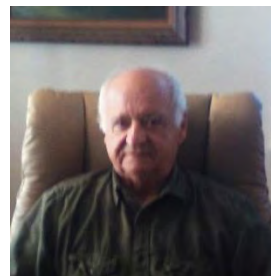


## Física Moderna

*George Cuevas*

Físico, MA



George Cuevas obtuvo su bachillerato en 1959 en el Colegio Centro América de Granada, Nicaragua. En 1960 se trasladó a vivir en California, EE.UU. Desempeñó servicio militar en el United States Air Force de 1962 a 1966. En 1970 recibió su título de BS en Physics de la Cal State University. También recibió el título de Master (MA) en Physics en 1979.

George Cuevas trabajó para la compañía TRW/Northrop -Grumman por un **periodo de 26 años. Trabajó después por un periodo de 14 años para "The Aerospace Corporation" que es un FFRDC (Federally Funded Research & Development Center).**

El trabajo del señor Cuevas siempre tuvo como objetivo la radiación en el espacio y cómo proteger sistemas espaciales contra la radiación de los Cinturones Van Allen. Durante estos años el Señor Cuevas fue autor de varios Estándares en cómo proteger sistemas en el espacio contra la radiación espacial.

Los artículos siguientes sobre Física del Espacio han sido escritos por George Cuevas a modo de lo que llamamos una "cátedra criolla" para los estimados lectores de RTN.

### (I) Introducción

El Cosmos es inmenso. Se puede decir que es infinito en medidas de espacio y en medidas de tiempo. No hay punto fijo. Sistemas de planetas y nebulas flotan en el espacio... ¿En qué dirección? No hay un punto fijo que se pueda usar como punto de referencia para que uno pueda orientarse. No hay punto fijo para medida del tiempo que se pueda usar como punto de referencia tampoco. El tiempo es como una corriente que nunca cesa.

Sin embargo, hay manera de medir distancia y hay manera de medir intervalos de tiempo. Estas medidas que tal vez se refieren a procesos físicos son relativas. Cada experimentador que hace estas medidas tiene su propio punto de referencia y es posible relacionar dimensiones de tiempo y espacio hechas por un observador con medidas hechas por un segundo observador con respecto al mismo proceso físico.

Como no hay punto fijo en el espacio donde se pueda anclar (poner una ancla y reclamar que por la Gracia de Dios este punto no se mueve y

permanece seguro a pesar de todo lo demás está inexorablemente flotando en el espacio), vamos a hacer lo siguiente:

- Para medidas de espacio escogemos un punto fijo con respecto al experimentador y allí anclamos un sistema de 3 ejes perpendiculares el uno al otro.
- Vamos a medir el intervalo de tiempo transcurrido por medio de la distancia que un rayo de luz (originándose al punto "cero") viaja durante el intervalo de interés.

La ventaja de este método es que la velocidad de la luz no cambia. La velocidad de la luz es la misma para todo experimentador en el cosmos. Este es el denominador común que existe en el cosmos. Este método de medir tiempo resulta en una figura universal. Las leyes de la física son las mismas aún en rincones remotos del cosmos. Repitiendo el mismo experimento físico, las medidas de tiempo hechas por cualquier observador en todos los lugares del cosmos rinden el mismo resultado!!!

## (II) Nuestra Meta y cómo vamos a llegar allí

Antes de emprender el viaje quiero decirles en qué dirección vamos, cuál es la meta y qué medios vamos a usar para llegar.

Primero la meta: La primera meta es establecer la definición del intervalo que caracterizan los procesos (físicos) de la naturaleza. Este intervalo consiste en medidas de distancia y tiempo transcurrido. Como van a ver, va a ser necesario integrar la medida de tiempo con la medida de espacio. Es decir todo proceso **físico lleva su descripción de "Delta x", "Delta y", Delta z" y "Delta t"**

Las **primeras cantidades (x, y, z) denotan posición espacial y la letra "t"** denota tiempo. De manera que nos referimos a un espacio de 4 dimensiones. Cada proceso físico tiene espacio en el cual se desarrolla y trazo de tiempo.

Experimentadores en el mundo hacen sus observaciones y miden el intervalo que caracteriza un determinado proceso. Vamos a aprender cómo relacionar estas medidas de procesos físicos aún cuando la plataforma del experimentador va viajando en el espacio con respecto a otros observadores. Vamos a identificar las medidas que son invariantes y cuyo valor no depende de la plataforma en donde se miden. Vamos a establecer la invariabilidad del intervalo y **también introducir el concepto de "velocidad" del intervalo. Con esto vamos a establecer la ley que conecta la materia con la energía ( $E = mc^2$ ).** Nos va tomar un par de ediciones para llegar a esta meta. El material aquí desarrollado constituye la relatividad especial.

No se preocupen por lo abstracto que pueden llegar a ser estas teorías.

