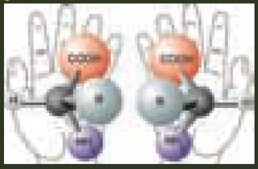
Q.e.d.

Ciencias duras en palabras blandas

Septiembre 2009
Año 1 | N°3
ISSN: 1852-5091

όπερ έδει δείξαι

Química y simetrías



Nanociencias Gigaproblemas

Gödel no se decide

- Problemas matemáticos
- Curiosidades físicas
- Taller y laboratorio
- Historia
- Demostraciones visuales

EN LA UBA SE ENSEÑA,
SE APRENDE, SE INVESTIGA

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
MÁS UNIVERSIDAD PARA TODOS

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
www.uba.ar

Editorial

Extraña pareja

¿Qué sorprendente, escandalosa y osada relación hay entre la física y la matemática? Una es una ciencia natural, y se refiere a las cosas que existen, mientras que la otra es una ciencia formal, que prescinde, en teoría, de la necesidad de un mundo al que se le aplique.

La física describe el universo; la matemática, el pensamiento; y hasta hay quienes le niegan siquiera ese mínimo contacto con la realidad material. Algo tienen en común esas dos ciencias: ninguna de ellas es exacta. La física perdió esa categoría con el advenimiento de la mecánica cuántica y su principio de incertidumbre; y la matemática lo hizo a partir de Kurt Gödel, y sus ideas de incompletitud e indecidibilidad.Sin embargo, y a pesar de esos hechos irrefutables de la historia reciente, el conjunto de la física y la matemática se conoce en muchos ámbitos como el de las ciencias exactas; justamente lo que no son. Y donde se acepta que eso ya no les cuadra, se inventó lo de ciencias duras, lo que requiere costosas e incómodas explicaciones. ¿En qué sentido son duras? ¿En sus procedimientos de validación? ¿Duras de entender? ¿Duras de matar? ¿Duras de corazón?

El hecho es que esas ciencias forman un dúo indisoluble, a pesar de sus profundas diferencias de origen y de objeto de estudio. ¿No hay, acaso, mucha gente que da clases de física y matemática, con la misma naturalidad que si las diera de química y biología, o de historia y geografía? Si tantos y tantas enseñan física y matemática a la vez ¿por qué no abundan, en cambio, profesores y profesoras de política y equitación; inglés y artes marciales, economía y música, o geodesia y filosofía?

Algo profundo y desconocido une a los integrantes de esta célebre pareja. Galileo Galilei dijo que el universo es un libro abierto ante nuestros ojos, escrito en lengua matemática. Cualquiera sea la inmensa distancia epistemológica, hay entre esas ciencias una atracción sin límites; se buscan una a la otra con frenesí, y cuando se encuentran, como en la palanca de Arquímedes, la relatividad de Einstein o la cuántica de Heisenberg, se arrojan con desenfreno una sobre otra, y se dan un festín como si no hubiera un mañana.[1]

Mientras subsista ese misterio, disfrutemos la inexactitud de las ciencias. En este número ofrecemos un artículo sobre Gödel, quien demostró que toda matemática que se precie, incluye afirmaciones que no se pueden demostrar, y de las que no se sabe si son ciertas.

Agustín Rela

1. Así dice James Bond en *Muere otro día* (Lee Tamahori, 2002), cuando se hace pasar por un fotógrafo de la vida silvestre y alguien le pregunta, con intención, qué hace un predador cuando por fin alcanza su presa.

Q.e.d., Quod erat demonstrandum, *es una expresión latina que significa:*

lo que se quería demostrar

Tiene su origen en la frase griega όπερ έδει δείξαι (óper édei deíjai), que usaron muchos matemáticos, entre ellos Euclides y Arquímedes, para señalar que habían alcanzado la demostración que buscaban.

Staff

Q.e.d.
Ciencias duras en palabras blandas©

Revista trimestral de divulgación
Año I, número 3

Universidad de Buenos Aires
Ciclo Básico Común (CBC)
Departamento de Ciencias Exactas
Pabellón 3, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Argentina

Directores:
Agustín Rela
Juan Carlos Pedraza

Editor:
Carlos Borches

Redacción:
Iliana Pisarro

Diseño:
Pablo Gabriel González

Consejo editorial:
Cecilia Di Risio
Eduardo Laplagne
Flora Gutiérrez
Patricia Fauring
Silvia Reich

Agradecemos la colaboración de
Alberto Ghini
Christian Espíndola
Fabián Blanco
Oriana Salvetti

Impresa en La Copia

revistaqed@cbc.uba.ar
http://qed.espaciotiempo.org.ar
http://www.slideshare.net/revistaqed
http://www.qed.cbc.uba.ar

+54 11 4789-6000, interno 6083
+54 11 4781-0706
ISSN 1852-5091

Q.ed Ciencias duras en palabras blandas

Artículos

Secciones

La forma hace a la función

Alberto Ghini y Cecilia Di Risio
CBC - UBA

El volumen y la forma de las partículas submicroscópicas tienen una importancia central a la hora de comprender el comportamiento y las propiedades macroscópicas de las sustancias.

Quien se acerque actualmente al estudio de la química en un nivel apenas superior al elemental, debe familiarizarse con una visión tridimensional de las partículas que constituyen la estructura submicroscópica de los compuestos. Probablemente esto parezca obvio, puesto que es claro que todo cuerpo con existencia física tiene un volumen. Sin embargo, no fue sino hasta ya entrado el siglo XIX en que los científicos comenzaron a comprender que el volumen, y en particular la forma de esas partículas elementales, tenían una importancia fundamental en su comportamiento, y en las propiedades macroscópicas de las sustancias.

Estos estudios coinciden con el nacimiento de la química orgánica como ciencia independiente. Conceptos (y aún términos) tales como isomería, poder rotatorio, imágenes especulares incongruentes (no superponibles), radicales, acuñados en esos momentos, han permanecido prácticamente inalterados hasta nuestros días. La mayor parte de esos trabajos tienen sin duda como figura central a Louis Pasteur. Él mismo fue plenamente conciente de la importancia de sus descubrimientos. Así, en su exposición presentada en 1860 titulada De la asimetría de los productos orgánicos naturales expresó: “La teoría de la disimetría molecular que hemos precisamente establecido, es en efecto uno de los capítulos más excitantes de la ciencia.” Y más adelante: “…abre a la fisiología nuevos horizontes, distantes, pero seguros”. La proposición de que una molécula, como cualquier otro objeto material, podía clasificarse de acuerdo con la imagen que produciría en un espejo, quedó completamente demostrada por él mismo y fue aceptada por la posteridad.[1]

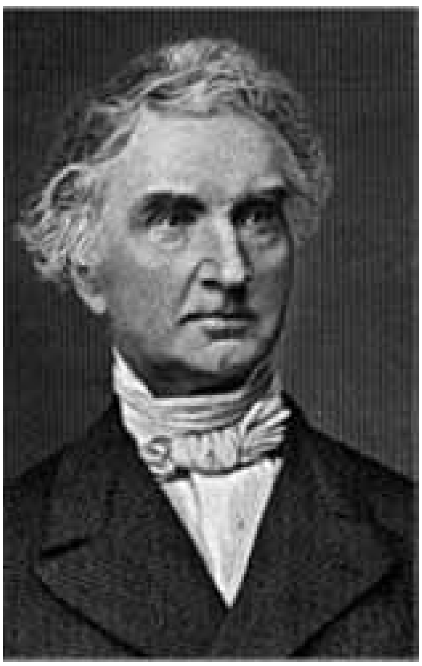
En este artículo se presenta un esbozo de la historia de la química en tres dimensiones desde los trabajos liminares de Pasteur. Se discuten someramente las fuerzas interactuantes entre átomos y entre moléculas que permiten justificar la forma que adoptan los compuestos. Se presentan en particular ejemplos tomados del campo de la farmacología, perfumería, aditivos de alimentos y otros de la interacción de moléculas de interés biológico con macromoléculas (enzimas, receptores).

El joven Pasteur (1822-1895) en su época de estudiante en la Escuela Normal Superior de París. El dibujo, copia del daguerrotipo original, lleva la firma de Labayne y fue realizado para la revista Life.

1. La frase “***Une dissymétrie moléculaire***” que Pasteur introdujo en el prefacio de su publicación de 1848, fue elegida como título para el primer volumen de la edición nacional de sus obras completas y está inscripta como palabra clave en el mausoleo que guarda sus restos en el Instituto Pasteur de París.

Un observador distraído puede cándidamente concluir que existe en casi todos los organismos vivos una tendencia a desarrollarse simétricamente. La mayoría de los animales poseen simetría bilateral y la mayoría de las plantas, cuando no se deforman por la competición con otras plantas o con su entorno, desarrollan una simetría prácticamente cilíndrica. Dicha tendencia resulta aún más evidente en los organismos más simples. Esta simetría exterior puede llevar a la conclusión de que los "ladrillos" a partir de los que se construyen dichos organismos son también simétricos. Sin embargo, la mayoría de los procesos moleculares biológicos involucran interacciones entre moléculas asimétricas.

UN POCO DE HISTORIA...



Justus Von Liebig (1803-1873), considerado uno de los padres de la química orgánica. No sólo fue un importante químico teórico, también realizó aportes a la industria de alimentos y participó en emprendimientos industriales en ese rubro. Un pueblo de la provincia de Entre Rìos, nacido al calor de la industria frigorífica, lleva su nombre.

El reconocimiento de que la vida en nuestro planeta está basada en las propiedades de los compuestos del carbono provino de trabajos realizados hacia el final del siglo XVIII y principios del XIX. Hasta bien entrado el siglo XIX muchos científicos pensaban que los compuestos orgánicos (provenientes de organismos vivos) seguían una química diferente a la de los compuestos inorgánicos. Dos características los diferenciaban claramente: por un lado, sus fórmulas mínimas no guardaban entre sus átomos una relación de números enteros y pequeños (ley de Dalton); por otra parte, se conocían varios compuestos que a pesar de poseer la misma composición cualitativa y cuantitativa, presentaban comportamientos físicos y químicos diferentes.

Buscando respuestas para estos interrogantes surgieron dos ideas importantes: las estructuras de estos compuestos estaban formadas por cadenas carbonadas, y los mismos átomos podían unirse entre sí en forma diferente dando lugar a la existencia de compuestos diferentes. Liebig postuló que algunos átomos se podían unir entre sí formando grupos, a los que llamó **radicales**, los cuales se podían encontrar como tales en compuestos diferentes. Estos descubrimientos fueron fundacionales para la química orgánica y constituyeron un avance extraordinario para la química en general. A partir de allí, se comenzó a comprender la estructura interna de los compuestos, incorporándose el concepto de **enlace químico**.

ISOMERÍA DE LOS ÁCIDOS TARTÁRICOS Y RACÉMICOS:

El ácido tartárico fue descubierto por Scheele en 1769. Su actividad óptica fue observada en 1815 por Biot, quien realizó un estudio detallado de la influencia del agua, el alcohol y varios ácidos y bases sobre su poder rotatorio entre 1832 y 1837.

El ácido racémico (también llamado paratartárico) fue aislado por Kestner en 1820, e investigado en detalle por Gay-Lussac en 1826, quien demostró que su composición era idéntica a la del tartárico, aunque diferían notablemente en sus propiedades físicas. Fue analizado por Biot, demostrando que era ópticamente inactivo. Estos hechos fueron utilizados por Berzelius para establecer el término **isomerismo** en 1830.

Los ácidos tartáricos y racémico, y sus sales, fueron rigurosamente estudiados por Pasteur. En sus conferencias dictadas en 1860, se refirió a este trabajo en la siguiente forma: "El paratartrato y el tartrato doble de sodio y amonio tienen la misma composición química, la misma forma cristalina con los mismos ángulos, el mismo peso específico, la misma doble refracción, y consecuentemente la misma inclinación en sus ejes ópticos. Cuando se disuelven en agua, su refracción es la misma. Pero el tartrato disuelto desvía el plano de la luz polarizada (...) Encontré, efectivamente, que las caras hemihédricas, que en el tartrato estaban todas volcadas hacia el mismo lado, estaban inclinadas en el paratartrato a veces hacia la izquierda y a veces hacia la derecha. Separé cuidadosamente los cristales que eran hemihédricos hacia la izquierda de los que lo eran hacia la derecha, y examiné sus soluciones separadamente en el polarímetro. Entonces ***observé con no menor sorpresa que placer***, que los cristales hemihédricos hacia la izquierda desviaban el ángulo de polarización hacia la izquierda, y los hemihédricos hacia la derecha lo desviaban hacia la derecha." (Pasteur dio el nombre de ***mezclas racémicas*** a los productos en los cuales se producía la cancelación de la actividad óptica por la neutralización de dos formas opuestas**)**.

En otra de sus conferencias de 1860, Pasteur describe el ácido mesotartárico:

"... además del ácido racémico, obtuve ácido tartárico sin ninguna acción sobre la luz polarizada, e incapaz de resolverse como el ácido racémico en dextro y levo-tartárico; un ácido muy curioso, perfectamente cristalino, que produce sales cuya belleza de forma no era inferior ni a los tartratos ni al racemato." Y su increíble lucidez mental le permitió explicar así (¡¡en 1860!!) esta aparente anomalía: **"*El ácido natural es como una escalera en espiral en relación al ordenamiento de los átomos*"** mientras que el ácido inactivo era **"*como la misma escalera hecha de los mismos escalones, pero ordenada en forma recta*".**

El genio de Pasteur le permitió además reconocer que "la absoluta identidad entre ambos ácidos tartáricos existe sólo cuando se combinan con compuestos inactivos respecto a la luz polarizada. (...) De hecho, a menudo ocurre que la combinación es posible con el compuesto dextro, e imposible con el levo, o viceversa". Y todavía fue más lejos: en organismos vivos observó que "la levadura que causa la fermentación del ácido dextro, deja la sal levo sin tocar, a pesar de su absoluta identidad en las propiedades físicas y químicas de ambos tartratos, siempre que no se los someta a alguna acción disimétrica".

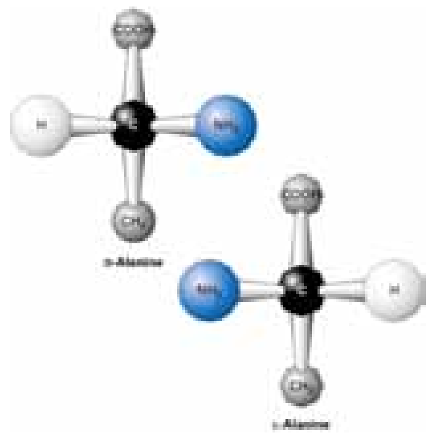
Puesto que la disimetría molecular es imposible en figuras confinadas a dos dimensiones, los trabajos de Pasteur se basaron en el postulado fundamental de que ***las moléculas eran cuerpos tridimensionales*****,** en los cuales los átomos están unidos de una manera definida, que preserva sus orientaciones, además de la mera secuencia de átomos de C, O, H, etcétera.

La elucidación del fenómeno de la disimetría molecular coloca entonces a Pasteur como pionero en el estudio de la **química en el espacio**. Sin embargo, cuando Pasteur realizó estos trabajos (1846-1853), el estudio de la química estructural no había progresado todavía hasta el punto en el cual se podía especificar la secuencia de los átomos, aun en los compuestos orgánicos más simples. De hecho, no fue sino hasta 1861 que Kekulé introdujo las primeras fórmulas gráficas (símbolos para los compuestos).

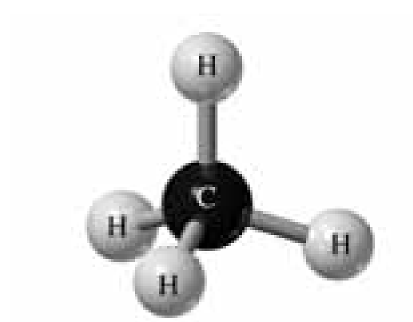
La visión de Pasteur respecto de la estructura del ácido tartárico se incorporó en sus escritos como pregunta: "¿Están los átomos del ácido dextro agrupados sobre la espiral de una hélice dextrogiratoria, o bien colocados en la cima de un tetraedro irregular, o quizá dispuestos de acuerdo a algún agrupamiento disimétrico particular, u otro? Nosotros no podemos responder estas preguntas. ***Pero lo que no se puede dudar es que los átomos están agrupados en algún orden disimétrico, de modo que son no superponibles con sus imágenes especulares.*** Y no es menos cierto que en el ácido levo tienen el agrupamiento disimétrico exactamente opuesto".

En este pasaje Pasteur propuso la idea del tetraedro irregular, lo cual todavía hoy constituye la ilustración más simple y común de la disimetría molecular. También propuso las estructuras helicoidal y espiralada…

Sus experimentos sobre la fermentación de los distintos ácidos tartáricos y sus derivados, en los cuales concluyó que la disimetría molecular "***interviene en un fenómeno d***e tipo fisiológico" constituyeron además el puente que él mismo atravesó hacia sus extraordinarias investigaciones en biología, por los cuales es hoy universalmente conocido.



