

Un balance de fin de siglo:

La Física contemporánea y su visión del mundo

por Guillermo Mattei*

Jueves 29 de abril en el Departamento de Física de la FCEyN. Como todos los jueves, tiene lugar el tradicional coloquio semanal. Sin embargo, esta vez el escenario es diferente: en el Pabellón I, sólo el Aula Magna está en condiciones de recibir a tanta audiencia. Faltan algunos minutos para el comienzo, pero ya no quedan demasiadas butacas libres. Alumnos y docentes de la facultad, con su toque de informalidad fácilmente identificable, contrastan con la gran cantidad de público externo a quien las notas y los anuncios aparecidos en los principales diarios capitalinos de los últimos días ha convocado. Varias cámaras profesionales de videofilmación están estratégicamente ubicadas y muchos periodistas con equipos portátiles deambulan por las escaleras. Un detalle más atípico aún es la música funcional que surge del moderno equipo de sonido que ameniza la espera.

La razón de tanto despliegue organizativo y de la inusual asistencia del heterogéneo público al coloquio semanal del Departamento de Física la explica, por sí mismo, uno de los cinco carteles indicadores de los nombres de los panelistas: "Doctor Juan Martín Maldacena".

Es que Juan Martín Maldacena —treinta años, ex-estudiante de Física de la FCEyN y del Instituto Balseiro, doctor de Princeton y profesor estable de Harvard (ver el número anterior de EXACTAMENTE)— va en camino de convertirse en un fenómeno mediático. Desde la nota de setiembre pasado en el *New York Times*, que describiera el impacto que su trabajo en física teórica logró en la comunidad científica internacional, hasta el acoso por parte del público de la reciente Feria del Libro por conseguir un

La naturaleza ama las simetrías

Los ladrillos esenciales de la materia que uno encuentra al destapar la muñeca rusa del átomo son especialmente interesantes. El electrón, con sus flamantes cien años ha tenido un papel protagónico en la revolución tecnológica de la última mitad del siglo; los nucleones —el protón y el neutrón— permitieron a los científicos entender las denominadas fuerzas nucleares débiles y finalmente las antipartículas, tales como el *positrón*, fueron predichas, primero, por la teoría resultante de mezclar la Mecánica Cuántica con la Relatividad Especial y luego capturadas en los aceleradores de partículas.

Sin embargo, destapar la muñeca de los nucleones no es menos sorprendente. Hacen su aparición los caprichosos quarks que se resisten a mostrarse de a uno ("están confinados", dicen los especialistas) y además tienen una propiedad análoga a la carga eléctrica pero con la opción de tomar no dos sino tres valores posibles llamados (figurativamente hablando) *colores*.

Pese a esta descripción tan precisa, García Canal advirtió que el conocimiento del todo no necesariamente debe ser la suma de las partes individuales, sino que también hay que tener en cuenta la manera de relacionarse que las unas tienen con las otras o, en otras palabras, sus interacciones. Existen sólo cuatro formas posibles de interacción: la electromagnética, la nuclear débil, la nuclear fuerte y la gravitatoria. La forma de describir estas interacciones fundamentales es por medio de otras partículas llamadas mediadoras. Por ejemplo, los *gluones* son los mediadores de la interacción entre los quarks.

Para finalizar, el panelista aclaró que, además de las partículas y las interacciones elementales, falta considerar el ingrediente más importante: las simetrías. El marco en el que se desenvuelve esta descripción de la naturaleza cuenta con estrictas reglas que persiguen, casi en forma estética, preservar distintos tipos de situaciones simplificadas o simetrías, entre las cuales se destaca la que conduce a una imagen unificada de todas las interacciones fundamentales ♦

autógrafo suyo, el joven investigador ha pasado todo este último tiempo recorriendo el mundo para explicar la llamada *conjetura de Maldacena*.

Debate al filo del milenio

A manera de balance de fin de siglo, el Departamento de Física de la FCEyN decidió reemplazar el coloquio del Jueves 29 de abril por una mesa redonda en la cual debatir los aportes de la Física del siglo XX al patrimonio cultural, científico y tecnológico de la sociedad contemporánea.

