



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

---

---

**NICHOS DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN  
PARA UN CONOCIMIENTO DE VANGUARDIA EN EL CAMPO DE  
LA SALUD: NUTRIGENÉTICA**

---

---

Marta Coronado Herrera, Salvador Vega y León<sup>1</sup>, Rey Gutiérrez Tolentino<sup>1</sup>,  
José Jesús Pérez González<sup>1</sup>, Gilberto Díaz González<sup>1</sup>

---

---

**Opportunities of research, development and innovation in an advanced knowledge in  
the field of health: Nutrigenetics**

**ABSTRACT**

The aim of this investigation is to enrich the knowledge about nutrigenetics, a scientific-technology paradigm in nutritional sciences. This new knowledge implies the interaction between nutrition and human genetic polymorphisms. However, the development of nutrigenetics will only be successful if the consumer, who has an essential role in this field, perceives clear health benefits, and if industries see a high potential for the development and innovation of food or genetic products, and commercial applications could be profitable. However, in order to achieve significant advances, it will be necessary a extensive economic investment in genomic research.

**Key words:** nutrigenetic, research, development.

**RESUMEN**

El objetivo de éste artículo es enriquecer el conocimiento sobre nutrigenética, un paradigma científico tecnológico actual, en las ciencias de la nutrición. Este nuevo conocimiento implica la interacción entre nutrición y polimorfismos genéticos humanos. Sin embargo, el desarrollo de la nutrigenética sólo tendrá éxito si el consumidor, quien tiene un papel esencial en este campo, percibe un beneficio relevante para su salud, además si la industria observa un alto potencial para el desarrollo e innovación de productos alimentarios y genéticos y sus aplicaciones comerciales pueden ser rentables. No obstante, para lograr hallazgos relevantes es importante la inversión de recursos económicos en la investigación genómica.

**Palabras clave:** nutrigenética, investigación, desarrollo

**INTRODUCCIÓN**

La nutrigenética es un conocimiento nuevo que tiene como antecedente aquel histórico descubrimiento de James D. Watson y Francis H.C. Crick, quienes a mediados de los años 50 de la década pasada mostraron por primera vez la doble hélice del ácido desoxirribonucleico (DNA por sus siglas en inglés).

---

<sup>1</sup>Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, D. F.

Después en la década de los noventa surgió con entusiasmo en el mundo, por parte de diversos grupos de investigación, lo que hoy se conoce como nutriología molecular, área del conocimiento que involucra el estudio de los procesos metabólicos, particulares, en los cuales los nutrimentos se asocian con la expresión génica, fenómeno relacionado, en general, con las proteínas importantes que regulan estos procesos.

En este contexto, la genómica nutricional ganó espacio, no sólo en la investigación, sino en sus posibilidades de aplicación, porque puede generar conocimientos para el manejo genético, sea incorporar genes, seleccionar algunos, bloquear otros de naturaleza humana, animal o vegetal.

Ahora, con todas las herramientas de la genómica (proteómica, metabolómica, lipómica), los estudios son mucho más amplios, incluso en diversas etapas de la vida (infancia, adolescencia, adulto, vejez) lo que permitirá observar el posible desarrollo de una enfermedad en un momento más temprano y prevenirla, si es el caso. Respecto a nutrición, se podrá hacer un programa con antelación y observar las complejas interacciones entre genotipo, dieta y ambiente.

Todo este desarrollo observó su mayor impulso en las últimas décadas del siglo XX e inicios del nuevo siglo.

Ahora bien, los datos anteriores representan la plataforma científico-tecnológica del tema, pero si se analiza este nuevo conocimiento bajo la óptica de la investigación, el desarrollo y la innovación (I&D&I), se puede señalar que al final del siglo XX cobraron relevancia las ciencias de la vida y se planteó el inicio de una nueva revolución científico tecnológica con cambios en la biotecnología, la nanotecnología, los nuevos materiales y el campo, objetivo de este artículo, la genómica.

Este campo no sólo involucra la salud y la nutrición, sino una fuerte dosis de bioinformática, biología molecular y celular y como se señaló antes de biotecnología.

