

**SETTING ASIDE ALL AUTHORITY
GIOVANNI BATTISTA RICCIOLI AND THE SCIENCE
AGAINST COPERNICUS IN THE AGE OF GALILEO**

Christopher M. Graney. University of Notre Dame Press, Notre Dame; Indiana, 2015.

Copernicana

El debate de la ciencia contra la ciencia

El libro es una exposición rigurosa y académica de los argumentos científicos esgrimidos en el siglo XVII contra el sistema copernicano. Christopher M. Graney desvela el error de una opinión muy generalizada, según la cual los contrarios a las ideas heliocéntricas de Copérnico y Galileo se movían por creencias religiosas, en el marco de una tradición arcaica que retrocedía ante el avance de los descubrimientos alcanzados con el telescopio. Demuestra Graney que la ciencia, y no la religión, desempeñó un papel predominante en la oposición al sistema copernicano [véase «El caso contra Copérnico», por D. Danielson y C. M. Graney; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2014].

En *De revolutionibus*, de 1543, Copérnico había propuesto una explicación de los movimientos complejos de las cinco estrellas errantes, los planetas entonces conocidos: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. No permanecían en una constelación, sino que cambiaban en el zodíaco, formando bucles, siguiendo trayectorias complejas y su magnitud variaba a medida que se acercaban o alejaban de la Tierra. Copérnico afirmaba que todo se entendía mejor si esos cuerpos y la Tierra giraban en torno al Sol, y no si esos cuerpos y el Sol giraban en torno a la Tierra, de acuerdo con el sistema de Ptolomeo. Pero Copérnico propuso su modelo siglo y medio antes de Newton, cuando la física aceptada era la aristotélica.

Los anticopernicanos lograron articular un razonamiento científico vigoroso contra el sistema heliocéntrico, al menos hasta mediados del siglo XVII, varios decenios después de la introducción del telescopio. Pero ¿cómo atender a las pruebas presentadas por el telescopio y no aceptar el sistema copernicano? Hacia 1578, Tycho Brahe llegó al convencimiento de que los planetas inferiores (Venus, Mercurio y la

Luna) se movían alrededor del Sol; hacia 1584 extendió ese movimiento circunsolar a los planetas superiores (Saturno, Júpiter y Marte). Desarrollada entre 1583 y 1588, expuso su cosmología planetaria en un capítulo, el octavo, de su principal obra astronómica, *De mundi aetheri recentioribus phaenomenis*, publicada en 1588. Los restantes nueve están dedicados a las observaciones de Brahe sobre el tamaño, composición y comportamiento de los cometas (en particular, el de 1577).

A grandes rasgos, el sistema de Tycho era un modelo geocéntrico, pues reservaba para la Tierra el centro del universo. En torno al Sol giraban Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Encima, y rodeándolo todo, había una esfera de estrellas. El Sol, la Luna y las estrellas giraban en torno a la Tierra. De ese modo, creía combinar las ventajas matemáticas del sistema copernicano con los beneficios filosóficos y físicos del sistema ptolemaico; los movimientos de los planetas y del Sol con relación a la Tierra equivaldrían, matemáticamente hablando, a los movimientos del sistema heliocéntrico de Copérnico. El sistema de Tycho se ajustaba mejor que el sistema copernicano a los datos entonces disponibles.

Con respecto a la física, Tycho sostenía que la Tierra era demasiado pesada para hallarse en movimiento continuo. De acuerdo con la doctrina aceptada en su tiempo, los cielos, cuyos movimientos y ciclos eran continuos y sin final, estaban hechos de éter o de quintaesencia; esa sustancia, ausente en la Tierra, era ligera, fuerte e inmutable. Su estado natural era el movimiento circular; por el contrario, el de la Tierra y de los objetos que contenía, pesados, era de reposo.

