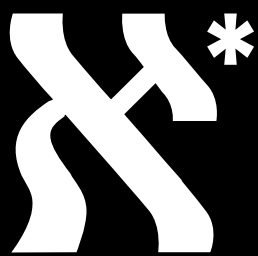


\* **álef**: primera letra del alfabeto hebreo. En matemática se usa para representar los distintos órdenes de infinitos.



la diaria

MONTEVIDEO URUGUAY · VIERNES 25 DE MARZO DE 2011 · Nº 1



## Deportes extremos de la mente

Una interpretación completamente original de la mecánica cuántica ha sido presentada en varios trabajos muy recientes del físico uruguayo Rodolfo Gambini, en colaboración con su colega argentino Jorge Pullin. Su elemento clave es una consideración distinta del tiempo.



El conocimiento científico y sus eventuales aplicaciones tecnológicas tienen, desde tiempos remotos, un enorme impacto social, económico, político y cultural. Sin embargo, la propia naturaleza de los saberes especializados hace que sus contenidos resulten lejanos -a veces, incluso, arcanos o esotéricos- para la gente común; gente que, sin embargo, experimenta en su vida cotidiana las profundas transformaciones que el entramado de la ciencia, la tecnología y la innovación opera sobre el mundo material bruto, el de las relaciones humanas y nuestra autopercepción.

Una de las características que definen a una democracia plenamente desarrollada -o, al menos, a un ideal de democracia plenamente desarrollada- es la idea de que los individuos (comportándose como ciudadanos) deben tener la posibilidad de tomar parte, de un modo informado y responsable, en las decisiones que afectan a su propia vida y bienestar, así como a la vida y bienestar de los demás. Es justamente por el impacto recién descrito del entramado de la ciencia y sus derivados sobre la vida de las personas que la divulgación y la popularización de la ciencia tienen una estrecha relación con la profundización de la democracia.

Los medios de comunicación, y en especial los escritos, han sido y son todavía un instrumento privilegiado para esa profundización. Sin embargo, los temas de la ciencia no suelen ocupar mucho espacio ni recibir mucha atención en sus agendas. Cuando alguna noticia científica se cuela en ellas, su tratamiento no suele penetrar más allá del nivel superficial. Se registra la existencia de un determinado descubrimiento, de una aplicación tecnológica o de una innovación concreta, sin profundizar en el contexto científico de esos logros, en su importancia económica, política y social o en su significado cultural.

Con esta nueva propuesta, cuya primera edición tienen en sus manos, *la diaria* quiere contribuir, en la medida de sus posibilidades, a llenar ese vacío.\* En cada entrega, este suplemento buscará cubrir un abanico amplio de temas y de enfoques que traten asuntos provenientes de las ciencias básicas y aplicadas (tanto naturales y exactas como sociales y humanas), así como cuestiones relacionadas con la innovación y el desarrollo productivo. Se hará hincapié en las dimensiones científicas y técnicas, pero también en las sociales, políticas, económicas y culturales más amplias de los asuntos abordados. La idea es asegurar tanto la diversidad temática y de enfoques como cierta fluidez y atractivo en la presentación de la propuesta. Queremos adoptar como uno de sus signos de identidad el asterisco que conduce a la explicación de un concepto, como en las notas al pie. A menudo trataremos cuestiones áridas y difíciles: intentaremos hacerlo en forma comprensible pero sin pactar con la pereza. Profundizar la democracia da trabajo, y los invitamos a compartir el esfuerzo.

\* ESTA PUBLICACIÓN ES POSIBLE, EN GRAN MEDIDA, POR EL APOYO ECONÓMICO QUE RECIBE DE LA AGENCIA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN (ANII), A TRAVÉS DE SU PROGRAMA DE POPULARIZACIÓN Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN.

# Mi semilla

Polémica sobre rendimiento de variedades de semillas forrajeras de uso público y patentadas

Un ex investigador del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) asegura que las variedades de semillas forrajeras de uso público tienen mejor rendimiento que las protegidas (que pagan *royalties*), pero que las empresas dueñas de las patentes engañan para imponer sus productos. Además, se critica la política de liberación de cultivos\* del instituto a favor de una multinacional, y muchos dicen que no quieren hablar por miedo a "represalias". Desde el INIA se asegura que los rendimientos "dependen de la especie y el estado de desarrollo de los nuevos cultivos", y se defiende que la política de liberación más usada sean los "llamados públicos".

LA DIRECTORA DEL PROGRAMA Nacional de Pasturas y Forrajes del INIA, Mónica Rebuffo, explicó que las semillas forrajeras "son tipos o variedades de una planta destinada a la alimentación de ganado y que han sido creadas o seleccionadas por el hombre por alguna característica -por ejemplo, rendimiento o calidad de forraje, resistencia a enfermedades-". Por otra parte, aseguró que el proceso de "multiplicación de los cultivos" se tiene que hacer "correctamente para que éstos mantengan las características deseables".

La directora del INIA comentó que "es más común que el público reconozca la existencia de cultivos en especies ornamentales, como las rosas o camelias, donde las diferencias de color o forma de la flor son evidentes", mientras que "los cultivos en una especie forrajera se diferencian generalmente por su rendimiento de forraje, que no se aprecia visualmente". Por ello, sostuvo que "es fundamental que el productor conozca el origen de la semilla, lo que le asegura el beneficio esperado de cada cultivar".

Haciendo un poco de historia, recordó que "cuando el doctor Alberto Boerger fundó La Estanzuela, en 1914, tuvo la visión de una organización dedicada a desarrollar cultivos adaptados a Uruguay y proveer semillas de alta calidad a los productores". Y agregó que "97 años después el INIA sigue con similares objetivos. Las forrajeras fueron exploradas tempranamente, como en el caso de la avena forrajera 'Estanzuela 1095a' (E1095) que fue liberada en la década del 30 y los productores plantan aún hoy", señaló.

Rebuffo enfatizó que "uno de los pilares exitosos de La Estanzuela para abastecer semillas con alta calidad genética es el mantenimiento de cada cultivar, tanto de uso público como protegido, una política institucional sostenida por décadas".

Más allá de esta contextualización, la investigación de cultivos y las distintas variedades de semillas forrajeras tienen de fondo una gran polémica en torno a los rendimientos, según se trate de variedades de uso público o de las que pagan patente, y en el centro de la polémica está el papel del INIA.

## Para todos los gustos

En una nota publicada en febrero por el diario *La República* se informaba sobre una disertación realizada en la Sociedad de Fomento Rural Ortiz, de Minas, por el ingeniero Francisco Formoso, que fue investigador del INIA desde 1973. En esa ocasión, el experto disertó sobre las mejores semillas forrajeras para el otoño, y aseguró que las viejas variedades del INIA, de uso público (lo que quiere decir que el productor no necesita pagar *royalties*, ya que no tienen patente), son las que

producen más en el país y las que están más adaptadas, pero al mismo tiempo las que las empresas importadoras tratan de desprestigiar, con estrategias de marketing, declaraciones y charlas de técnicos.

Con base en datos del INIA que analizan el comportamiento de las principales forrajeras que se venden en Uruguay, Formoso detalló que en el caso de la Avena E1095, desde 1983 a 2008 y luego de que fueron evaluados 78 cultivos, no hubo ninguno que superara en dos años la producción en otoño y en invierno de las variedades de uso público, que son las más baratas y no requieren pago de una patente al titular. Sin embargo, sostuvo que hay confusión porque "los productores son la carne de cañón de las empresas semilleras, que dicen que las variedades nuevas son mejores que las viejas".

Según Formoso, algunas de las nuevas pueden ser mejores "un año, pero las viejas variedades están adaptadas desde hace décadas en el país, se van seleccionando en el propio ambiente y es muy difícil superarlas".

El experto también se refirió al tema de las avenas negras, introducidas al país hace unos cinco años y de las que se "hablan maravillas". Argumentó que no es así, sino que tienen una "gran precocidad y en los dos primeros pastoreos superan a la E1095. Cuando se plantan temprano, en otoño maduran y por eso producen más, pero no rebrotan y en invierno los rendimientos son muy bajos, y en términos de producción de pasturas hay que priorizar

la producción de invierno". "Cuando se junta la producción de otoño y la de invierno, las avenas públicas son superiores", afirmó.

"Yo escucho charlas que dan los técnicos de las empresas semilleras y dicen loas de las avenas negras, y en realidad los están engañando: en invierno hay avenas negras que producen 30% y hasta 60% menos que las E1095", añadió Formoso, según el matutino.

Por otra parte, analizó la evolución en lo referido al raigrás (un tipo de pasto perenne), y denunció que hay empresas de gran renombre en el país que embolsan y venden como raigrás 284 INIA lotes que no son de la variedad pública, ya que luego de sembrados presentan enfermedades que no tiene el 284.

