EL UNIVERSO LÍQUIDO

Posted on 21 mayo, 2014 by Gerardo Herrera Corral



Cuando el Universo tenía apenas un microsegundo de edad, el periodo inflacionario era cosa del pasado: la radiación había adquirido masa y las partículas que durante los primeros instantes le daban forma constituían un líquido extremadamente denso y caliente...

Category: Ciencia

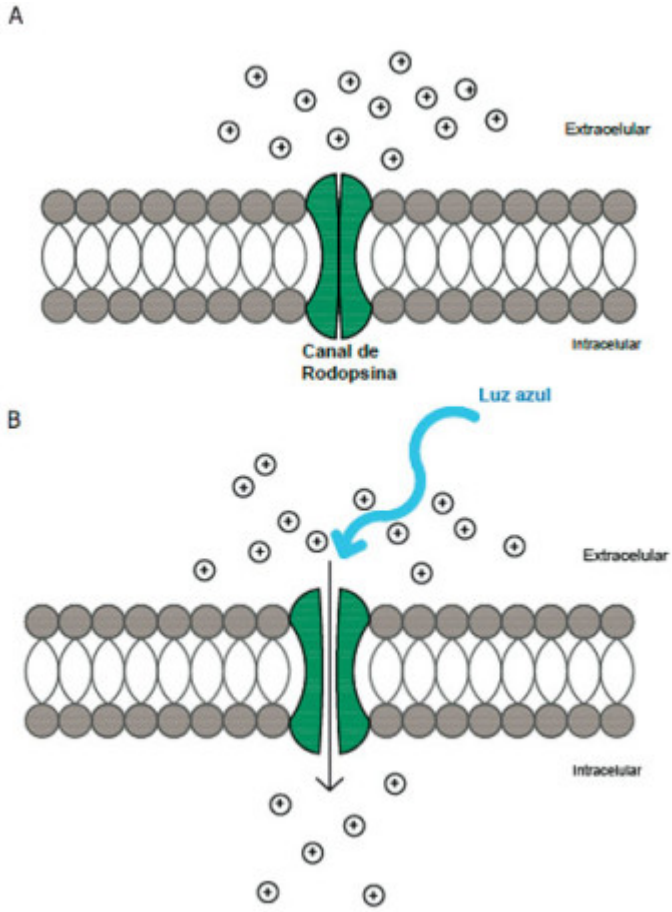
Tag: Ciencias Naturales

Cuando el Universo tenía apenas un microsegundo de edad, el periodo inflacionario era cosa del pasado: la radiación había adquirido masa y las partículas que durante los primeros instantes le daban forma constituían un líquido extremadamente denso y caliente.

El método

La colaboración ALICE construyó un detector que pesa 10 mil toneladas y mide 26 metros de largo, 16 de alto y 16 de ancho. El aparato está a más de 70 metros debajo del nivel del suelo en una caverna cercana a Saint Genis Pouilly, un pequeño pueblo en Francia situado a pocos kilómetros de la frontera con Suiza.

ALICE está formado por 16 sistemas de detección que en conjunto dan una buena idea de lo que se produce cuando los iones de plomo chocan en el denominado punto de interacción. El diseño, la construcción y el mantenimiento de un aparato así involucran a investigadores de 30 países. México forma parte de este concierto de naciones. En nuestro país se construyeron dos de los detectores de ALICE: el detector de rayos cósmicos y el V0. Este último genera la señal de disparo de primer nivel y produce información sobre los eventos que es utilizada posteriormente en los análisis físicos del conjunto.Evento de colisión de iones de plomo en ALICE. Crtesía del CERN