Además, si la Tierra, como afirmaba Copérnico, giraba anualmente en torno al Sol, y si ni el Sol ni las estrellas se movían,

entonces el movimiento anual de la Tierra debía revelarse en las estrellas, un fenómeno conocido por paralaje anual. Si la Tierra orbitase alrededor del Sol en traslación anual habría un paralaje estelar sobre un período de seis meses, durante los cuales la orientación angular de una estrella determinada cambiaría gracias a la posición cambiante de la Tierra. (Esa paralaje existe, pero es tan pequeña que no pudo detectarse hasta 1838, cuando Friedrich Bessel descubrió la paralaje de 0,314 segundos de arco de la estrella 61 Cygni.) A medida que el movimiento orbital acerca la Tierra a determinadas estrellas y la aleja de otras, las estrellas en cuestión debían crecer y decrecer en magnitud. Sus posiciones relativas deberían cambiar también, conforme la Tierra se aproximara y se distanciara: dos estrellas vecinas deberían aparecer algo más separadas cuando la Tierra se hallara cerca que cuando se encontrara lejos. Para Copérnico, las variaciones de brillo y los movimientos retrógrados de los planetas eran manifestaciones de esos efectos.

Tycho reclamaba que el movimiento de la Tierra se detectara en experimentos físicos. En intercambio epistolar con el copernicano alemán Christoph Rothmann, Tycho trae a colación la caída de una bola de plomo arrojada desde una torre y los disparos de dos cañones lanzando balas idénticas hacia el este y el oeste. Su explicación de la física subyacente es una mezcla de Aristóteles y de la teoría del «ímpetu»: una bala de un cañón tiene un movimiento natural descendente debido a su propio peso, pero el cañón puede conferirle otro movimiento, violento (no natural), que resulta del ímpetu aportado por la pólvora explosiva.

Mediado el siglo XVII, la teoría geoheliocéntrica, razonada por Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), tenía a la ciencia de su lado. Natural de Ferrara y profesor en Parma y Bolonia, Riccioli desarrolló y crió los fundamentos de los distintos sistemas astronómicos de su tiempo en *Almagestum novum* (1651), que constaba de dos volúmenes y más de 1500 páginas; era un texto denso, acompañado de diagramas. Le siguió *Astronomia reformata* (1665), más breve. Aunque considera el sistema de Copérnico «el más bello, el más simple y el mejor imaginado», no puede aceptarlo y se decide por el de Tycho Brahe.

El *Nuevo Almagesto* era la astronomía. Toda la información disponible sobre la materia podía encontrarse en sus páginas. Había capítulos dedicados

al movimiento de los cuerpos celestes, análisis geométricos y representaciones de las apariciones de Júpiter, Venus y otros planetas que se observaban en los mejores telescopios. Contenía informes y tablas de datos obtenidos en diferentes tipos de experimentos (caída de graves en el aire y en el agua). Abundaban las tablas astronómicas. En el mapa de la Luna se detallaban los accidentes del relieve y sus nombres. Distinguimos un cráter denominado «Copernicus», otro llamado «Galileo», una amplia superficie lisa, o «Mar de la Tranquilidad». Cuanto en el libro no apareciera no valía la pena ser conocido. El primer astrónomo real inglés, John Flamsteed, utilizaba esa obra como libro de texto para sus clases públicas en el Colegio Gresham en 1665.

Precedía al *Nuevo Almagesto* un frontispicio impresionante que representaba el conocimiento astronómico de su tiempo. Se ilustra a Júpiter con cuatro lunas, según mostrara Galileo en *Sidereus nuncius*, de 1610. Júpiter aparecía con cuatro bandas, un descubrimiento contemporáneo. Mostraba a Venus en fase creciente, de acuerdo con lo visto por Galileo a través del telescopio. Mercurio en fase creciente también, otro descubrimiento reciente. Sin omitir una Luna salpicada de cráteres, Marte, Saturno, etcétera. El *Nuevo Almagesto* recogía todos los descubrimientos clave que se habían realizado con el telescopio desde que Galileo miró por vez primera a los cielos en 1609.

Con todo, el rasgo principal del frontispicio es una suerte de balanza, sostenida por Urania, musa griega de la astronomía, mientras que Argos, el mitológico gigante de cien ojos, agarra con firmeza un telescopio. A la izquierda del frontispicio se ilustra el sistema heliocéntrico de Copérnico: el Sol aparece en el centro y los planetas en órbita a su alrededor, con la Luna en órbita alrededor de la Tierra. Enfrente no aparece el sistema geocéntrico de Ptolomeo, autor del *Almagesto* original, y Aristóteles, en el que la Tierra ocupa el centro de todo y todo circula en torno a la Tierra. Para el sistema geocéntrico ptolemaico se le reserva el extremo inferior derecho del frontispicio.