De hecho se percibe como una revolución científico tecnológico que estará en curso durante los próximos 25 años.

Lo anterior ha propiciado nuevos paradigmas que incidirán en la forma de vida previa (nacional y mundial) sea en servicios, educación o salud, entre otros.

Cabe mencionar también que bajo este hilo conductor de las revoluciones científico-técnicas, Carlota Pérez (2007) señala que el devenir de la historia ha mostrado que cada una de las revoluciones conduce al reemplazo de viejas prácticas y herramientas, por otras acordes con los nuevos paradigmas. Por ello habrá una explosión de nuevos productos e industrias que guiarán a empresarios, innovadores y a consumidores para tomar decisiones individuales o en interacción, durante el tiempo en que se propagan las nuevas tecnologías asociadas al paradigma en cuestión, en este caso la genómica y en particular, la nutrigenética.

Bajo esta perspectiva se desarrollan las ideas incluidas en este artículo. Por ello se plantea que a mediano plazo ocurrirá un desarrollo global en torno a este nuevo campo del conocimiento y que esta revolución científico-técnica cambiará las herramientas para prevenir, diagnosticar o tratar las enfermedades, para lo cual serán diversas las ventanas de oportunidad en investigación, desarrollo e innovación. Se incluirán, además de otros productos, los alimentos o cierto tipo de fármacos. Surgirán mercados interesados en el genoma de las etnias o de subgrupos humanos que de acuerdo con las características de riesgo detectados en su perfil genético requerirán de las nuevas herramientas o productos.

Es pertinente señalar, que México con la presentación reciente (2009) de una primera parte del mapa genómico nacional ha fortalecido su participación en este campo (la genómica) de la ciencia, la investigación y el desarrollo como se realiza en otras regiones del mundo.

Así el objetivo de este artículo es aportar datos e ideas sobre los avances de la nutrigenética, la cual se sustenta en una alimentación personalizada frente al perfil genético de cada individuo, además de incidir en la industria y en los consumidores y los futuros profesionales en este campo; porque sin duda la temática en cuestión representa nichos de investigación, desarrollo e innovación (I&D&I), importantes y atractivos para diversos grupos de investigación y cada aporte como el presente colabora con este conocimiento de vanguardia.

## METODOLOGÍA

El artículo analiza diferentes trabajos de autores que estudian la nutrigenética y si bien no se pretende establecer un estado del arte, sí se considera que se han incluido los autores más relevantes, que en la actualidad discuten, desde el trabajo experimental los procesos asociados con el genoma humano y sus múltiples vertientes de estudio. Además se discuten los logros y perspectivas de I&D&I, relacionados con la búsqueda de herramientas para mejorar los procesos metabólicos (si es el caso) y para optimizar la salud por medio de la nutrigenética. Otro punto de este texto discute aspectos de la industria alimentaria porque ésta podrá identificar componentes bioactivos de los alimentos para integrarlos en nuevos productos que consideren el perfil genético de la población e incidan en una mejor salud.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos recabados se trabajan y discuten los siguientes aspectos sobre la temática.

### **Caracterización de la nutrigenética como disciplina tecno-científica.**

Si bien los conceptos de nutrigenética y su columna vertebral, los polimorfismos se incluirán en el siguiente apartado, se ha considerado que antes es relevante fundamentar el campo en cuestión, bajo la óptica que se ha planteado para este estudio, el tecno-científico. Muñoz (2004) plantea que cuando las acciones científicas propician acciones tecnológicas, se habla entonces de tecnociencia, porque las acciones en cuestión, quedan insertas en un sistema de ciencia y tecnología, de orden social. Así los lenguajes informáticos son los que producen la síntesis del conocimiento tecno-científico.

En el caso de la nutrigenética el trabajo simultáneo que se realiza en un laboratorio, con un amplio número de proteínas (derivadas de órdenes genéticas) para entender los procesos metabólicos, requiere de mapas informáticos, cada vez más complejos, lo que como se menciona más adelante, necesita del análisis con sistemas de supercómputo.

