_{rf} es la aceleración relativa con que se acerca y pasa la fuente frente al observador y c es la velocidad de la luz.

En el Doppler transversal cuando la fuente pasa con su velocidad uniforme al frente del observador y deja ya definitivamente de acercarse a él para iniciar entonces un alejamiento del mismo enseguida se inicia por una parte, una cantidad de corrimiento al rojo por la velocidad transversal de alejamiento llamado corrimiento al rojo Doppler, y otra cantidad de corrimiento al rojo de la contracción gravitacional (\mathbf{a}_{rf}) por aceleración transversal relativa de la fuente en el tiempo, tal como lo expresa la siguiente relación que representa la cantidad de corrimiento total al rojo por su multiplicación en la relatividad especial modificada:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{(a_{rf} \cdot t)^4}{c^4}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}} \quad (10)$$

Donde ν_0 es la frecuencia original de la onda electromagnética emitida por la fuente, ν es la frecuencia tal y como lo mediría un observador que se aleja relativamente de la fuente a la velocidad transversal $\nu \cos \theta$, la velocidad ν es la velocidad de la fuente en el espacio-tiempo, a_{rf} es la aceleración transversal relativa al tiempo que se aleja la fuente del observador y c es la velocidad de la luz.

En la relación anterior número diez (10) se puede apreciar que a partir de la relatividad especial modificada y el principio de equivalencia de la relatividad general, sin necesitar el resto de la teoría de la relatividad general, se puede también calcular el desplazamiento hacia el rojo gravitacional en la relatividad especial modificada y expresada en esta anterior relación número diez (10). Claro que esto es cierto y se puede hacer si no existen amplias diferencias entre los potenciales gravitacionales entre la fuente y el observador. Esta situación planteada en esta relación anterior es una de las que nos conlleva a dudar, de uno de los más contundentes respaldos teóricos que tiene la hipótesis de la expansión métrica del espacio.

Efecto Doppler Relativista con la Relatividad Especial y General Unificadas.

Cuando el objeto y el observador poseen distintos potenciales gravitacionales o profundamente diferentes, pertenecientes además al mismo campo gravitatorio de un sistema, entonces la relatividad especial modificada aunque disponga del principio de equivalencia de la relatividad general y sin recurrir al resto de la relatividad general, no basta por si mismo así para explicar totalmente el efecto Doppler relativista, entonces para poder explicar completamente la intensidad del desplazamiento al rojo y al azul del efecto Doppler relativista, se necesita presentar una descripción general que incluya la relatividad especial y general modificadas debiendo contener a: **a)**-La velocidad transversal relativa de la fuente, **b)**-La aceleración transversal relativa (a_{rf}) de la fuente en el tiempo **c)**-El potencial gravitacional en el tiempo (a_{gr}) de la fuente en el sistema y **d)**-El potencial gravitacional en el tiempo (a_{go}) del observador y en el mismo sistema gravitacional de la fuente.

El llamado efecto Einstein que ocurre cerca de los objetos masivos, fenómeno que fue descrito en la relatividad general y que trabaja situaciones con observadores y fuentes en reposo relativo, aunque tengan diferentes potenciales gravitacionales dentro de un planeta u otro cuerpo másico es decir, los dos observadores conservan su distancia en reposo relativo sin acercarse ni alejarse, por no tener velocidades ni aceleraciones transversales relativas, aunque se muevan en el espacio-tiempo a velocidades y potenciales gravitacionales distintos, tal como se pudo apreciar en el experimento de Pound y Rebka.

Cuando una fuente que tiene determinado potencial gravitacional (a_{gr}) en un campo gravitatorio se acerca a un observador con distinto potencial (a_{go}) pero incluida en el mismo sistema gravitatorio, se presenta aquí al instante tanta dilatación por velocidad transversal del tiempo como contracción del tiempo por la aceleración transversal relativa de la fuente. Además como la fuente y el observador poseen potenciales gravitacionales diferentes en el mismo campo gravitatorio, entonces también habrá influencias del efecto Einstein sobre el Doppler relativista descrito en la relatividad especial modificada, tal como lo expresa la siguiente relación:

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - \frac{(a_{rf} t)^4}{c^4}}}{\sqrt{1 - \frac{\nu^4 \cos^4 \theta}{c^4}}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{GM.t}{r^2 c}\right)^4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{GM.t}{R^2 c}\right)^4}}, \quad R > r \quad (11)$$

Donde ν_0 es la frecuencia original de la onda electromagnética emitida por la fuente, ν es la frecuencia tal y como la mediría un observador que se acerca a la fuente a una velocidad transversal relativa $\mathbf{v}\cos\theta$, la velocidad \mathbf{v} es la velocidad de la fuente en el espacio-tiempo, \mathbf{G} es la constante de gravitación universal, \mathbf{M} es la masa del planeta o cuerpo másico que crea el campo gravitatorio donde se encuentra la fuente y el observador, \mathbf{r} es la distancia radial en la que está ubicada la fuente o el observador según el caso, desde el centro de gravedad, \mathbf{a}_{rf} es la aceleración transversal relativa con que se acerca la fuente al observador en el tiempo, \mathbf{R} es la distancia radial en la que está ubicado la fuente u observador según el caso, desde el centro de gravedad, \mathbf{c} es la velocidad de la luz.

