



LA CALIDAD CIENTÍFICA EN LA NUTRIGENÓMICA*

DAVID CASTLE

Profesor adjunto de Filosofía. University of Guelph. Guelph, Ontario (Canadá).

Introducción

A medida que se van abriendo nuevos campos en la ciencia y la tecnología, van generando incertidumbre sobre los problemas que teóricamente deben resolver, ya que la propia investigación revela la complejidad de la ciencia en cuestión. La incertidumbre científica tiene su efecto correspondiente sobre la evaluación de los riesgos y beneficios que la innovación ofrece a la sociedad. Paradójicamente, justo cuando deseáramos recurrir a la ciencia para resolver los interrogantes sobre las consecuencias sociales de las nuevas tecnologías, no sólo se cuestiona la validez de las herramientas científicas, sino que además puede asumir el primer plano su posible efecto de desestabilización o perjuicio social.

David Castle es un filósofo de las ciencias de la vida que centra su estudio en las implicaciones sociales de la innovación científica y tecnológica. Es uno de los investigadores principales del *Canadian Program on Genomics and Global Health*, financiado por Genoma Canada, y del *Legal Models of Biotechnology Intellectual Property Protection: A Transdisciplinary Approach*, financiado por el Consejo de Investigación de Ciencias Sociales y Humanidades de Canadá.

*El presente estudio se ha realizado con el apoyo del Ontario Genomics Institute y Genome Canada.

Cuando la incertidumbre científica perjudica a un campo porque ralentiza su investigación básica o el desarrollo y difusión de sus aplicaciones tecnológicas, pueden seguirse paralelamente dos estrategias para corregir esta situación. Una consiste en intentar reducir la incertidumbre mejorando la ciencia y la tecnología; la segunda en determinar con precisión el potencial de desestabilización o perjuicio social y buscar estrategias políticas, económicas, jurídicas o normativas para mitigar el riesgo. El resultado que se pretende es establecer un consenso político y llenar las lagunas de conocimiento, así como reducir la posibilidad de graves consecuencias sociales adversas derivadas de la implantación de la innovación tecnológica y científica.

Esta caracterización de la compleja dinámica entre ciencia y sociedad apunta a un marco de análisis y a determinadas técnicas de resolución de problemas. Pero es abstracta y retrospectiva, y los resultados previstos son genéricos e hipotéticos. ¿Qué hacer con la innovación científica y tecnológica que se halla *in medias res*, en un enfrentamiento real con la incertidumbre científica, en que el peligro de desestabilización o perjuicio social acecha y la resolución de las tensiones en la relación ciencia-sociedad no puede preverse



de forma fiable? En estos casos pueden invocarse métodos de evaluación de la solidez de la ciencia para tomar decisiones no sólo sobre el estado del campo científico, sino también para establecer un grado de confianza acerca de las predicciones de beneficios y riesgos que se derivan de la tecnología. Se trata de una estrategia extracientífica, en el sentido de que cuando la propia ciencia es la fuente de incertidumbre y de peligro de desestabilización o perjuicio social, la evaluación de la calidad científica debe examinar la ciencia en su contexto social más amplio.

En este capítulo se ofrece una metodología para identificar y hacer frente a la incertidumbre con el objetivo de mitigar o evitar los riesgos sociales. El primer apartado describe los orígenes de la incertidumbre científica en la nutrigenómica y los posibles métodos para reducirla. En el segundo apartado se aborda la cuestión de la incertidumbre en relación con los marcos de evaluación de la tecnología que vinculan el problema de la incertidumbre científica a los problemas sociales que ésta puede engendrar. En el tercer apartado se introduce una metodología para evaluar la calidad científica. El texto aborda la cuestión de la calidad científica en la nutrigenómica de forma deliberadamente superficial. Sin embargo, sugiere que la nutrigenómica se beneficiará de una evaluación más sistemática de la ciencia y la tecnología. El capítulo concluye con ciertas observaciones sobre la función que podría desempeñar la evaluación tecnológica para garantizar los máximos beneficios sociales posibles de la nutrigenómica.