El sistema que aparece frente al sistema heliocéntrico es un sistema geocéntrico. La Tierra está en el centro; en torno a ella giran el Sol y la Luna. Pero no es un sistema puramente geocéntrico. Los planetas circulan en torno al Sol. Contiene, pues, elementos heliocéntricos. Riccioli defiende que ese geocentrismo híbrido es

superior al heliocentrismo copernicano. Por fin, en el frontispicio la observación telescópica se acompaña de tres leyendas (tres versículos de los Salmos) alusivas al número, medida y peso. La observación del astrónomo se complementa con el análisis físico de la cuantificación, medición y peso.

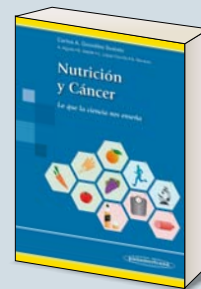
Para Riccioli, Copérnico estaba equivocado. Además del frontispicio, una parte extensa del *Nuevo Almagesto* consta de un análisis del debate sobre los sistemas del mundo; una discusión ceñida al dominio exclusivo de la razón, sin apelar a tesis religiosas. De ahí el título del libro de Graney, *Setting aside all authority*. Escribe Riccioli: «Considerando solo la razón y los argumentos intrínsecos, y dejando de lado toda autoridad, la hipótesis que implica la inmovilidad o quietud de la Tierra debe declararse verdadera. Y la hipótesis que concibe una Tierra en movimiento (diurno o diurno y anual) debe reputarse absolutamente falsa y en desacuerdo con las demostraciones físicas y físico-matemáticas».

En su análisis del geocentrismo híbrido frente al heliocentrismo, Riccioli revisaba en *Nuevo Almagesto* 126 argumentos propuestos por unos y otros contendientes. Se trata del análisis más extenso, penetrante y autorizado que haya realizado cualquier autor de los siglos XVI y XVII. Cuarenta y nueve de los argumentos expuestos favorecían el heliocentrismo; setenta y siete, el geocentrismo. Para Riccioli no se trataba de una cuestión de cifras. La balanza que sostenía Urania en sus brazos no ponderaba el número.

La inmensa mayoría de los argumentos, de un signo u otro, no resultaban convincentes. Los había manifiestamente erróneos. Otros, pese a su razonabilidad, resultaban insatisfactorios. Considérese, por ejemplo, el argumento número 22 del heliocentrismo: «El Sol ocupa el centro del sistema planetario; queda telescópicamente demostrado en el caso de la observación de las fases de Mercurio y Venus y conjeturado en los otros. Por consiguiente, debe ser el centro del universo». Parece un argumento razonable, resalta Riccioli; sin embargo, el geocentrismo híbrido ofrece una respuesta válida, más sólida: el Sol no es ni el centro de la órbita de la Luna, ni el centro de la caída de los cuerpos celestes, ni el centro de las estrellas.

Selecciona una serie exigua de argumentos, que él supone convincentes, en pro de la tesis anticopernicana, que no pueden ser objetados por los heliocentris-

NOVEDADES



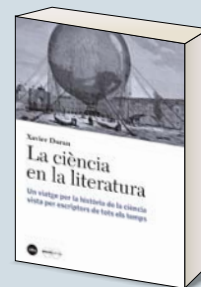
NUTRICIÓN Y CÁNCER LO QUE LA CIENCIA NOS ENSEÑA

Carlos A. González Svatetz
y otros autores
Editorial Médica Panamericana, 2016
ISBN 978-84-9835-925-1
206 págs. (25,65 €)



RAMON MARGALEF, ECÓLOGO DE LA BIOSFERA UNA BIOGRAFÍA CIENTÍFICA

Narcís Prat, Joandomènec Ros
y Francesc Peters
Publicacions i Edicions de la
Universitat de Barcelona, 2015
ISBN 978-84-475-3747-1
188 págs. (36 €)



LA CIÈNCIA EN LA LITERATURA UN VIATGE PER LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA VISTA PER ESCRITORS DE TOTS ELS TEMPS