También en esta especie, de 53 variedades evaluadas, hay muchas que superan a la de uso público en la producción de otoño, pero en invierno no le ganan, afirmó.

Formoso consideró un gran error la siembra de leguminosas con raigrás de ciclo largo, alegando que, si bien tienen una gran producción en la primavera, en el segundo año la pradera puede producir hasta 80% menos de lo esperado, si el verano fue seco.

Aseguró que "a los lecheros les dan mucha manija para sembrar raigrás de ciclo largo y leguminosas, pues la empresa que les vende insumos tiene raigrás de ciclo largo".

El ingeniero comentó que los productores no se detienen a analizar los datos de rendimientos, y puso como ejemplo que una variedad de pasto perenne como la festuca Quantum supera algunos años a la de uso público, pero luego esa superioridad se pierde. Los resultados de la festuca Tacuabé, de uso público, superan a los de la Quantum, propiedad de la empresa neozelandesa PGG Wrightson, afirmó.

En materia de tréboles blancos, según Formoso, luego de evaluados 78 cultivos se concluye que hay variedades nuevas del INIA que son superadas claramente por la vieja variedad del instituto; mientras que entre los tréboles rojos la variedad pública Estanzuela 116 no ha sido superada, aunque las empresas que importan otra dicen que es la mejor, lo que "es una mentira mayor".

## Armando lío

Al ser contactado por *la diaria*, Formoso declinó hacer comentarios, afirmando que la nota publicada por *La República* levantó mucha polémica y que prefiere mantenerse al margen.

También pidieron mantenerse en el anonimato otros informantes consultados, por temor a "represalias" que podrían caer sobre ellos. "No quiero meterme en eso porque se va a armar un lío bárbaro", ya que "hay muchos intereses comerciales detrás", adujo una de las fuentes.

Otra polémica fue abierta por la Sociedad de Fomento Rural Ortiz, que "no está de acuerdo con la política de liberación de cultivos del INIA". Según una fuente de esa institución, el INIA "libera cultivos de raigrás, festuca o trébol rojo, y los agarra todos PGG Wrightson" gracias a "un convenio firmado que la convierte en la única que

## HECHA LA LEY

El INIA se creó a partir de la ley N° 16.065, del 6 de octubre de 1989, con los siguientes objetivos:

- A) Formular y ejecutar los programas de investigación agropecuaria tendientes a generar y adaptar tecnologías adecuadas a las necesidades del país y a las condiciones socio-económicas de la producción agropecuaria.
- B) Participar en el desarrollo de un acervo científico y tecnológico nacional en el área agropecuaria a través de su propia actividad o de una eficiente coordinación con otros programas de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria que se lleven a cabo a niveles público o privado.
- C) Articular una efectiva transferencia de la tecnología generada con las organizaciones de asistencia técnica y extensión que funcionan a niveles público o privado.



puede acceder a las variedades de esas semillas hasta 2016”.

“El problema es que al INIA lo bancamos nosotros, los productores, y la sociedad, con los impuestos. ¿Cómo puede ser que una institución pública de derecho privado, que responde a los mandamientos del Estado, pueda hacer convenio con una empresa de modo que todas las variedades que libere sean para ella?”, cuestionó el informante.

Cuando el productor utiliza cualquiera de esas variedades debe pagar regalías a PGG Wrightson, que “maneja el 80% del mercado forrajero en Uruguay”. “Hubo un gran lobby”, aseguró.

La fuente opinó que esa política de liberación de cultivares a favor de la multinacional “es absolutamente contraria a la agricultura familiar: la producción de semilla para los productores ganaderos y lecheros representa el 30% de los ingresos netos, y, si sacás las variedades públicas, tenés que pagar 20% de tu cosecha [a la empresa dueña de la patente], por lo tanto tu negocio se reduce”. “Nosotros defendemos el libre acceso a las variedades”, añadió.

Cuando se le preguntó por qué esos planteos no se realizan públicamente, argumentó que hubo “reprimendas” a la sociedad de fomento y se decidió “no hablar más”.

### Visión institucional

En el INIA se opina que éstas son discusiones “mediáticas”. “Como instituto de investigación nacional en los temas agropecuarios, debemos dirigir nuestro trabajo a mejorar la competitividad de los diferentes rubros”, enfatizó el coordinador de la Unidad de Semillas del organismo, Carlos Rossi.

Opinó que uno de los objetivos del instituto es generar “mejores cultivares forrajeros, fruto del mejoramiento nacional, así como se hace en otras especies, que superen lo disponible hasta el momento y que se adapten a los cambios climáticos y de sistemas de producción que se vienen dando en el país”, pero advirtió que eso “no ha impedido definir la necesidad de mantener la producción de semillas básicas de los cultivares públicos”, para las cuales hay “una importante demanda” de los productores agropecuarios.

“Estos dos elementos, que a priori pueden resultar incompatibles, conviven en la institución con la misma importancia y nos diferencian claramente de la región, donde no es común que haya programas de mejoramiento genéticos nacionales con tantos años, tan

fuertes y tan exitosos, y es aun menos común que las instituciones similares al INIA mantengan el abastecimiento de semilla de alta calidad genética de las variedades públicas disponible para las empresas semilleristas, y, mediante ellas, para los productores”, agregó.

Rossi resaltó el trabajo del Instituto Nacional de la Semilla (Inase) en el control del proceso y “dando la seguridad que necesita el sistema mediante el seguimiento que hace de nuestro proceso de producción”. También valoró “el trabajo de las empresas semilleristas nacionales que se abastecen de nuestras semillas básicas para sus planes de producción, confiando en la seguridad que les da el trabajo del INIA y el Inase en esta materia”.

Respecto de la existencia de presiones externas para adoptar un camino que afecte los intereses de los productores, opinó que eso “sería muy difícil de concretar”, ya que “la Junta Directiva de INIA está constituida por cuatro integrantes, dos de los cuales son representantes precisamente de los productores”.

En cuanto a presiones comerciales sobre los productores, evaluó que “son lógicas y suceden permanentemente en todos los ámbitos con cualquier producto”, ya que “las empresas tratan de diferenciarse del resto vendiendo algo nuevo”. “Es lo que ocurre en el caso de los cultivares forrajeros y quizá sea más notorio cuando éstos son protegidos”, comentó.

En cuanto a las críticas contra la política de liberación de cultivares del instituto, Rossi evaluó que ésta “es muy variada y en la actualidad conviven cultivares públicos y protegidos, bajo diferentes regímenes de licencia”.

“La política de liberación más común que ha utilizado y utiliza la institución es la de llamados públicos, a los cuales se presentan las empresas interesadas. Luego de estudiar las propuestas mediante un comité técnico se eleva una propuesta para que la Junta Directiva resuelva”, explicó. “De este modo son varias las empresas y semilleristas nacionales que disponen de licencias por cultivares INIA, entre ellas tanto cooperativas y empresas privadas”, sostuvo.

En cuanto al convenio firmado con PGG Wrightson, Rossi manifestó que “abarca sólo los cultivares de raigrás y festuca”, y que “se trata de una alianza en mejoramiento genético y acceso a nuevas tecnologías en estas especies”.

Ensayos con Lotus en la estación INIA, Las Brujas.

\* FOTO: NICOLÁS CELAYA



UN CULTIVAR ES UNA POBLACIÓN DE PLANTAS OBTENIDAS POR REPRODUCCIÓN SELECTIVA, GENÉTICAMENTE HOMOGÉNEA, QUE COMPARTE CARACTERÍSTICAS DE RELEVANCIA AGRÍCOLA Y LAS TRANSMITE DE GENERACIÓN EN GENERACIÓN.

# Germinador

Desde el INIA se destaca que hasta el día de hoy se han desarrollado en La Estanzuela “45 cultivares con destacado comportamiento (cereales forrajeros, gramíneas y leguminosas -anuales y perennes- y compuestas)”, los que se suman a otros “ocho cultivares desarrollados en INIA Tacuarembó”.

Rebuffo destacó que el instituto mantuvo en las últimas décadas un promedio anual de diez líneas experimentales en la Evaluación Nacional de Cultivares, “ya liberadas como cultivares o que serán nuevas alternativas en el mediano plazo”.

“El desarrollo varietal está basado en una combinación de germoplasma local/regional e introducido. La Estanzuela también lidera la producción eficiente de carne y leche en sistemas agrícolas pastoriles. El soporte de unidades productivas y disciplinas introduce nuevas tecnologías y genera la información agronómica necesaria para la correcta inserción de los cultivares en los sistemas productivos de Uruguay”, indicó la experta.