Vista superior del tetraedro que representa los dos enantiómeros de la alanina. Abajo se puede ver una representación espacial clásica del tetraedro que representa una molécula de metano



FUERZAS ACTUANTES ENTRE ÁTOMOS Y MOLÉCULAS

Los átomos se mantienen unidos en sus moléculas a una distancia determinada debido a la existencia de fuerzas atractivas y repulsivas, las cuales son fundamentalmente de carácter electrostático. El valor promedio de dicha distancia se conoce como longitud de enlace. A su vez, entre las moléculas existen también fuerzas del mismo carácter, pero de menor intensidad, a las cuales, para diferenciarlas de las anteriores, se las llama fuerzas de no unión.

En la búsqueda de las condiciones más estables, los sistemas químicos tienden hacia un mínimo de energía potencial (entalpía, H, relacionada esencialmente con el calor) y un máximo de desorden o de azar (entropía, S, relacionada esencialmente con las probabilidades). Las moléculas en sí mismas llegan también a una situación de equilibrio dinámico, en el cual los átomos y grupos se distribuyen lo más alejados posibles entre ellos, en un continuo movimiento de traslación, y de rotación y vibración de sus enlaces, con lo cual la energía se distribuye en la forma más homogénea posible (máxima entropía). Cuanto más libre sea el movimiento, más efectiva será la estabilización.

Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) químico holandés ganador del Premio Nobel de química del año 1901. Con 22 años, cuando aún no había terminado su carrera, propuso la hipótesis del carbono tetraédrico asimétrico a fin de explicar las dos formas isómeras del ácido tartárico.

Cada átomo, o grupo de átomos, se puede considerar como un espacio relativamente esférico en donde los electrones se desplazan rodeando al núcleo, o a los núcleos, cargados positivamente. El volumen aproximado, o promediado, de esta esfera está dado por el llamado radio de Van der Waals, el cual representa la distancia mínima a la cual dos átomos (o grupos) que no están unidos entre sí, pueden acercarse sin que interfieran sus nubes electrónicas. La forma aproximada que adopta una molécula se puede predecir, entonces, considerando que los átomos unidos a un mismo átomo central se acomodan en el espacio de manera de alejarse lo más posible unos de otros, dentro de la distancia permitida para la existencia de los enlaces correspondientes.

A esta distancia máxima posible llegan los átomos y grupos, a través de giros sobre enlaces simples (permitido por la simetría cilíndrica de los mismos). Cuando los sustituyentes sobre dos átomos de carbono contiguos se ubican en el mismo plano, si están del mismo lado la distancia es mínima, mientras que si están en lados opuestos, la distancia es máxima. Entre esos dos extremos existen infinitas posibilidades, que corresponden a diferentes distancias entre átomos y/o grupos y por tanto a diferentes interacciones. Dos parámetros que definen la geometría molecular son la ***longitud de enlace***, y el ***ángulo de enlace*** (definido este último como el ángulo formado por las líneas imaginarias que unen dos átomos con un tercero en común). En el caso de moléculas asimétricas es muy importante la secuencia en que están unidos dichos átomos (**configuración**), según un orden predeterminado (por ejemplo, según el sentido de giro de las agujas de un reloj), lo que hace que existan moléculas diferentes, formadas por los mismos átomos, con idénticos ángulos y longitudes de enlace, e incluso la misma distancia relativa entre los mismos átomos y/o grupos (imágenes especulares incongruentes). Las posiciones que ocupan los átomos de una molécula por simple giro alrededor de un enlace sencillo determinan la **conformación**, que es también un parámetro muy importante para definir la forma de una molécula (decisivo en las macromoléculas). Mientras que la configuración es un parámetro **cualitativo** (identifica unívocamente el compuesto), la conformación da una idea **cuantitativa** de la distribución de los átomos y grupos en el espacio (la cual es función de las energías inherentes a cada conformación).

UN MUCHO DE GENIALIDAD ...

Los principios esenciales de la estructura tridimensional de las moléculas orgánicas que proporcionaron las bases estructurales a los descubrimientos de Pasteur, fueron formulados independientemente por J. van't Hoff, y por J A. Le Bel, en 1874. van't Hoff (primer Premio Nobel de Química, en 1901) propuso que cuando un átomo de carbono en una molécula está unido a cuatro átomos, éstos ocupan los cuatro vértices de un tetraedro, con el átomo de carbono en el centro. Si esos átomos (o grupos) son diferentes, ellos pueden ocupar dos arreglos espaciales distintos que son ***quirales***[1]: su relación es de imágenes especulares incongruentes. El átomo de carbono central se puede llamar entonces un centro de asimetría. Por el contrario, si al menos dos de los átomos o grupos son indistinguibles entre sí, sólo es posible un único ordenamiento alrededor del átomo de carbono central.

La mayoría de las moléculas que participan activamente en los procesos de la vida, incluyendo las enzimas, son ópticamente activas y tienen centros de asimetría.

1 La palabra quiral proviene de quirós, mano en griego. Las manos izquierda y derecha son el ejemplo más familiar y cercano de orientación espacial de simetría especular. La mano izquierda es incongruente con respecto a la derecha, en el sentido de que no hay ninguna manera de hacer coincidir una con la otra, con el empleo de traslaciones y rotaciones.

Las enzimas catalizan reacciones químicas uniendo las moléculas del reactante (sustrato) a un sitio específico de la molécula (enzima). Las enzimas son proteínas, y las proteínas están construidas por un gran número de unidades asimétricas, los aminoácidos.

No hay elementos de simetría en una enzima, ni en su sitio específico. Cada enzima acepta muy poca variación en el tipo molecular del sustrato: pequeños cambios en la forma o el tamaño pueden redundar en que la reacción se haga mucho más lenta, o que directamente no ocurra. Emil Fischer (Premio Nobel de Química en 1902) seguramente tuvo esto en mente cuando dijo, ya en 1894, que la enzima con el sustrato debían ajustar entre sí como ***una llave con su cerradura***. Como la cerradura no tiene simetría, la llave debe introducirse con una única orientación tridimensional; o sea, la llave tiene que girar en un sentido particular para abrir la cerradura, de modo que un costado en particular de la llave ejecuta la operación real de mover el mecanismo de la cerradura.

Van't Hoff construyó los modelos que se ilustran en la fotografía donde cada cara tiene un color y una etiqueta que representa a un grupo particular. Esta colección se encuentra actualmente en el Leiden history of science museum

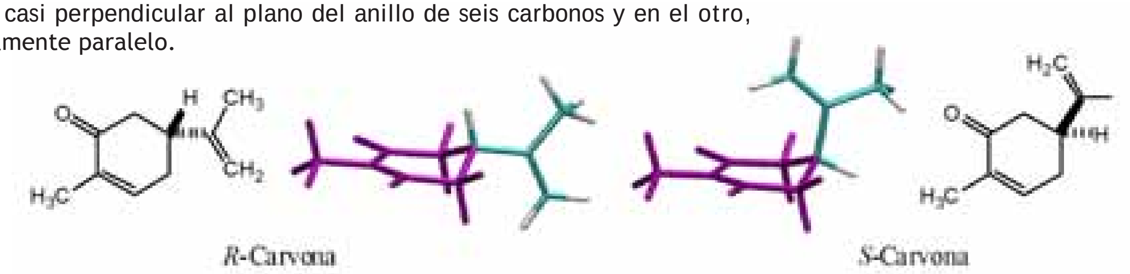
La gran mayoría de los compuestos orgánicos presentes en la naturaleza son ópticamente activos, debido a que los organismos tienden a producir sólo un enantiómero[2] de una dada molécula.

Para que un compuesto químico funcione adecuadamente en el organismo no sólo es importante que los componentes moleculares estén conectados en el orden correcto, sino que además ocupen la posición adecuada en el espacio. Un átomo o grupo mal ubicado pueden hacer que la reacción sea inefectiva o aún peor, inesperada.

ALGUNOS EJEMPLOS...

Nuestros sentidos del gusto y del olfato son altamente sensibles a diferencias estereoquímicas sutiles en las moléculas que los estimulan. Cuando las sustancias olorosas atraviesan la cavidad nasal, las moléculas interaccionan con sensores olfatorios específicos ubicados en tejidos de la membrana interna de la nariz, lo cual dispara una señal que llega al cerebro, e indica la percepción de un olor determinado.

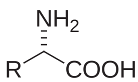
Un ejemplo clásico es nuestra respuesta olfatoria a las dos formas enantioméricas de la carvona, ambos utilizados como especias (aromatizantes): R-carvona tiene olor a menta, mientras que (S)-carvona huele parecido al comino. Se presentan a continuación las fórmulas "planas" (que no dicen nada de esa gran diferencia) y la estructura tridimensional de los dos enantiómeros, en donde se observa que el grupo (radical) isopropilideno se encuentra en un caso casi perpendicular al plano del anillo de seis carbonos y en el otro, prácticamente paralelo.



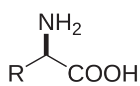
Los α-aminoácidos también exhiben sorprendentes diferencias en sus propiedades gustativas. Así, los enantiómeros L de los aminoácidos leucina, fenilalanina, tirosina y triptofano tienen gusto amargo, mientras que los correspondientes enantiómeros D son dulces. El producto comercial Aspartame® que se utiliza como endulzante de bajas calorías, es un dipéptido formado por dos aminoácidos: ácido L-aspártico (que por sí sólo no tiene gusto) y L-fenilalanina (que es amargo). Sin embargo juntos forman una molécula con gusto intensamente dulce (aproximadamente 160 veces más dulce que la sacarosa). La sustitución de la L-fenilalanina de la molécula por su enantiómero D-fenilalanina, el cual por sí mismo tiene gusto dulce, da como resultado un dipéptido con gusto amargo.

2 El enantiómetro de una sustancia es su reflexión especular

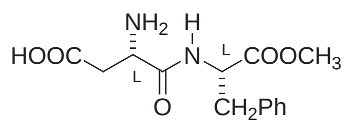
Siempre que se introduce un compuesto en el organismo, sea como aditivo en alimentos o como fármaco, surge el problema de la toxicidad. Cuando las moléculas poseen uno o más centros asimétricos, las propiedades toxicológicas adversas pueden deberse a uno solo de los enantiómeros. Muchos recordamos el triste caso de la talidomida, administrado como tranquilizante en forma de mezcla racémica a mujeres embarazadas en la década del 60, y que produjo nacimiento de niños con malformaciones. Posteriormente se demostró que el efecto adverso ¡¡lo producía el enantiómero que no poseía las propiedades sedantes!!.



aminoácido-L

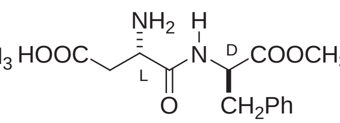


aminoácido-D

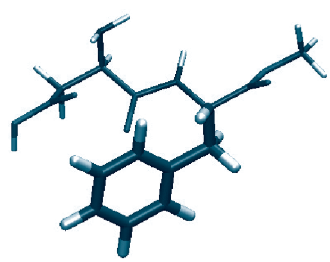


aspartamo

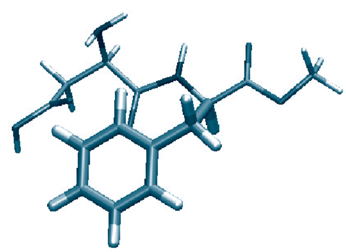
dulce



amargo

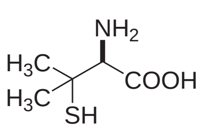


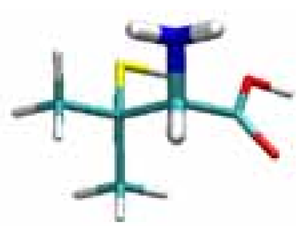
aspartame® (dipéptido dulce)



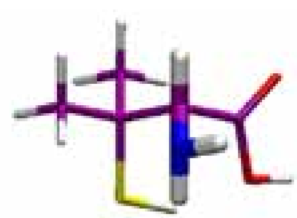
(dipéptido amargo)

Otro ejemplo menos dramático es el del aminoácido penicilamina. El enantiómero D es un agente quelante relativamente poco tóxico, que se utiliza para eliminar metales pesados del cuerpo: es un antídoto eficaz para el envenenamiento con plomo, oro o mercurio. En contraste, el enantiómero L, causa atrofia óptica que puede conducir a la ceguera.

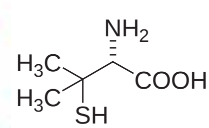




D-penicilamina

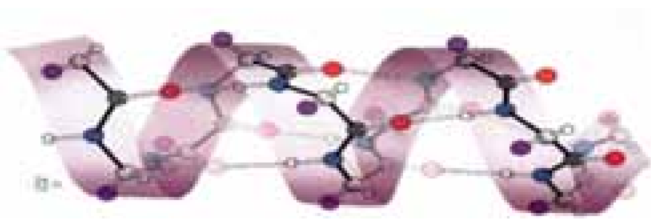


L-penicilamina

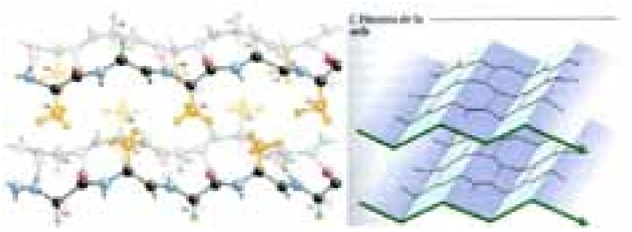


Cuando los aminoácidos se unen entre sí para formar péptidos y proteínas, la estereoquímica de cada unidad se ve reflejada en la macromolécula formada. Y así, como pensaba Pasteur, se pueden formar hélices, espirales…

Así, la ***lana,*** que es una proteína, tiene una estructura de tipo helicoidal (¡como un resorte!) y ello hace que se pueda estirar y volver a su posición.



Por el contrario la seda, otra proteína, tiene una estructura laminada, que le proporciona una textura totalmente diferente, en cierto modo impermeable, y que, por cierto, prácticamente no se puede estirar. No es por casualidad que las plumas de las aves tengan una estructura parecida.



Las hormonas esteroidales ejercen habitualmente su función biológica por formación de un complejo con una proteína específica (receptor). La especificidad de acción está basada en procesos de reconocimiento molecular por el receptor, y ese reconocimiento se debe a que los grupos funcionales adecuados se encuentran en la posición adecuada.

Cuando la hormona se une al sitio activo del receptor, se produce un cambio conformacional en el mismo, lo que produce pequeños (pero muy significativos) cambios en las posiciones de aminoácido claves. Esto permite que otras moléculas pequeñas (llamadas cofactores) se unan (o no) a ellos, lo cual dispara una respuesta diferente, y en general sumamente compleja.

Se presenta a continuación (Fig1) la estructura del cortisol (el glucocorticoide natural más potente en humanos) unido a su receptor.

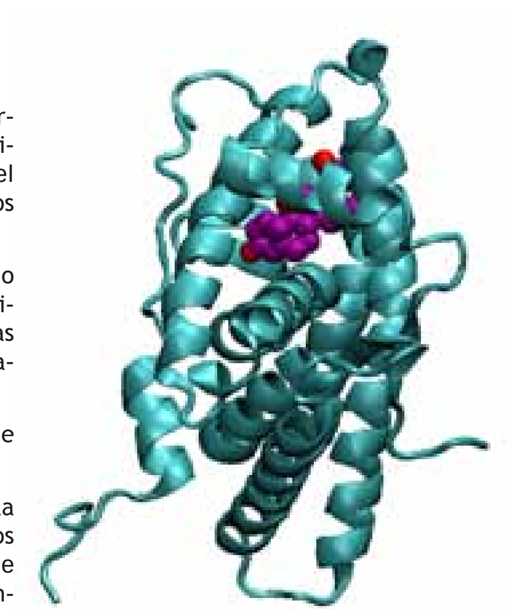
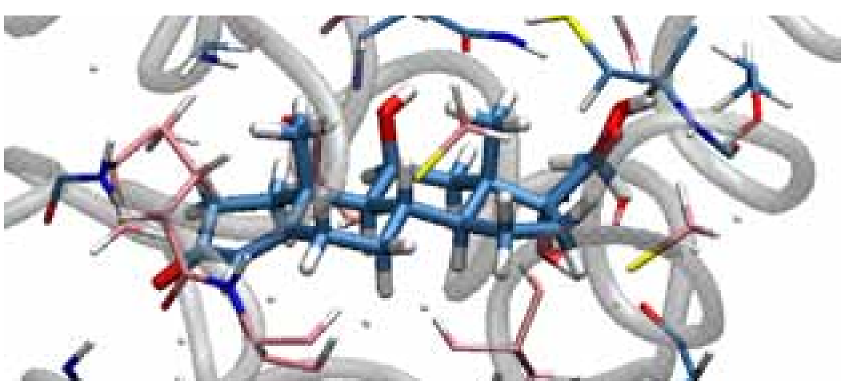
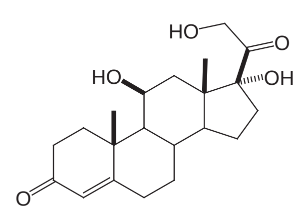


Fig1 - Cortisol unido al receptor

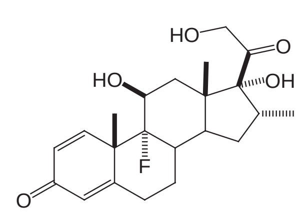
El cortisol se une al receptor porque los grupos polares están ubicados en la región que les permite interactuar con los grupos polares complementarios en el receptor; a su vez, las partes no polares ayudan a acercarse a través de interacciones con la cadena carbonada de la proteína (hidrofóbica), separándose así de las moléculas de agua que constituyen el entorno biológico. En la siguiente figura se muestran sólo los aminoácidos del receptor que interactúan específicamente con el ligando (el sitio activo).