La incertidumbre en nutrigenómica

En su estado actual de desarrollo, es posible que el campo de la nutrigenómica sea reconocido como una de las fuentes más importantes de transferencia de conocimientos del Proyecto Genoma Humano al dominio público. En muchos de los artículos publicados queda reflejado este punto de vista y se proponen planes estratégicos para impulsar el avance en este campo¹. Los autores destacan que la investigación básica y aplicada en nutrigenómica permitirá comprender las interacciones entre nutrientes y genes hasta el punto en que pueda preverse la susceptibilidad frente a enfermedades y se ofrezcan intervenciones eficaces. Ahora bien, la pregunta que siempre acecha a esta disciplina es: ¿cuándo se ha alcanzado un nivel “lo bastante bueno”?; podemos decir que la nutrigenómica ha madurado suficientemente para que, más que existir un simple equilibrio entre pros y contras, los beneficios de la aplicación de esta ciencia superen de manera muy clara a los riesgos?

Decir que actualmente es imposible dar una respuesta clara a esta pregunta no equivale a usar la excusa fácil de que “el tiempo lo dirá” ni a inducir al sopor con la insulsa recomendación de “proceder con prudencia”. Es absolutamente obvio que es demasiado pronto para afirmar que la nutrigenómica en su estado actual, en comparación con otros campos con un historial consolidado, como por ejemplo la vacunología, es una disciplina que justifica la asunción de riesgos pequeños pero graves a cambio de beneficios importan-



tes a largo plazo. La nutrigenómica necesita un historial. Igualmente evidente es que sólo intentando aplicar esta ciencia en contextos clínicos, de sanidad pública o de relación directa con el consumidor se obtendrá la experiencia necesaria para juzgar desde varios puntos de vista la utilidad y seguridad de la disciplina. La nutrigenómica tendrá un historial en tanto en cuanto exista actividad en este campo.

La nutrigenómica se halla en una difícil situación en la que la superación de un umbral de conocimientos autorizaría teóricamente sus aplicaciones, pero no existe un consenso general sobre dónde se halla este umbral. Los conservadores del ámbito científico argumentarán que el nivel de conocimientos es demasiado bajo para hablar de las interacciones entre nutrientes y genes. Los escépticos ante la tecnología critican el reducido número de genes analizados en las aplicaciones actuales de la nutrigenómica basadas en consumidores o pacientes. Supongamos que se considera que la nutrigenómica se habrá consolidado cuando se conozcan las interacciones entre nutrientes y genes hasta el punto de poder realizar predicciones fiables de los efectos sobre la salud individual. Cruzar este umbral implica la superación de dos fuentes principales de incertidumbre: el grado de conocimiento sobre las interacciones entre genes y nutrientes y la capacidad de predecir los resultados individuales. Actualmente sigue abierto el debate sobre si las dos fuentes de incertidumbre son meramente aspectos de sistemas complejos que tienen una “solución” o si forman parte

de sistemas de una complejidad irreducible y que, por tanto, escapan a una capacidad de predicción total.

Una consideración superficial del campo de la nutrigenómica puede llevarnos a creer que en este campo hay más artículos de revisión que de investigación. Evidentemente ello no es así, pero el número de artículos de revisión indica que la comunidad científica intenta consolidar y definir el campo en su estado actual y al mismo tiempo aportar análisis estratégicos que marquen el rumbo a seguir. En estos artículos se tratan muchas de las fuentes de incertidumbre científica. Lenore Arab, por ejemplo, argumenta que no se ha realizado la suficiente investigación básica para respaldar recomendaciones nutricionales, y aún menos para ofrecer una nutrición personalizada². Haga et al. coinciden y afirman que las deficiencias en el establecimiento de perfiles genéticos en las investigaciones actuales reducen la capacidad de confirmar, a partir de los estudios de asociación epidemiológica, conclusiones sobre la relevancia clínica de las interacciones entre nutrientes y genes³. Elliott y Ong han señalado la necesidad imperiosa de diseñar mejor los estudios a fin de obtener datos sólidos que se puedan utilizar después de manera más eficiente⁴.

También Muller y Kersten destacan la necesidad de disponer de datos mejores, argumentando que la nutrigenómica se ve entorpecida por la escasez de buenas “herramientas moleculares” para analizar sistemas complejos⁵. En la misma línea, Ommen y Stierum⁶ reclaman nuevos biomarcadores.