Este nuevo paradigma tecno-científico ha dado y dará lugar a diversas tecnologías que conducirán a una gran plataforma experimental, aunque en la actualidad se perciba como un camino incipiente antes de su aplicación masiva.

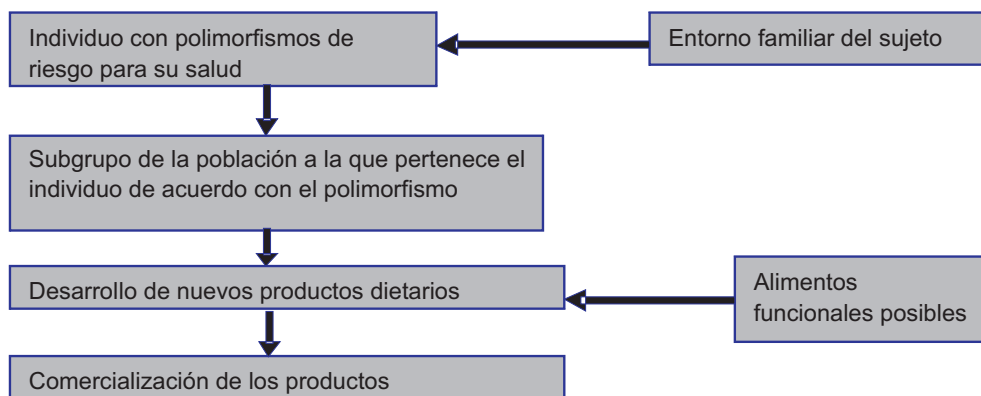
Al respecto Ordovas (citado por Sinha, 2005) un pionero en este campo, profesor de la Universidad de Tufts, ha publicado en la revista *Nature Medicine* que las dietas a partir del perfil genético individual, están avaladas por el conocimiento científico, aunque por lo pronto, no sea una práctica de curso cotidiano. Sin embargo, el mismo Ordovas señala que independientemente del carácter incipiente de este paradigma (la nutrigenética) las perspectivas económicas e industriales no impiden su investigación y desarrollo y se puede agregar la innovación.

Como se observará en algunos apartados más adelante, existen empresas que están en el mercado desde hace varios años, con productos que ofertan diseños nutrimentales fundamentados en información genética. Estas ideas y las que se incluyen después sobre casos específicos de propuestas empresariales, da lugar a la calificación de la nutrigenética, dentro del ámbito de las disciplinas tecno-científicas.

Como sugiere Vega (2003) hoy se reafirma y se extiende la necesidad del denominado “mercado de la salud”, que conjunta la salud con los alimentos, por lo que la industria, sobre todo en los países desarrollados, ha propiciado la transferencia de conocimientos para el desarrollo de nuevos productos, con lo que no sólo se extiendan sus mercados y se logren mejores ganancias sino que se satisfagan las expectativas del consumidor, en tanto los alimentos les nutran y prevengan enfermedades.

La siguiente figura (No. 1) da cuenta de la interacción entre nutrigenética, los polimorfismos y el desarrollo de productos alimenticios.

**Figura No. 1**  
**Proceso entre nutrigenética y el desarrollo de productos alimenticios**



**Fuente: Modificado de Simopoulos, 2002.**

## CONCEPTOS BÁSICOS: NUTRIGENÉTICA Y POLIMORFISMOS

Hoy se reflexiona que un individuo lleva a la mesa “el apetito y el genotipo”, porque se ha dado un cambio de paradigma en la alimentación de la población, antes era sólo un sentido de sobrevivencia en algún ambiente hostil, pero ahora en el siglo XXI se plantea que los genes afectan al organismo, sea para una buena o mala salud y se relacionan con los alimentos (Kummer, 2005).

Si bien este artículo se interesa más por la nutrigenética, hay otro término que hace el binomio de los conceptos que se estudian en el campo de la nutrición molecular, es el caso de la nutrigenómica cuyo estudio proporciona los datos de la interacción gene-nutrimiento, de manera general, para cualquier sujeto o situación. Es decir, lo que ocurre cuando se ingiere un nutrimento y la consecuente expresión de los genes involucrados en el proceso metabólico específico, para cada uno de estos nutrimentos. Cabe señalar que el término nutrigenómica se acuñó inicialmente en estudios del metabolismo vegetal (Martí, *et al.*, 2005).