Por su parte, Rossi consideró que el impacto productivo de las investigaciones ha sido “realmente importante si tomamos en cuenta el desarrollo que han tenido en el país aquellos rubros que, por sus sistemas de producción intensivos, basan buena parte de la alimentación de su ganado en verdeos y praderas permanentes de diferentes especies forrajeras, y no tanto en la producción del campo natural”. Entre esos rubros se encuentran la lechería, el engorde de ganado vacuno y la cría de corderos pesados, aunque al día de hoy “otros rubros históricamente más extensivos también pasan a demandar variedades forrajeras, como en el caso de la cría de ganado vacuno”.

No obstante, el coordinador de la Unidad de Semillas apuntó que en nuestro país no existe un mercado de variedades “criollas”, como se denomina normalmente a las semillas provenientes de determinadas regiones, que han sido multiplicadas durante muchos años por los productores sin ningún control técnico. “Todas las variedades forrajeras que se comercializan en Uruguay surgen de trabajos de mejoramiento genético. La mayor parte del mejoramiento genético nacional ha sido desarrollado por el INIA, pero también es importante resaltar el trabajo de introducción de cultivares que han realizado empresas semilleristas privadas, y algunos emprendimientos que existen o han existido de mejoramiento a nivel nacional privados”, agregó.

Describió que las especies forrajeras de mayor utilización son, entre las gramíneas, la avena, el raigrás, la festuca y los sorgos forrajeros, incluyendo el llamado sudangrass; mientras que entre las leguminosas las más utilizadas son trébol blanco, lotus, alfalfa y trébol rojo.

Por otra parte, Rossi explicó que existen cultivares de uso público y protegidos, pero no “la alternativa a la patente, que es algo más restrictivo”. “La protección de las variedades controla básicamente que se reconozca al obtentor y sus derechos sobre los cultivares que se logran luego de varios años de investigación”, argumentó el experto, y sostuvo que eso “es muy importante para el país, ya que se busca evitar la apropiación, por parte de empresas o particulares del exterior, de un recurso tan valioso como es el material genético”. Apuntó que eso sucedió con variedades como el raigrás Estanzuela 284, a partir del cual se generó “directamente” una de las más importantes variedades de Estados Unidos sin un adecuado reconocimiento al obtentor.

Aclaró también que “la protección de los cultivares no restringe el ‘uso propio’ que el productor puede hacer de la semilla proveniente de su establecimiento”.

Respecto de si son más utilizadas las variedades públicas o las protegidas, opinó que “es algo que no se puede generalizar”, porque “depende de la especie y del estado de desarrollo de los nuevos cultivares”. No obstante, aseguró que “en el caso de las especies de uso más tradicional (avenas, raigrás, alfalfas, lotus, tréboles blanco y rojo) es claro que las variedades públicas poseen la mayor proporción del área sembrada”. Ello se debe a que en algunos casos no se han logrado, hasta el momento, cultivares claramente superiores a los públicos (como sucede con las avenas y alfalfas) y en otros no ha sido posible ajustar un proceso productivo de semilla adecuado a la demanda por diferentes motivos (dificultades de la especie, cultivares nuevos en proceso de desarrollo, comerciales y/o de mercado).

Hay otras especies con una proporción de cultivares protegidos mayor que la de los públicos (festuca, cebadilla, dactylis) o en las cuales la totalidad de los cultivares que se comercializan son protegidos (achicoria, trébol alejandrino), señaló.

# Contra la ortodoxia de Copenhague

La "interpretación de Montevideo" de la mecánica cuántica

EN VIRTUD de sus éxitos predictivos, la mecánica cuántica es una de las teorías mejor contrastadas de la historia de la ciencia. El problema es que todavía hoy, casi noventa años después de su nacimiento, no hay un acuerdo pleno acerca de la imagen del mundo que ofrece.

No es que la física tradicional estuviera exenta de problemas de ese tipo. En absoluto. Qué quiere decir exactamente el segundo principio de la mecánica newtoniana (la ecuación bien conocida que iguala la suma vectorial de las fuerzas que inciden sobre un cuerpo con el producto de su masa por la aceleración resultante de la aplicación de esas mismas fuerzas) es algo que estuvo en debate durante muchísimo tiempo, porque no había acuerdo acerca de la naturaleza física de las fuerzas, aunque de hecho ningún físico rechazaba el principio en su formulación puramente matemática.

Tómese en cuenta que las fuerzas no se ven ni se miden directamente: sólo se ven y se miden directamente sus efectos, es decir, los cambios en las velocidades, o sea, las aceleraciones. Desde los tiempos mismos de Newton fue una cuestión muy debatida si la mecánica clásica describe un mundo en el que realmente existen fuerzas, o si éstas son meras ficciones que resultan útiles a los efectos de hacer cálculos y formular predicciones.

Ahora bien, la matemática involucrada en la mecánica clásica newtoniana tiene interpretaciones físicas más o menos obvias e intuitivas. De hecho, buena parte de esa matemática existió primero como descripción de fenómenos físicos, mucho antes de que fuera "purificada" de las interpretaciones empíricas más o menos evidentes de sus conceptos y convertida así en matemática "pura". Con la física cuántica ocurre lo contrario: los recursos matemáticos que se ponen en obra para modelar el mundo cuántico existieron primero como conceptos puramente abstractos y desprovistos de todo significado físico, hasta que fueron usados como instrumentos para modelar conjuntos de datos empíricos.

Tenemos intuiciones directas y cotidianas, por ejemplo, acerca de lo que es un espacio geométrico de tres dimensiones, pero carecemos, en cambio, de intuiciones análogas con respecto a lo que es un espacio de Hilbert. Hay que haber estudiado mucha matemática superior para llegar a entender qué es eso, y mucha física para llegar a entender qué utilidad puede tener el concepto para modelar fenómenos empíricos. La física tradicional, en comparación, se servía de conceptos matemáticos con aplicaciones empíricas mucho más intuitivas.

## El mundo clásico

Las intuiciones que provee el sentido común, desde luego, son históricamente dinámicas: en ellas influyen también los resultados de la ciencia. No obstante, es muy natural que la física con la que el sentido común del hombre contemporáneo tiene mayor familiaridad sea precisamen-

La mecánica cuántica es una teoría muy abstracta desde el punto de vista matemático y sus predicciones son muy contraintuitivas desde el punto de vista empírico, pero, a su vez, muchos de sus conceptos (bien o mal comprendidos) han permeado hace décadas la cultura popular. En Montevideo, un grupo de investigadores en que destaca el físico Rodolfo Gambini ha desarrollado muy recientemente una interpretación novedosa de esa teoría, que viene a echar luz sobre algunos de sus aspectos más problemáticos y discutidos.

te la que describe objetos cotidianos en situaciones cotidianas. Esa física es la mecánica clásica de Galileo y de Newton.

El mundo que describe la mecánica clásica, según una elocuente analogía de Gambini, es un mundo de partículas materiales que se mueven en el espacio y en el tiempo como los actores en una representación teatral se mueven en un escenario fijo.\* Todo lo que existe en el universo resulta de las distintas distribuciones y de los movimientos de esas partículas. El espacio y el tiempo proveen el escenario fijo e inmutable en el que se desarrolla esa representación. Así describieron el mundo Galileo y Newton en el siglo XVII.

A fines del siglo XIX, los trabajos de Faraday y Maxwell obligaron a reconocer la existencia de un nuevo actor en el escenario: el campo electromagnético. Este personaje resultó ser bastante díscolo, de suerte que fue imposible acomodarlo en el escenario concebido para las partículas materiales: ello supuso repensar radicalmente las propias ideas de espacio y de tiempo. Luego de la transformación radical que sufrieron esas ideas a principios del siglo XX, ya no fue posible pensar que la realidad física se reduce a partículas moviéndose en un escenario fijo e inmutable, sino que resultó ne-



ESTA ANALOGÍA, AL IGUAL QUE OTRAS IDEAS Y FORMULACIONES DE GAMBINI QUE FUERON INCORPORADAS AL TEXTO, HA SIDO TOMADA DE SU ARTÍCULO "RECONSTRUIR EL BARCO EN ALTA MAR. LA NECESIDAD PLANTEADA POR LA FÍSICA DE REVISAR ALGUNOS CONCEPTOS METAFÍSICOS", GALILEO, SEGUNDA ÉPOCA, NÚMERO 41, MAYO DE 2010.



Niels Bohr

cesario asumir que los campos, pero también el propio espacio y el propio tiempo, son fenómenos físicos sujetos a relaciones, interacciones y transformaciones.

El espacio y el tiempo dejaron de ser vistos, pues, como el escenario inerte donde los fenómenos físicos tienen lugar, para pasar a ser reconocidos como otros destacados actores en la obra, siempre según la sugerente analogía de Gambini.