Los biomarcadores de exposición, por ejemplo, podrían ayudar a corregir el problema de la poca fiabilidad de las ingestas declaradas por los participantes en los estudios, y podría reducir la necesidad de ensayos de alimentación controlada. Asimismo, existe la preocupación de que, a pesar del rápido incremento de los polimorfismos conocidos, se ha avanzado menos en su encaje en el rompecabezas complejo y multifactorial de la patogenia⁷. Mathers observa que es necesario trabajar mucho más para comprender la función de los nutrientes en la epigenética y la expresión de los genes⁸. Por último, en su revisión sobre esta materia, Ordovás y Corella argumentan que las incertidumbres en la nutrigenómica surgen de la falta de conocimientos en el ámbito de los sistemas. Defienden que es necesario mejorar el diseño de los experimentos, ya que la investigación en nutrigenómica suele consistir en estudios epidemiológicos retrospectivos, en lugar de en una experimentación prospectiva con grupos controlados. Además, destacan la importancia de un mejor uso de la estadística para analizar las asociaciones, así como una mejora en las herramientas para estudiar y visualizar las interacciones complejas entre nutrientes y genes (tabla 1)⁹.

La evaluación de la tecnología

Las nuevas ciencias y tecnologías surgen en condiciones de incertidumbre científica. En el apartado anterior se han considerado las fuentes de incertidumbre en nutrigenómi-

TABLA 1. Fuentes de incertidumbre científica en la nutrigenómica

1. Datos de evaluación dietética imprecisos
2. Poco desarrollo de las conexiones causales entre genómica y genética
3. Falta de biomarcadores
4. Ignorancia de la conexión entre dieta y epigenética
5. Conexión entre polimorfismos y patogenia de enfermedades multifactoriales
6. Uso secundario de datos retrospectivos
7. Escasez de estudios prospectivos controlados
8. Lagunas estadísticas y computacionales

ca. A continuación es conveniente pasar a tratar la cuestión de cómo se aborda la incertidumbre en su contexto social más amplio mediante los procesos de evaluación de la tecnología. La misión de la evaluación de la ciencia y la tecnología es ayudar a identificar las fuentes de incertidumbre, juzgar el riesgo correspondiente y acometer el análisis de los posibles métodos para mitigar las consecuencias de la incertidumbre.

Habitualmente se considera que la incertidumbre es intrínseca a la ciencia y la tecnología, mientras que los riesgos sociales son extrínsecos y se derivan del modo en que estos avances se implantan en la sociedad. Se trata de una asunción útil como marco, pero no debe llevarnos a la creencia de que los avances científicos son ajenos a los valores y pueden separarse de los trastornos y riesgos sociales que pueden introducir. Al contrario, “la investigación científica y los avances tecnológicos pueden ayudar a resolver problemas



sociales, pero la actividad de investigación y desarrollo también genera problemas sociales que no pueden separarse del propio proceso de I+D¹⁰. De ello se desprende que cualquier intento de abordar la relación entre incertidumbres y riesgos intrínsecos y extrínsecos requiere una evaluación de la tecnología que ha de ser por principio interdisciplinar, que tenga en cuenta las aportaciones de las ciencias básicas y aplicadas, las de los socios del sector privado, de los éticistas, los economistas, los juristas, los responsables políticos y los legisladores¹¹.

Las evaluaciones de la tecnología, especialmente los métodos integradores aplicados en la Unión Europea, son análisis interdisciplinares que reúnen diferentes perspectivas en un marco que sirve a un proyecto¹². Las diferentes metodologías de interacción social, como los comités de consenso o el método Delphi, determinan el grado de consenso sobre el estado de la ciencia y la tecnología en cuestión. Un método habitual consiste en reunir al grupo de científicos con otro grupo encargado de determinar y sopesar las cuestiones sociales a partir de su conocimiento limitado y profano de la ciencia y la tecnología en cuestión. Esta metodología de enfrentamiento directo pretende generar nuevas perspectivas no restringidas a disciplinas concretas, sino surgidas del diálogo entre los participantes, en el que se cuestionan las fuentes del conocimiento científico y socio-científico. Este tipo de evaluación de la tecnología tiene por objeto reunir en igualdad de condiciones las consideraciones científicas y sociales para comprender su interacción y las

implicaciones de las innovaciones científicas y tecnológicas. Un aspecto deseable de este proceso es que las consideraciones normativas y no científicas pueden tener el mismo peso en la evaluación de la tecnología que los factores estrictamente científicos.