Todo esto se presentará usando únicamente un poco de álgebra y geometría

**El material estudiado en la primera etapa se llama “Relatividad Especial”** y se desarrolla en un espacio de Euclides. Este es un espacio simple en el cual el teorema de Pitágoras se puede usar para calcular la longitud de la hipotenusa como la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de los 2 catetos. También aquí la luz se propaga en línea recta y la suma de los ángulos internos de un triángulo es 180 grados ( $\pi$ ). Desafortunadamente, el espacio de Euclides es una abstracción matemática ya que el mundo real es curvo, El espacio curvo es más complejo y en este espacio curvo la luz no se propaga en línea recta. Es más, el teorema de Pitágoras no se aplica y los ángulos interiores de un triángulo no suman los 180 grados. Por todas estas razones hay que modificar la teoría que aprendimos en Relatividad Especial para poder aplicarla en el espacio curvo. Aquí vamos a hablar de tensores (tensores que no son únicos referidos a espacios curvos) la curvatura de Riemann, etc. Les prometo sí que voy a hacer la descripción de este tema tan fácil como echarse un trago de tequila o comerse un vigorón.

Simplemente, hemos hablado de la propagación de ondas electromagnéticas en el vacío y a través (o en la proximidad) de materia. Hemos dicho que la velocidad de propagación de estas ondas en el espacio es la misma irrespectivamente de la velocidad del observador con respecto a la fuente de origen de estas ondas. No se olviden sin embargo que la velocidad de la luz en el vacío es lo que usamos como referencia (relatividad especial). Dicha velocidad cambia en magnitudes y dirección cuando la luz viaja a través de distintos materiales. No se olviden tampoco que el vacío en regiones intergalácticas (lejos de planetas y estrellas) no está comprimido de la misma manera a como está el vacío en proximidad de un planeta o estrella. Parece que el mismo peso de la materia comprime el espacio y reduce el diámetro de los átomos.

En el interior de gigantescas estrellas, la presión interna que resulta del peso del material de las capas exteriores comprime el átomo y disminuye la distancia intra-nuclear (que separa núcleos de átomos vecinos) La proximidad de núcleos provoca reacciones nucleares en la cual núcleos vecinos amarran (¡Para eso sirven las cuerdas!) y se combinan para sintetizar elementos más complejos. Liberación de energía restante ocurre. Por supuesto, la fórmula de  $E = mc^2$  se puede aplicar a este proceso.

¿Hacia dónde vamos con todos estos detalles? Bueno, lo que les quiero decir es que en el vacío del espacio se pueden ver diferencias en la presión interna. Por ejemplo, si fuéramos a captar un pequeño volumen de este vacío en una burbuja y si dicha burbuja viniera del vecindario de una estrella gigantesca, la burbuja llevaría presión interna mucho más grande que una burbuja captada en el vacío lejano (un vacío más o menos aislado de materia). El punto es que

hay variación en la presión interna de supuestas burbujas en el espacio. Esta misma variación en presión interna quiere decir que el vacío no es de uniforme densidad y así explico la curvatura del espacio. La curvatura es de mayor magnitud en el espacio adonde hay materia que en el espacio adonde hay solamente vacío. La velocidad y trayectoria de un rayo de luz es diferente adonde hay materia que adonde hay aislación de materia.

La curvatura del espacio depende en la densidad de la burbuja. Por supuesto, la trayectoria de un rayo de luz es también más curva en la vecindad de materia. Adonde hay materia no se puede tirar un rayo de luz para medir el tiempo transcurrido. Por eso es necesario desarrollar un sistema y aplicarlo de acuerdo con la densidad de supuesta burbuja

Aquí va un ejemplo: Cuando encontramos agua estancada y que tiene un orificio de desagüe, siempre veremos el torbellino de la corriente en la vecindad del desagüe. También vemos los torbellinos de corriente girar alrededor del orificio (como un sistema de planetas) y después de varias revoluciones finalmente el volumen de agua se precipita y cae en el orificio. Si un observador científico fuese a decir que el orificio atrae las masas líquidas y que esta fuerza de atracción es proporcional al inverso de la distancia radial, este sería un concepto falso y no representativo de lo que pasa en actualidad. Pero si dicho científico fuera a decir **“No existe ninguna fuerza de atracción; el agua cae en el orificio porque es empujada por material vecino” Esta sería la verdad.** De la misma manera Albert Einstein dijo que no existe la fuerza de gravedad. Los cuerpos caen y son precipitados hacia el centroide del planeta porque son empujados por la marea. Esto es, las capas de vacío que empujan al objeto en dirección radial.

Congratulations y bienvenidos al tema de relatividad general!!! Hemos aprendido el concepto al menos de una manera cualitativa sin necesidad de meternos a tensores y curvatura del espacio.