Desde hace más de un siglo, entonces, el espacio y el tiempo son considerados fenómenos físicos que interactúan con el resto de esos fenómenos, y se transforman a sí mismos en el curso de esas interacciones.

Ésta es la concepción del mundo que ofrecía la teoría general de la relatividad hacia 1920, y es la visión del mundo macroscópico (el que abarca desde objetos muy masivos, como las estrellas o los agujeros negros, hasta objetos con los que interactuamos en la vida cotidiana y otros incluso más pequeños) que se ha mantenido vigente. Esa teoría, sin embargo, no describe el mundo microscópico (el que abarca desde los átomos y las moléculas hasta las partículas elementales). Pocos años después del nacimiento de la teoría general de la relatividad empezaría a tomar forma la mecánica cuántica: la teoría que vino a ofrecer la visión del mundo microscópico, que era requerida para completar una imagen del universo físico.

A diferencia de la vieja física de Galileo y de Newton, que aspiró en su momento a ser completa, es decir, a describir todos los fenómenos físicos fundamentales, la teoría general de la relatividad y la mecánica cuántica no abarcan enteramente el conjunto de esos fenómenos.

Una teoría que sí los abarque todavía no existe, pero es necesaria, por ejemplo, para dar cuenta de lo que ocurrió en el universo en los primeros instantes después del Big Bang, cuando era lo suficientemente pequeño para que su comportamiento se viera determinado por las leyes que regulan los fenómenos microscópicos, pero tan masivo que, por otra parte, eran también relevantes los efectos gravitacionales que sólo explica la relatividad general.

Incluso para describir adecuadamente lo que ocurre en la actualidad, unos 15 mil millones de años después del Big Bang, la "división de tareas" existente en la física contemporánea resulta insatisfactoria, porque los fenómenos descritos por la teoría general de la

relatividad son también cuánticos, mientras que los átomos y moléculas, por su parte, también producen efectos gravitatorios y están sometidos a ellos, sin que la física actual sepa cómo describir adecuadamente tales efectos.

## El mundo cuántico

La física cuántica tiene dos características sobresalientes. La primera es que describe un mundo discreto, es decir, un mundo que da saltos. Como las piezas de un juego al pasar de una casilla a otra consecutiva de un tablero, los objetos microscópicos pasan de un estado a otro consecutivo sin que tenga sentido preguntarse qué hay entre ambos. La segunda característica es que describe un mundo de potencialidades, es decir, de hechos posibles, que permanecen en ese estado de mera posibilidad hasta que el sistema es forzado a definirse, volcándose hacia uno de ellos. La mecánica cuántica no explica, en principio, cómo pasan los sistemas físicos microscópicos de las meras potencialidades a los hechos observados. Un experimento bien conocido puede servir para ilustrar este punto.

Considérese una fuente de luz que emite con muy baja intensidad. Las partículas de luz (los fotones) pasan individualmente, a intervalos regulares, por un diafragma con dos rendijas y finalmente son detectadas mediante una placa fotográfica (ver imagen). Cada vez que una partícula llega a la placa deja un impacto observable en una región bien definida de ésta. Luego de un tiempo suficiente como para que un número apreciable de partículas haya impactado en la placa, podrá observarse un patrón de oscurecimiento proporcional a la densidad de impactos en cada región. Si las rendijas se abren en forma alternativa, luego de esperar un tiempo suficiente se puede observar un patrón de oscurecimiento que es más intenso delante de la rendija que queda abierta (figuras A y B).

Ahora bien, si se abren las dos rendijas en forma simultánea, luego de esperar un tiempo suficiente, el resultado que se observa no es el esperado: el patrón de oscurecimiento no resulta más intenso delante de las rendijas (figura C, línea entrecortada), sino que se registra el típico patrón de interferencia con franjas alternadas oscuras y brillantes propio de los fenómenos ondulatorios (figura C, línea continua). Tal comportamiento sólo tiene sentido si cada fotón que pasa por el diafrag-

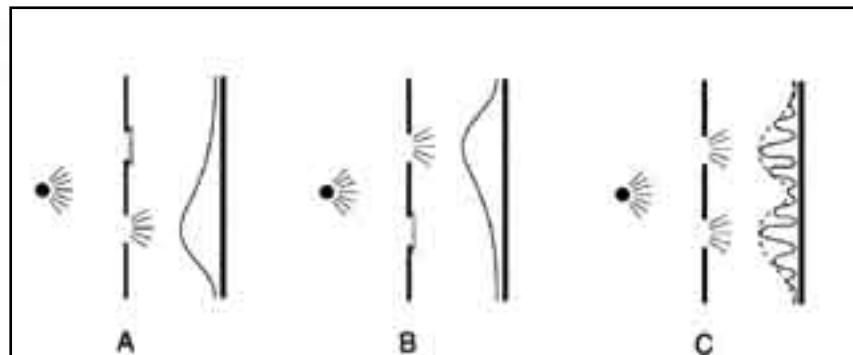


Imagen tomada (con modificaciones) de David Z Albert, *Quantum Mechanics and Experience* (1992).

Rodolfo Gambini  
y Jorge Pullin

ma interfiere consigo mismo, es decir, si se comporta como una onda y pasa simultáneamente por ambas rendijas. El experimento se puede realizar con otras partículas elementales y se obtiene el mismo resultado.

Mientras sólo una de las rendijas estuvo abierta, el fotón se comportó como un corpúsculo, pero, cuando se abrieron ambas, se comportó como una onda, al menos durante su desplazamiento, pues al llegar a la placa fotográfica impactó en un punto definido, tal como lo haría un corpúsculo. De alguna manera el fotón presenta un comportamiento dual: ondulatorio durante su propagación y corpuscular cuando impacta en la placa fotográfica. El lugar específico en que impactará no se puede predecir teóricamente: sólo es posible conocer la probabilidad de que aparezca en una zona determinada. La curva de probabilidades que predice la teoría se corresponde en la práctica con el patrón de interferencia que se observa experimentalmente: eso confirma las predicciones de la teoría.

La interpretación según la cual el fotón presenta un comportamiento dual es reforzada por la siguiente observación experimental: si se intenta determinar la posición del fotón en un punto anterior de su desplazamiento, por ejemplo, al pasar a través del diafragma, el comportamiento ondulatorio desaparece y el patrón que se imprime en la placa fotográfica es el que se ve en la figura A o en la B.

Los físicos llaman a este proceso "medida", pero es importante señalar que no involucra necesariamente la participación de un observador humano. La medida sólo requiere que el sistema microscópico que va a ser "medido" interactúe con otro sistema cuyo comportamiento sea clásico. Desde luego, no cualquier sistema, por clásico que sea su comportamiento, permitirá medir cualquier magnitud.

En el ejemplo anterior, la placa fotográfica es un instrumento de medida, porque la interacción entre el fotón y la placa permite determinar cuál es la posición en que ha impactado la partícula. El diafragma también puede ser considerado un instrumento de medida, pero, en su interacción con el fotón, resulta incapaz de reducir todas las trayectorias posibles a una u otra en forma excluyente, y el comportamiento ondulatorio se destruye por completo. No tiene importancia que un experimentador humano observe el proceso, pero sí importa que la interacción con el objeto macroscópico sea sensible a la magnitud que se quiere medir.

Si se dispone un mecanismo de localización más fino para determinar exactamente el lugar por el que pasa el fotón, las posibilidades se reducen a una u otra en forma excluyente, y el comportamiento ondulatorio se destruye por completo. No tiene importancia que un experimentador humano observe el proceso, pero sí importa que la interacción con el objeto macroscópico sea sensible a la magnitud que se quiere medir.

El ejemplo anterior ilustra, precisamente, la característica propia de los sistemas microscópicos a la cual se aludía antes: sus estados expresan

potencialidades del sistema, que se actualizan en contacto con objetos macroscópicos. Cuando un sistema microscópico interactúa con un sistema macroscópico (un sistema con comportamiento clásico) ocurre que, de los muchos estados potenciales, sólo uno de ellos se hace real.

En el caso del fotón del experimento, puede decirse que potencialmente tiene una localización espacial análoga a la que tendría un corpúsculo material, pero que sólo llega a tener una localización real cuando la interacción con un objeto macroscópico lo fuerza a ocupar una posición definida en el espacio.

A este fenómeno, por el cual se actualiza uno y sólo uno de los estados potenciales del sistema, se le llama, en la jerga técnica, "colapso de la función de onda", "colapso del vector de estado", "reducción del paquete de onda" o "reducción de los estados cuánticos". Independientemente de los nombres, lo relevante para el caso es que, de los muchos estados posibles del sistema, sólo uno de ellos se hace real. Al problema que supone responder cómo y por qué ocurre semejante cosa se lo conoce como el "problema de la medida" y ha sido uno de los asuntos más debatidos, durante los últimos

ochenta años, en la frontera entre la física y la filosofía.