Evento de colisión de iones de plomo en ALICE. © CERN

En noviembre de 2010 el *Gran Colisionador de Hadrones* dejó de acelerar protones. A lo largo del año había producido colisiones en el centro de los detectores y mejorado las condiciones del haz, la calidad y la frecuencia de las colisiones. El 4 de noviembre extrajo el último haz de protones de ese año y se preparó para la transición a iones de plomo. Las primeras colisiones de estos últimos se realizarían cuatro días después. Cerca de la medianoche del 7 de noviembre el monitor marcaba “condiciones estables”, lo que daría inicio a la toma de datos con el haz más pesado, con la mayor carga eléctrica técnicamente posible y en la máquina más grande del mundo. La rapidez con que se logró pasar de protones a iones de plomo en el acelerador, mostró el control de alta relojería que el departamento de aceleradores del Consejo Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN por sus siglas en francés), había alcanzado con el instrumento científico más imponente de todos los tiempos. Los iones de plomo contienen 82 protones; al ser encauzados en campos electromagnéticos de la misma magnitud que los haces de protones, la energía que se logra es considerablemente mayor. En 2010, cuando los haces de protones habían

llegado a 3.5 TeV de energía, los haces de plomo alcanzaron 287 TeV por haz.

El momento culminante de un largo proceso había llegado y la colaboración ALICE estaba preparada para recibirlo. En 2009, cuando el proyecto recién comenzaba, fue la primera en difundir los resultados de sus observaciones de choques protón-protón en una revista europea que puso en su portada la publicación inicial del programa *Gran Colisionador de Hadrones*.
Con el haz de iones, el experimento ALICE estudia las condiciones del Universo temprano. Durante el momento de la colisión toda la energía contenida en los iones se deposita en un volumen microscópico donde se crea un plasma. Este plasma está formado por una sustancia exótica hecha de quarks y de gluones en condiciones extremas de densidad, temperatura y presión muy similares a las que existían en el Universo temprano. Es de este concentrado plasmático que debió surgir todo lo que vemos a nuestro derredor. Esta es la linfa que dio origen al Universo, la esencia del Cosmos.

La perfección de un líquido

Los quarks son los ladrillos fundamentales del Universo. Se unen a través del gluon para formar a los protones y a los neutrones, que se juntan para constituir los núcleos de los átomos. Cuando a los núcleos se les unen electrones, se crean átomos de diferentes elementos químicos. Estos pueden conformar moléculas que percibimos en el mundo macroscópico.

En experimentos previos realizados en el acelerador *Relativistic Heavy Ion Collider* (RHIC por sus siglas en inglés), en Brookhaven, Estados Unidos, se había observado que al calentar la materia nuclear los quarks permanecían ligados formando un líquido. Se pensaba que este fluido desaparecería cuando el *Gran Colisionador de Hadrones* llevara a la materia a temperaturas mayores. Pero el experimento ALICE ha registrado temperaturas 40% mayores que las que se lograron con iones de oro en el laboratorio norteamericano, y el estado que se forma sigue siendo un líquido.

En 2012 el experimento ALICE logró una temperatura récord de 5.5 billones de grados centígrados, casi 350 mil veces mayor que la del centro del Sol

En 2012 el experimento ALICE logró una temperatura récord de 5.5 billones de grados centígrados, casi 350 mil veces mayor que la del centro del Sol y la más alta lograda por el hombre de manera controlada en el laboratorio.

Pero no se trata solo de una sopa caliente; el líquido creado en la colisión de iones de plomo es tan denso que una pequeña porción con un volumen del tamaño de la cabeza de un alfiler pesaría lo mismo que el acero de más de cien torres Eiffel juntas. Curiosamente, este pesado líquido tiene una

viscosidad extremadamente baja y los físicos se refieren a él como un líquido perfecto.

Los líquidos viscosos como la miel presentan una fricción interna fuerte. El vidrio, por ejemplo, tiene una viscosidad miles de millones y billones de veces más grande que la miel. En la dirección opuesta, hay líquidos que fluyen con gran facilidad. El agua es 10 mil veces menos viscosa que la miel, pero es un mucilago si lo comparamos con el helio superfluido que es utilizado en el *Gran Colisionador de Hadrones* para enfriar los magnetos.