### (III) Más acerca del Mundo No-Euclidiano

Aquí va una explicación para aclarar el tema antes expuesto.

Hablar del teorema de Euclides es frustrante para todo profesor. Este es **un teorema que no se puede probar. Por eso se conoce mas bien como “El Postulado de Euclides.”**

Aquí va: Líneas que son paralelas permanecen paralelas aún cuando se extienden al infinito. En otras palabras, líneas que son paralelas nunca se cruzan. Otra manera de decir esto es que líneas que son paralelas se encuentran (se cruzan) en el infinito. Bueno, Lovachevski tomó esta última definición en serio y con esta idea formuló la Geometría Hiperbólica. Esta misma geometría la usó Albert Einstein para explicar aspectos de la Relatividad General.

Hablemos de líneas paralelas. Como ejemplo vamos a usar los rieles de la línea férrea. Imagínense que el espacio está lleno de líneas férreas que vienen en línea recta desde larga distancia (millones de años luz) Se extienden desde lugares remotos adonde no hay materia. Mientras estas líneas (paralelas) cruzan regiones vacías dichas líneas permanecen paralelas. Cuando van llegando a proximidad de materia (digamos un planeta o una estrella) las líneas comienzan a curvarse, primero de manera suave y luego se curvan lo suficiente para proceder en dirección al centro de la estrella. A medida que van llegando, no solamente la distancia entre cada par disminuye sino que también hay aproximación entre las 2 líneas que constituyen cada par. Últimamente al llegar al centro de la estrellas uno se encuentra con millares de líneas férreas que se acumulan en un punto. Este sería el centroide de la estrella. De aquí sacamos lo siguiente:

- El centro de la estrella representa el infinito
- Todas las líneas que comenzaron paralelas en su origen confluyeron (se unieron) en un punto
- Este encuentro que ocurre en el centroide invalida el postulado de Euclides (al mismo tiempo satisface el sistema de Bolyal-Lovachevski)
- Imagínense Uds. que hay un enano bien recio en la proximidad de materia que está doblando los rieles y dirigiéndolos hacia el centroide de la estrella
- Cuando se comprimen los átomos de los rieles y también el vacío que acompaña cada átomo, esto introduce una enormidad de presión. Imagínense Uds. que una burbuja infinitesimal que contiene el vacío y átomos está sujeta a presión transversal. Dicha burbuja se encoge bajo la presión y también se estira en dirección del centroide de la estrella. Al estirarse esta burbuja empuja a las burbujas vecinas (como un globo o chimbomba que se aprieta por un lado y esta misma presión hace que la chimbomba se estire en dirección transversal.
- Este empuje a la materia vecina en la dirección hacia el centroide de la **estrella es lo que Isaac Newton llamó "Gravedad"**.
- En regiones del espacio lejanas (no hay proximidad de materia) las leyes de relatividad especial se pueden usar. Aquí el postulado de Euclides representa la realidad (local) y lo que aprendimos al inicio aplica (Los ángulos interiores de un triángulo suman 180 grados y lo que dice Pitágoras es verdad también).
- En la proximidad de materia las cosas cambian. Las vías dejan de ser paralelas y la superficie representada por estas líneas exhibe curvatura. El teorema de Pitágoras y el postulado de Euclides ya no se pueden aplicar. Para entender la fuerza que el fornido enano usa (para doblar las vías) hay que modificar la teoría de relatividad especial. Hay que relacionar esta fuerza con la densidad de materia presente.

- La trayectoria de las vías cuando se aproximan a la estrella representan los Geodésicos de la superficie.

Aquí va un ejemplo de una superficie curva, la superficie de nuestro planeta: Los meridianos representan las líneas rectas (Geodésicas). Los meridianos denotan longitud. Si uno viaja sobre el ecuador el viajante notaría que los círculos que muestran los meridianos son del mismo tamaño. Por el contrario, si uno viaja sobre un meridiano con dirección hacia uno de los polos, el viajante nota que en el ecuador (allí comienza el viaje) los meridianos vecinos son paralelos. A medida que el viajante procede hacia los polos, dicho viajante nota que la distancia entre meridianos vecinos disminuye (los meridianos ya no son paralelos) y también los círculos que representan latitud reducen en diámetro. Últimamente cuando el viajante llega al polo uno nota que todos los meridianos concurren en este lugar.

Para construir un triángulo en una superficie curva uno tiene que usar las geodésicas (estas son las líneas rectas de dicha superficie). Si uno construye un gigantesco triángulo en la superficie de nuestro planeta, y si uno mide los ángulos internos del triángulo, uno va a ver que la suma es más de 180 grados. La diferencia (el exceso angular) es proporcional al área del triángulo y a la curvatura de la superficie. También se puede demostrar que el teorema de Pitágoras no se puede aplicar en esta superficie.

(Continúa en la siguiente edición) ■