Las fuentes intrínsecas de incertidumbre y riesgo en nutrigenómica, que son el objeto de este texto, plantean diferentes problemas para evaluar la nutrigenómica. La incertidumbre en nuestra comprensión de la nutrigenómica, que hemos abordado antes, tiene dos fuentes principales. La primera es la complejidad intrínseca de los sistemas objeto de estudio. Si los procesos naturales estudiados en la nutrigenómica son irreduciblemente complejos, puede parecer que poseen un comportamiento estocástico que permite su modelación estadística, pero sólo hasta un cierto punto más allá del cual son imposibles las predicciones precisas. En nutrigenómica, este hecho puede manifestarse en los efectos genéticos aleatorios, pero también puede afectar a los ensayos clínicos con una asimilación de la información impredecible y una reducida probabilidad de que la nueva información se presente de forma coherente en los casos individuales. La segunda fuente de incertidumbre procede de la falta de conocimientos sobre la ciencia, que puede dividirse en los casos en que la información obtenida se considera poco fiable porque es inexacta o se encuentra en los límites de la relevancia estadística, y por otro lado las incertidumbres estructurales provocadas por la ignorancia o por interpretaciones discrepantes sobre los datos disponibles. Ambas situaciones están



reflejadas en los trabajos de investigación sobre nutrigenómica publicados.

Los riesgos extrínsecos o estrictamente sociales de la nutrigenómica corresponden a los efectos éticos, económicos y jurídicos que plantean el desarrollo y la aplicación de esta disciplina. Más concretamente, consisten en varios problemas sociales afines que ya han surgido en otros casos relacionados de desarrollo científico y tecnológico, o en problemas que se prevén como específicos de la nutrigenómica. Para cada una de estas fuentes de posible desestabilización y riesgo social pueden ofrecerse recomendaciones sobre la solución normativa, jurídica y económica más adecuada y factible¹³, como pretende el estudio iniciado por el Canadian Program on Genomics and Global Health. Por ejemplo, la nutrigenómica requerirá una manipulación cuidadosa de las muestras biológicas y la información personal en los contextos de la investigación, los estudios clínicos y la relación con el consumidor. Puede que sean necesarias directrices concretas para la investigación, como las que desarrolla la Organización Europea de Nutrigenómica (NuGO). Asimismo, quizás deban desarrollarse otras directrices específicas para los ámbitos clínico y comercial. Por otro lado, la prestación de servicios de nutrigenómica variará en cada jurisdicción, lo que imposibilita la recomendación de una estrategia reguladora universal. En general, el mayor reto consistirá en establecer qué efectos sobre la salud se consideran respaldados por la ciencia actual. Además se prevé que, como sucede con otras biotecnologías, exista un acceso desigual a la

nutrigenómica, lo que puede agravar las diferencias actuales en el acceso a estas tecnologías para la salud.

La calidad científica

La constatación del grado y el alcance de la incertidumbre en un campo científico es la principal justificación para seguir investigando y restringir las aplicaciones clínicas y comerciales. La decisión de avanzar en un campo científico y tecnológico no es estrictamente científica, sino que es el resultado de políticas y actitudes sociales favorables a la innovación en biología y biotecnología, se basa en decisiones previas que apoyen el destino de recursos a la investigación básica y aplicada y generalmente se da en un contexto de ausencia de exceso de regulación de la biotecnología que frustre los intereses del sector privado. Debe tenerse en cuenta que la innovación científica y tecnológica siempre implica asumir nuevos riesgos, pero el grado y el tipo de riesgo tolerado, si bien se basa en la información científica, es fundamentalmente, una vez más, una decisión no científica. Como indican Funtowicz y Ravetz en su obra *Uncertainty and Quality in Science for Policy* (Incertidumbre y calidad científica en relación con la política):

...[la ciencia eficaz consiste], según la fórmula clásica, en el “arte de lo resoluble”. No toda la ignorancia se presenta en paquetes tan cómodos; en la política científica y tecnológica contemporánea, los problemas



más importantes suelen ser [...] los que pueden enunciarse, aquellos cuya solución puede concebirse, pero que en la práctica son irresolubles por la envergadura de los costes [...]. Deben tomarse las decisiones antes de que exista la previsión de que se obtendrá la información necesaria¹⁴.