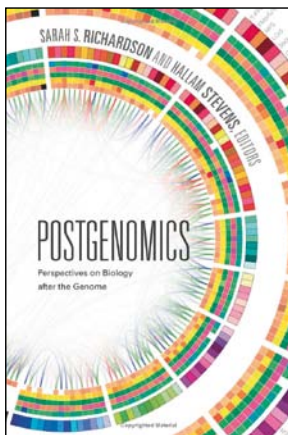
Xavier Duran
Publicacions i Edicions de la
Universitat de Barcelona, 2015
ISBN 978-84-475-4233-8
364 págs. (25 €)

tas. Uno de ellos se refiere a la rotación de la Tierra y su detección. Para Riccioli, la rotación terrestre debía producir ciertos fenómenos observables que no se habían observado. Por consiguiente, la Tierra no giraba. Sin salirse nunca del ámbito de la razón, recupera un segundo argumento anticopernicano, de gran alcance en su tiempo: el tamaño de las estrellas. Para Riccioli, las observaciones telescópicas de las estrellas mostraban que, de

ser correcta la hipótesis copernicana, las estrellas deberían ser enormes. Según afirmaba, una sola estrella del sistema copernicano podría ser mayor que el universo entero del sistema geocéntrico. Por el contrario, en el sistema geocéntrico híbrido, las estrellas alcanzaban su magnitud justa. La objeción de la magnitud de las estrellas puede encontrarse en los astrónomos contemporáneos: Johann Georg Locher, Francesco Ingoli y Philips

Lansbergen. Locher e Ingoli fueron anticopernicanos cuyas ideas criticó Galileo. Lansbergen, en cambio, era un copernicano prominente que adaptó la objeción del tamaño de las estrellas para apuntalar la superioridad del sistema heliocéntrico. Paradójicamente, Locher e Ingoli apelaban a razones exclusivamente científicas, en tanto que Lansbergen se refugiaba en motivos religiosos.

—Luis Alonso



POSTGENOMICS
PERSPECTIVES ON BIOLOGY AFTER THE GENOME

Dirigido por Sarah S. Richardson y Hallam Stevens.
Duke University Press; Durham, 2015.

Postgenómica

La genética subsiguiente al Proyecto Genoma Humano

En 1999, Francis Collins, mirando el camino recorrido desde el lanzamiento en 1990 del Proyecto Genoma Humano (entonces HUGO, de Human Genome Organisation), auguraba para la biología el inicio de una etapa nueva, definitiva, con el arranque de un programa que habría de identificar hasta el último detalle del conjunto entero de instrucciones genéticas del ser humano, constituido por 46 cromosomas compuestos de unos 3000 millones de pares de bases en una doble hélice de ADN. Pasados 15 años, la historia ha resultado ser muy otra. Desde el punto de vista temporal, «postgenómica» corresponde al período subsiguiente a la secuenciación del genoma humano. Desde el punto de vista técnico, reúne las ciencias biológicas y médicas que utilizan la información genómica como un elemento fundamental de su praxis investigadora.

Para la escuela de Thomas H. Morgan, a la genética cumplía el estudio de la transmisión de determinados factores o genes. Aun cuando no pudiera afirmarse en qué consistía un gen, se suponía que era una unidad asociada directamente con un carácter y, al propio tiempo, una unidad que podía vincularse a la aparición de una diferencia (mutación). La identificación entre diferencia fenotípica

y gen subyacente requería un proceso de cambio en una entidad subyacente (gen hipotético), inferido a partir de la aparición de la diferencia en el carácter (color de los ojos).

Wilhelm Johannsen, que acuñó el término *gen*, se planteaba ya en 1923 si la doctrina mendeliana no sería más que el establecimiento de irregularidades, alteraciones o patologías cromosómicas, de enorme importancia práctica pero carentes de valor para comprender la constitución normal de los biotipos. Lo que hacía interesantes a los genes era su presumible capacidad de conformar los caracteres del organismo. El proceso en cuya virtud ejercían su poder en el desarrollo de caracteres o rasgos se denominaba acción génica, y se esperaba que el estudio de los genes informara de la acción génica. Por entonces, al conjunto entero de cromosomas empezó a llamársele genoma.

El descubrimiento, en 1953, de la estructura en doble hélice del ADN llevó al dogma central de la biología (el ADN se transcribe en ARN, que se traduce en proteína), la revelación del código, la emergencia de la ingeniería genética y el desciframiento del mecanismo de las enfermedades mendelianas. Prendió la idea de un crecimiento exponencial en

nuestra capacidad de medir e interpretar la información del ADN. La hipótesis de Beadle y Tatum (un gen, una enzima) pareció aportar al menos una respuesta parcial a la función del gen.