Si observamos las estructuras tridimensionales de la ***dexametasona*** (el medicamento sintético de estructura esteroidal más utilizado como anti-inflamatorio) y del ***cortisol***, podremos entonces comprender por qué, a pesar de las notables diferencias estructurales entre ambas moléculas (presencia de un grupo metilo, un átomo de flúor y un doble enlace adicionales en la dexametasona), este medicamento se une también al receptor de glucocorticoides.



Cortisol



Dexametasona

Notablemente, el mismo principio que rige estas interacciones fabulosas, gobierna también procesos aparentemente tan sencillos como la extracción de una grasa por el jabón o la disolución de cualquier soluto en un solvente orgánico. La química de la vida (y la química en definitiva) se basa en pocos principios, genialmente utilizados. Darwin en su libro El origen de las Especies (del cual se cumplen ahora 150 años de su publicación) lo describe con esta frase genial: “***La naturaleza es pródiga en variedad, pero avara en invención***”.

Con el simple principio de atracción y repulsión entre cargas opuestas o del mismo signo, se construye la estructura material del universo, desde lo más grande hasta la simple (y tan maravillosa desde tantos puntos de vista) molécula de agua. Y es conmovedor recordar que átomos y moléculas se combinan e interaccionan entre ellos en forma tan maravillosa para permitir nada menos que la vida sobre la tierra.

Gran parte del desarrollo actual de la Química se está dando en la búsqueda de nuevas sustancias que puedan ser útiles para distintos fines, y que mejoren en definitiva la calidad de vida de la gente. Y buena parte de eso se está haciendo sobre la base de que "la forma hace a la función".[3]

Dedicado con admiración, gratitud y afecto al Dr Carlos P. Lantos.

3 En palabras de la Fundación Nobel: *"In chemistry, shape matters"*, en química, la forma importa. (De la presentación a los Premios Nobel de Química, 1975: John Cornforth y Vladimir Prelog). Otros científicos galardonados por "desarrollar las herramientas necesarias para comprender la relación íntima entre la forma de las moléculas y su función y la manera en la cual las moléculas utilizan la forma para reconocerse e interactuar entre sí en los sistemas vivientes », fueron: Derek Barton y Odd Hassel (1969) y Donald Cram, Jean-Marie Lehn y Charles Pedersen (1987)

"Tendremos un nuevo Newton" (*)

Pocos científicos han logrado en vida y después de su muerte un reconocimiento tan extenso como Luis Pasteur. Revisando brevemente su obra podemos encontrar las causas de su merecida fama.

Pasteur adquiere notoriedad académica en la Universidad de Estrasburgo, con sus investigaciones acerca de la relación entre la forma de los cristales de ácido tartárico y su diversa acción sobre el plano de polarización de la luz. Este hallazgo le valió, con menos de 30 años, la Legión de Honor Francesa y luego una invitación para ser decano de la Facultad de Ciencias en la Universidad de Lille.

Con la mudanza de Estrasburgo a Lille hizo lo que pocos científicos harían hoy en día: abandonar una línea de investigación teórica y promisoria para entregarse de lleno al vino y la cerveza, o más exactamente a los procesos de fermentación.

En torno a la universidad, se desarrollaba una importante industria de bebidas alcohólicas cuya producción estaba siempre en jaque: la fermentación podía conducir al zumo de uva a un buen vino siempre que no se tornara agrio. Científicos de la talla de Liebig consideraban que el proceso de fermentación era un proceso exclusivamente químico, pero los estudios de Pasteur lo conducen a afirmar que "toda fermentación es obra de un microbio especial". De esta manera había que impulsar la acción de los microbios que producían el alcohol a partir del azúcar del zumo de uva y frenar la acción de aquellos agentes que producían ácido láctico y agriaban el vino. Nacía la pasteurización que se extendería por toda la industria de los alimentos.[1]

Estos trabajos, que hoy llamaríamos de impacto social, le dieron renombre mundial, pero al mismo tiempo reflejaban una idea del concepto de vida que se puso a prueba con la discusión en torno a la "generación espontánea", polémica que fue seguida con vivo interés por la opinión pública. (ver *Intimidades…*, pág 34)

Esto sólo ya sería suficiente para ganarse el bronce, pero además tomemos nota de que la sociedad de su tiempo sintió que Pasteur encontró la forma de evitar la enfermedad del gusano de seda, del carbunco, cólera de las gallinas, erisipela de los cerdos, perineumonía de bovinos, y la remató curando la mortal rabia de perros y lobos. Ahora entenderemos porque su nombre está en tantas calles y mi computadora no denuncia error ortográfico cuando escribo Pasteur.

C.B.

(*) "Tendremos un nuevo Newton, o un nuevo Galileo", le escribe Marie Laurent a su suegro, contando entusiasmada las hazañas científicas de su esposo, Luis Pasteur.

1. Mucho después de la muerte de Pasteur se comprendió más acabadamente el proceso de fermentación. El conocimiento actual de esos procesos químicos permite realizar fermentaciones en forma artificial, sin necesidad de contar con la participación de microorganismos.

¡Guarda con el triángulo!

Juego de mesa con fichas de dos colores

Por Juan Carlos Pedraza
CBC - UBA

La matemática se ocupa tanto de generalizar propiedades particulares, como de descubrir que algo que parecía nuevo es en realidad una parte de un problema más vasto estudiado antes. Ambos procesos, como en otras ciencias y en la vida misma, facilitan que de una idea surja otra.

PINTAR EL PLANO CON DOS COLORES

Supongamos que pintamos de negro o de blanco[1] los infinitos puntos de esta hoja de papel. Veremos enseguida que *cualquiera sea la forma en que se haga esa clasificación, siempre se hallarán tres puntos del mismo color (blancos o negros) que formen un triángulo equilátero, o sea un triángulo de lados iguales*.

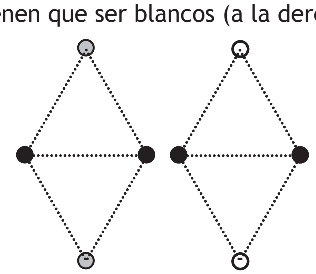
Para simplificar el problema, compliquémoslo[2].

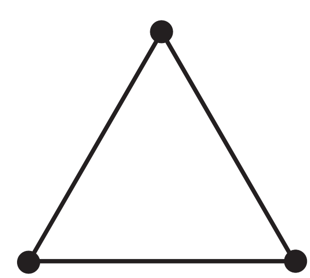
Supongamos que la hoja es todo el plano sin límites. Encontraremos tres puntos pintados del mismo color que son los vértices de un triángulo de lados iguales.

Supongamos que alguien asegura que pudo pintar el plano de tal manera que nunca hallaremos esos tres puntos. Seguramente puso infinitos puntos negros e infinitos blancos; de otro modo hallaríamos enseguida el triángulo buscado, con sólo alejarnos un poco de los puntos que están presentes en cantidad limitada.

Para fijar ideas (y para aprovechar el fondo blanco de esta hoja) tomemos dos de los infinitos puntos negros.

Construyamos dos triángulos equiláteros cuyos nuevos vértices pintamos por ahora de gris (a la izquierda) para no comprometernos. ¿De qué color serán en verdad? ¿Negro, quizás, alguno de ellos? Imposible, porque eso formaría el triángulo buscado, y quien pintó el plano ha asegurado que no existe. Entonces los dos puntos nuevos tienen que ser blancos (a la derecha).

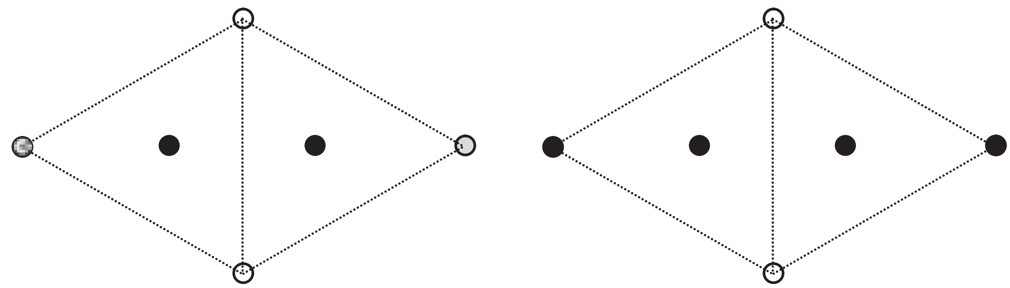




1 Un físico que leyó las pruebas de este artículo no puede contener el siguiente comentario. El color de un objeto está dado por la longitud de las ondas de luz que refleja. Para que un objeto refleje luz, su tamaño tiene que ser no mucho menor que el de la onda; de otro modo ésta le pasará de largo alrededor sin enterarse de que allí hay un objeto, como vemos que hacen las olas del mar cuando pasan como si nada a través de los postes de un muelle; en cambio se reflejan en el malecón mucho más grande, o en un barco. La idea de puntos blancos y negros se debe interpretar, en este contexto matemático, como meros nombres de dos categorías, y no como colores físicos, incompatibles con puntos de tamaño nulo.

2 La idea de un plano infinito parece más compleja que la de una hoja, pero en rigor es más simple, porque elimina la complicación de los bordes. Y el problema se simplifica aun más si se extiende a todo el espacio tridimensional.

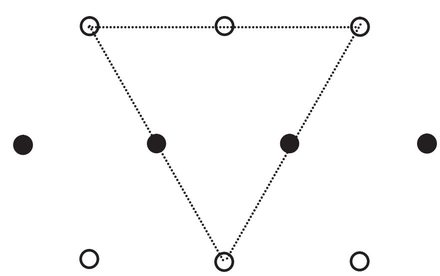
Construyamos dos nuevos equiláteros mayores con esos dos puntos blancos. Y como antes, pintemos de gris los nuevos vértices. ¿Será blanco alguno de ellos?

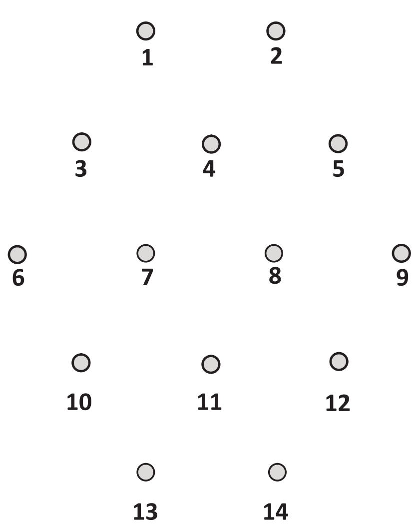


No, porque aparecería el triángulo que nos dijeron que no existe. Tienen que ser, entonces, negros.

Se pueden marcar seis puntos adicionales como vértices de nuevos triángulos. Ninguno de ellos puede ser negro, porque formaría un triángulo equilátero con otros puntos del mismo color. Tienen que ser, forzosamente, blancos. ¡Pero entonces aparece un equilátero blanco, el marcado en línea de puntos! Por eso, los nuevos puntos no pueden ser blancos. Y tampoco negros. Eso contradice la suposición de partida, de que se podían pintar los puntos del plano de modo que nunca halláramos tres del mismo color que sean los vértices de un triángulo equilátero.

Queda así demostrada la falsedad de esa suposición, y la veracidad de la que subrayamos al comienzo.





HÁGANSE LOS BORDES

En su libro *Cómo resolver problemas,* el matemático húngaro György Pólya (1887-1985) recomienda leer por segunda vez las soluciones para identificar las estrategias utilizadas. Si hacemos eso aquí, vemos que para encontrar tres de un mismo color que fueran vértices de un triángulo equilátero usamos muy pocos puntos del plano pintado en blanco y negro: alcanzaron diez. Surge esta pregunta: *¿Cuántos puntos son suficientes para que, distribuidos convenientemente en el plano, haya siempre tres que formen un triángulo equilátero, no importa de qué colores, blanco o negro, se pinte cada uno?*

Consideremos un tablero de catorce puntos como se ve en la figura. Si los puntos **7** y **8** son del mismo color, necesitaremos a lo sumo los diez puntos de la figura anterior para conseguir el triángulo equilátero.

Es posible ver que esos catorce puntos también son suficientes para hallar un equilátero de uno de los colores, aunque **7** y **8** estén pintados de colores diferentes.

Omitimos, por espacio, la demostración[3], que se puede consultar, sin embargo, en la versión digital de la Revista.

3 ¿Hay un tablero de menos de catorce puntos, negros o blancos, que siempre tengan un triángulo equilátero de vértices del mismo color? ¿Y si fueran tres los colores? ¿Y si en vez de triángulos se tratase de cuadrados? (Es que, como dijimos, una cosa lleva a la otra.) Queden esas preguntas como fuentes de deleite para el lector.

¡Un momento! ¿Y los bordes de la hoja? Con la ansiedad de contarles el juego *Guarda con el triángulo* me los estaba olvidando.

De todas maneras, tal vez usted ya se haya dado cuenta que este tablero de 14 puntos cabe en cualquier hoja con tal de hacerlo más pequeño si fuera necesario.

Una vez ubicados los 14 puntos en la hoja los bordes dejan de ser un problema. Si aceptamos que ellos son suficientes para que una vez pintados de blanco o de negro, siempre haya tres del mismo color que forman un triángulo equilátero, el problema original queda resuelto. Q.e.d.

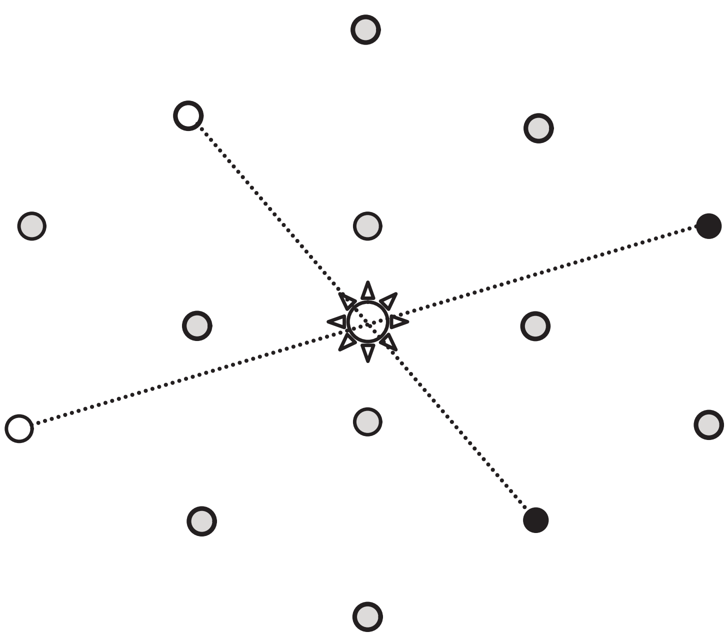
Versión en vidrio de ¡Guarda con el Triángulo! realizado por la artesana Adriana Conta. Foto: Oriana Salvetti.

EL JUEGO

En un tablero de catorce posiciones como el de la última figura, juegan dos jugadores, uno con fichas blancas, y el otro, negras, que ponen por turno y una por vez. Gana el que obliga al contrincante a formar un triángulo equilátero con los vértices de su color. Comienzan las blancas.

ESTRATEGIA GANADORA (SE ACABÓ EL JUEGO)

El negro tiene una estrategia ganadora basada en la simetría del tablero. Puede obligar a su oponente a que sea el primero en formar el equilátero de vértices de su color. Para ello el negro, que juega en segundo lugar, debe ocupar con su ficha el punto *simétrico* con respecto al centro del tablero (el sol en la figura), del que acaba de jugar su rival. La figura ilustra dos jugadas. El negro sigue o copia al blanco. Así, si el negro forma un triángulo equilátero es porque blanco lo ha hecho en la jugada inmediata precedente.



OTRO JUEGO

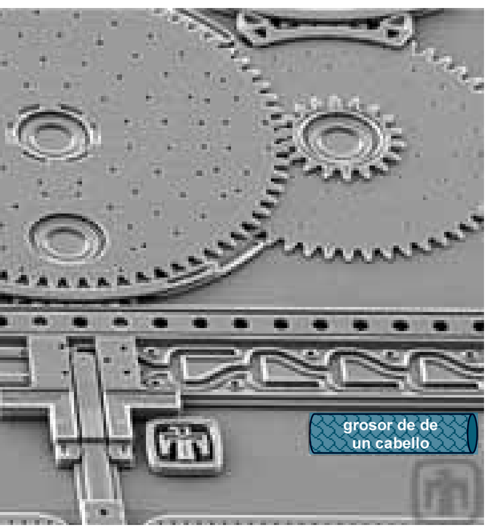
Ya que hemos quemado el juego anterior al revelar la estrategia ganadora, presentamos una ligera variante con un nuevo desafío. Juega primero el blanco y después juega dos veces seguidas el negro. A continuación juega dos veces seguidas el blanco, y así en más, siempre dos fichas, hasta que alguno de los dos jugadores forme un triángulo equilátero con los tres vértices del mismo color, momento en que pierde la partida.

Aquí también hay una estrategia ganadora. ¿Cuál? Quede para el lector o lectora la satisfacción de hallarla o, al menos, el placer de buscarla.