El panel para semejante debate se constitu-

yó, con el mencionado Maldacena y con los doctores en física Diego Harari, cosmólogo y profesor del Departamento de Física de la FCEyN; Carlos García Canal, especialista en el área de las partículas elementales y profesor del Departamento de Física de la Universidad Nacional de La Plata y Carlos Balseiro, investigador en física del estado sólido del Centro Atómico Bariloche (CNEA) y profesor del Instituto Balseiro (Universidad Nacional de Cuyo). El doctor Juan Pablo Paz, director del Departamento de Física de la FCEyN, ofició de moderador.

La Fundación Macri se encargó de invitar a

Big bang, radiación de fondo y enigmas cosmológicos

Analizando la luz que llega desde distintos objetos del cosmos, los científicos han logrado confirmar observacionalmente el hecho de que cada galaxia del universo se está separando de las otras. Esto indica que — quince mil millones de años atrás— toda la materia, el espacio y el tiempo debían conformar un universo de un tamaño muchísimo más reducido que el actual pero con un ritmo de expansión más violento, lo cual se conoce como *big bang*. En tales condiciones, durante los tres primeros minutos, el universo se reducía a una sopa de partículas elementales que, a medida que progresaba la expansión dieron lugar a la formación de los nucleones, luego de los átomos, de las moléculas, de los gases interestelares, de las galaxias, de los planetas orbitando las estrellas y de los seres humanos que se preguntan por todas estas cuestiones.

Apenas unos trescientos mil años después del big bang, la temperatura había descendido lo suficiente como para permitir que las partículas mediadoras de la interacción electromagnética, es decir los fotones (la luz y otros parientes), dejaran de interactuar con el resto de la materia. En palabras de cosmólogos: la materia se hizo *transparente* permitiendo así que esa lluvia radiante homogénea proveniente de todas partes nos llegue hoy día desde aquel lejano instante, constituyendo un verdadero fósil cósmico que permite estudiar los orígenes del universo.

Por último, hace tan solo siete años, sofisticados instrumentales a bordo del satélite COBE detectaron pequeñísimas fluctuaciones en la

temperatura asociada a ese fondo de radiación que, hasta dicho experimento, parecía ser desconcertantemente uniforme. La importancia de este descubrimiento reside en el hecho de que tales fluctuaciones serían el eslabón perdido que permitiría a los científicos explicar nada menos que la formación de estructuras galácticas a gran escala.

Pero no todo es gloria. Según Harari, el modelo cosmológico dominante deberá pasar más pruebas para confirmar su validez y, para esto, los experimentos de la próxima década serán decisivos. Además, existen algunas explicaciones adeudadas que seguramente se saldrán en el próximo siglo. Por un lado, subsiste el enigma de la llamada materia oscura; esto es, la gran discrepancia entre la cantidad de materia que se calcula a partir de los objetos estelares luminosos observados astronómicamente y la que los físicos calculan a partir del ritmo de expansión del universo. Por otro lado, todavía no se sabe claramente de donde provienen unos sorprendentes destellos de radiación electromagnética llamada *gamma* y, finalmente, por qué algunos rayos cósmicos tienen energías superiores a las previstas por las teorías. En particular, existe gran entusiasmo por parte de los físicos denominados *astroparticulistas* por captar los mencionados rayos cósmicos por medio de un sistema de detectores instalados en Mendoza en el marco del Proyecto Pierre Auger de colaboración internacional de dieciocho países ♦

Maldacena, de la difusión y de la logística del evento en el marco de su programa de colaboración con las universidades nacionales denominado *Intercambios a distancia*.

Parfraseando a Einstein, Paz abrió el debate presentando a "cuatro aventureros del pensamiento", para luego agregar que "Maldacena representa la mejor tradición de la física argentina en la línea de personalidades tales como Juan José Giambiagi y Miguel Ángel Virasoro".

Las exposiciones lograron transportar a la audiencia en un viaje a lo largo de todo el espectro de la realidad: desde los tamaños espaciotemporales inimaginablemente chicos del *big bang* y de los interiores de los agujeros negros, pasando por los constituyentes fundamentales de todas las cosas, por los materiales de la vida diaria que expresan las propiedades colectivas de las partículas elementales, para finalmente llegar al universo como un todo.

Los ladrillos fundamentales de la materia

"El concepto de constituyente elemental de la materia viene evolucionado desde la época de los griegos", dijo García Canal, en la aper-

tura del debate, para luego agregar que "la imagen actual que tenemos de la materia es la de esas muñecas rusas que se van incluyendo unas dentro de las otras". Destapamos la primera y encontramos a las moléculas, en la segunda: a los átomos, y en la tercera aparecen los electrones, las partículas constituyentes del núcleo atómico o *nucleones* y también las antipartículas.