Esa tesis puramente estructural pecaba de excesiva simpleza. Dejaba fuera toda la cuestión de la regulación génica, qué dicta cuándo, dónde y cuánta proteína ha de sintetizarse. Jacques Monod y François Jacob enmendaron esa omisión de forma brillante, sin cuartear el esquema básico. Añadieron una nueva clase de elementos genéticos, los genes reguladores, que controlan la tasa de síntesis de proteína, cuya estructura está gobernada por otros genes. Tras la incorporación explícita de la regulación, el genoma podía seguir considerándose una colección de genes, salvo que ahora unos genes eran estructurales (responsables de la síntesis de proteínas que ejercen funciones estructurales en la célula), en tanto que otros operaban la regulación de genes estructurales.

Desde 1970, especialmente desde que el foco de atención de la genética molecular se desplazó hacia el estudio de los organismos eucariotas y el estudio de la regulación adquirió creciente centralidad, la relación entre genes y genética fue adquiriendo complejidad. Contra la equivalencia entre genética y genes laboraron también varios descubrimientos sobre secuencias de ADN del genoma eucariota sin función codificadora, «no génicas», por tanto. Quizá los hallazgos más interesantes a este respecto fueron las grandes cantidades de ADN repetitivo en 1968; más tarde, de los transposones, la relación variable entre la cantidad de ADN de un organismo y su complejidad, y, por último, la partición génica, es decir, secuencias codificadoras de proteína interrumpidas por intrones no codificadores. A ese ADN extra Susumu Ohno lo llamó en 1972 «basura».

Hasta comienzos de los noventa persistió el convencimiento de que en el ge-

noma eucariota había grandes cantidades de ADN sin función codificadora, que no contribuía, por tanto, al fenotipo y, en consecuencia, podía ignorarse. A todos los fines prácticos, los genomas (o, al menos, las partes interesantes de los genomas) podían seguir considerándose colecciones de genes.

La introducción y difusión del término *postgenómica* se remontan a una serie de reuniones que antecedieron a la planificación del Proyecto Genoma Humano. Tituladas «Conferencias sobre después del genoma», aventuraban que la era postgenómica abarcaría el estudio de sistemas interdependientes, de interacciones entre genes y entorno y de modelos complejos de las vías biológicas, que demandarían refinadas capacidades informáticas y computacionales. El proyecto habría de alumbrar los secretos de la salud humana, la enfermedad y la identidad.

Cierto es que no faltaron voces críticas. Cuando se propuso el Proyecto Genoma Humano, Robert Weinberg cuestionó su utilidad aduciendo que el 95 por ciento del genoma contenía bloques de secuencias ayunos de información biológica. Pero a mediados de los noventa se puso ya de manifiesto la endeblez de la afirmación de que el ADN no codificador carecía de función. Al doblar el milenio, eran ya muy pocos —ni siquiera Weinberg— los que asociaban ADN no codificador con ADN basura.

En las celebraciones que rodearon la conclusión del Proyecto Genoma Humano muy pocos sospecharon lo que vendría después. Confiábase en que sería una época resolutive de trabajo rutinario. La secuenciación exhaustiva prometía un futuro en el que los caracteres se vincularían a diferencias comunes en el genoma. James Watson, su primer director, sentenció que, antaño, muchos creyeron que nuestro futuro estaba escrito en las estrellas; ahora sabremos que está en los genes.

Sorprendió de entrada cuán pocos genes componían el genoma humano; muy parca también era la fracción del genoma dedicada a secuencias codificadoras de proteínas. En un artículo de revisión publicado en 2004 se recogía que los eucariotas simples portaban entre un 25 y un 50 por ciento de ADN no codificador; hongos, plantas y animales ofrecían cifras superiores al 50 por ciento, elevándose al 98,5 por ciento en el caso del hombre. Desde 2005, los biólogos iniciaron la cartografía génica de miles de individuos, en busca de una correlación entre polimorfismos nucleotídicos y rasgos genotípicos. Se hizo

amplio uso de la técnica de contrastación del significado y función del genoma, denominada estudio de la asociación del genoma (GWAS, de *genome-wide association study*). Para abordar la obesidad, por ejemplo, GWAS muestreó a miles de individuos con exceso de peso y a miles de individuos normales. Si una mutación particular se presentaba en el *locus x* en una fracción elevada de personas obesas y en una fracción irrelevante de personas no obesas, se infería que el sitio *x* determinaba la obesidad. Ese análisis se repitió en millones de regiones del genoma, construyendo un cuadro general de *loci* asociados con rasgos particulares.