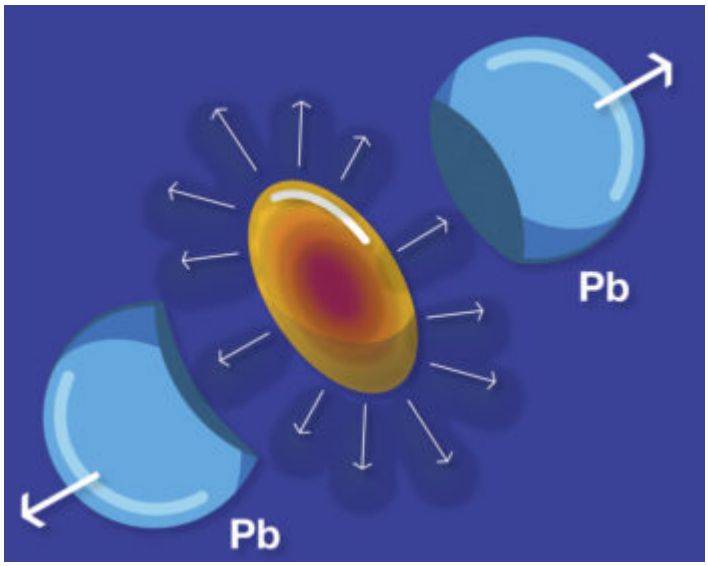
El helio superfluido se obtiene a los -271 grados centígrados. Cuando el helio es enfriado al grado en que se convierte en super fluido, corre tan fácilmente que repta por las paredes del recipiente que lo contiene desafiando la gravedad; se puede colar entre las más delgadas grietas de centésimas de micra de espesor.

La mecánica cuántica y la muy controversial *teoría de cuerdas* predicen un valor bajo para la razón de viscosidad a entropía de los líquidos perfectos. Sin embargo, el helio superfluido está muy por arriba de este límite.

La observación

Para estudiar la naturaleza del plasma de quarks y gluones es necesario tener observables. Un buen observable para inferir el estado del plasma es el transporte de la materia que lo constituye.

Cuando dos núcleos de plomo chocan en el centro del detector ALICE, casi siempre lo hacen de tal manera que los centros de ambos están ligeramente desplazados. La reacción de este tipo se llama *periférica* y la geometría almendrada de la reacción constituye una condición de inicio la cual se expandirá preferencialmente en la dirección donde la almendra es más delgada.



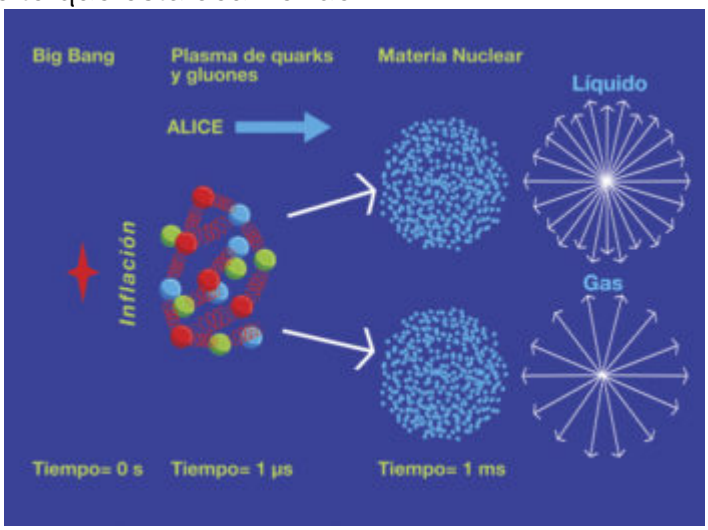
Mirando con cuidado la distribución y el movimiento de las partículas que se producen en la colisión, es posible inferir el estado de la materia que se formó en el centro del elipsoide. Esta distribución es diferente entre líquidos y gases.

A la distribución de las partículas en las colisiones periféricas se la llama *flujo* y a este se lo puede caracterizar con la medición concreta de la asimetría azimutal de la reacción.

Las mediciones de ALICE muestran que la interacción entre gluones y quarks no es tan débil como para que el centro de la región que participa en la colisión se expanda como un gas. El acoplamiento fuerte de la sustancia produce una correlación entre los productos finales que conservan una distribución elíptica.

A diferencia de lo que ocurriría en un gas, en el líquido perfecto el momento de las partículas depende mucho de la dirección de vuelo.