Cuando ya la fuente se encuentra al frente del observador que está ubicado en una dirección de 90 grados con respecto a la fuente, entonces la dilatación del tiempo por velocidad transversal se anula completamente y todo el resultado del Doppler queda bajo la influencia tanto de la aceleración transversal relativa (\mathbf{a}_{rf}) de la fuente en el tiempo y el efecto Einstein:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{(a_{rf} \cdot t)^4}{c^4}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{GM \cdot t}{r^2 c}\right)^4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{GM \cdot t}{R^2 c}\right)^4}}, \quad R > r \quad (12)$$

Donde ν_0 es la frecuencia original de la onda electromagnética emitida por la fuente, ν es la frecuencia tal y como la mediría un observador que está ubicado en el tiempo a 90 grados al frente de la fuente, \mathbf{G} es la constante de gravitación universal, \mathbf{M} es la masa del planeta o cuerpo másico que crea el campo gravitatorio donde se encuentra la fuente y el observador, \mathbf{r} es la distancia radial en la que está ubicada la fuente o el observador según el caso, desde el centro de gravedad, \mathbf{a}_{rf} es la aceleración transversal relativa con que se mueve la fuente en el tiempo al frente del observador, \mathbf{R} es la distancia radial en la que está ubicada la fuente u observador según el caso, desde el centro de gravedad, \mathbf{c} es la velocidad de la luz.

Cuando la fuente pasa con su velocidad uniforme al frente del observador y deja ya definitivamente de acercarse a él para iniciar entonces es un alejamiento del mismo, enseguida se inicia por una parte una cantidad de corrimiento al rojo por velocidad transversal de alejamiento llamado corrimiento al rojo Doppler, también habrá otra cantidad de corrimiento al rojo que será producto de la contracción gravitacional (\mathbf{a}_{rf}) por la aceleración transversal relativa de la fuente en el tiempo, más el corrimiento al rojo que obedece al efecto Einstein tal como lo expresa la siguiente relación:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{v^4 \cos^4 \theta}{c^4}} \sqrt{1 - \frac{(a_{rf} \cdot t)^4}{c^4}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{GM \cdot t}{r^2 c}\right)^4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{GM \cdot t}{R^2 c}\right)^4}}, \quad R > r \quad (13)$$

Donde ν_0 es la frecuencia original emitida por la fuente, ν es la frecuencia tal y como la mediría un observador que se aleja de la fuente a una velocidad transversal relativa de $\mathbf{v}\cos\theta$, la velocidad \mathbf{v} es la velocidad de la fuente en el espacio-tiempo, \mathbf{G} es la constante de gravitación universal, \mathbf{M} es la masa del planeta o cuerpo másico que crea el campo gravitatorio donde se encuentra la fuente y el observador, \mathbf{r} es la distancia radial en la que está ubicado el observador o la fuente según el caso, desde el centro de gravedad, \mathbf{a}_{rf} es la aceleración transversal relativa con que se aleja la fuente al observador, \mathbf{R} es la distancia radial

en la que está ubicado la fuente u observador según el caso, desde el centro de gravedad, c es la velocidad de la luz.

3. Conclusiones

A)-La gran conclusión de este trabajo es el consistente acoplamiento al mismo tiempo, entre la relatividad especial y relatividad general modificadas para poder explicar, un fenómeno de la física de tanta importancia a escala cosmológica, como el efecto Doppler relativista.

B)-Otra gran conclusión de que las galaxias distantes del universo como quasars y nubes intergalácticas, viajan describiendo grandes trayectorias elípticas que generan líneas de curvatura mínima correspondientes a radios supremamente extensos y que son líneas geodésicas demasiado "rectas" relativamente para nosotros. Tras esto a medida que la galaxia se aleja a mayor velocidad transversal, el ángulo θ entre observador y su trayectoria se reduce, y el $v \cos \theta$ incrementa la velocidad relativa de la galaxia, es decir la galaxia relativamente va acelerada y sujeta a una fuerza ficticia que origina una **contracción gravitacional relativa del tiempo por aceleración transversal relativa en el tiempo de la fuente** que además su producto por el efecto Einstein incrementa la intensidad de los corrimientos generales al rojo espectral.