Creado en 2003, el consorcio de investigación ENCODE debía identificar todos los elementos funcionales del genoma humano. Se trataba de uno de los empeños más ambiciosos para comprender los 3000 millones de letras del genoma humano. Los primeros resultados de esa empresa (basados en el 1 por ciento del genoma) aparecieron en 2007. Quedó claramente establecido que la mayor parte del ADN se transcribía (incluidas las regiones no codificadoras), que las secuencias reguladoras podían solaparse con regiones codificadoras de proteínas y que las secuencias no codificadoras tendían a persistir en el curso de la evolución. Se observó, además, que el ADN transcrito en ARN no codificador intervenía en muchas formas y niveles de regulación genética.

En 2010 se habían publicado unos 700 GWAS de unas 400 enfermedades y caracteres. Conforme se multiplicaban los estudios, se fueron definiendo dos tendencias. A tenor de la primera, muchos rasgos (incluidos los que los biólogos hubieran reputado simples) se hallaban asociados a cientos, miles incluso, de sitios del genoma; en cierto trabajo, por ejemplo, se asociaron 180 sitios con la altura humana. A tenor de la segunda tendencia, no cabía hablar de efecto aditivo de esas ubicaciones; así, los estudios de gemelos monogóticos sugerían que la variación del 80 al 90 por ciento en la altura era heredable. Sin embargo, sirviéndose del GWAS para medir la contribución de cada sitio a la variabilidad global de altura, resultaba que era muy pequeña: la suma de todas las contribuciones de los cientos de sitios solo daba cuenta de un 13 por ciento de la variabilidad global.

El proyecto ENCODE anunció sus resultados en 2012. Revelaba que el 80 por ciento del ADN humano cumplía alguna función. Muchos celebraron ese hito,

proclamando la muerte del ADN basura y predijeron la urgencia en reescribir los manuales. Pero no faltaron biólogos que recibieran con reticencia esa cifra del 80 por ciento. Tildaron a ENCODE de emplear con precipitación y frivolidad el término «función»; separaba, aducían los críticos, el análisis genómico de su contexto evolutivo e ignoraba un siglo de teoría de genética de poblaciones, amén de emplear métodos que sobreestimaban la funcionalidad. El grueso de esa objeción se apoyaba en que el análisis de genómica comparada había descubierto de una manera consistente que no superaba el 10 por ciento del genoma humano sometido a selección activa. ¿Cómo podría, pues, ser funcional entonces el 80 por ciento del mismo? Los críticos denunciaban que el proyecto ENCODE había escogido una definición de función que ignoraba por entero la evolución.

Aparecían nuevos horizontes. Una mujer embarazada es un mosaico genómico (las células fetales pueden permanecer en su cuerpo largo tiempo después del alumbramiento); además, el uso creciente de la medicina de trasplante, incluida la transfusión sanguínea, crea un mosaicismo genómico artificial. Un organismo humano es un sistema simbiótico que contiene multitud de células microbianas (bacterias, arqueas y hongos) sin las cuales el todo quedaría disfuncional y, a la postre, no viable.

La genética de la conducta epitomiza la controversia en biología. El empeño puesto en el conocimiento de la base genética de asuntos culturalmente sensibles como la inteligencia, la criminalidad, la sexualidad, la salud mental y la personalidad han planteado siempre objeciones de determinismo genético.

Tras la terminación del Proyecto Genoma Humano emergió la epigenética como foco de inversión institucional y como nueva área principal de investigación. La epigenética es el estudio de mecanismos moleculares que comportan un cambio persistente o heredable de la función génica sin cambiar la secuencia de genes. Uno de esos mecanismos es la metilación de ADN, el proceso por el que un grupo metilo (CH₃) se agrega a la estructura física de la molécula de ADN. La presencia de metilación en un *locus* génico particular impide la expresión génica a través de la obstrucción de la transcrita de ADN y otras proteínas enlazantes con el ADN.

—Luis Alonso