Por tanto, la dificultad de los responsables políticos y legisladores encargados de evaluar la tecnología es determinar qué proyectos científicos y tecnológicos son socialmente aceptables. Además, si la ciencia es “blanda” por su incertidumbre provisional o intrínseca, las decisiones políticas “duras” deben basarse en medios indirectos para determinar la solidez de la disciplina en cuestión.

Funtowicz y Ravetz han desarrollado el sistema NUSAP¹⁵ para evaluar la incertidumbre y la calidad científicas precisamente en estos casos. La metodología emplea un lenguaje cuasiformal para compilar una serie de aspectos cualitativos de la ciencia. El primer aspecto es el numeral, que expresa la aritmética o el conjunto de elementos y su relación en el sistema. Para los modeladores de sistemas complejos, el numeral se presenta como un sistema formal o no interpretado. El segundo aspecto, las unidades, representa la tratabilidad de los modelos científicos y su idoneidad para el sistema empírico objeto de estudio: corresponde al sistema interpretado de las matemáticas aplicadas. El tercer aspecto, la dispersión, refleja directamente la incertidumbre intrínseca de la ciencia: cuanta más estocasticidad encuentra la modelación del sistema, mayor es la dispersión de los va-

lores de los elementos numeral/unidad. La evaluación se refiere a las diferentes pruebas estadísticas empleadas para juzgar la calidad de los datos, o bien, cuando éstos son demasiado inconsistentes o presentan lagunas, se refiere a sus descripciones totalmente cualitativas. El pedigrí establece el grado y las fuentes de incertidumbre de la ciencia, y es el elemento del sistema NUSAP de mayor interés en el ámbito que nos ocupa.

En ciencia, el concepto de pedigrí tiene varias manifestaciones. En ingeniería, por ejemplo, puede referirse a la trazabilidad de una sucesión de datos¹⁶. Obviamente, en biología el concepto de pedigrí se emplea de forma generalizada para referirse a los linajes, y se ha introducido en el lenguaje común desde la publicación de la obra de Darwin *El origen de las especies*. Aunque el término “pedigrí” en el caso de las familias humanas tiene reminiscencias de las ideas de Galton sobre los pedigrís planificados, el uso científico y médico habitual de la palabra se refiere a la historia familiar. En cambio, el concepto de pedigrí para evaluar la ciencia y la tecnología es relativamente nuevo. Ha surgido de una concepción del desarrollo y el crecimiento científico que ve la ciencia no como una disciplina puramente racional y desvinculada de la sociedad, sino como una actividad integrada en la sociedad e intrínsecamente social. El pedigrí se refiere en parte al mecanismo y a la vía de selección social del conocimiento: valoración de la comunidad científica, instituciones, colaboración y competición (tabla 2).

El análisis del pedigrí de la nutrigenómica parecería una empresa compleja si no fuera



TABLA 2. Pedigrí científico

Factores teóricos y empíricos		Aspectos sociales	
Estructuras teóricas	Recopilación de datos	Aceptación entre la comunidad científica	Consenso entre colegas
Teoría establecida	Datos experimentales	Total	Todos menos los excéntricos
Modelos teóricos	Datos históricos/clínicos	Alta	Todos menos los rebeldes
Modelos computacionales	Datos calculados	Media	Competencia entre escuelas
Procesamiento estadístico	Suposiciones de expertos	Baja	Campo embrionario
Definiciones	Suposiciones de no expertos	Ninguna	Sin opinión

por las consideraciones anteriores sobre las fuentes de incertidumbre y su relación con la evaluación tecnológica de este campo. En primer lugar, entre los expertos existe un consenso sobre el hecho de que la teoría de la interacción entre nutrientes y genes está fuera de toda duda. La teoría que respalda la nutrigenómica no se limita a modelos o a una serie de definiciones poco desarrolladas. Por ello es posible que numerosos artículos de revisión anuncien que la nutrigenómica es una parte fundamental de la revolución de la genómica y presenten estrategias para que siga avanzando. El aspecto que continúa siendo problemático es la recopilación de datos. La nutrigenómica ha superado totalmente el estadio de las meras suposiciones, pero sigue siendo cierto que, en gran parte, la disciplina se basa en datos históricos, a menudo obtenidos de otros estudios con propósitos diferentes. Sería muchísimo más deseable la realización de estudios prospectivos, por ejemplo estudios transversales o de cohortes basados en la exposición en lugar de en los resulta-