El producto inmediato de la reacción, al que llamamos *Plasma de Quarks y Gluones*, se comporta como una gota de líquido que puede ser muy bien descrito por las ecuaciones de fluidos. El flujo elíptico no es el único observable. Otras mediciones de ALICE pueden ser descritas con los modelos hidrodinámicos dando una perspectiva más global de lo que está ocurriendo.



Simulacro del Big Bang es una colisión de iones pesados. Una vez producido el plasma de Quarks y Gluones la evolución ocurre de maera "elíptica" lo que delata el origen líquido.

Además, fenómenos como el llamado *jet quenching*, o “extinción de jets”, apuntan también en la misma dirección. En condiciones normales, los chorros de partículas se presentan en pares y en direcciones contrarias por el hecho de que los quarks que los generan aparecen siempre con un anti quark con la misma cantidad de movimiento en el sentido opuesto. La extinción de jets es un fenómeno observado en la colisión de iones pesados en los que aparece solo un chorro de partículas en una dirección sin una contraparte en la dirección opuesta. La aparición de un plasma denso de quarks y gluones atenúa al quark que debe viajar una distancia mayor dentro del plasma antes de salir y fragmentarse. El fenómeno fue observado por varios experimentos.

Consecuencias de un universo líquido

Saber que el Universo en sus primeros instantes era de naturaleza líquida resulta importante para entender tanto las condiciones iniciales como las fluctuaciones cuánticas que dieron origen más tarde a la estructura universal y la estructura que determina su evolución. Sin embargo, la consecuencia más fascinante de lo observado en ALICE cuando la materia es llevada a condiciones extremas, es el hecho de que podría ser la primera muestra de que vivimos en un mundo muy diferente del que vemos a nuestro derredor.

La pequeña gota de líquido creado en el centro del detector ALICE nos conduce de manera natural a la **teoría de cuerdas** con sus múltiples dimensiones y los agujeros negros que incorpora en sus descripciones del Universo. Más aún: nos lleva ante la posibilidad insospechada de que podríamos comenzar a percibir los efectos de esta teoría en el laboratorio.

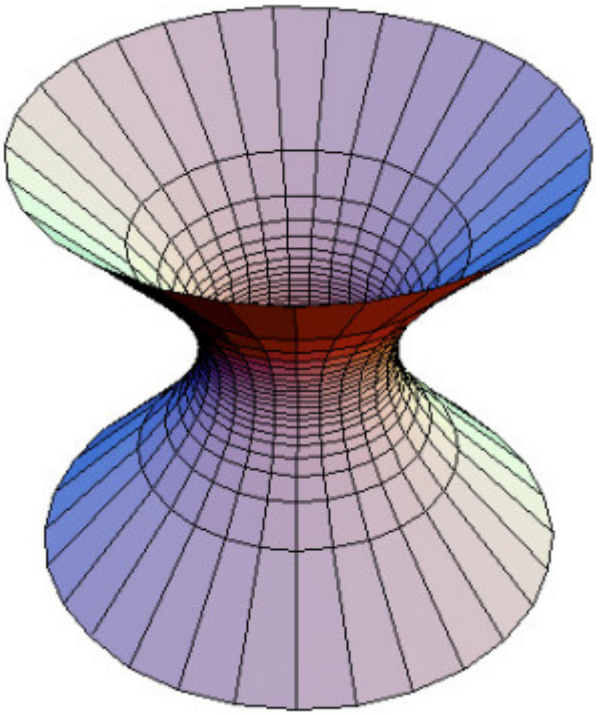
Para la *teoría de cuerdas*, todas las partículas que hoy vemos como elementales no son sino vibraciones de una pequeña cuerda. Si los protones son del tamaño de un fermi (10^{-15} metros), un quark es menor a 10^{-20} metros y la cuerda que los forma del orden de 10^{-35} metros; las cuerdas son inalcanzables. En este aspecto inaprensible de la *teoría de cuerdas* están las trincheras de sus detractores. Las cuerdas son tan pequeñas que el átomo es enorme comparado con ellas. El átomo es tan grande ante la cuerda como el Universo entero es ante los átomos. Según la teoría, estos pequeños cordeles están vibrando y los diferentes modos de vibración corresponden a los distintos tipos de partículas.