Pero cuando uno cree que destapó la última muñeca, todavía hay una más conteniendo a los exóticos componentes de los nucleones o *quarks* (ver recuadro *La naturaleza ama...*). "Si bien, en este punto no hay razones experimentales ni para asegurar que esta sea la última muñeca ni para que siga habiendo más —explicó García Canal— el estado actual de los conocimientos indica que electrones y quarks son las *verdaderas* partículas elementales".



Como si fuéramos pocos, las cuasipartículas

Balseiro invitó a preguntarse: "¿qué se ve dentro de un metal a baja temperatura?". Pese a la complejidad del sistema y al gran número de interacciones presentes entre los constituyentes básicos del metal, éste se comporta simplemente *como si fuera* (conceptualmente) una caja con dos gases diferentes: uno constituido por algo parecido a electrones y otro por algo parecido a fotones (las partículas mediadoras de la fuerza electromagnética). Estos nuevos personajes, ficticios, muy diversos, con diferentes comportamientos según la ocasión y que tienen innegable relación con las partículas elementales, en realidad, son las manifestaciones típicas de la respuesta colectiva del material y reciben el nombre genérico de *cuasipartículas*. En la analogía sociológica, una cuasipartícula sería el barrabrava al que nunca podríamos ver como tal si se encuentra aislado del grupo.

La Materia Condensada sería algo así como un taller de diseño y construcción de cuasipartículas que permite a los científicos manipular experimentos —tales como los de los materiales superconductores y los líquidos superfluidos— y comprender nuevas simetrías, muchas veces sustancialmente diferentes de las que respetan electrones y fotones en su calidad de partículas elementales ♦

Un salto al universo

A su turno en el uso de la palabra, el cosmólogo Harari reflexionó que "recién en este siglo, las técnicas observacionales le permitieron a la Cosmología separarse de sus parientes ancestrales menos agraciados, tales como la Astrología, y pasar a formar parte de la Física en el sentido más completo". De esa manera la Cosmología obtuvo en este siglo descubrimientos trascendentes que, a juicio del especialista, fueron: la expansión del universo (1929), la llamada radiación cósmica de fondo (1964) y la existencia de estructura en esa radiación (1992) (ver recuadro *Big bang, radiación de fondo y enigmas cosmológicos*).

El siglo XIX había finalizado con dos grandes imágenes conceptuales de la realidad: el átomo y la Vía Láctea, mientras que "comenzamos el siglo XXI pudiendo decir que el sistema más pequeño y el más grande que conocemos son las partículas elementales, por un extremo, y el mapa térmico del universo, por el otro", ilustró Harari — más que explícitamente— refiriéndose a los logros cosmológicos obtenidos en estos últimos cien años.

La sociología de las partículas elementales

Por su parte, Carlos Balseiro explicó que los problemas de "la vida cotidiana" o, mejor dicho de "nuestras escalas humanas de bajas energías", necesariamente deben entenderse a partir del conocimiento de niveles de realidad más básicos, tal como lo es el de las partículas elementales, pero que esto no es suficiente para garantizar una comprensión completa. Balseiro ejemplificó recurriendo a una analogía sociológica: "un reconocidamente atildado oficinista puede cambiar su comportamiento en la tribuna de una cancha de fútbol y ser indistinguible dentro de un grupo de barrabravas". Los comportamientos globales de sistemas de muchos componentes poco tienen que ver con el individual de cada unos de estos, por mejor que se los conozca.

De esto se trata la parte de la Física llamada Materia Condensada. "Una sola ecuación, simple y elegante, es la que esconde toda la información contenida en una barra de cobre, de grafito, en un metal, en un polímero, en la hemoglobina, en un dinosaurio, en la Pentium III y en la que la suceda", explicó Balseiro. Sin embargo, la riqueza de propiedades emergentes de estos grandes conglomerados de constituyentes básicos hacen que la resolución de la ecuación no sea una tarea sencilla.

El avance en este campo se produce entonces mediante el camino que señalan los experimentos. La evolución fenomenal en las técnicas y la sofisticación del instrumental de medición posibilitan encontrar nuevos e impensados fenómenos que disparan una catarata de trabajos teóricos para tratar de explicarlos pero, ahora, con gran simplificación del formalismo.