Como contraparte, al concepto anterior, se estudia la nutrigenética que implica los polimorfismos particulares de cada individuo. Es por analogía como la farmacogenética que busca fármacos propios para cada paciente y su padecimiento. Por ello la nutrigenética es una ciencia aplicada, que ofrece la posibilidad de personalizar la nutrición de acuerdo con las características génicas de los consumidores (Martí, *et al.*, 2005).

El estudio de las variaciones genéticas entre individuos y su respuesta a nutrientes particulares, aunque consuman la misma dieta, ha sido motivo de análisis en tanto lo anterior ocurre por efecto de los mencionados polimorfismos, que implican la diferencia en la secuencia de bases del DNA (variación presente en por lo menos el 1% de la población). El más común es el de un solo nucleótido denominado SNP, (por sus siglas en inglés que significa *single nucleotide polymorphism*) (Pérez, Meléndez, Zúñiga, 2005).

Las desventajas o ventajas de la presencia de estos polimorfismos, es por una parte, la presencia de aquellos benéficos para responder a la ingesta de los nutrientes, lo cual dará lugar a la prevención de algunas enfermedades. Sin embargo, los polimorfismos no benéficos presentarán un riesgo de enfermedad asociado con la dieta que se ingiera, por ejemplo en problemas de diabetes o hipercolesterolemia (Tovar, Torres, 2007).

Por la complejidad y amplitud de los estudios realizados a la fecha, en este artículo sólo se apunta un ejemplo de la importancia de los polimorfismos para la nutrigenética. El ejemplo seleccionado tiene relevancia en México, por la campaña de prevención que se realiza entre mujeres, sobre todo embarazadas, para el consumo de ácido fólico.

El mecanismo bioquímico del folato asociado con los polimorfismos detectados afecta el metabolismo de la homocisteína. Esta molécula es un amino ácido sulfurado participante en el metabolismo de la metionina (otro amino ácido). El proceso se describe a partir de la formación de homocisteína, que es remetilada a metionina o sigue otra vía hacia la transulfuración y de esta forma dar lugar a la biosíntesis de cisteína. En este proceso se involucran dos enzimas, por una parte la metionina sintetasa, que convierte la homocisteína a metionina y la metilendetrahidrofolato reductasa (MTHFR) que realiza la conversión de la molécula 5,10-metilendetrahidrofolato a 5-metiltetrahidrofolato. Esta última es la molécula (dependiente de vitamina B12) que será el sustrato para la remetilación de la homocisteína a metionina.

Si este mecanismo presenta alguna deficiencia, particularmente en el entorno genético, que está asociado con la tarea de las enzimas señaladas, el resultado será la acumulación de la homocisteína, lo cual tiene consecuencias negativas para la salud, como defectos de los tubos neurales y padecimientos cardiovasculares (Stover, 2004).

Al respecto se ha sugerido, que el polimorfismo MTHFR C677T (A222V) podría estar relacionado, porque se asocia con niveles altos de homocisteína, lo cual también implica bajos niveles de folato en plasma o en eritrocitos y disminución de vitamina B12 (Gibney, Gibney, 2004).

De hecho en la metilendetrahidrofolato reductasa (MTHFR), mencionada antes, se genera, por acción del polimorfismo que presenta la sustitución de un amino ácido, lo cual altera tanto su estabilidad como su afinidad por el cofactor riboflavina (B12) (Stover, 2004).

Por otra parte, en estudios experimentales se observó que la suplementación con ácido fólico en la dieta, puede disminuir la homocisteína plasmática en los sujetos estudiados (Gibney, Gibney, 2004).