dos. De este modo se reduciría la incertidumbre sobre la base científica de las interacciones entre nutrientes y genes, y se podrían abrir las puertas a aplicaciones más convincentes de la disciplina. Así, la aceptación entre la comunidad científica llegaría al nivel “alto”, y daría menos “munición” a los colegas para burlarse públicamente de la incertidumbre de la nutrigenómica.

Cabe destacar tres aspectos de una descripción sistemática del pedigrí de la nutrigenómica. El primero es que el marco del pedigrí parece estático sólo porque captura una porción de tiempo en el transcurso del desarrollo de la disciplina. Visto un año antes o después, el pedigrí sería diferente. Ello explica por qué la evaluación de la tecnología suele ser continua. Al igual que un barómetro sigue la variación de las condiciones meteorológicas, una evaluación continua permite seguir los cambios incrementales. El segundo aspecto se expresa en las columnas de la tabla no en sentido vertical sino horizontal. El objeto de establecer un pedigrí en una ciencia



como la nutrigenómica es demostrar que existe una estrecha vinculación entre la teoría, los métodos empíricos que la apoyan y la aceptación de la comunidad científica y académica de las aplicaciones de la ciencia. Dicho de otro modo, el análisis del pedigrí en el caso de la nutrigenómica sugiere que aún deben forjarse vínculos entre el “saber” y el “saber cómo”. En tercer lugar, el pedigrí aporta criterios cualitativos y cuantitativos integrados que pueden servir de guía a los responsables políticos y a los legisladores a la hora de decidir cuándo se ha alcanzado el umbral a partir del cual se considera que la ciencia nutrigenómica respalda sus aplicaciones tecnológicas.

Conclusión

En este capítulo se ha argumentado que, si bien hay muchos motivos para el optimismo en el campo de la nutrigenómica, existen varias fuentes de incertidumbre científica. Este hecho, en sí mismo, no debería suscitar ninguna preocupación especial, dada la novedad del campo y la complejidad de los sistemas que se estudian. Sin embargo, al existir presiones para desarrollar aplicaciones útiles de la nutrigenómica, además de poderosos intereses públicos y privados para que así sea, es necesario juzgar si esta ciencia ha alcanzado la suficiente solidez. Se ha argumentado que, si existe este umbral, su caracterización requiere identificar las fuentes de la incertidumbre científica, localizar mediante la evaluación tecnológica los riesgos intrínsecos y extrínsecos y analizar mediante el

sistema NUSAP el pedigrí de la nutrigenómica. En resumen, se trata de un enfoque extracientífico, ya que cuando la propia ciencia es la fuente de incertidumbre y de posible desestabilización o perjuicio social, la evaluación de la calidad científica debe examinar la ciencia en su contexto social más amplio. El objetivo, en última instancia, es generar y defender una metodología para identificar y abordar la incertidumbre al objeto de mitigar o evitar los riesgos sociales.

Algunos de estos riesgos sociales ya se han descrito, pero hay que tener en cuenta que la forma de construir el pedigrí puede tener un efecto directo sobre el desarrollo de los intereses comerciales en la nutrigenómica y la inclusión de esta disciplina en la sanidad pública. Asimismo, cabe destacar que el pedigrí de la nutrigenómica y su evolución tendrán un impacto sobre la financiación de la investigación básica. El apoyo a la investigación biológica busca una expansión del conocimiento sobre el mundo natural, pero también pretende alcanzar una transferencia a corto plazo del conocimiento científico a biotecnologías útiles. La metodología aquí propuesta para estudiar la relación entre incertidumbre, pedigrí y riesgo social normaliza este aspecto de los sistemas de innovación. La consecuencia es que la tensión percibida entre la investigación básica y aplicada y el desarrollo de la nutrigenómica puede considerarse un aspecto no excepcional, pero no obstante interesante, de la innovación científica y tecnológica.