Por Agustín Rela
CBC - UBA

Los mecanismos de tamaño microscópico y atómico manifiestan efectos que en escalas mayores son insignificantes. El peso es como si no existiera, en comparación con las fuerzas electrostáticas; y con la fuerza del punto cero, también llamada fuerza del vacío, o efecto Casimir.

Microelectromecánica y nanotecnología



La figura muestra engranajes microscópicos de silicona, fabricados por los Laboratorios Nacionales Sandia, un organismo militar (véase el símbolo del águila) en Albuquerque, Estados Unidos. El mayor mide 0,4 mm de diámetro, y cada diente, 20 micrones, menos del grosor de un cabello. Se los fabrica con técnicas ópticas, de rayos X y químicas, semejantes a las empleadas en la elaboración de circuitos integrados.

Los pequeños hoyos provienen de golpes de planchado, para que las ruedas permanezcan planas y no se desengranen.

Abajo, un mecanismo elaborado con un material más reciente, la silicona planarizada, cuya estructura molecular no requiere planchado. Cada vez que una de las piezas alargadas recibe una señal eléctrica, se adelanta por atracción electrostática, y cuando la tensión desaparece, vuelve a su sitio por elasticidad. Cada pulso hace avanzar un diente, en una bomba que usa la industria farmacéutica para dosificar volúmenes microscópicos de líquidos.

Las imágenes se obtuvieron con la técnica de barrido electrónico, porque la longitud de onda de la luz visible es demasiado grande en comparación con los detalles de las piezas, los que saldrían borrosos en una fotografía óptica.

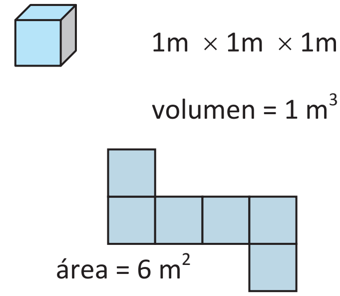
Los mecanismos acompañan la tendencia a la miniaturización ya conocida en los componentes y circuitos electrónicos, y tienen cada vez más aplicaciones útiles y pacíficas; en inyectores de tinta de impresoras, medidores de presión arterial, detectores de vibraciones, y pantallas con piezas móviles que hacen girar diminutos espejos muchas veces por segundo, desvían la luz y forman las imágenes. En los últimos años se hicieron algunos mecanismos tan pequeños, que su tamaño poco difiere del de una molécula. Eso dio ligar al nacimiento de la micromecánica molecular, o nanotecnología.

LA ESCALA PEQUEÑA

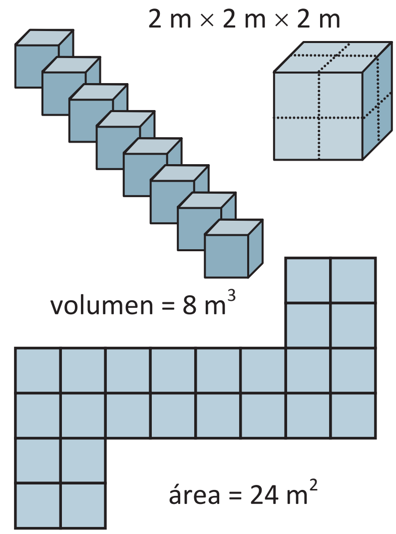
Cuando en el ambiente tecnológico se utiliza la palabra micro, generalmente se quiere significar algo pequeño[1], sin que importe exactamente su tamaño, y ni siquiera su orden de magnitud. En cambio, cuando se dice nanotecnología se hace referencia, específicamente, a tamaños del orden de un nanómetro, o la millonésima parte de un milímetro. Esa longitud es quinientas veces más pequeña que una onda de luz; entonces no podemos ver, directamente y con luz visible, objetos nanotecnológicos, cuyo tamaño es el de pocas decenas de átomos.

Lo pequeño funciona de modo diferente a como lo hace lo más grande, aunque en un caso y el otro valgan las mismas leyes físicas. Entre los muchos fenómenos que ocurren, hay algunos que se manifiestan en diversa medida, de acuerdo con el tamaño de los objetos.

1. Por ejemplo, un microinterruptor, o micro-switch, es un interruptor muy pequeño, pero no tanto como un micrón. Reciben ese nombre interruptores de un centímetro de tamaño, o más, y cuyos contactos, cuando abren y cierran un circuito, recorren una distancia del orden de un milímetro.



Por ejemplo, un incendio en un bosque o en una mina de carbón puede durar meses encendido; un brasero, horas; en cambio un ascua se apaga en menos de un segundo[2]. Un flan pequeño, cuando se lo desmolda, se mantiene erguido y firme sobre su base, mientras que uno grande se aplasta y esparce en el plato por su propio peso. Una paloma puede desprenderse de sus excrementos mientras vuela, no así una mosca, que los adhiere a un objeto fijo.



La micromecánica y la nanomecánica van más allá de la disminución del tamaño de mecanismos mayores de eficacia conocida. Si sólo se redujese la escala, sin ningún otro cambio, aparecerían efectos (muchos de ellos inconvenientes) que no se observan en la escala grande, y a veces ni se sospechan, como la adherencia electrostática entre piezas, la dificultad para mantener diferencias de temperatura entre dos puntos, la extraordinaria viscosidad de los líquidos (que en gran cantidad parecen muy fluidos), el efecto del sonido en los mecanismos de engranajes pequeños, la adherencia del polvo e impurezas, y la condensación de la humedad, cuyas pequeñas gotas pueden frenar por completo una rueda, o una palanca.

En el diseño de piezas microscópicas se tienen presentes esos efectos de escala, y se consideran sin necesidad de toparse con ellos por sorpresa, como quizás ocurrió en los comienzos de esa tecnología.

El razonamiento básico se funda en que, cuando un cuerpo tiene un tamaño doble que otro, su área es cuádruple; y su volumen, óctuple.

La figura de la izquierda muestra, arriba, un cubo de un metro de lado. Su volumen es de un metro cúbico; y su área, de seis metros cuadrados. Si tuviera la densidad del agua, pesaría mil kilos; y apoyado sobre su cara inferior, ejercería sobre el suelo una presión de mil kilos por metro cuadrado.

Abajo, un cubo de dos metros de lado. Su volumen es de ocho metros cúbicos, y su área, de veinticuatro metros cuadrados. Si su densidad fuera la misma que la del cubo anterior, pesaría ocho mil kilos, y apoyado sobre su cara inferior, cuya área es de cuatro metros cuadrados, ejercería sobre el piso una presión de dos mil kilos por metro cuadrado; el doble que antes. Así entonces, sería bien posible que un cubo pequeño se sostenga, mientras que uno grande, y del mismo material, se desmorone. Los cuerpos pequeños son más robustos, en proporción, que los grandes.

Las piezas muy pequeñas, de prototipos ensayados en una escala mucho mayor que la de servicio, presentan muy disminuidas sus propiedades de volumen, masa y peso, en comparación con las de área, y con las de longitud. Por ejemplo, si se confiaba en el peso de una parte para que vuelva a su posición de reposo cuando se la suelta, se hallará, en la réplica pequeña, que ese peso es insignificante, y que no alcanza para despegar la pieza de su sostén, al cual quedará adherida electrostáticamente[3]. Es que la carga eléctrica responde a la superficie, mientras que el peso depende del volumen.

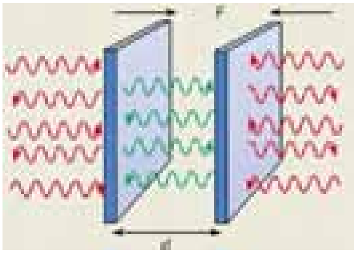
Detalle de una pata de mosca y partículas de polen. Los pelos eliminan cargas eléctricas que capturarían mucho polvo. Aun así, el insecto se debe frotar patas, alas y cabeza, para quitarse laboriosamente las par¬tí-cu¬las adheridas, tarea innecesaria para los animales grandes. La pata termina en dos esponjas que exudan un líquido pegajoso, y un par de tenazas. (Foto: Corey Binns.)

Así como la pequeñez trae esos inconvenientes, tiene también ventajas, entre ellas la robustez. La velocidad de giro de un motor de automóvil, o de lavarropas, es del orden de las mil revoluciones por minuto. Una amoladora de disco alcanza las tres mil. Una mayor velocidad de giro haría que esos motores se despedacen; o que, sin eso, vibren tanto, que se desgasten en poco tiempo. Un torno de dentista, más pequeño, alcanza fácilmente las diez mil revoluciones por minuto. Y hay motores microscópicos, bastante pequeños como para girar a medio millón de revoluciones por minuto.

....

2. Por eso no hay animales homeotermos, también llamados de sangre caliente, de menos de un centímetro; porque para mantener su temperatura quemarían el alimento en menos tiempo del necesario para conseguirlo, y aun ingerirlo.

3. En algunas operaciones quirúrgicas para implantar huesecillos de plástico en el oído medio, en reemplazo de los originales dañados por una infección, los cirujanos deben usar herramientas especiales, para poder soltar los diminutos repuestos sin que se queden pegados a las pinzas.



$$F_C = \pi \, h c \frac{A}{480 \, d^4}$$

Efecto Casimir. La radiación encerrada entre las placas conductoras, y, por tanto, reflectantes, genera interferencias que alteran el balance con la radiación externa (que no interfiere del igual manera). Con eso, predomina la presión ejercida por la radiación exterior. La fuerza es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la separación. A una distancia entre placas de cien diámetros atómicos, la presión de Casimir es de una atmósfera.
FC: fuerza de Casimir, en N; c: velocidad de la luz, 299792458 m/s; h, constante de Planck, 6,626068×10–34 m2.kg/s; π, 3,14159265; A, área, en m2; d, separación, en m.

EL EFECTO CASIMIR

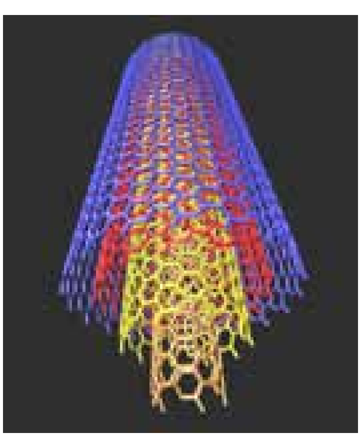
Es curioso lo que ocurre con muchas ideas científicas. Al comienzo son sólo especulaciones sin mucho fundamento, que muchos critican [4], y hasta rechazan, con razones que en el momento parecen sobradas. Pasado un tiempo, esas ideas se aceptan, o, al menos, se estudian con curiosidad. Después, algunas se corroboran en complejos y delicados experimentos; pero el conocimiento resultante sólo tiene interés teórico. Pasan algunos años, y a esa idea se le saca provecho; o, sin eso, se perciben sus manifestaciones prácticas en alguna rama de la industria. Y, por fin, se fabrican centenares de miles de millones de componentes, que forman parte de artefactos domésticos e industriales, basados en un principio físico que, pocas décadas antes, era sólo una idea atrevida.

Eso pasó con los satélites, la relatividad del espacio y el tiempo, la energía nuclear, el efecto túnel cuántico, y con muchas otras ideas, entre ellas la llamada fuerza del vacío [5], fuerza del punto cero, o efecto Casimir, en honor de Hendrik Casimir (1909–2000), quien descubrió, en 1948, que aun en un vacío teórica-mente perfecto, sin materia ni radiación, y en el cero absoluto de temperatura, las llamadas fluctuaciones cuánticas de la radiación (que no puede ser absolutamente nula, y adopta por momentos valores diferentes de cero) generan una fuerza de atracción entre placas conductoras planas y paralelas, y de repulsión en ciertos casos de curvatura. Esa fuerza es muy pequeña, y no se percibe en experimentos con cuerpos de tamaño visible; pero se empezó a notar cuando se fabricaron objetos de pocos nanómetros. Al principio eso era un inconveniente que dificultaba el movimiento de las piezas; pero después, resultó una nueva variable de control, de efectos aprovechables.

NANOTUBOS, NANOLÁMINAS Y NANOESFERAS

Se llaman nanotubos los cilindros de diámetro prácticamente atómico. Tienen variadas aplicaciones nanotecnológicas, y tuvieron su origen en fibras de grosor mucho mayor, y de propósitos modestos, como el de reforzar estructuras de plástico. El vidrio, por ejemplo, es un material cuya resistencia a la rotura a la tracción es pequeña; no mucho mayor que la de los plásticos. Pero cuando se lo hila finamente, adquiere una resistencia a los esfuerzos muy elevada, que no tiene una barra maciza de la misma sección transversal total.

El clásico concepto de resistencia a la tracción, en newton por metro cuadrado, o kilogramos por centímetro cuadrado, no tiene aplicación en el caso de los hilados, porque la fuerza resistente parece no ser proporcional a la sección, en centímetros cuadrados, como en los objetos más gruesos, sino al perímetro, en centímetros lineales. En el conjunto de las fibras de vidrio que refuerzan el plástico de una caña de pescar, un aislador o el eje de un motor, la cantidad total de perímetro de las fibras hiladas es muy grande, y lo mismo ocurre con la fuerza que puede resistir el haz. Lo mismo se experimentó con fibras de carbono, que resultaron aun más resistentes que las de vidrio, ambas de grosor cercano a un micrón, diez veces más fino que el de una tela de araña.



Representación artística de varios nanotubos de carbono. Cada átomo de ese elemento ocupa un nodo de la red. Hay tubos de una sola capa, como éstos, y otros de estructura más compleja, con varias capas vinculadas entre sí mediante enlaces atómicos. Esta figura no representa la torsión que pueden tener los nanotubos, hacia la izquierda o hacia la derecha.

Descubierto ese hecho, se fabricaron fibras cada vez más delgadas, para usarlas como refuerzo, hasta tropezar con el límite atómico. Es imposible hacer una fibra de grosor menor que el de un átomo, y, de hecho, debe tener un diámetro de varios átomos, para que éstos se puedan acomodar en una estructura estable.

En el caso del carbono, esa estructura es una malla hexagonal cerrada en forma de tubo, que recibió el nombre de nanotubo.

Aunque los nanotubos se conocen, en teoría, desde 1950, la evidencia de su existencia, y su fabricación, datan de 1991. En 1994 se logró una

4. Albert Einstein, uno de los más grandes científicos de la historia, y cuyos conocimientos y seriedad de argumentación fueron siempre indiscutibles, negaba, al principio, la física cuántica, a pesar de que años después le otorgaron el premio Nobel justamente por la explicación cuántica del efecto fotoeléctrico.

5. Hay quienes la llaman fuerza de la nada, para causar perplejidad, como si hiciera falta alguna razón adicional para quedar perplejos ante ese fenómeno, ajeno a la percepción ordinaria y cotidiana.

estructura plana, llamada grafeno, por su semejanza con el grafito. Sus propiedades son nuevas y extrañas, y dan lugar a variadas aplicaciones. Forman parte de sistemas microelectromecánicos (mems), como piezas móviles, y como conductores eléctricos. Se estudia la posibilidad de almacenar átomos de hidrógeno en esos tubos, sin necesidad de mantenerlo a presión, lo que sería de gran utilidad en los automóviles que usen ese gas como combustible. Se aprovecharía su torsión estructural para fabricar nanomotores. Resisten, además grandes fuerzas [6]. Y si se los pudiera hacer muy largos (actualmente no llegan a tener ni un micrón de longitud), se podrían usar como cables capaces de conducir muchos amperes por milímetro cuadrado.

Para fabricar nanotubos se vaporiza carbono con arcos eléctricos, láseres, u otros medios, y se deja que su vapor se condense y cristalice sobre superficies frías. Los nanotubos se forman naturalmente al ordenarse los átomos, y su grosor y longitud dependen de las temperaturas de los vapores y de las paredes del recipiente, y de otros parámetros del proceso.

Con técnicas similares, Jun Ni y otros investigadores construyeron, en 2009, nanotubos de boro, y hojas de espesor atómico de ese elemento. La posibilidad la habían predicho un año antes, con la ayuda de modelos de computadora. Esos materiales tendrían aplicación electrónica en la fabricación de transistores y compuertas lógicas de muy pequeño tamaño.

Siempre con el procedimiento de condensar vapores sobre superficies más frías (el mismo que se usa a veces en la fabricación de transistores, microprocesado-res y circuitos integrados), se obtuvieron láminas de carbono, de silicio, y de otros elementos, de apenas uno o dos átomos de espesor.

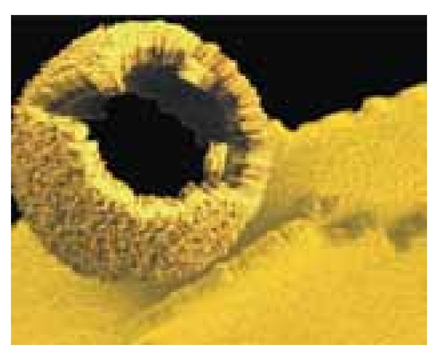
Las técnicas de fabricación de nanotubos, nanoesferas y nanosuperficies, en las que parte del trabajo se hace solo y de modo casi espontáneo, como resultado de las fuerzas de interacción entre las partes, recuerda la manera en la que, en los seres vivos, la materia inorgánica se organiza en moléculas orgánicas, como los aminoácidos y las proteínas, para formar la pared de una célula, u otras estructuras de complejidad mayor[7].