El fenómeno es sin duda extraño, aunque muchísimo menos extraño que lo que la literatura sensacionalista proclive al "misticismo cuántico" ha venido sosteniendo desde hace décadas. Es una desgracia que algunos físicos muy destacados hayan contribuido a la propagación de esas bobadas, aunque ese tema no es el tópico de esta nota.

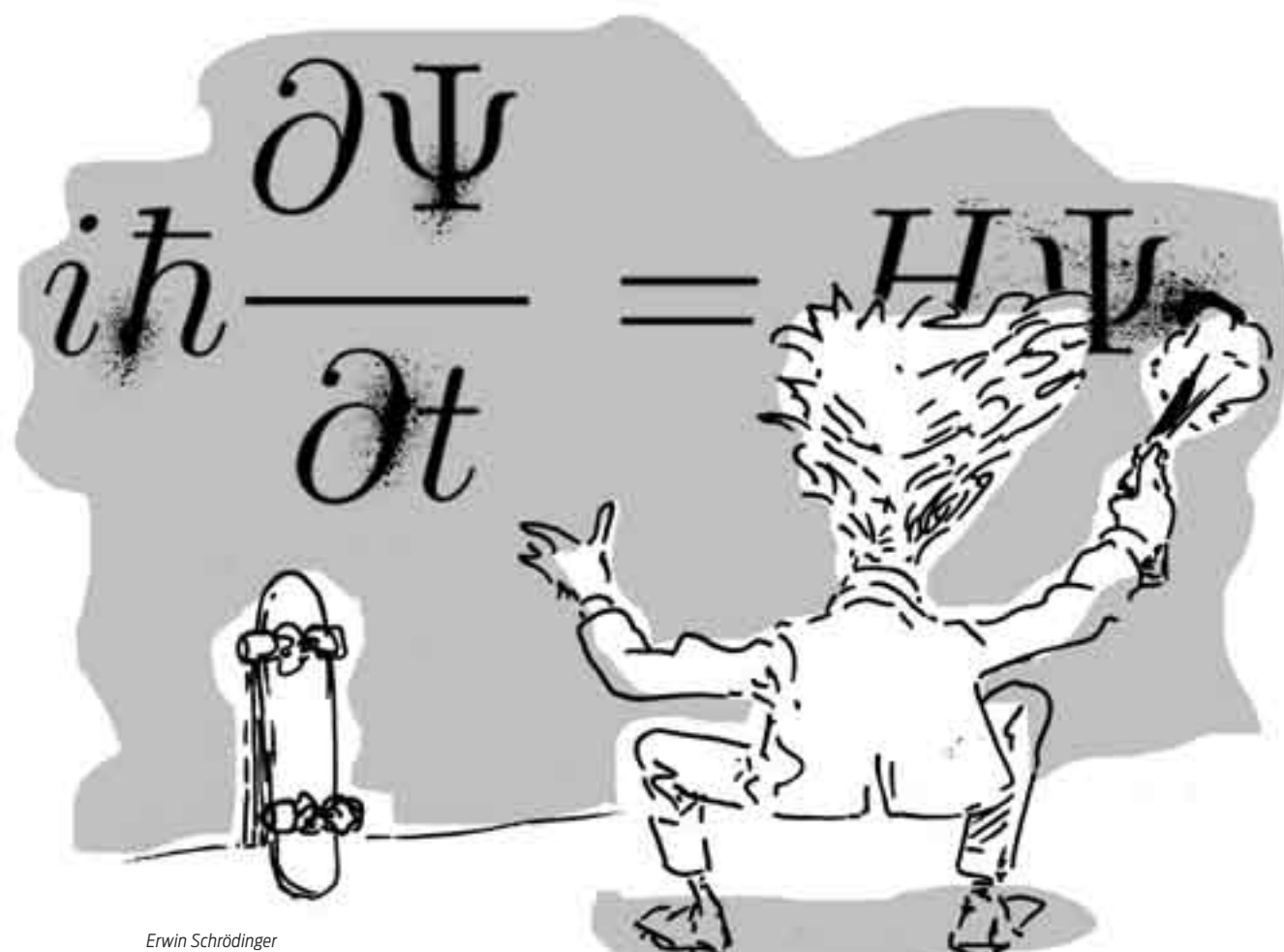
Independientemente de lo que se afirma en la literatura sensacionalista, hay un problema físico genuino en todo este asunto. Si los objetos del mundo microscópico presentan ese comportamiento tan particular y tan desconcertante, mientras que los objetos del mundo de la vida cotidiana (que están compuestos, en última instancia, por aquéllos) definitivamente no lo hacen, aparece el problema obvio de explicar cómo puede ocurrir que el mundo con el que interactuamos todos los días carezca de comportamiento cuántico, si los componentes últimos de ese mundo sí lo presentan.

#### Copenhague

La interpretación estándar de la mecánica cuántica se remonta a los años en

que la teoría estaba aún en desarrollo, a fines de los años 20 del siglo pasado. Su formulación se atribuye al destacado físico danés Niels Bohr, y toma su nombre de la pequeña ciudad portuaria de Copenhague, capital de Dinamarca. Es necesario aclarar desde el principio que lo que se conoce como "interpretación de Copenhague" no es un punto de vista homogéneo, sino más bien un conjunto de puntos de vista más o menos emparentados. Es por esta razón que pueden encontrarse en la literatura formulaciones de la "interpretación de Copenhague" que no sólo son distintas sino, incluso, contradictorias entre sí.

En cualquier caso, parece ser característico y distintivo de esta interpretación el hecho de postular una dualidad entre el reino cuántico y el reino clásico: una escisión entre el mundo microscópico y el macroscópico. El universo, visto desde Copenhague, no es enteramente homogéneo, sino que coexisten en él dos realidades físicas esencialmente distintas, pero no completamente aisladas una de otra. En el curso de la interacción entre esos dos mundos, cuando los sistemas microscópicos interactúan con objetos clásicos, el mundo cuántico colapsa en el mundo clásico. De



Erwin Schrödinger

algún modo, el mundo cuántico, en esta interpretación, es un mundo inestable.

Una cita bien conocida de Werner Heisenberg, quizás el más famoso de los estudiantes de Bohr, resume muy bien el espíritu de la interpretación de Copenhague: "La trayectoria [de la partícula] existe sólo porque la hemos observado".

"Observar" no significa aquí, como ya se ha explicado antes, que haya una participación necesaria de un observador humano, una conciencia o una mente. Hay quienes han afirmado cosas por el estilo, desde luego. Incluso físicos eminentes lo han hecho. Pero no es un asunto que tenga que ver con la física, sino más bien con el misticismo. La "observación", en el sentido de Copenhague, no supone la existencia de un observador, sino meramente de un aparato de medida: de un objeto macroscópico (clásico) que interactúa con el sistema microscópico (cuántico), haciéndolo colapsar sobre el mundo clásico.

Las magnitudes físicas, desde este punto de vista, están asociadas a las propiedades que se ponen de manifiesto en determinados procesos de medida. En el experimento de las dos rendijas, el fotón simplemente no tiene una localización espacial precisa hasta que se coloca una placa fotográfica o algún otro instrumento de medida que lo fuerce a adoptarla. Antes de eso su localización espacial es una mera potencialidad, sujeta a las leyes probabilísticas de la teoría. Por ello puede decirse que la posición del fotón sólo existe después de que ha sido medida: después de que el mundo de potencialidades cuántico ha sido obligado a colapsar en el mundo familiar de las propiedades clásicas.

El lema de Heisenberg podría gloriarse de la siguiente forma: la trayectoria de la partícula existe sólo porque ella (la partícula) ha interactuado con un dispositivo macroscópico que la ha obligado a tener un comportamiento clásico.

La interpretación de Copenhague requiere, entonces, de una línea de corte, de un límite que separe nítidamente al universo en dos partes: un mundo de meras potencialidades y otro que interfiere desde el exterior, forzando la actualización de esas potencialidades.

Lo que más ha molestado a físicos y filósofos acerca de la forma en que el mundo físico se ve desde Copenhague es, precisamente, el hecho de que escinda la realidad física: su planteo de que debe existir una dicotomización del mundo en dos órdenes de realidad para que el problema de la medida tenga una

solución, puesto que la propia teoría cuántica no puede resolverlo. Dicho de otro modo: lo que más ha molestado a físicos y filósofos acerca de la interpretación de Copenhague es que renuncie explícita y despreocupadamente a ofrecer una solución al problema de la medida que sea interna a la propia teoría cuántica.