Por último, hay razones para creer que la nutrigenómica permite, e incluso requiere, el



tipo de análisis aquí propuesto antes de abordar los riesgos sociales, ya que la incertidumbre es un aspecto endémico de la nutrigenómica. Sigue abierta la cuestión de si la nutrigenómica es una ciencia irreductiblemente compleja, dado que integra varios elementos no deterministas: la susceptibilidad a las enfermedades, la variación genética y el estilo de vida. Supongamos, de todos modos, que la nutrigenómica resulta ser la ciencia de lo muy complicado, no de lo irreductiblemente complejo. El método para determinar la calidad científica mediante el análisis del pedigrí será una herramienta de diagnóstico útil para establecer cuándo se alcanza el consenso sobre este punto. Si la nutrigenómica es una ciencia de sistemas irreductiblemente complejos, debería extenderse la función de las evaluaciones de la calidad científica mediante el análisis del pedigrí.

Referencias bibliográficas

1. Simopolous AP. Genetic variation and dietary response: nutrigenetics/nutrigenomics. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 2002; 11(S6): 117-128. Gillies P. Nutrigenomics: the Rubicon of molecular nutrition. *J Am Diet Assoc* 2003; 103(S2): S50-3. Kaput J, RL Rodriguez. Nutritional genomics: the next frontier in the postgenomic era. *Physiol Genomics* 2004; 16: 166-77. Kornman KS. Genetic variations and inflammation: a practical nutrigenomics opportunity. *Nutrition* 2004; 20: 44-9. Ordovas J, V. Mooser. Nutrigenomics and nutrigenetics. *Curr Opin Lipidol* 2004; 15: 101-8. Van Ommen B. Nutrigenomics: exploiting systems biology in the nutrition and health arenas. *Nutrition* 2004; 20: 4-8. DeBusk R, Fogarty CP, Ordovas JM, KS Kornman. Nutritional genomics in practice: where do we begin? *J Am Diet Assoc* 2005; 105: 589-98. Kauwell GPA. Emerging concepts in nutrigenomics: a preview of what is to come. *Nutrition in Clinical Practice* 2005; 20: 75-87.
2. Arab L. Individualized nutritional recommendations: do we have the measurements needed to assess risk and make dietary recommendations? *Proc Nutr Soc* 2004; 63: 167-72.
3. Haga SB, Khoury MJ, Burke W. Genomic profiling to promote a healthy lifestyle: not ready for prime time. *Nature Genetics* 2003; 34: 347-50.
4. Elliott R, Ong TJ. Nutritional genomics. *BMJ* 2002; 324: 1438-42.
5. Muller M, Kersten S. Nutrigenomics: goals and strategies. *Nature Reviews: Genetics* 2003; 4: 315-22.
6. Van Ommen B, Stierum R. Nutrigenomics: exploiting systems biology in the nutrition and health arena. *Curr Opin Biotechnol* 2002; 13: 517-21.
7. Loktionov A. Common gene polymorphisms and nutrition: emerging links with pathogenesis of multifactorial chronic diseases. *Journal of Nutritional Biochemistry* 2003; 14: 426-51.
8. Mathers JC. Nutrition and epigenetics: How the genome learns from experience. *Nutrition Bulletin* 2005; 30: 6-12.
9. Ordovas JM, Corella D. Nutritional genomics. *Annual Review of Genetics and Human Genomics* 2004; 5: 7-118.
10. Ravetz JR. *Scientific Knowledge and its Social Problems*. Oxford: Clarendon Press, 1970.
11. Decker M (ed). *Interdisciplinarity in Technology Assessment: Implementation and its Chances and Limits*. New York: Springer-Verlag, 2001.
12. Decker M, Ladikas M. *Bridges Between Science, Society and Policy*. New York: Springer-Verlag, 2004.
13. Castle D, Cline C, Daar AS, Tsamis C, Singer PA. Nutrients and norms: ethical issues in nutritional genomics. En: Kaput J, Rodríguez RL (ed). *Nutrigenomics: Concepts and Technologies*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
14. Funtowicz SO, Ravetz JR. *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Dordrecht: Kluwer, 1990.
15. Ibid.