En 2007, el científico coreano Ji-Hoon Lee, y otros miembros del Departamento de Materiales del Instituto de Ciencias Gwangju, en la república de Corea, reportaron que las bacterias Shewanella sintetizan nanotubos de sulfuro de arsénico, de 20 a 100 nanometros de diámetro, que poseen propiedades fotoconductivas; esto es, conducen la electricidad cuando la luz incide sobre ellos. Se abrió, con esa observación, la posibilidad de fabricar nanotubos por medios biológicos, en una técnica que combina la nanotecnología con la biotecnología.

Prefijo	Símbolo	Factor	Mnemo
yocto	y	10^{-24}	ocho
zepto	z	10^{-21}	siete
atto	a	10^{-18}	(1)
femto	f	10^{-15}	(1)
pico	p	10^{-12}	sobra
nano	n	10^{-9}	enano
micro	μ	10^{-6}	pequeño
mili	m	0,001	mil
centi	c	0,01	cien
deci	d	0,1	diez
–	–	1	
deca	d	10	diez
hecto	h	100	cien
kilo	k	1000	mil
mega	M	10^{6}	grande
giga	G	10^{9}	gigante
tera	T	10^{12}	cuatro
peta	P	10^{15}	cinco
exa	E	10^{18}	seis
zetta	Z	10^{21}	siete
yotta	Y	10^{24}	ocho

Prefijos de múltiplos y submúltiplos. La tercera columna da una pista mnemotécnica para recordar los menos usuales. Por ejemplo, tera se parece a tetra, cuatro, y como 3 x 4 = 12, un tera-ohm equivale a 10^{12} Ω. Los símbolos van en mayúscula a partir de mega.

(1) Femto y atto significan quince y dieciocho en danés. Esos prefijos los introdujo el físico Niels Bohr, estudioso del átomo, cuyo núcleo mide, aproximadamente, un femto-metro.



Esfera de oro y polímero, de un nanómetro de diámetro. (La imagen se obtuvo por barrido electrónico, sin luz visible.) La técnica constructiva, inspirada en la formación de la membrana de una célula viva, la desarrolló el grupo de investigación que dirige Chad Mirkin en la Northwestern University, e incluye la unión de pequeños cuerpos de oro, con polímeros. Los conjuntos tienden a unirse de manera ordenada, en láminas curvas y esferas.

6. En 1895, mucho antes de los satélites, el científico ruso Konstantin Tsiolkovsky, mientras admiraba la hoy famosa torre diseñada por Alexandre Gustave Eiffel, y comentaba con él su diseño, concibió la idea de hacer una construcción de más de cien mil kilómetros de altura, que se mantendría erguida y tirante gracias a la rotación terrestre, para usarla como escalera para poner cargas en órbita, con gran ahorro de energía en comparación con los cohetes. El material necesario para erguir una antena o torre semejante, si fuera de grosor y densidad uniforme, debería resistir decenas de miles de kilogramos por centímetro cuadrado. Pues bien, los nanotubos de carbono satisfacen, hoy, esa exigencia.

7. El ingeniero Eric Drexler, cuando estudiaba la posibilidad de sembrar nanobots (robots nanométricos) para degradar contaminantes químicos del suelo y el agua, sugirió, en 1986, una aventurada y fantástica hipótesis que llamó la melaza gris (grey goo) Según esa idea, en algún laboratorio se podrían fabricar nanobots capaces de replicarse a sí mismos, que luego escaparían por accidente, y se reproducirían de manera descontrolada, a partir de la materia del medio ambiente. Muchos juzgan descabellada esa especulación, a pesar de que la aparición de la vida en nuestro planeta la muestra como teóricamente factible, y de que ése es justamente el comportamiento de algunos virus, los cuales se pueden manipular genéticamente con técnicas que, en lo sustancial, se asemejan a los procedimientos de construcción propios de la nanotecnología. En medios científicos serios, que incluyen al propio Drexler, hoy se descarta esa catastrófica posibilidad. La melaza gris no podría competir con la vida, que está aprendiendo a sobrevivir desde hace tres mil millones de años.

NANOMOTORES

Engranaje diferencial, imaginado en el Instituto de Manufactura Molecular (IMM), California, en los Estados Unidos, con varias clases de átomos.

Las máquinas rotativas de tamaño nanométrico son muy diferentes de los motores eléctricos, o de explosión, que conocemos en el tamaño habitual, o pequeño, pero visible. Y también difieren sustancialmente de los micromotores, nombre que reciben los motores cuyo tamaño es del orden de un centímetro, o pocos milímetros. Los nanomotores, de tamaño del orden del nanómetro, son verdaderas moléculas móviles, de estructura especialmente diseñada y construida, y están formados por pocos miles de átomos. Algunos ya existen realmente; y muchos otros son sólo ideas, en la fase inicial de proyecto y experimentación.

En este tipo de construcciones, las distancias son tan pequeñas, que los electrones pueden saltar de un sitio a otro, aunque los objetos no se to¬quen [8]. Se cree que el pasaje de una corriente eléctrica entre los electrodos, inducirá un giro, por la estructura en espiral que se le daría al nanotubo central.

Otros diseños permiten un desplazamiento lineal, en vez de rotativo. Si se ajusta un nanotubo corto de carbono alrededor de otro más largo, el de afuera se desplaza hacia el extremo de menor temperatura, donde las vibraciones de los átomos son de menor amplitud, y transmiten, por eso, un impulso menor.

Ese motor lineal es útil como herramienta de exploración en microscopios de fuerza atómica y de efecto túnel[9], gracias a que con un control adecuado de las temperaturas, se pueden dirigir desplazamientos de menor orden que el tamaño de un átomo.

En la etapa actual del desarrollo de la nanotecnología, el campo de la imaginación es mucho más vasto que el de los alcances concretos. Hay muchos proyectos cuya viabilidad se comprobó con modelos de computadora, sin que se hayan fabricado todavía. Sin embargo, y por la misma índole de las herramientas de elaboración, en esta rama de la industria la distancia entre la idea y el hecho es bastante menor que la que existe en otras, como la náutica, o la arquitectura.

Imágenes del presidente de EEUU, Barack Obama, creadas con estructuras de nanotubos de carbono por un equipo de investigadores de la Universidad de Michigan. Cada una está constituída con aproximadamente 150 millones de diminutos nanotubos de carbono, y fueron fotografiados utilizando un microscopio electrónico.

....

8. Lo que llamamos tocar está lejos de nuestra idea intuitiva de compartir un punto geométrico. Lejos de eso, el más fuerte puñetazo dado sobre una mesa, mantiene una considerable distancia entre la madera y la mano, equivalente a varios radios atómicos. La fuerza que se ejercen ambos cuerpos en ese caso, es la de repulsión eléctrica entre los electrones de los átomos que se acercan. (Quizás en eso se base la excusa ¡Ni lo toqué! esgrimida en algunos accidentes de tránsito.) En distancias nanométricas, el concepto de estar o no en contacto se reemplaza por el más amplio de la comparación de las fuerzas de interacción entre átomos cercanos.

9. El microscopio túnel tiene una punta microscópica que recorre la superficie del objeto, y le arranca electrones con menos tensión eléctrica que la que corresponde según la teoría clásica, efecto que se conoce como túnel, por comparación con una bolilla que supera una loma sin tener energía cinética suficiente, como si atravesara el terreno a través de un túnel. El de fuerza atómica tiene alguna semejanza, pero en vez de arrancar electrones, éstos la atraen mientras se desplaza paralelamente a la superficie. La fuerza se mide por la flexión del fino soporte de la aguja.

Gödel: una vida incompleta

Por Christian Espíndola
CBC - UBA

¿Podría el ser humano, intentando suplir las falencias de un sistema en construcción, enfrentarse a una incompletitud inherente e irremediable? Gödel nos demuestra que, al menos en el campo de la matemática, este parece ser el caso, y su vida nos enseña que la obsesión por la perfección puede resultar un arma de doble filo.

"El Sr. Porqué". Ese era el apodo que Kurt Gödel se había ganado, de niño, por parte de su familia, en clara alusión a su naturaleza persistentemente inquisitiva. Nacido en 1906 en Brünn, ciudad que pertenecía al entonces imperio austro-húngaro, Gödel se convertiría en uno de los lógicos más importantes y revolucionarios, y jugaría un prominente rol en el programa destinado a construir los cimientos de la matemática. Ya a temprana edad mostró talento para las ciencias exactas y los idiomas en general, capacidad que le resultaría de enorme utilidad para el análisis de la sintaxis lógica que subyace en los procedimientos deductivos. Gödel perteneció a una generación a la que le tocó presenciar tiempos difíciles, dos guerras mundiales e importantes cambios. A pesar de no mostrar interés alguno en la política, debió sufrir las dificultades y riesgos producto de un convulsionado régimen en la Alemania nazi, que lo convencieron finalmente de emigrar a Estados Unidos. A lo largo de su vida mantuvo intactas su insaciable curiosidad y sus ambiciosas aspiraciones, y en una apasionante búsqueda de la verdad supo abrirse camino y estar al corriente de las tendencias intelectuales de su época.

Ingresó a la Universidad de Viena sin decidirse aún por estudiar matemática o física, pero los alentadores cursos de teoría de números que dictaba uno de sus profesores acabaron por convencerlo de que debía dedicar su vida a investigar en detalle la primera. Ya en 1929 había logrado doctorarse con una interesante tesis acerca de la lógica de primer orden, la principal herramienta usada para los desarrollos matemáticos usuales. Había comenzado a asistir a las reuniones del Círculo de Viena, junto a hombres de la talla de Rudolf Carnap, y para ese entonces ya tenía una idea bastante nítida de lo que consideraba la verdadera naturaleza de la matemática y su relación con el mundo real. No era la primera vez que los matemáticos hacían consideraciones epistemológicas acerca de la filosofía de su ciencia, y el siglo XX fue testigo de la aparición de numerosas corrientes de pensamiento al respecto. Con el avance y complejidad que se había logrado en la estructura del pensamiento lógico, era cada vez más frecuente la pregunta acerca del lugar y significado que la matemática poseía. Y Gödel, urgido por la incesante necesidad de buscar la razón, decidió proponerse la arriesgada empresa de llegar a las últimas consecuencias. ¿Es realmente la matemática, como se piensa, el lenguaje del universo? ¿Son las entidades matemáticas objetos reales o es su existencia un mero postulado ontológico útil? ¿Dónde radica la generalidad del lenguaje matemático y cuáles son sus límites? Estas preguntas, así como muchos otros interrogantes similares, intrigarían la incansable mente de Gödel y conducirían sus investigaciones por el inexorable derrotero hacia uno de los resultados más fundamentales y de mayor impacto en el mundo de la lógica.

"Si voy a mi oficina es únicamente para tener el privilegio de volver luego a casa paseando con Gödel", decía Einstein de su amigo y vecino del Centro de Estudios Avanzados de Princeton. Tres años antes del cumpleaños número 70 de Einstein, Gödel se puso a trabajar en su regalo: un modelo cosmológico para un universo en rotación consistente con la relatividad general en el que una persona puede viajar a su propio pasado. Gödel lo terminó justo a tiempo para su publicaciòn.

EL DESPERTAR

Desde los tiempos de Euclides las intuiciones matemáticas se fundamentaban sobre premisas que se daban por ciertas, y las deducciones se hacían a través de reglas de razonamiento implícitas que nadie ponía en duda y que constituían la base de todo buen argumento. Pero a finales del siglo XIX, la aparición de ciertas contradicciones en el corazón del edificio matemático puso en evidencia que era necesario enunciar explícitamente los mecanismos usados para extraer conclusiones, con el objeto de identificar la raíz del problema y salvar, en la medida de lo posible, la mayor parte de la matemática que estaba siendo amenazada con insolentes paradojas. Fue entonces que se hizo clara la necesidad de un desarrollo axiomático, de distinguir entre los aspectos que la matemática describía y los métodos usados para ello. Si bien la matemática había seguido enriqueciéndose durante cientos de años gracias al aporte de diversos hombres de ciencia, se hizo necesario proveer un marco teórico subyacente para organizar toda la estructura. Las premisas consideradas evidentes debían ahora tomar sin excepción la forma de axiomas, y todo lo que pudiera deducirse debía hacerse sobre la base de ellos y por medio de reglas de inferencia explícitas y cuidadosamente controladas. Era una distinción entre la forma y el contenido, entre el lenguaje usado para describir ciertos resultados y el significado mismo de los propios enunciados; en otras palabras, una distinción entre sintaxis y semántica. Se trataba de establecer reglas gramaticales para el lenguaje matemático, de atribuirle características estructurales independientes de aquello que podía describir, de producir una escisión entre el objeto de estudio y el sujeto que lo estudia, por medio de la cual el matemático comenzaba a analizar el alcance de su ciencia como sistema, pero saliéndose de dicho sistema y contemplándolo desde afuera. Este profundo cambio en la concepción de la matemática tendría importantísimas consecuencias, y el nuevo enfoque permitiría abrir un campo de investigación innovador. Por primera vez se tomaba conciencia de los mecanismos del funcionamiento del sistema, y este despertar ayudó a imponerse a la rutina detrás de los engranajes que lo movían, logrando una instrospección y jugando con la autorreferencia. Había surgido la metamatemática.

Gödel acostumbraba tomarse todas las cosas en serio. Cuando se le ofreció la ciudadanía norteamericana, decidió estudiar previamente en detalle la Constitución de los EE.UU. Un día antes de la jura llamó a Oskar Morgenstern –otro del brillante grupo de Princeton, coautor de la Teoría de Juegos- muy nervioso; había descubierto una inconsistencia lógica en la Constitución por la cual se podía instaurar una dictadura en los EE.UU. Morgenstern intentó calmarlo y le sugirió que jurara y después siguiera trabajando en el tema. Al día siguiente Morgenstern y Einstein acompañaron a Gödel para evitar cualquier reacción poco afortunada del lógico. Según los testigos, se produjo el siguiente diálogo con el juez Philip Forman, "Ud. tenía la nacionalidad alemana hasta ahora, ¿no?" -"Austriaca" corrigió Gödel; "Es igual" -prosiguió el juez- "aquello fue durante una horrible dictadura, pero afortunadamente eso no puede pasar aquí"; "¡De ninguna manera, yo puedo demostrarle que sí!" afirmó Gödel, y comenzó a explicarle el mecanismo que había descubierto. Afortunadamente, el juez Forman lo interrumpió, Einstein y Morgenstern consiguieron calmar a Gödel y la jura se produjo sin mayores sobresaltos.

De la mano de matemáticos como David Hilbert, Alfred Tarski y Thoralf Skolem, el impulso que este cambio de perspectiva confirió a la disciplina fue multiplicado y explotado con creces. Mientras matemáticos anteriores habían dirigido sus investigaciones haciendo camino entre la tupida vegetación de la selva matemática, el nuevo enfoque equivalía a subir un nivel y contemplar el panorama completo desde arriba. De esta manera podían hacerse deducciones acerca de lo eficiente que podía ser un cierto camino o si una determinada vía podía conducir al resultado esperado sin necesidad de recorrerlos. Este inteligente punto de vista era novedoso y distinto a los desarrollos acostumbrados, pero también más arriesgado y peligroso. Subir de nivel era útil para lograr un mayor entendimiento del quehacer matemático, pero trepar el árbol de la sabiduría conllevaba el riesgo de tomar conciencia de las propias limitaciones del método, así como de la imposibilidad de cumplir con algunos propósitos y de llegar a ciertos destinos; y mientras más altura se alcance, más estrepitosa puede ser la caída.

Hilbert planeaba diseñar un programa según el cual el método lógico-matemático se demuestre infalible y suficiente para todos los propósitos, estableciéndose como herramienta primordial para alcanzar la verdad. Gödel, entusiasmado por este plan, se abocaría a estudiar las propiedades metamatemáticas del sistema axiomático, lo que terminaría por asestar un duro golpe al corazón del programa de Hilbert, un golpe que nadie vio venir.

EN BUSCA DE LA COMPLETITUD

Durante sus años en la universidad, Gödel comenzó a abrazar la idea de que las entidades matemáticas tenían existencia propia en el mundo, independientemente del que las postulara. Según esta idea, la matemática no se inventa sino que se descubre, y la visión del campo matemático se hace más amplia a medida que se toma conciencia de su vastedad por medio de la investigación. Se planteaba entonces el siguiente interrogante: ¿son los métodos de investigación lo suficientemente poderosos como para permitir al matemático adentrarse en todos los resquicios del saber? ¿son lo suficientemente confiables como para no dejar dudas acerca de los resultados hallados? Y en caso afirmativo, ¿hay alguna manera de usar los propios métodos del sistema para probarlo? Hilbert había jugado todas sus cartas a intentar convencer al resto de la comunidad académica de la posibilidad de establecer estos hechos sin lugar a dudas, convirtiendo la matemática en un sistema autocontenido, a prueba de fallos. Soñaba con conseguir la completitud del sistema matemático, la certeza de que toda aquella pregunta que era capaz de expresar en el lenguaje del sistema podía ser respondida efectivamente. De este modo no habría nada que eventualmente no pudiera conocerse: la creatividad humana era el límite. Entusiasmado por la idea de tener un referente universal para la verdad, Gödel inició un estudio profundo de la gramática de los sistemas axiomáticos, con el objeto de establecer su rol y sus implicaciones. Grande sería la sorpresa de sus contemporáneos al conocer el punto culminante de sus investigaciones; después de mucho buscar, concluyó Gödel que la completitud puede lograrse, pero pagando un altísimo precio.