Con esta dinámica, la Materia Condensada ha logrado tener fructíferas interrelaciones con la teoría de las partículas elementales y con la cosmología contribuyendo así a enriquecer la pintura de la realidad de una manera asombrosa.

Más allá de las partículas elementales

Maldacena, por su parte, comenzó el último tramo del debate ilustrando todas las áreas de la Física y los tamaños de los sistemas bajo estudio correspondientes a cada una de ellas. Así, empezando por la cosmología, que se la tiene que ver nada menos que con el universo observable como un todo, se llega al tema en la que Maldacena es especialista: llamada Gravedad Cuántica, un área de la física donde las distancias y los tiempos son inimaginablemente chicos y corresponden a la denominada *escala de Planck* (longitudes de un centímetro dividido por un uno seguido de treinta y tres ceros y tiempos de un segundo dividido por un uno seguido de cuarenta y tres ceros). Pasando de un extremo al otro, los saltos teóricos son enormes y, aproximadamente a la altura de las partículas elementales, el hombre pierde la capacidad de manipu-

Inmobiliaria Maldacena: excelente PH en espaciotiempo hiperbólico

La Relatividad General indica que la materia del universo es la responsable de distorsionar el tejido del espacio y del tiempo o, en palabras de Maldacena, "la masa curva el espaciotiempo". Una forma de visualizar esto consiste en imaginarse una sábana extendida sobre un colchón y una bola de bowling apoyada sobre ellos. A una pulga ciega y renega condenada a pasar su vida en el mundo bidimensional de la sábana (espaciotiempo tridimensional para ella) le parecerá que es plano mientras inadvertidamente esté lejos de la bola pero, al acercarse a ésta, sentirá la misma sensación que Colón: el mundo tiene curvatura (por supuesto que la cosa es más difícil de imaginar en nuestro hábitat de tres dimensiones espaciales y una temporal). Ahora bien, esta sábana —aún en ausencia de la bola— no sólo puede transmitir ondulaciones de una punta a otra de la cama (en el universo real se las denomina ondas gravitatorias) sino que además —por dictados de las leyes de la Mecánica Cuántica— tiene un pequeñísimo movimiento propio ("el vacío puede moverse", sentencia Maldacena). Otra predicción de la Relatividad General indica que ciertas estrellas, al agotar el combustible nuclear que les permite irradiar luz, no pueden soportar su propio peso y colapsan hasta concentrarse en un solo punto o singularidad. Es decir, pasan a convertirse en un agujero negro.

Saltando de la Relatividad a la Mecánica Cuántica —y tal como García Canal lo explicara a su turno— los especialistas admi-

lar experimentos controlados. De modo que, de allí en adelante, desaparece uno de los pilares fundamentales de la Física: el juego teoría-experimento. Por estas razones Maldacena explicó que su área de trabajo es "algo especulativa" y que está orientada a corregir la inconsistencia asociada con la dificultad de describir, mediante una sola teoría, a las tres fuerzas descritas por la Mecánica Cuántica -la electromagnética y las dos nucleares- y la de la gravedad, que es patrimonio conceptual de la Teoría de la Relatividad General. En palabras de Maldacena suena trivial pero, esa "inconsistencia" en ver-

ten que tal vez no haya objetos más básicos que los quarks pero seguro que al llegar a los tamaños típicos del "movimiento propio de la sábana" (la escala de Planck) algo nuevo debería aparecer. Pero toda la batería de las teorías cuánticas, que permiten describir las partículas elementales, sus interacciones y simetrías, no es suficiente para explicar lo sucedido en escenarios donde la fuerza de gravedad es la protagonista principal (por ejemplo, justo en el momento inicial del big bang o en el centro de un agujero negro). Por estas razones los expertos son conscientes de que aún deben establecer cuál es la relación entre las partículas elementales, "el movimiento propio de la sábana" y la gravedad. En la jerga: el matrimonio entre la teorías de la Relatividad General y la Mecánica Cuántica es conflictivo. Para resolver el entuerto, los teóricos siguieron la misma estrategia con la fuerza gravitatoria, que la que exitosamente les había permitido describir a las otras tres fuerzas de la naturaleza pero, por cuestiones técnicas (algo así como que los físicos estaban obligados a dividir por cero y automáticamente condenados al infierno matemático), el problema conyugal no tuvo final feliz. Inútil consolarse con que, después de todo, sólo era un problema de teorías pues el big bang y los agujeros negros están allí para recordarnos el fracaso.