En la interpretación de Copenhague, el problema de la medida se resuelve por un *fiat* (un "hágase") exterior: los instrumentos de medida imponen que se haga la realidad física (a partir de un mundo de potencialidades) y la realidad física se hace (de acuerdo con determinadas leyes probabilísticas). Muchos físicos y filósofos han considerado, contra la interpretación de Copenhague, que debe ser un fenómeno físico interno a la propia teoría cuántica (y no un fenómeno externo, como el colapso inducido por la interacción con objetos macroscópicos) lo que explique, en última instancia, la emergencia del mundo clásico, con sus propiedades familiares, a partir del desconcertante mundo cuántico. En este sentido, varias interpretaciones alternativas a la de Copenhague han tratado de resolver el problema de la medida sin postular la existencia de un mundo radicalmente exterior que fuerza el colapso del mundo cuántico. La más novedosa de esas interpretaciones surgió hace muy poco en una pequeña ciudad portuaria que no es Copenhague.

### Montevideo

Gambini y su colega argentino Jorge Pullin, que trabaja en Louisiana, son referentes internacionales, desde hace ya muchos años, en el campo de la teoría de la gravedad cuántica, en una de sus versiones específicas: la teoría de la gravedad cuántica de bucles. En varios trabajos muy recientes, Gambini y Pullin han presentado una interpretación original del formalismo matemático de la mecánica cuántica, que, por motivos de brevedad, denominaron "interpretación de Montevideo".

La interpretación de Montevideo está en sintonía con la línea crítica a la interpretación estándar que se esbozó unas líneas más arriba. Lo que Gambini y Pullin sostienen es que la mecánica cuántica debe dar cuenta de toda la realidad física y no sólo de una parte de ella. En otras palabras, lo que asumen es que las ecuaciones de la mecánica cuántica son universalmente válidas, es decir que describen adecuadamente no sólo el comportamiento del mundo microscópico, sino también el del mundo ordinario. El mundo macroscópico es, desde este punto de vista, tan cuántico como el microscópico, puesto que uno y otro responden exactamente al mismo conjunto de leyes físicas. Si queremos entender a cabalidad, entonces, las propiedades características de los objetos macroscópicos, es necesario que ellas sean perfectamente explicables mediante las ecuaciones de la mecánica cuántica.

Tomemos, por ejemplo, el caso de la localización espacial. Es necesario, desde este punto de vista, que esa propiedad bien familiar que poseen los objetos de la vida cotidiana sea perfectamente explicada mediante las ecuaciones de la mecánica cuántica, que describen el comportamiento de



Werner Heisenberg

objetos que carecen, precisamente, de localización espacial. Este abordaje del problema es, como resulta evidente, opuesto al punto de vista característico de la interpretación de Copenhague. Recordemos que, desde aquel punto de vista, propiedades como la localización espacial son consideradas inherentes al mundo clásico. Cuando objetos macroscópicos que poseen en forma inherente esas propiedades entran en contacto con el inestable mundo cuántico, destruyen con su intromisión distorsiva las características propias de éste.

Ahora bien, si el mundo familiar del sentido común ha de ser explicado, en última instancia, en términos de las ecuaciones de la mecánica cuántica, es necesario aclarar cómo es que las propiedades clásicas emergen en un mundo de potencialidades sin apelar a un *fiat* exterior a él: debe poder ofrecerse una respuesta al problema de la medida que sea física y filosóficamente más satisfactoria que la respuesta de Copenhague.

La clave, en el marco de la interpretación de Montevideo, para explicar la ausencia de las propiedades características del mundo cuántico en el mundo de la experiencia cotidiana, es el tiempo.

En la mecánica cuántica el tiempo es un parámetro clásico, externo a la propia teoría. No se mide con relojes reales, sino que es absoluto, abstracto y matemático: fluye sin depender de ninguna otra cosa, por su propia naturaleza, como fluía el tiempo newtoniano. La principal innovación metodológica de Gambini y Pullin consistió en proponer que el tiempo que aparece en las ecuaciones de la mecánica cuántica sea medido con relojes reales, es decir, que el tiempo que figura en ellas sea interpretado como un tiempo físico real. La segunda idea importante que propone la interpretación de Montevideo, en conjunción con la anterior, es que, si se hacen las cosas de ese modo, en-

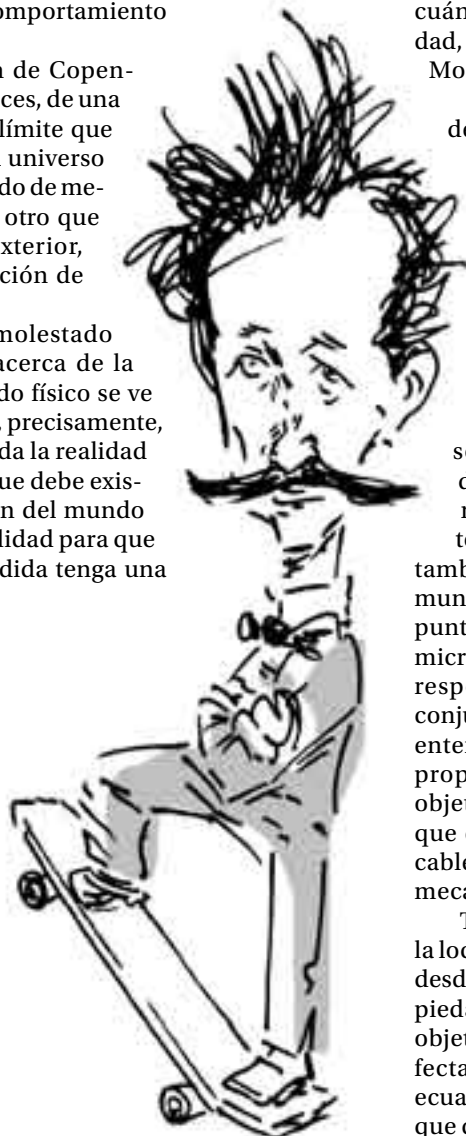
tonces es imposible que el tiempo físico real (el tiempo medido con relojes reales) coincida con el tiempo ideal (el tiempo absoluto, abstracto y matemático). Dicho de otro modo: bajo ciertas asunciones muy razonables, puede demostrarse que hay límites físicos para que un reloj real se comporte como un reloj ideal, de suerte que la diferencia entre el tiempo medido con relojes reales y el tiempo idealizado de la teoría cuántica no puede hacerse tan pequeña como uno quiera.

Cuando el tiempo que aparece como variable en las ecuaciones de la teoría cuántica es interpretado como el tiempo que miden los relojes reales (con los límites físicos que éstos tienen para acercarse al tiempo idealizado), es posible demostrar que la superposición característica de estados cuánticos se destruye naturalmente (bajo ciertas condiciones) de un modo que predice la propia teoría cuántica, es decir, sin que tenga que intervenir un *fiat* exterior para forzar esa reducción.

La clave de la interpretación de Montevideo, entonces, es tomarse en serio una de las lecciones de la teoría general de la relatividad y de la teoría de campos (que, dicho sea de paso, es el área de especialidad de Gambini): a saber, el hecho de que el espacio y el tiempo no deben ser considerados nunca como parámetros externos a las teorías físicas, sino como parte de la propia realidad física que esas teorías describen, es decir, fenómenos que forman parte de la misma realidad que pretende describirse, y que, como cualquier otro fenómeno real, son afectados por las propias leyes de las teorías que describen el comportamiento del mundo. ■

Aníbal Corti

El autor quiere aprovechar la oportunidad para agradecer a Rodolfo Gambini y a su colega Nicolás Wschebor por la ayuda prestada durante la elaboración de esta nota.



Max Planck

# No es viru viru

Nuevo centro de investigación en el interior mejorará capacidad de manejar agentes patógenos

La Universidad de la República (Udelar) transformará a mediados del año en curso el actual Laboratorio de Virología Molecular de la Regional Norte, en la ciudad de Salto, en un laboratorio de bioseguridad de nivel 3 (BSL-3).

URUGUAY NO posee un laboratorio donde trabajar en investigación, básica o aplicada, acerca de diversos virus humanos, animales y vegetales, de profundo impacto en la salud y en la economía. Incluso hay, por motivos de seguridad, impedimentos legales para dicha investigación, como ocurre en el caso de la aftosa. Para modificar esto se necesita un laboratorio de BSL-3. Se trata del segundo nivel más alto de seguridad para el manejo de agentes biológicos peligrosos. Todos los demás países de América del Sur tienen por lo menos uno, y hay decenas de ellos en Argentina y Brasil. Los laboratorios de bioseguridad de nivel 4 (BSL-4), en cambio, son muy escasos en el mundo.