La idea de Gödel es de una complejidad extrema, pero puede describirse a grandes rasgos de un modo muy simple. Su construcción se basa en intentar traducir viejas paradojas del lenguaje a un nuevo idioma, el de la matemática, y el corazón de sus investigaciones gira en torno a cómo efectuar esta traducción de modo de conseguir que enunciados autorreferentes puedan ser reproducidos en el lenguaje de un sistema axiomático adecuado. Para ello, el sistema debe ser lo suficientemente potente como para poder expresar el género de enunciados que hablan de sí mismos. Si con ayuda de una adecuada traducción, razonaba Gödel, un enunciado del tipo: "Este enunciado no tiene demostración" pudiera colarse en el desarrollo formal de una teoría, tal teoría sucumbiría irremediablemente a la pérdida de la completitud. En efecto, el enunciado en cuestión no podría ser demostrado, pues hacerlo equivaldría a probar justamente lo contrario, como el propio enunciado afirma. Luego, si uno se empeña en conseguir la completitud, acaba cayendo en una inconsistencia; el único modo de lograr que el sistema sea completo es renunciando a su consistencia.

Frente a esta alternativa para nada deseable, surge la idea de trabajar con sistemas distintos que no sean capaces de exhibir este tipo de enunciados autorreferenciales. Un tal sistema no debería nunca poder hacer referencia a sí mismo, dejando para la metamatemática cualquier consideración en cuanto a su sintaxis. Sin embargo, como Gödel probó, un tal sistema sería demasiado débil como para intentar describir uno de los conceptos fundamentales que la matemática intenta elucidar: los números naturales. Parecería un sinsentido que la matemática, que justamente surgió por la necesidad de abstraer el concepto de número, deba ahora renunciar a explicarlo en su totalidad para poder evitar el enunciado gödeliano. El sistema, en ese caso, podría ser efectivamente completo, pero su rango de acción sería limitado. Desde el momento en que un sistema se propone axiomatizar adecuadamente los números naturales, sucumbe sin remedio a los argumentos de Gödel, siendo capaz de hacer que la aritmética sea su propia metamatemática, y actuando como una serpiente que se muerde a sí misma y que inyecta el veneno de la incompletitud.

Versión animada de la paradoja del mentiroso en la que se inspiró Gödel para la demostración de la incompletitud. En ella se puede ver a Pinocchio, el muñeco al que le crecía la nariz cuando mentía, afirmando: "¡Mi nariz va a crecer ahora!", lo que genera un círculo vicioso que impide hacer aseveraciones sobre la veracidad de la frase. El trabajo de Gödel intenta traducir la paradoja al lenguaje de la lógica, pero discriminando cuidadosamente entre diversos niveles de interpretación, entre aseveraciones matemáticas y metamatemáticas. Con este novedoso enfoque la paradoja desaparece, pero su potencia y profundidad es tal que deja, de todas maneras, el rastro de la incompletitud en la teoría.

Como si no hubiese sido un golpe suficientemente fuerte, Gödel tenía aún más que decir acerca de la coherencia de los sistemas considerados. Dedujo de sus investigaciones que un sistema consistente que contenga la aritmética no solo resulta ser inherentemente incompleto, sino que además es incapaz de probar su propia consistencia; en otras palabras, el único modo en que un tal sistema pudiera demostrar de sí mismo que es consistente sería que no lo fuera realmente. De este modo, si tenemos la esperanza de salvarlo de la inconsistencia, deberá ser incapaz de reproducir en su lenguaje una prueba de su coherencia; una tal prueba, si existe, tendría que ser siempre efectuada por fuera de él, y el sistema nunca podría ser "consciente" de ello. En ese sentido, buscar empecinadamente una prueba de consistencia con métodos del sistema es como jugar con fuego, ya que, de hallarla, inmediatamente encontraríamos también una incoherencia. La matemática quedaba así totalmente expuesta e indefensa, y la cuestión sobre su consistencia se hundía para siempre en la niebla. Si, en el mejor de los casos, resultara consistente, jamás podríamos averiguarlo con sus propios métodos.

LA INCOMPLETITUD COMO VIRTUD

Los resultados de Gödel causaron en su momento una enorme conmoción en el mundo matemático y sus consecuencias impresionaron a numerosos lógicos y filósofos de las ciencias. Pero desde la publicación de estos resultados, en 1931, hasta nuestros días, los matemáticos han podido sobreponerse y aceptar la incompletitud como parte de las reglas de juego. Ya Gödel había hecho notar que un sistema podía probarse incompleto exhibiendo un enunciado que pueda formularse en su lenguaje (después de traducir adecuadamente una autorreferencia) pero tal que el sistema no pueda demostrarlo ni refutarlo; es decir, mostrando que hay una cuestión acerca de la cual el sistema "se abstiene" y que resulta por lo tanto indecidible. Surge entonces naturalmente la posibilidad de ampliar el sistema de dos maneras posibles, agregando el enunciado o agregando su negación. Siendo el enunciado indecidible para el sistema original, si éste era consistente, el nuevo sistema lo será también, cualquiera que fuere la alternativa elegida. De esta manera se crean nuevas estructuras que describen universos distintos e igualmente aceptables, pero que son también incompletas, y por tanto susceptibles de ser ampliadas a su vez a otros sistemas, cada vez más específicos. La riqueza y variedad de lo incompleto resulta una cualidad deseable frente a la monotonía de un sistema completo y llano; se resigna la completitud en favor de la diversidad, así como se resigna la certeza de la consistencia en favor de la coherencia.

La búsqueda de la verdad última había conducido a Gödel a terrenos insospechados, y sus indagaciones sobre la completitud culminaron con su gran descubrimiento. No hay dudas de que su condición obsesiva y detallista le permitió concebir su genial método para lograr que un sistema sea autorreferente, aunque, cual arma de doble filo, le jugaría en su contra hacia el final de su vida. Los numerosos premios y reconocimientos que recibió por su trabajo atestiguan una dedicación exhaustiva y esforzada en el campo de los fundamentos de la matemática, pero al precio de una personalidad suspicaz y peligrosamente paranoica. En sus últimos años, Gödel no pudo evitar sufrir períodos de inestabilidad mental y fobias. Y si bien no era la primera vez que experimentaba una crisis nerviosa, nunca había arriesgado tanto. Temeroso de que pudiera envenenarse, era cuidadosamente selectivo con lo que ingería y pronto se rehusó casi a comer, lo que eventualmente le condujo a la muerte por inanición.

¿Qué escabrosos pensamientos pudieron haber pasado por la mente de Gödel para llevarlo a adoptar esa determinación? ¿Hasta qué punto puede alguien ser consecuente con su comportamiento aún a riesgo de perder la vida? ¿Fue el recelo extremo una perversa jugada del destino o fue, irónicamente, el mismo deseo de completitud de su esquema obsesivo el que le condujo a la incoherencia? Sea cual fuere la respuesta, lo cierto es que marcó el punto final para el Sr. Porqué, el genio que, de tanto querer tener razón, acabó por perderla. Y su muerte nos deja, una vez más, la misma sensación que sus teoremas: la de una inextricable incompletitud.

Galería de grabados, de M.C. Escher. En esta ilustración del genial artista se puede apreciar, de acuerdo a la interpretación de Douglas Hofstadter, un sistema autorreferente que plasma el espíritu de la demostración de Gödel: el observador contempla un cuadro del que él mismo forma parte, aunque no llega a darse cuenta de tal hecho, que sólo puede ser señalado un observador externo. El hueco central representaría, según Hofstadter, la incompletitud del sistema, necesaria para evitar su inconsistencia, a la vez que pone en evidencia que tal incompletitud sólo puede detectarse si se lo observa "desde afuera."

Experimentos físicos con una radio y un celular

Con un canasto de alambre, papel de aluminio, una radio AM y FM, y un teléfono celular[1], se pueden experimentar algunas propiedades de las ondas electromagnéticas.

La radio se silencia tanto al envolverla en papel metálico, como al alojarla entre el canasto y una hoja de ese papel. Las ondas de radio AM y FM tienen una longitud mucho mayor que las aberturas del cesto; medio kilómetro las primeras, y tres metros las otras, y no pasan at través de la malla.

En cambio, un teléfono celular sólo se aísla al envolverlo por completo, porque su onda, de frecuencia cercana al gigahertz, mide apenas unos tres centímetros, y una buena parte de su energía pasa a través de las aberturas del canasto. También recibe llamadas dentro de un horno[2], y de una heladera; en cambio no lo hace cuando se lo encierra en una olla metálica perfectamente tapada.

Para esa clase de experimentos es útil uno de esos adornos que encienden una luz intermitente cuando se los excita con la onda de un celular, y que suelen formar parte de llaveros con forma de muñeca, pelota o lagartija.

Tiramos la lagartija, y en diferentes condiciones experimentales se puede observar si el llavero destella cada vez que se enciende o se apaga el celular, sin necesidad de hacer una llamada. Esa práctica ayuda a comprender cómo se relaciona la longitud de onda con la frecuencia, y con la velocidad de la luz.[3]

A veces notamos que cuando arriba una llamada a un aparato apoyado sobre un televisor, una computadora, o un equipo de sonido, se perciben perturbaciones intermitentes de imagen o de sonido, generadas por la comunicación del celular con la torre telefónica. Pero además de eso, y con el aparato en espera, la aproximación del teléfono a una radio de AM con el dial de sintonía volcado hacia el extremo de frecuencias bajas, en cierta posición y orientación, hace que por la radio se oigan ruidos rítmicos, que no son, esta vez, de comunicaciones, sino, simplemente, efectos de las corrientes variables del reloj interno del celular.

A.R.

[1] La palabra celular alude a la zona de influencia de cada torre de telefonía, un lote de terreno parecido a la celda o célula de un panal. Cuanto menor es la distancia entre torres, tanto menor es la energía necesaria para la comunicación, lo que facilita la telefonía móvil con baterías pequeñas, que reemplazan las pesadas y costosas valijas que se usaban hace veinte años.

[2] No se debe encender el horno; se arruinaría el aparato.

[3] La longitud de onda λ (lambda), en metros; la frecuencia ν (ni, o nu), en ciclos por segundo, o hertz, y la velocidad de la luz, c, de 299.792.458 m/s en el vacío, se relacionan mediante $\nu = c/\lambda$.

Arquímedes tambien juega

Carlos Borches
CBC - UBA

En anteriores números de Q.e.d. contamos las vicisitudes del palimpsesto perdido que llevó oculto por siglos un par de trabajos de Arquímedes. Nos hemos referido ya a El Método, es hora de hacerlo con su compañero de ruta, tal vez, injustamente subestimado por ser sólo un juego, ¿O no?

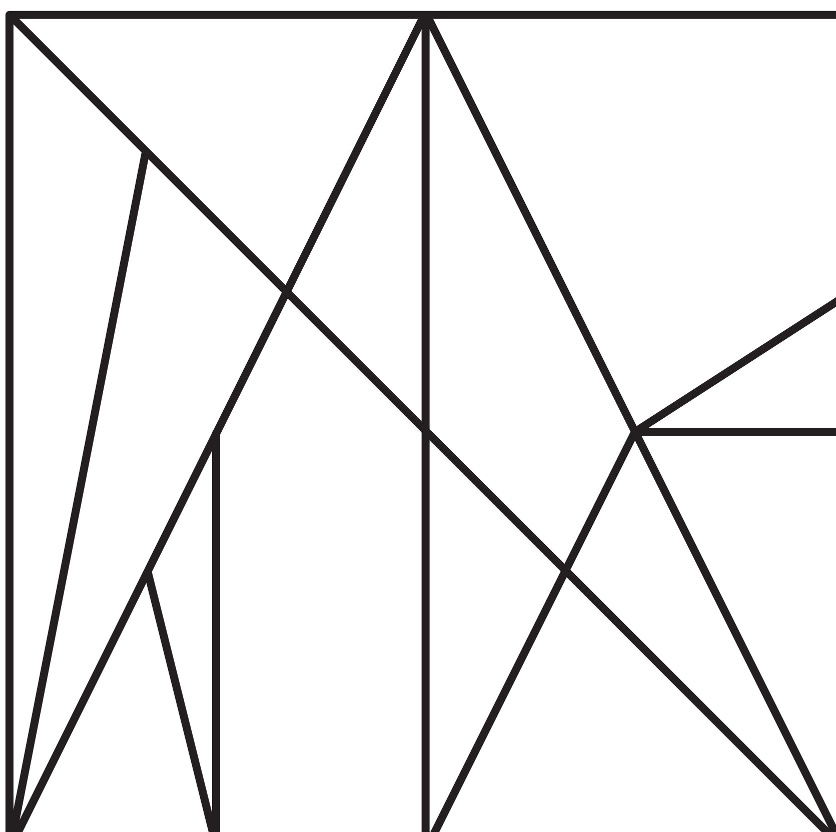
José Babini, uno de los precursores de la Historia de la Ciencia en nuestro país, siguiendo los pasos de otros grandes especialistas, clasificó la obra de Arquímedes y reservó la categoría de trabajos menores para referirse al *Stomachión*. "Especie de puzzle geométrico", sentenció Babini acercando a nuestro idioma los juicios del filólogo Johan Heiberg y del holandés Eduard Jan Dijksterhuis, uno de los mayores conocedores de la obra de Arquímedes.

Todo lo que conocemos hoy sobre el Stomachión, palabra griega que significa dolor de estómago, proviene del texto griego recientemente recuperado (Ver **Q.e.d.** Nro 1) ; de una traducción muy libre al árabe del siglo XVII, y de varios manuscritos romanos donde se alude al *Stomachión* como *Loculus Archimedius*, algo así como la "caja de Arquímedes".

Pero, ¿qué es concretamente el *Stomachion*? Gracias al manuscrito árabe sabemos que es una colección de catorce piezas poligonales con las cuales había que armar un cuadrado tal como se indica en la figura al pié .

Algunos textos romanos indican que el juego también se utilizaba para armar figuras libres, lo que hoy conocemos como Tangram, pero con el doble de piezas

Ὀστομάχιον



En realidad, la palabra Stomachión es una deformación del término original Ostomachion (Ὀστομάχιον)

RELEYENDO AL STOMACHION

Experto en lenguas clásicas, Dijksterhuis fue para atrás y para adelante con el confuso y fragmentario texto del *Stomachión* sin poder descifrar cuál era la intención de Arquímedes. ¿Era tan sólo un juego?

El siracusano hablaba de las magnitudes de las figuras, de sus movimientos y de las consideraciones "intelectualmente desafiantes" que planteaba el juego. Algunos creyeron que se entretenía buscando todas las figuras posibles para armar, al estilo del tangram; otros que simplemente analizaba qué fracción del área del cuadrado le correspondía a cada pieza, como lo sugiere el manuscrito árabe. En el siglo XXI surgió una nueva interpretación: el *Stomachión* plantea el primer problema conocido de combinatoria.

El análisis combinatorio es el área de la matemática que se ocupa, entre otras cosas, de contar los casos posibles que presenta una situación particular, por ejemplo: ¿Cuántas palabras distintas de a lo sumo diez letras se pueden escribir con las letras de la palabra Arquímedes? (Si consideramos como palabra cualquier conjunto ordenado de letras independiente de si tienen o no significado en algún idioma) Otro: ¿De cuántas formas posibles podemos repartir entre Iliana, Agustín, Juan Carlos, Pablo y yo las catorce piezas del *Stomachión* durante una reunión de redacción de **Q.e.d.**? Típicos problemas de combinatoria.

Reviel Netz, el historiador que tiene a su cargo el estudio del palimpsesto bizantino, sostiene que Arquímedes planteaba el problema de calcular de cuántas formas posibles se puede armar el cuadrado con las piezas del *Stomachión*.

La conjetura cobra sentido por un trabajo del historiador Fabio Acerbi, quien en 2005 encontró una interpretación desde el punto de vista de la combinatoria a un relato de Plutarco, el mismo que nos legó las semblanzas más completas y antiguas de Arquímedes.

Cuenta Plutarco que el filósofo estoico Crísipo había afirmado que "con las reglas de la lógica estoica se pueden obtener más de un millón de aserciones a partir de diez aserciones", a lo cual el célebre astrónomo Hiparco le retrucó que no, eran 103.049 o 310.954.

Plutarco no hace más referencia al tema, pero en 1997 David Hough y Richard Stanley (uno de los mayores especialistas en combinatoria de la actualidad) publicaron en el *American Mathematical Monthly* una breve nota donde se señalaba que las cantidades sugeridas por Hiparco estaban relacionadas con los números de Schröder (*Ver recuadro*).

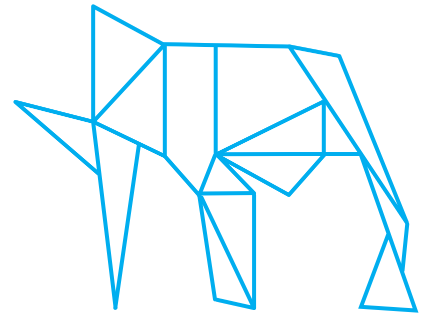
De todas formas, como no se sabía cuáles eran las reglas usadas por Crísipo, tampoco podíamos saber si Hiparco había calculado bien o no todas las combinaciones posibles. Ahí entra en juego Acerbi y su reciente contribución, donde le da una interpretación a las reglas de la lógica estoica coherente con la historia y con la matemática. Como Hiparco vivió medio siglo después que Arquímedes, no es tan raro pensar que a los griegos le preocuparan, y resolvieran, complicados problemas de combinatoria.