Otro aspecto intrigante de la *teoría de cuerdas* es que predice la existencia de más dimensiones. La posibilidad de construir teorías cuánticas consistentes hace necesaria la introducción de un espacio-tiempo con más dimensiones de las que aparentemente habitamos. El número de dimensiones preciso que necesita la teoría está dado por la necesidad de cancelar el rompimiento anómalo de una simetría importante conocida como *simetría conforme*. Para la *teoría de cuerdas bosónicas* –primera versión de la teoría- las dimensiones espaciales deben ser 26, mientras que para las *teorías de super cuerdas* –versión más reciente- es de 10 dimensiones espaciales. Aunque no deja de ser una conspiración poco aceptable para los críticos de la *teoría de cuerdas*, el embrollo se puede resolver enredando las dimensiones en escalas muy pequeñas para explicar por que estas dimensiones no aparecen en nuestras vidas.

No es la primera vez que los físicos recurren a este tipo de artificios. Incluso los más conservadores de nuestros colegas teóricos recuerdan que ya en 1919 un matemático alemán llamado Theodor Kaluza advirtió que es posible unificar al electromagnetismo con la gravitación en cinco dimensiones. Pocos años después, en 1926, Oskar Klein explicó por qué no observamos la quinta dimensión en nuestro diario vivir.

En aquel entonces las ideas de Kaluza y Klein resultaban tan sugerentes, que mucha gente se puso

a trabajar en ellas para ver si revisadas en detalle describirían nuestro mundo. Albert Einstein, Kaluza, Klein y muchos otros trabajaron en esto. Después de varios años de investigación, la gente se decepcionó debido a que en esta descripción no se pueden entender muchos otros aspectos de la naturaleza.



Espacio Anti-de Sitter en dos dimensiones. El referido en el texto es un espacio Anti-de Sitter en cuatro dimensiones espaciales y una temporal.

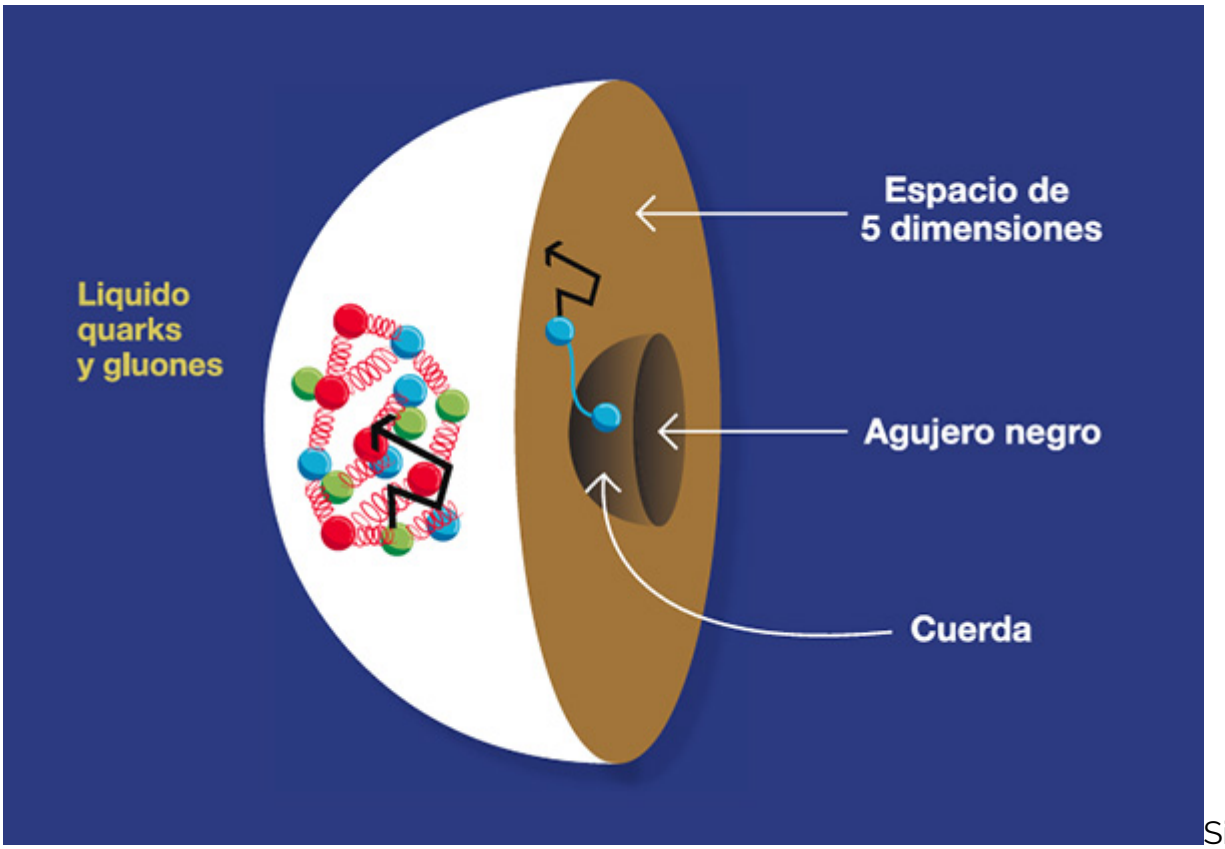
La *teoría de cuerdas* revive aquellas primeras ideas por una necesidad de consistencia, lo que la hace aún más interesante. En 1997 un físico teórico argentino llamado Juan Maldacena inició una revolución en la t*eoría de cuerdas* al proponer una relación entre teorías que aparentemente no tenían ningún vínculo. Una de las dos teorías es parecida a nuestra muy familiar Cromodinámica Cuántica que usamos, en las cuatro dimensiones de nuestro planeta, para describir el mundo de los quarks y los gluones que forman precisamente al plasma del que hemos venido hablando. La otra es una *teoría de cuerdas* que habita un espacio de cinco dimensiones y que describe la gravedad. Este espacio es llamado *Anti-de Sitter* en memoria de un matemático holandés llamado Willem de Sitter, quien trabajó con Albert Einstein en la posible existencia de objetos que no emitirían luz, actualmente conocidos como agujeros negros.