## Volver

El doctor en ciencias biológicas Rodney Colina, que encabeza la puesta en marcha de dicho laboratorio, volvió a Uruguay en mayo de 2008. A comienzos de ese año había tenido gran difusión internacional -y mediante la prensa uruguaya- la publicación, en la prestigiosa revista *Nature*, de su trabajo acerca del descubrimiento de una nueva función biológica de una clase de proteínas en la protección contra las infecciones virales.

Originalmente, Colina había proyectado radicarse con su mujer y sus tres hijos en Canadá -donde residía desde 2004, tras haber concluido su doctorado en la Udelar-, pero las mejoras importantes en las condiciones de vida para los investigadores locales, sumadas a la mayor consideración hacia los temas científicos que demostró el nuevo gobierno, hicieron que unas vacaciones en Uruguay al finalizar su estancia posdoctoral en Montreal se transformaran, de hecho, en su regreso al país.

A fines de 2008 Colina le planteó a Juan Cristina, actual decano de la Facultad de Ciencias de la Udelar, orientador de su doctorado en Montevideo y también director del Centro de Investigaciones Nucleares y responsable del Laboratorio de Virología Molecular, su interés en desarrollar un polo de investigación científica en Salto en el área de la virología. Juntos viajarían en esos meses al litoral, a fin de evaluar *in situ* las condiciones para ese emprendimiento.

En enero de 2009 se formalizó la propuesta de instalar un laboratorio de virología molecular en la ciudad de Salto, con Colina como responsable. El proyecto fue aprobado en junio de ese mismo año por la Udelar. Para febrero del año siguiente Colina y su familia ya estaban radicados en ese departamento.

Al día de hoy, además del propio Colina, el laboratorio cuenta con dos integrantes: Matías Victoria y Fernando López, jóvenes investigadores uruguayos formados en Montevideo y en Río de Janeiro. Cuentan



Rodney Colina.  
\* FOTO: S/D DE AUTOR

con la colaboración de Cristina desde Montevideo, y cuatro estudiantes se integrarán al equipo en breve.

## El nuevo laboratorio

Cuando, en mayo de 2010, la Udelar hizo un llamado a proyectos de alto impacto radicados en el interior del país, Colina y Cristina presentaron la propuesta de transformar el laboratorio de virología molecular de Salto en un nuevo laboratorio de BSL-3. La institución aprobó el proyecto, cuyo costo -700 mil dólares- será afrontado enteramente con fondos propios. Colina afirma que la inversión en el laboratorio no es de las más grandes que hace la Udelar en el interior: la de Paysandú es tres veces mayor, y la de Maldonado, diez.

Para el país, se trata de una construcción completamente novedosa, incluso desde el punto de vista arquitectónico, puesto que no había ninguna experiencia en este tipo de laboratorios. Se ha contratado a un arquitecto argentino especializado en la construcción de estos edificios para dirigir la obra, y la construc-

ción se iniciará a mediados del año en curso.

La idea es que, puesto que por ahora será el único de su tipo en Uruguay, haya convenios de trabajo, por ejemplo, con el Instituto Pasteur, y que el laboratorio resulte útil para toda la comunidad científica, no sólo para la investigación viral del grupo de Colina. El investigador hace énfasis en que no será "el laboratorio de Colina", sino que pertenecerá a la Universidad y estará abierto a la colaboración con otras instituciones, por ejemplo, en la investigación de patógenos de manipulación riesgosa, como los causantes de la tuberculosis, el dengue y otras enfermedades animales y vegetales. La investigación de muchos de estos agentes está detenida en estos momentos, ya que en las condiciones normales de los laboratorios disponibles hasta ahora no es posible trabajar con ellos si no están inactivados: esto impide, por ejemplo, hacer cultivos con ellos. El nuevo laboratorio abrirá la posibilidad de investigarlos de manera mucho más productiva.

## ¿CUÁN SEGURO?

Los laboratorios de nivel de bioseguridad 3 (BSL-3) se definen como de riesgo medio o bajo para los operarios, y bajo o nulo para el ambiente. De hecho, sus emanaciones son más limpias que las de un hospital. Utilizan filtros de aire en el techo y presión negativa en el interior del edificio, de modo que el aire no puede salir pasivamente: sólo entrar. Cuando sale (cuando se lo saca en un flujo controlado y direccionado), es en forma filtrada y esterilizada. Además, los operarios utilizan ropas y equipos especiales como protección.

Cabe destacar que el Hospital de Salto está a dos cuadras del lugar en donde se construirá el laboratorio y se espera que haya una óptima colaboración entre ambas instituciones, así como con las mutualistas del norte del país. El sector médico es ideal para la detección (los casos van hacia él bajo la forma de consulta), y el laboratorio será capaz de realizar diagnósticos precisos de los tipos de virus presentes, con lo que se mejorará el relevamiento y la detección de los circulantes, y el desarrollo de tratamientos y protocolos afinados, además de que se podrá realizar investigación básica sobre los virus, lo que en las condiciones actuales se está haciendo sólo hasta cierto punto. Con este tipo de agentes patógenos, la investigación de ciencia básica y la aplicación (médica, por ejemplo) se tocan mucho: es lo que se conoce como un *hot spot*. Esto último también es válido para virus animales y vegetales de importante incidencia económica, como la aftosa o los viroides que pueden infectar a los cítricos.

Hace apenas cuatro años, afirma Colina, este tipo de emprendimiento era algo muy difícil de imaginar. El investigador, además, califica de histórico el desarrollo universitario que está ocurriendo en el interior, con el fomento de la radicación como una forma de integración real del país. Celebra la mejoría del clima científico que propició el gobierno de Tabaré Vázquez y que mantiene el de José Mujica. También señala un gran cambio en la colaboración con el sector privado. Colina trabajó en el primer laboratorio privado de biología molecular, de la Asociación Española Primera de Socorros Mutuos. El año pasado, dicha institución acordó su participación en un proyecto de tres años en el marco del programa Alianzas, de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), para la investigación conjunta del dengue y la influenza con los laboratorios de virología de Salto y Montevideo de la Udelar.

## ¿POR QUÉ SALTO?

Esa zona del litoral ha sido históricamente puerto de entrada al país de la mayoría de los patógenos virales de circulación ambiental, tanto humanos como animales y vegetales. En 1916 el dengue entró por Salto, y en 2009 hubo casos en Concordia. En Tacuarembó, Rivera, Artigas y Salto hay casos de rabia en murciélagos. También la aftosa entró al país por esa zona, y varios virus causantes de diversas enfermedades en humanos están presentes en Argentina, el sur de Brasil y Paraguay.

Salto es el lugar ideal para instalar un laboratorio de investigación para estos tipos de virus, por una cuestión de inmediatez y también de vigilancia, para su detección y diagnóstico precisos y para conocer de dónde provienen, su variedad, serotipo, etcétera. Además, la presencia de la universidad en Salto

es muy significativa: hay 14 carreras y unos cinco mil estudiantes. Eso permitiría generar recursos humanos locales y un necesario "embrión" de polo científico, con la radicación en Salto de estudiantes e investigadores de otras partes del país.

La centralización en Montevideo, sostiene Colina, termina por generar subdesarrollo. En este sentido, considera que la percepción completa de los factores que determinaron la elección de Salto se dará a largo plazo. El hecho de que estudiantes avanzados (en niveles de doctorado y posdoctorado) del exterior le hayan manifestado interés concreto por participar en el futuro laboratorio le hace recordar el fenómeno del retorno de gente muy capacitada desde el exterior al final de la dictadura. Todo esto produce desarrollo, concluye.

HITOS: JOSÉ LUIS MASSERA

# Un paso adelante en un camino milenario

EL CAMBIO es uno de los grandes problemas que la humanidad abordó una vez que su pensamiento se encaminó hacia una explicación racional de los fenómenos naturales.

Los primeros filósofos jónicos intentaron dar cuenta de la diversidad observada en el mundo a partir de variaciones operadas sobre una materia primigenia. Seguidamente, dos gigantes de la filosofía sostuvieron tesis antitéticas a propósito del cambio: Parménides negó su existencia (y su discípulo Zenón redujo el movimiento al absurdo, con argumentos que dejaron hondísima huella en la historia subsiguiente), mientras que Heráclito sostuvo que el cambio es lo único permanente.

Grandes escuelas filosóficas lucharon más tarde para compatibilizar ese legado contradictorio: los atomistas propusieron que los átomos son eternos y sus combinaciones y disposiciones son siempre cambiantes; Platón estableció una división salomónica, aceptando que en el mundo sensible todo cambia y postulando la existencia de un mundo suprasensible de "formas" inmutables; Aristóteles, por su parte, planteó una compleja explicación metafísica del cambio basada en la idea de que en el propio mundo cambiante existe un núcleo eterno e inmutable.