Pero volvamos al *Stomachión*, ¿Era la intención de Arquímedes resolver un problema de combinatoria? Netz se entusiasma y sostiene que sí, pero una parte importante de los historiadores actuales entienden que el entusiasmo de Netz lo lleva a poner en el pasado cosas que en el pasado no hubo.

SÓLO SE TRATA DE JUGAR

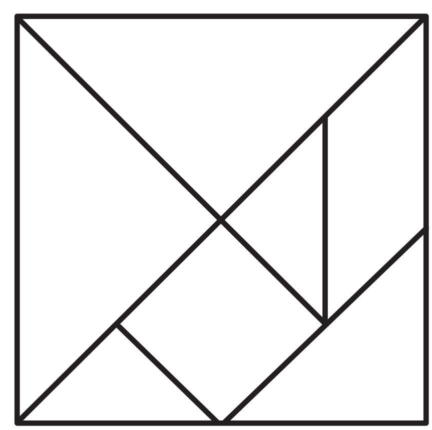
Dejemos las discusiones históricas y terminemos con un problema matemático. La idea de Netz acerca de calcular cuántas formas distintas hay para armar el *Stomachión* surgió cuando recibió una copia hecha en cristal del célebre juego construída por Joe Marasco, un físico y empresario informático.

Marasco hizo el juego reproduciendo el diagrama tradicional árabe pero lo armó accidentalmente de otra forma. Ya había dos soluciones distintas, ¿Cuántas habría en total? Y el problema se echó a rodar…

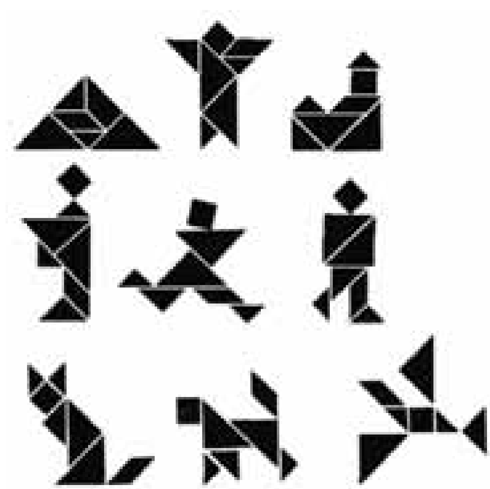


En diversos textos romanos se invita a jugar con "la caja de Arquímdes" armando figuras libremente. Los textos romanos de Ausonius (Cento nuptialis), Caesius Bassus y M. Victorinus (Ars grammatica) establecen una relación entre las distintas frases que se pueden armar con las mismas palabras y las diversas imágenes que se pueden construir con las catorce piezas del Stomachión.

Se pueden consultar los textos latinos y las construcciones propuestas en el sitio http://www.archimedes-lab.org/



El popular juego chino Tangram se originó alrededor del siglo XI de nuestra era, en tiempos la dinastía Song. En occidente se popularizó durante el siglo XIX.



Reviel Netz y el Stomachión de cristal. Junto a William Noel, Netzz escribiò The Archimede Codex (traducido al castellano como El Código Arquímedes, Emecé, 2007) donde cuenta las peripecias del palimpsesto.

Persi Diaconis, mago profesional y profesor de estadística en la Universidad de Stanford, comenzó a ocuparse del tema y pronto se sumaron otros matemáticos de Stanford, California y San Diego. Todos atacaban al problema con artillería matemática hasta que la cuestión cruzó la frontera y fue al campo de la computación, donde encontró su solución.

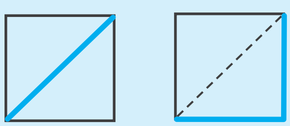
Bill Cutler pudo definir el problema en términos de algoritmos y luego dejó correr sus programas hasta agotar todos los casos posibles, nada menos que 536 formas posibles [1]. El número inspiró a Marasco quien propuso una fecha para recordar al sabio siracusano. El 536 sugirió el día 36 de mayo o, para ser más convencionales, se fijó al 5 de junio como el día de Arquímedes de Siracusa.

1. Si se cuentan como distintas aquellas formas que permiten ciertas simetrìas y rotaciones, la cifra se eleva a 17.152 soluciones posibles.

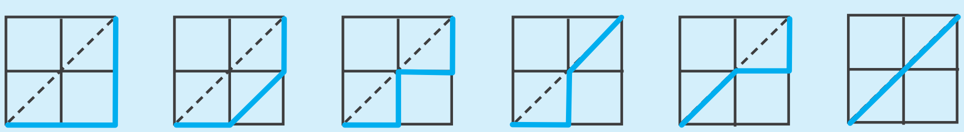
Desde finales del siglo XX, muchos problemas fueron resueltos gracias a la fuerza de cálculo de las computadoras y a la habilidad de los expertos para crear los programas adecuados. En el número 1 de **Q** pág 10, apareció una situación similar al estudiar cómo cubrir un cuadrado empleando cuadrados de distintos tamaños.

Los números de Schröder

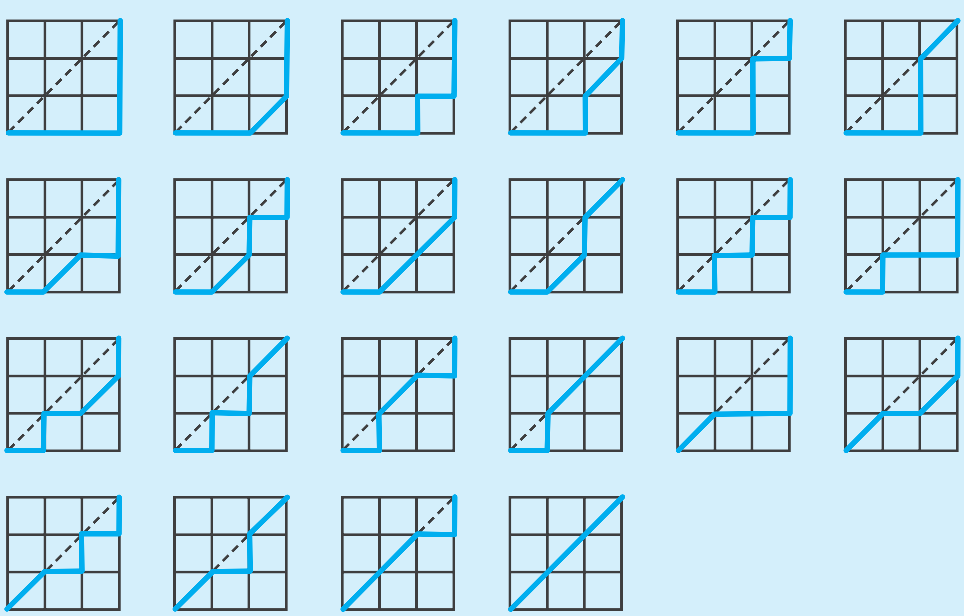
Supongamos tener un cuadrado y dividamos cada lado en n partes iguales. Nuestro cuadrado grande quedó partido en n^2 cuadraditos. Ahora contemos de cuántas formas es posible unir los vértices opuestos del cuadrado de manera que recorramos sólo las los lados o diagonales de los cuadraditos, sin volver atrás y nunca por encima de la diagonal principal.



Lo vértices se unen por dos caminos posibles, el primer númro de Schröder es 2



Cuando el cuadrado se divide en 4 cuadraditos aparecen 6 caminos posibles, el segundo número de Schröder es 6.



El tercer número de Schröder es 22, como lo ilustra la figura. El número de Hiparco, el 103.049, representa el décimo número de Schröder

Intriga hidráulica

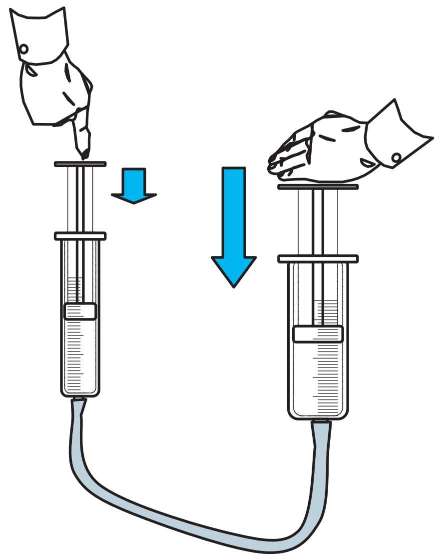
Agustín Rela
CBC-UBA

Si se unen con un tubo dos jeringas de diferente diámetro y se las llena de agua, para equilibrar la fuerza que se aplique en el pistón de la jeringa más gruesa, hay que hacer una fuerza menor en el pistón de la jeringa más delgada.

Ese hecho se aplica en la prensa hidráulica, y sirve, por ejemplo, para conseguir una fuerza bastante grande en el freno de un coche, sin tener que pisar muy fuertemente el pedal.

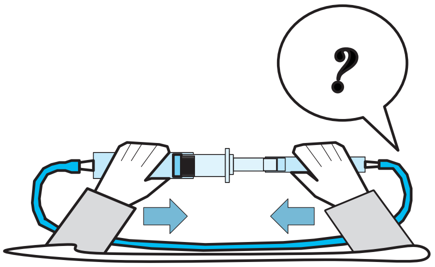
La presión, de acuerdo con el principio de Pascal, es casi la misma en todo el recinto, siempre que se desprecien las pequeñas diferencias que obedecen a la distinta altitud de cada punto del líquido. En cambio la fuerza, igual al producto de la presión por el área, es mayor en el pistón de más diámetro.

La experimentación de ese efecto es sencilla, si se compran jeringas descartables de plástico en una farmacia1, y un tubo de plástico flexible que venden en acuarios para airear el agua, y en ferreterías.



Pero, a todo eso ¿qué ocurre si apoyamos un pistón contra el otro, y apretamos? ¿Entrará el pistón grueso y saldrá el fino? ¿Sucederá lo opuesto? ¿Entrarán ambos pistones? ¿Saldrán los dos a la vez? ¿Quedarán inmóviles y, si se aprieta mucho, se romperá alguna de las jeringas, o el tubo, o éste se desenchufará?

La respuesta, al final de la pagina 31.

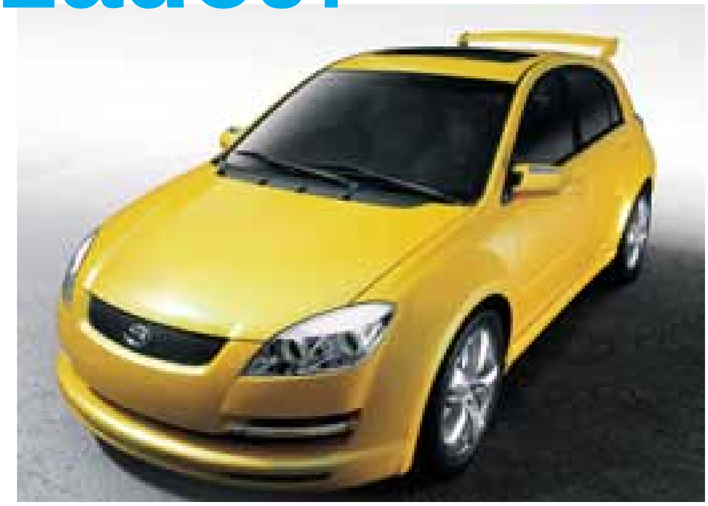


1 Hasta mediados del siglo pasado, los médicos hervían en un cofre metálico, antes de usarlas, sus costosas y frágiles jeringas de vidrio, cuyos émbolos y cilindros se ajustaban cuidadosamente por esmerilado en fábrica. Hoy, en la era del plástico flexible, ya no es necesario ese laborioso pulido; las jeringas salen estériles de la máquina que las fabrica, o se esterilizan después con radiaciones, en carros que las pasean por el llamado corredor caliente de un reactor nuclear.

Los vidrios polarizados ¿son polarizados?

No; esos cristales son sólo oscurecidos. La luz polarizada ondula en una dirección determinada, y puede atravesar un filtro polaroide orientado en la misma dirección, y no lo atraviesa en la dirección cruzada.

En una época se pensó en polarizar vidrios y faros en direcciones atravesadas, para que éstos no encandilasen. Pero la idea no prosperó, por falta de luces bastante potentes.



Matemática hoy

La matemática del siglo XX
Piergiorgio Odifreddi

Katz Editores, 2007

En el siglo XIX, la matemática experimentó una ruptura en su relación con la realidad. De allí en más se transformó para el gran público en una extraña y críptica mezcla de saberes que rayan, para muchos, en el esoterismo.

Esta situación explica porque las historias de lo hecho por los matemáticos durante el siglo XX quedaran en general reducidas a un público restringido, salvo los casos de los atractivos temas relacionados con los objetos fractales, caos o criptografía, que pudieron ser domesticados más allá de todo el soporte duro que los sostiene.

Ahora, el matemático italiano Piergiorgio Odifreddi intenta trasmitir el espíritu que dominó la producción matemática durante el febril siglo XX, comenzando con las preocupaciones que Agustín Rela nos plantea en el editorial de este número.

“El mundo descrito por las ciencias físicas y naturales es concreto y perceptible: en una primera aproximación a través de los sentidos, y en una segunda aproximación a través de varias extensiones de los sentidos provistas por la tecnología. El mundo descripto por la matemática, en cambio, es un mundo abstracto, constituido por ideas que pueden percibirse sólo con el ojo de la mente. De todos modos, con la práctica, conceptos abstractos como números y puntos han adquirido tal objetividad que incluso el hombre común puede obtener imágenes sustancialmente concretas de ellos, como si pertenecieran a un mundo de objetos tan reales como los físicos”, señala Odifreddi.

Pero las visualizaciones geométricas no acompañaron tan eficazmente los nuevos caminos recorridos por los matemáticos del siglo XX. Sin embargo, mientras el francés Dieudonné nos plantea abandonar las imágenes y cultivar el “pensamiento abstracto”, Odifreddi proclama que “la dificultad de explicar las conquistas matemáticas en términos de conceptos clásicos no significa imposibilidad y son precisamente las abstracciones superficiales y estériles las que generalmente resultan difíciles de justificar, mientras que las profundas y fecundas ahondan sus raíces en problemas e intuiciones concretas. En otras palabras, la buena abstracción no es un fin en sí mismo, un arte por el arte, sino que siempre es una necesidad, un arte por el hombre”.

Ésta es la clave en la que está escrito *La Matemática del siglo XX*. El autor propone que hay una fragmentación innecesaria de los subcampos matemáticos y por ello recurre a reunirlos, buscando síntesis, que no siempre encuentra, pero que vale la pena recorrer.

No es sólo una historia de la matemática reciente, es también una denuncia: “la ciencia y la matemática del siglo XX es la explosión productiva. Los matemáticos, que solían conformar un pequeño grupito que a menudo debía hacer cualquier trabajo para sobrevivir, hoy se han convertido en una legión. Se mantienen produciendo investigaciones que, generalmente, no tienen ni justificación ni interés, y la estructura universitaria en que la mayoría de ellos trabaja los incita estúpidamente a “publicar o perecer”, según un triste lema estadounidense. El resultado es que hoy están circulando centenares de revistas especializadas, en las que aparecen cada año, literalmente, centenares de miles de teoremas, la mayoría irrelevantes”.

C.B.

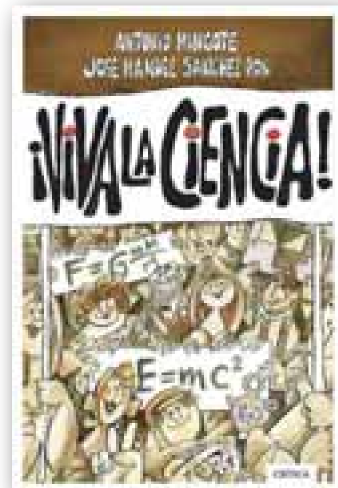
¡Qué viva!

Antonio Mingote y José Manuel Sánchez Ron son compañeros en la Real Academia Española. El primero es un conocido dibujante, escritor y periodista, el segundo catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid cuyos libros de divulgación histórica cruzaron el océano ganando un merecido reconocimiento en nuestro país.

El libro nació de una propuesta de Sánchez Ron a Mingote para que el dibujante ilustrara un libro sobre la historia de la ciencia. ¡Viva la ciencia! iba a ser un libro para niños, pero a medida que fue creciendo se convirtió en un libro para todo aquel que sienta curiosidad por lo que ocurre a su alrededor. Según Mingote, “el primer científico fue aquel que se preguntó por qué pasaba algo y trató de averiguarlo”, idea que comparte con Sánchez Ron que hace de la curiosidad humana el eje de los textos

El libro se divide en tres capítulos: ¿Qué es la ciencia?, El Universo y La Vida. En ellos se explican ideas y métodos científicos y se cuenta las aportaciones de 40 científicos en 270 páginas y 50 ilustraciones. También aparecen retratados los 40 científicos y de los dos autores del libro; “dos piratas” según Sánchez Ron o “dos ocupas” para Mingote.

Juntos nos presentan una refrescante aproximación a la historia de la ciencia, donde lo juvenil no atenta contra ciertos aspectos conceptuales que fueron debidamente protegidos.