C)- Presentamos el llamado **Corrimiento al Rojo Cosmológico** o **Corrimiento al Rojo de Hubble** la cual en este artículo resulta de multiplicar la: **la contracción gravitacional del tiempo debida a la aceleración transversal relativa de la fuente (a_{rf})** multiplicada por **el efecto Einstein**, tal como lo expresa la siguiente relación número catorce (14):

$$v = v_0 \sqrt{1 - \frac{(a_{rf} \cdot t)^4}{c^4}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{GM \cdot t}{r^2 c}\right)^4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{GM \cdot t}{R^2 c}\right)^4}}, \quad R > r \quad (14)$$

Vale la pena agregar en este sitio del artículo que los cálculos de las velocidades a las galaxias lejanas, se suelen hacer en trabajos relacionados con observaciones astronómicas, (comenzando con Hubble) asumiendo totalmente nula a la componente transversal de la velocidad, probablemente por la dificultad de incluirla en los cálculos a través de la contracción absoluta de Lorentz, obteniendo así conclusiones falsas particularmente para Z grandes. Cuando se analiza el corrimiento al rojo debido a la radiación proveniente de galaxias lejanas suele considerarse a este efecto despreciable frente al Doppler, sin considerar que ambos efectos son concurrentes inevitables, lo cual puede ser un error de método muy grave dada la diversidad de galaxias distintas. Observamos que el corrimiento al rojo depende del potencial gravitatorio del sistema y no del valor local del campo, lo que introduce un elemento que puede provocar variaciones importantes de Z cuando se aplica a galaxias distintas.

D)- Presentamos como una gran conclusión el mecanismo que presenta este artículo de como se origina el corrimiento al rojo incluso el precoz, en el Doppler transversal. En este punto hasta la misma relatividad especial intacta de Einstein adolece de una explicación convincente.

4. Referencias del presente artículo

- [01] Relatividad general sin los clásicos tensores de Einstein
[02] Energía potencial en la Relatividad general
[03] Dilatación dual del tiempo
[05] Corrimiento al rojo gravitacional
[06] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/energia-potencial-gravitatoria-cinetica-invariante/energiapotencial-gravitatoria-cinetica-invariante.pdf>
[07] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/relatividad-general-sineinstein/relatividad-general-sineinstein.pdf>
[1] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/concepto-masa-gravitacional-relatividad-especial/conceptomasa-gravitacional-relatividad-especial.pdf>
[2] <http://www.textoscientificos.com/fisica/articulos/masa-gravitacional-aparente>
[3] *Hawking, Stephen; and Ellis, G. F. R. (1973). The Large Scale Structure of Space-Time. Cambridge:Cambridge University Press. ISBN 0-521-09906-4.*
[4] Misner, Thorne and Wheeler, *Gravitation*, Freeman, (1973), ISBN 0-7167-0344-0.
[5] Robert M. Wald, *General Relativity*, Chicago University Press, ISBN 0-226-87033-2.
[6] Steven Weinberg, *Gravitation and Cosmology: principles and applications of the general theory of relativity*, Wiley (1972), ISBN 0-471-92567-5
[7] Bodanis, David (2001). *E=mc²: A Biography of the World's Most Famous Equation*, Berkley Trade. ISBN 0-425-18164-2.
[8] Tipler, Paul; Llewellyn, Ralph (2002). *Modern Physics* (4th ed.), W. H. Freeman. ISBN 0-7167-4345-0.
[9] Girbau, J.: "Geometria diferencial i relativitat", Ed. Universitat Autònoma de Catalunya, 1993. ISBN 84-7929-776-X
[10] *Serway, Raymond A.; Jewett, John W. (2004). Physics for Scientists and Engineers, 6th ed.edición, Brooks/Cole. ISBN 0-534-40842-7.*
[11] *Tipler, Paul (2004). Physics for Scientists and Engineers: Mechanics, Oscillations and Waves, Thermodynamics, 5th ed. edición, W. H. Freeman. ISBN 0-7167-0809-4.*
[12] *Tipler, Paul; Llewellyn, Ralph (2002). Modern Physics, 4th ed. edición, W. H. Freeman. ISBN 0-7167-4345-0.*
[13] School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews (2000). «Biography of Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843)».
[14] *Oxford Dictionary*, Oxford Dictionary 1998.
[15] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/matematicas-energia-cinetica-potencialmovimiento/matematicas-energia-cinetica-potencial-movimiento.pdf>

5. Referencias generales en la teoría

- [1] http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_la_relatividad_general
[2] http://es.wikipedia.org/wiki/Atracci%C3%B3n_gravitatoria

Heber Gabriel PICO JIMÉNEZ
MD. Médico Cirujano 1985 de la Universidad de Cartagena.
Investigador independiente de problemas biofísicos médicos de la memoria y el aprendizaje entre ellos la enfermedad de Alzheimer.
heberpico@hotmail.com
heberpico@telecom.com.co