Así surgieron las teorías de cuerdas (ver número 1 y 13 de EXACTAMENTE) como una propuesta para salvar aquellas inconsistencias. En esta descripción, los objetos fundamentales de la naturaleza ya no serían "puntuales" sino diminutas ras-

gaduras unidimensionales del espacio llamadas *cuerdas*. Las maneras o *modos* en los que podrían vibrar las cuerdas (en las homónimas de la guitarra, corresponderían a los diferentes tonos que el músico puede obtener) serían, de algún modo, todas las partículas elementales, las conocidas y por conocer.

Estas teorías de cuerdas tienen la capacidad de predecir cuál es la dimensión del espaciotiempo: ¡nada menos que diez! Tres dimensiones son, en algún sentido, *grandes* (las que percibimos los seres humanos), seis son *chicas* o se dice que están *enrolladas* (la pulga que vive en la sábana, por su renguera, no puede percibir la tercera dimensión espacial) y el tiempo.

De todas maneras, la tarea de compatibilizar la teoría de cuerdas con aquellas que los físicos construyeron estudiando las partículas elementales en los aceleradores no es para nada sencilla. Basta recordar que la máxima energía que podrá manipular el hombre, cuando se ponga en operación en Europa el más grande (y el último) acelerador de partículas, estará lejos de la necesaria para recrear las condiciones en las que las cuatro fuerzas de la naturaleza serían una sola superfuerza.

Maldacena aseguró que, pese a los inconvenientes, "algo que sí es fácil de entender es cómo se comportan las cuerdas en un espacio tiempo particular denominado *hiperbólico*". Volviendo a la pulga renga y ciega, ésta podría desarrollar una vida próspera y normal en varios espaciotiempos bidimensionales diferentes: en la sábana plana, en la sábana cerca de la bola de bowling, en la superficie de

una pelota, en la superficie de un cilindro o en la montura de un caballo. Una cosa que la pulga deberá tener en cuenta es que sus hijos aprenderán geometrías diferentes según la escuela de cada uno de esos lugares donde decida vivir. En la sábana plana, los ángulos interiores de un triángulo sumarán ciento ochenta grados pero en la pelota sumarán más ¡Si lo sabrán los pilotos de avión que triangulan la superficie de la Tierra! y en la montura menos. En palabras más técnicas, la pulga tendría la opción de elegir espaciotiempos de *métricas* diferentes.

Maldacena propone mudarnos imaginariamente (como la pulga) al universo de métrica hiperbólica (la montura para la pulga). Allí no hay expansión, existe borde, los haces luminosos de las linternas que se encendieran irían hasta ese borde y volverían (pero las otras partículas no), tiene una curvatura parecida a la de nuestro universo actual (con lo cual no sentiríamos mayores diferencias mientras estuviésemos lejos del borde) y allí los físicos podrán desarrollar, vía descripción de las cuerdas, lo que denominan "una teoría cuántica de la gravedad en el borde (con una dimensión menos)". De modo que, al menos en este tipo de universo, Maldacena sí pudo recomponer la relación conyugal entre la gravedad einsteniana y la Mecánica Cuántica, obteniendo una teoría muy parecida a la que describe los quarks. En este caso particular, la conjetura de Maldacena enseña que la relación entre quarks, gluones, cuerdas y gravedad puede entenderse de manera parecida a la que las cuasipartículas de la Materia Condensada con los conjuntos de constituyentes elementales ♦



dad ha constituido una especie de santo grial de la Física buscado ansiosamente desde hace varias décadas.

Finalizando el debate, Maldacena explicó su resonante contribución personal (ver recuadro *Inmobiliaria Maldacena...*) a esta asignatura pendiente del conocimiento que, según opiniones autorizadas, seguramente ya está representando un gran paso hacia el próximo siglo en la comprensión de tan intrincada zona de la realidad.

Todo concluye al fin

Después de una decena de preguntas, de todo tipo, formuladas a los panelistas por parte de la audiencia, Paz dio por concluida la mesa de debate y la música funcional volvió a sonar. No tan inusual como la música en un coloquio del Departamento de Física fue la sensación general de haber asistido a otro hecho cultural trascendente en la FCEyN ✕

**Docente Auxiliar del Departamento de Física Juan José Giambiagi.*