¡Viva la ciencia!
Antonio Mingote y José Manuel Sanchez Ron

Crítica, 2009

Respuesta a Intriga hidráulica

Al hacer la prueba descrita, muchos se sorprenden cuando comprueban que el pistón grueso sale del cuerpo de su jeringa, a la vez que el más delgado entra en la propia.

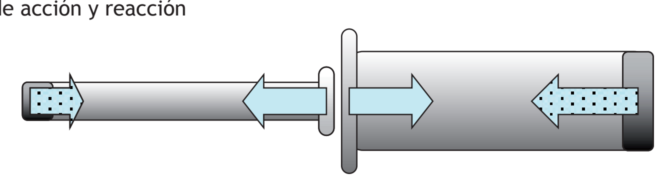
Una explicación posible es que, con la misma presión en toda el agua, en el pistón de más área actúa una fuerza mayor, que predomina sobre la fuerza que actúa en el pistón delgado.

Otro modo de llegar a la misma conclusión, es tener en cuenta que, por el principio de acción y reacción, la fuerza que hace el émbolo pequeño sobre el grande, vale lo mismo que la que hace el grande sobre el pequeño; entonces, y como esas fuerzas se aplican sobre superficies de diferente área, la presión será mayor en el líquido que contiene la jeringa delgada; entonces el agua se desplazará de ahí hacia el otro lado.

Por poco que se consideren ambas explicaciones; se ve que son contradictorias una con la otra. La primera apela a la igualdad de presiones, y concluye que las fuerzas son diferentes. El segundo argumento se basa en que las fuerzas valen lo mismo, y a partir de eso llega a que las presiones son diferentes. ¿Qué es, entonces, lo que sucede en realidad, y por qué se contradicen esos argumentos, que parecen basados en ideas físicas antiguas y muy aceptadas, como el principio de Pascal, y el de acción y reacción de Newton?

La respuesta es que, aunque los pistones se hacen fuerzas mutuas de idéntica intensidad, cada pistón recibe del agua fuerzas diferentes, ya que el líquido es algo viscoso y está en desequilibrio; entonces, y mientras haya movimiento, la presión no es la misma en todos los puntos de la masa líquida.

El principio de Pascal sólo vale para fluidos en equilibrio; en cambio el principio de acción y reacción de Newton se cumple en todos los casos.



Detalle de las fuerzas sobre los pisto-nes de las jeringas. Las flechas lisas indican fuerzas de la misma intensidad; las sombreadas, de intensidades dife-rentes. Ambos pistones se aceleran hacia la izquierda.

Intimidades de un cierre...

o mitos y certezas

David Hilbert

JC.: ¡Un momento! ¿Qué hace un químico en la tapa? Creí que Q.e.d. sería sobre ciencias duras. Si seguimos así pronto nuestro lema será "ciencias blandas en palabras duras".

I.: ¡No hagas chistes así; nosotros te vemos la cara, pero si alguien te oye puede creer que estas hablando en serio! El cuadro es de 1885 y es de un pintor finlandés llamado Albert Edelfelt. Es muy lindo.

A: Esta clasificación de la ciencia en duras y blandas según cuánto empleen métodos formalmente rigurosos de validación, seguramente es falsa, puesto que esto varía con el ámbito y la época. Por otro lado no hay duda de que la química queda del lado de las duras en esta falsa clasificación.

C: Juan Carlos trae a colación, legendarias rivalidades entre las diversas ciencias exactas.

JC: Que de exactas no tienen nada, según nos dice Agustín en su editorial.

I: ¡Es verdad! Eso de que haya cosas que no se pueden demostrar produce cierto vértigo. ¿Hay algún ejemplo que se pueda contar con palabras blandas?

JC: En el año 1900, en ocasión de celebrarse el Segundo Congreso Internacional de Matemáticas en París, Hilbert formuló en una conferencia histórica titulada Problemas matemáticos, 23 problemas a los que se abocarían varias generaciones de matemáticos durante el siglo que comenzaba. Varios de ellos aún siguen sin resolverse. El décimo problema de Hilbert, se preguntaba lo siguiente: ¿existe algún algoritmo que permita decidir si una ecuación diofántica posee o no soluciones enteras?

I: ¡Pará!, ¡Pará! Algoritmo, diofántica, enteras. … ¡Te dije con palabras blandas y esas suenan a acero templado!

C: Traduzco y ablando: algoritmo es una receta, un método, diofántica hace referencia al matemático alejandrino Diofanto, y en este contexto quiere decir con coeficientes enteros. Enteros son los números 1, 2, 3… junto con los negativos y el cero. En otras palabras, el décimo problema de Hilbert se pregunta si hay una receta para encontrar soluciones enteras de cualquier ecuación con coeficientes enteros. Por ejemplo $3x+2y=24$ es una ecuación diofántica; tiene entre sus soluciones, $x=6$ e $y=3$; también $x=4$ e $y=6$. En cambio $\sqrt{2}x=1$ no es diofántica porque sus coeficientes no son enteros.

I: ¿Y la ecuación $2x-1=0$? Tiene coeficientes enteros.

C: Si. Es una ecuación diofántica que carece de soluciones (enteras).

JC: Sigo. En 1970 un matemático ruso de 22 años, Yuri Matijasevic proporcionó una solución negativa al problema. Es decir, no existe una receta universal para resolver ecuaciones diofánticas. De esta manera, las ecuaciones diofánticas constituyen una clase indecidible.

C: Otro ejemplo es la llamada Hipótesis del continuo. Consiste en afirmar que no hay ningún conjunto que tenga "más cantidad" de elementos que los números naturales y "menos cantidad" de elementos que los números reales Esta hipótesis fue formulada por Cantor que esperaba encontrar (vanamente) una solución positiva al problema. Parece que su obstinación con este tema en la última parte de su vida lo llevó a la locura… alimentando el mito de que los matemáticos son una manga de locos. Miren como terminó Gödel…

JC: Locos hay en todas las profesiones…Tenemos en la "parrilla" un artículo de Agustín sobre estas cuestiones del infinito. Podemos ponerlo en línea para un próximo número de Q.e.d.

A: Me gustan las historias falsas y leyendas, como esa de que Newton habría descubierto la ley de gravedad como consecuencia de la caída de una manzana sobre su cabeza; que Colón paraba huevos de punta; que Arquímedes corría desnudo por las calles de Siracusa; que Kekulé imaginó el anillo bencénico después de soñar con el uróboros (la serpiente que se muerde la cola), o peor, con seis monos; o que al General San Martín alguien se atrevió a pedirle que se quitara las espuelas para entrar a un polvorín.

Kurt Gödel

I: Casi todos los personajes importantes tienen algún mito o leyenda que los acompaña. Sobre Pasteur, debe haber alguna historia de este tipo

A: Recuerdo dos falsas anécdotas del célebre microbiólogo. Hace más de un siglo, cuando recién se empezaba a aceptar la teoría de los microbios, unos criadores de gusanos de seda consultaron al sabio sobre cierta enfermedad de las larvas, que se debería quizás a gérmenes que se pudieran combatir. Dice la leyenda que Pasteur nada sabía de la industria de la seda, y que cuando le dieron un capullo, lo agitó y exclamó:

¡Un momento! ¡Acá adentro hay algo! Por supuesto que había algo; era, naturalmente, el gusano. Nadie cree de verdad en esa historia, que sólo sirve para expresar que a veces una idea nueva y acertada es tan útil como la vasta experiencia.

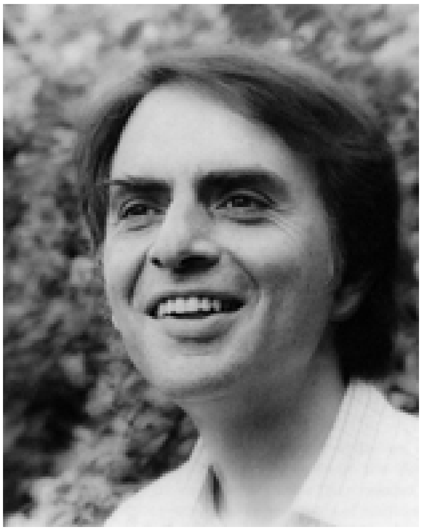
Otra: Pasteur, cuando nadie creía en los microbios, daba clases populares en las que explicaba cómo lavar las frutas y verduras, para reducir el riesgo de contagio de enfermedades. - ¡Vean! -decía a la multitud, mientras lavaba una ciruela en un vaso- ¡Ahora el 99 por ciento de los gérmenes pasó al agua, y la fruta se puede comer con mucho menos peligro! Los inventores de leyendas aseguran que Pasteur, en el ardor de la conferencia, se tomó el agua infecta. No sé si es cierto algo de eso. Me inclino a creer en su falsedad absoluta. Sin embargo, esos mitos revelan el apetito de la mente humana por hallar simetrías, antisimetrías y otras leyes, o coincidencias, del universo.

JC: Lo que no parece ser mito y usando sus propias palabras, es el golpe mortal que le asestó a la teoría de la generación espontánea que desató un nuevo debate sobre el origen de la vida.

I: Tema controvertido en el que te metiste. La cuestión sobre cómo se generó la vida no tiene una respuesta categórica, por lo menos todavía. Para explicarla el hombre creó los mitos y la intervención divina. Sin embargo, desde los principios de la historia se admitía que formas inferiores de vida, podrían nacer de materias inertes: la teoría de la generación espontánea. Si bien no fue el primero, Pasteur terminó con esta teoría por medio de un experimento muy simple. En 1862 ideó un recipiente con cuello de cisne. Puso en el receptáculo pan y agua; hizo hervir el agua, y esperó. El líquido permaneció estéril indefinidamente sin producir organismo alguno.

JC: ¡Dios mío! Si la generación espontánea no era cierta la única explicación que quedaba es la de la intervención divina.

C: Esa idea es la que provocó el debate que algunos pretenden mantener hoy



Carl Sagan

en día. Sin embargo, hubo un momento en la historia de la Tierra, hace unos 4000 millones de años, en el que tuvo lugar lo que hoy se llama abiogénesis, donde se formó la primera célula.

JC: Carl Sagan, en su libro Sombras de antepasados olvidados, explica esto maravillosamente. Las moléculas orgánicas están compuestas de carbono y otros átomos. La vida en la Tierra está formada por moléculas orgánicas. Estas moléculas se sintetizaron antes del origen de la vida. La atmósfera primitiva de la Tierra adquirió energía de la luz ultravioleta, del viento del Sol, de los electrones producidos por las auroras boreales, de la intensa radiactividad temprana y de las ondas de choque de los objetos que caían hacia la Tierra. Cuando en el laboratorio se introducen estas fuentes de energía, simulando hipotéticas atmósferas primitivas de la Tierra, se generan muchos de los bloques constructivos orgánicos de la vida.

A: Mucho se avanzó desde Sagan. Tal vez nuestra joven revista reciba una colaboración química o biológica que aclare qué se entendía por generación espontánea hasta el siglo XIX, y cómo entendemos hoy el origen de la vida.

I: Se impone condimentar con un poco de biología a nuestra **Q.e.d.**. Para estar acorde a los tiempos deberíamos presentar una nota sobre Darwin

JC: Y sumar unas páginas más.

C: Hablando de biología, evolución y los gusanos de seda, cuando venía para acá estaba leyendo un trabajo. En *Science* salió un artículo que cuenta que un grupo de biólogos chinos secuenciaron 40 genomas de gusano de seda de dos poblaciones distintas, unos salvajes y otros productivos, y encontraron diferencias notables.

A: ¿Qué tipo de diferencias?

C: Mirá, acá dice que hay al menos 354 genes presentes en los gusanos productivos que no están en los salvajes. Esto se traduce en un mayor tamaño del capullo, superior expresión de la glándula productora de seda, mayor tasa de crecimiento y de reproducción y una mayor tolerancia al manejo humano. ¡Pueden vivir más apretados y ya no protestan!

A: ¿Puedo ver? Pero pagaron un costo muy alto, perdieron la capacidad de volar cuando se convierten en mariposas.

JC: En condiciones salvajes serían fáciles víctimas de sus predadores.

I: ¿En cuánto tiempo se dio esa adaptación forzada?

C: Los autores hablan de un proceso de selección artificial que se llevó a cabo en los últimos 5000 años, apoyándose en evidencias históricas que señalan que tres mil años antes nuestra era, los chinos ya criaban gusanos para obtener seda.

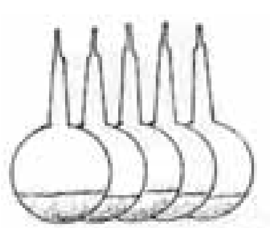
I: Como pasó con el guano o con el caucho; durante mucho tiempo, si te encontraban sacando de China huevos de gusano te condenaban a muerte.

JC: Como siempre, nos quedan muchos temas por desarrollar para próximos números.

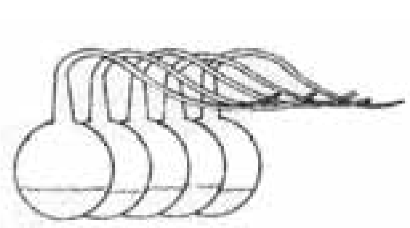
C: Cumplimos con una promesa y contraemos más deudas.

JC: Me quedé con las ganas de recomendar un artículo de Jean Marc Lévy-Leblond, titulado Física y Matemática que aborda la cuestión planteada por Agustín en su editorial. Se lo puede encontrar en la Encyclopaedia Universalis o en una excelente recopilación de conferencias llamada Pensar la Matemática de la Editorial Tusquets. ¿Y si ponemos algo en la sección libros? ¿O una sección para recomendar viejos libros? Podríamos ahora agregar ...

P: ¡No, por favor! No me toquen más la revista que todo entró muy justo. ¡**Q.e.d.** 3 sale pasteurizada y sin fecha de vencimiento!

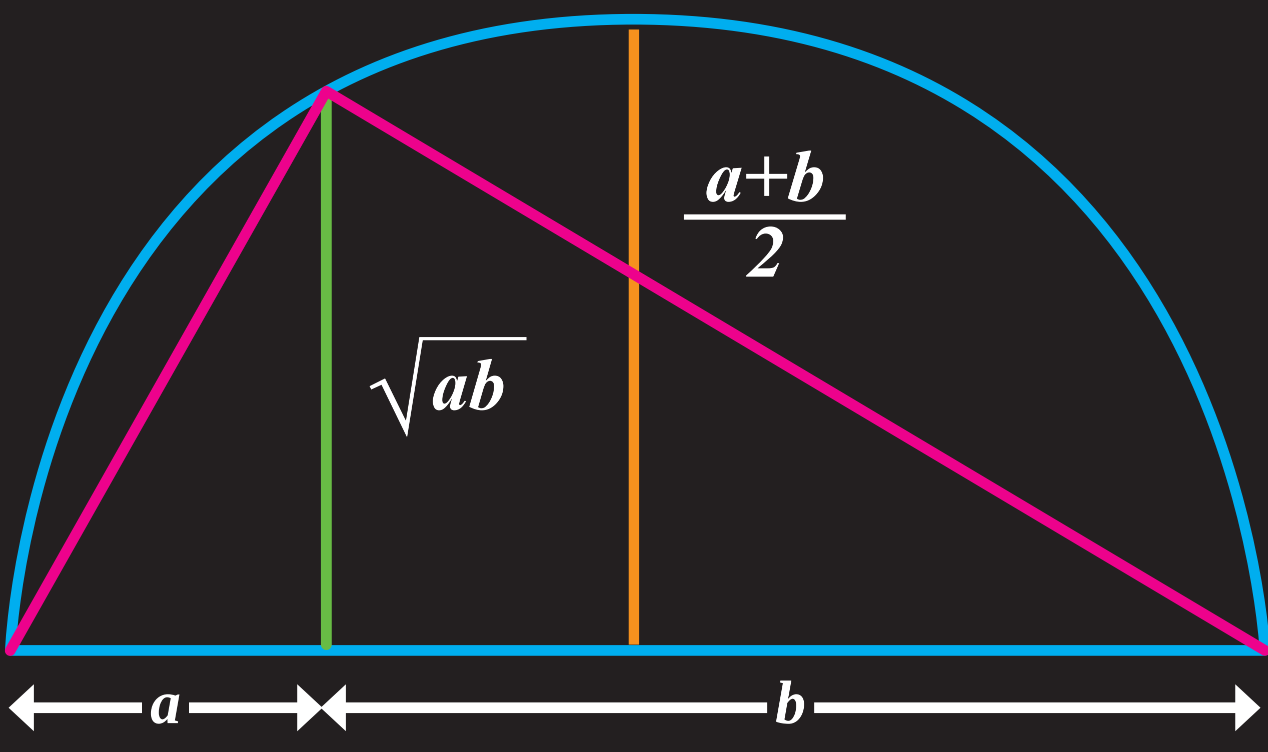


En un recipiente abierto con agua previamente hervida y pan, al cabo de un tiempo, el microscopio nos permitía ver microorganismo, se creía en la generación espontánea de vida.



Pasteur puso los mismos elementos pero en recipientes con cuello de cisne, y la vida no aparecía. Estaba claro que no había espontaneidad.

Desigualdad entre medida aritmética y geométrica



$$\sqrt{ab} \leq \frac{a+b}{2}$$

EDUCANDO

EDITORIAL

Ciudad Universitaria Pabellón 2 Planta Baja, CP 1428, Cdad. Autónoma de Bs. As.
Tel: 4788-9570 mail: edccceducando@ciudad.com.ar