De Sitter también propuso un universo esférico sin materia que es conocido como *Universo de-Sitter.* Ahora decimos anti-de Sitter para referirnos a un universo con la misma curvatura que el esférico de Sitter, pero negativa. El espacio *anti-de Sitter* es pues un Universo abierto con geometría hiperbólica.

De manera asombrosa, cuando las partículas de nuestro mundo en cuatro dimensiones interaccionan muy fuertemente entre sí, como lo hacen los quarks y gluones, el equivalente de la *teoría de cuerdas* multidimensional se simplifica y se puede resolver de manera exacta.

Lo que ocurre en este espacio de cinco dimensiones está relacionado con la fenomenología del plasma. Así, por ejemplo, el movimiento del extremo de una cuerda en el interior de este espacio corresponde a la propagación de un quark por el plasma. La propagación del quark puede ser medida y la medición puede ser entonces comparada con el movimiento de la cuerda en el espacio *anti-de Sitter*.

El equilibrio térmico del plasma está conectado con la aparición de un agujero negro en este espacio de curvatura negativa. El jet quenching o "extinción de jets" que se ha observado en los experimentos ATLAS y CMS -eventos con solo un chorro de partículas- corresponde a la caída de la cuerda en este agujero negro.



Si esta conjetura es real, entonces nuestro universo existe en dos formas equivalentes. Si la dualidad se verifica implicaría que nuestras experiencias aquí están estrechamente ligadas con una realidad distante de un mundo paralelo de más dimensiones. Los fenómenos de estos universos paralelos estarían tan íntimamente ligados como lo estamos nosotros a nuestra propia sombra.

Cuando los iones de plomo se encuentran aparece un agujero negro y por un instante podemos ver un Universo paralelo descifrado en el líquido que se genera. Podemos percibir en el movimiento de cada quark de la mezcla primordial una quinta dimensión. Podemos ver a la gravedad en un mundo cuántico como una ilusión impresa en el holograma que es el plasma que dio origen al universo.
El prístino líquido observado en el experimento ALICE podría ser la primera mirada a un mundo nuevo. C^2