La reflexión sobre el tema resurgió con originalidad recién a fines de la Edad Media, cuando se lo empezó a investigar matemáticamente. Se suele decir que la revolución científica del siglo XVI se basó en el método experimental. Es cierto, pero sólo parcialmente cierto. Se basó también en la utilización de modelos matemáticos para la expresión de las leyes inducidas a partir de las observaciones y los experimentos. Las leyes científicas, en su mayoría, no son otra cosa que expresiones de cómo se producen los cambios. De este modo, la naciente ciencia moderna generó una matemática adecuada a sus propósitos: una matemática que podía dar cuenta del cambio.

El creciente conocimiento adquirido se fue plasmando principalmente en forma de ecuaciones diferenciales, esto es, ecuaciones que expresan las relaciones existentes entre una magnitud, su velocidad de cambio, la velocidad de cambio de esa velocidad, etcétera. Por ejemplo, una ecuación diferencial muy simple da cuenta de cómo cae un cuerpo por su propio peso en cercanías de la Tierra. La ecuación dice que su aceleración (la velocidad de cambio de su velocidad) es constante. Al resolverla se obtiene una indicación precisa del lugar que ocupará el cuerpo en cada instante, o, dicho con mayor exactitud, las soluciones que se obtienen son funciones que relacionan el tiempo con la posición del cuerpo. El ejemplo ofrecido pertenece a la mecánica, pero las ecuaciones diferenciales aparecen en las leyes que rigen fenómenos de todo tipo.

## Estabilidad

Massera fue, precisamente, un experto en ecuaciones diferenciales. Hoy su campo particular de investigación forma parte de una rama de la mate-

EL INGENIERO JOSÉ LUIS MASSERA (1915-2002) DEMOSTRÓ A FINES DE LOS AÑOS CUARENTA EL RESULTADO MATEMÁTICO MÁS IMPORTANTE ALCANZADO POR UN URUGUAYO: EL TEOREMA QUE LLEVA SU NOMBRE EN TEORÍA DE LA ESTABILIDAD.



mática que se llama "sistemas dinámicos", de la que fue precursor. Cuando inició su investigación, las ecuaciones diferenciales ya tenían una larga historia, en el transcurso de la cual se había establecido que existen algunas cuyas soluciones no se pueden expresar explícitamente, es decir que no se pueden obtener las funciones que las verifican. En esos casos, se pueden obtener aproximaciones. Sin embargo, se descubrió que es posible un enfoque alternativo. A partir de determinadas propiedades de una ecuación, se puede deducir propiedades de sus soluciones, sin que éstas sean explicitadas. Esto es el estudio cualitativo de las ecuaciones diferenciales, del cual la estabilidad es parte fundamental.

Todos usamos la palabra "estable" y sus derivados. ¿Qué quiere decir que una pila de libros es inestable? Quiere decir que, a partir de un estado estacionario o de equilibrio (si nada la perturba, la pila permanecerá así por siempre), una pequeña perturbación hará que los libros terminen desparramados. Los problemas de estabilidad son muy importantes. Por ejemplo, el sistema solar se encuentra en un estado estacionario, con los planetas orbitando en torno al Sol. Pero, ¿es estable? ¿No podrá suceder que el choque de un meteorito contra un planeta altere la órbita de éste y esa perturbación se propague de forma que, así como la pila de libros se viene al suelo, la Tierra sea arrancada de su órbita?

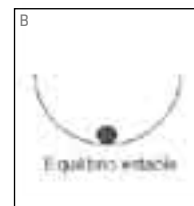
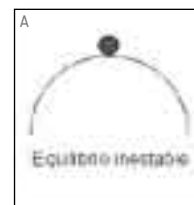
En matemática hay una clasificación precisa de tipos de estabilidad de un estado estacionario y varios teoremas relacionados, que se deben a la labor de un matemático ruso, Aleksandr Lyapunov (1857-1918). Las soluciones o estados estacionarios (aquellos que no varían con el tiempo) son fáciles de hallar. Lyapunov definió que un estado

estacionario es estable si se puede lograr que el efecto de una perturbación sea tan pequeño como se quiera, haciendo que la perturbación sea suficientemente pequeña. Un ejemplo aclarará esto. Consideremos, en la figura A, la bola que se encuentra en equilibrio sobre una semiesfera. Si nada la perturba, permanecerá allí. Pero si es perturbada, por pequeña que sea la velocidad inicial que se le dé, una vez que se haya apartado de su posición se alejará de ella. Toda perturbación, por pequeña que sea, hará que termine cayendo.

Consideremos ahora, en la figura B, la bola que se encuentra en el fondo de una semiesfera hueca. Está en equilibrio, y podemos hacer que el efecto de una perturbación sea todo lo pequeño que queramos, siempre que ésta sea suficientemente pequeña. Por ejemplo, para que la bola se aparte menos de un centímetro de su posición de equilibrio, basta con empujarla dándole menos energía que la que necesita para moverse un centímetro. Su peso actuará haciendo que la velocidad disminuya hasta cero y enseguida rodará hacia abajo. Si no hay rozamiento se comportará como un péndulo, oscilando por siempre, pero nunca se apartará más que un centímetro de su posición original. Un estado estacionario es estable en el sentido de Lyapunov en este caso, e inestable en el primero. Lyapunov consideró, además, otro tipo de equilibrio, más restrictivo. Supongamos que en el caso estable hay rozamiento. La amplitud de las oscilaciones de la bola se hará cada vez menor, de modo que, para cualquier medida del apartamiento de la posición de equilibrio, podemos estar seguros de que, luego de transcurrido un determinado tiempo, la bola se apartará menos que aquella medida en todos los instantes posteriores. Podemos elegir

El ingeniero José Luis Massera, durante su participación del Tercer Congreso del Partido Obrero Rumano en Junio de 1960.

\* FOTO: ARCHIVO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA, ARCHIVO MASSERA, CAJA 20, S/D DE AUTOR



una medida cualquiera, digamos un milímetro, y asegurar que, habiendo transcurrido un determinado tiempo, la bola se apartará menos que un milímetro del fondo de la hemiesfera. Esto es lo que se llama "estabilidad asintótica": el estado es estable y, además, si se lo perturba, podemos estar seguros de que, habiendo transcurrido el tiempo suficiente, el apartamiento será tan pequeño como queramos, siempre que la perturbación sea suficientemente pequeña.

## El teorema de Massera

Lyapunov demostró dos teoremas fundamentales. En primer lugar, que si existe un determinado tipo de función asociada al sistema (llamadas genéricamente "funciones de Lyapunov"), el estado estacionario es estable. En segundo lugar, que si existe otro tipo de función (que reciben genéricamente el mismo nombre), el estado es asintóticamente estable. Esto permite estudiar la estabilidad sin conocer las soluciones de las ecuaciones diferenciales respectivas: si se encuentra una función de Lyapunov, el estado es estable o asintóticamente estable, dependiendo del caso. Pero esto no es la panacea, porque hay sistemas estables para los cuales no existen funciones de Lyapunov, con lo que la búsqueda podría estar condenada al fracaso. La proeza de Massera consistió en demostrar que para una amplia clase de sistemas, los llamados "autónomos", la estabilidad asintótica implica la existencia de funciones de Lyapunov: el recíproco del segundo de los teoremas antes mencionados.

Es normal en matemática poder asegurar la existencia de un objeto sin poder explicitarlo. Pero el teorema de Massera demuestra la existencia de la función de Lyapunov para todos los sistemas autónomos asintóticamente estables dando un procedimiento para construirla. Para llegar a esa construcción, que había escapado a la perspicacia de algunas de las mejores mentes del siglo, Massera tuvo una idea brillante, que muy burdamente se puede describir diciendo que consideró que la función que buscaba se podía construir sumando "infinitos apartamientos de la posición de equilibrio" y luego lidió con finísimas cuestiones técnicas para ponderar la suma de modo tal que en ningún caso condujera a resultados absurdos.

Massera, un marxista de sólida formación ideológica, creyó ver en sus investigaciones elementos relevantes desde el punto de vista de la filosofía dialéctica. Tal vez alguien quiera negar este extremo. Lo que está más allá de toda polémica es que el resultado que obtuvo es una gloria de la ciencia. No solamente por su importancia insoslayable en una rama central de la matemática, no solamente porque sorprendió al mundo matemático al ver demostrado un resultado que se venía buscando afanosamente, sino porque la demostración de Massera abrió un nuevo frente en la batalla de la humanidad por comprender el cambio, con lo que su nombre ha ganado una justa inmortalidad.

Miguel Molina