En otro trabajo (Gibney y Gibney, 2004) en un estudio con 11 162 casos y 12 758 controles, señalan la participación del polimorfismo, MTHFR C677T (A222V) y su relación con la enfermedad coronaria. Los resultados mostraron que los individuos con el genotipo MTHFR 677 TT presentaron el mayor riesgo al padecimiento, sobre todo si tenían bajos niveles de folato, lo cual como antes se mencionó, conduce en última instancia a elevadas concentraciones plasmáticas de homocisteína.

Como dato importante sobre los grupos étnicos involucrados, se ha encontrado que, particularmente, el alelo 677T es bajo entre la población sub-sahariana en África y aumenta en sujetos caucásicos y se ha logrado detectar una alta frecuencia en italianos e hispanos (Gibney, Gibney, 2004). También se ha observado que los afro-americanos y las mujeres mexicanas tienen una diferencia en el metabolismo de folato (Kummer, 2005).

Sobre el ácido fólico se puede señalar que se encuentra de manera natural en leguminosas (lentejas, frijoles, habas), naranjas, trigo integral, hígado, espárragos, betabel, brócoli, espinacas. Sin embargo las medidas preventivas deben observarse porque no siempre la dieta cubre los requerimientos nutricios de esta vitamina (Meshkin, Blum, 2007).

Sin duda el fin último de la nutrigenética es proporcionar conocimientos para el diagnóstico y para seguir recomendaciones nutricionales basadas en el genotipo individual. Por ello el papel de la investigación futura en nutrición es definir la interacción entre los diversos nutrientes y los genes (Fisler, Warden, 2005).

Después de apuntar los datos anteriores que representan los elementos de ciencia básica sobre el tema, se discutirán los aspectos de ciencia aplicada bajo la óptica tecnocientífica que se estableció como objetivo para trabajar este texto.

## **NICHOS DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN**

México se unió a la comunidad científica mundial con las inversiones en estudios sobre la variación genética humana. Para estas tareas se creó el Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN). Se pretende contar en los próximos 5 a 15 años con estudios para reducir los costos de los servicios de salud, en particular de enfermedades como la diabetes, que representa en la actualidad un problema de salud de primera importancia para el país (Séguin, *et al.*, 2008).

Aunque la cultura de la comercialización en estos nuevos campos del conocimiento, como la nutrigenómica o la nutrigenética todavía es incipiente, el INMEGEN desarrolla una plataforma de propiedad intelectual. Con ello, se podrá garantizar, a la población, un acceso sin restricciones a los productos relacionados con los descubrimientos que se logren en el país y la investigación básica se podrá traducir en aplicaciones comerciales.

Se fomenta también que los investigadores relacionados con la genómica desarrollen compañías con el conocimiento que se derive de sus tareas cotidianas, sobre todo en productos para el cuidado de la salud, y se incentive el desarrollo de Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES).

Estas pequeñas empresas (farmacéuticas o alimentarias) podrán asociarse después con otras compañías de mayor tamaño, que permitan diagnósticos y terapéuticas para satisfacer necesidades locales.

En la actualidad, el INMEGEN desarrolla diversas vías para construir espacios de I & D en medicina genómica, para ello ha establecido una incubadora de empresas y una unidad del Ethical Legal and Social Implications (ELSI por sus siglas en inglés) que regula el marco jurídico ético en Estados Unidos. Éste a su vez se asocia con el Sistema Nacional de Salud, para trabajar en particular con la salud pública (Jiménez, *et al.*, 2008), del país.

En el caso de México, otro proyecto de la institución mencionada es el recién publicitado genoma humano nacional. Se considera que en menos de 20 años, cada individuo podrá llevar su código de barras, genético, en un “chip” de bolsillo. En unos 10 ó 15 años se podrá observar una secuenciación genética diversa, que si bien será costosa al inicio, después ordenar las letras del perfil genético, en un USB será una tarea sencilla. Cada “chip” considera cientos de miles de millones de variaciones por persona. Por lo anterior se requiere de sistemas de supercómputo que se tienen en centros de investigación de universidades como Harvard o John Hopkins o en otros centros como Silicon Valley.

En México, la IBM es la empresa con la cual se ha asociado el INMEGEN para sus desarrollos. Incluso en IBM (Estados Unidos) se ha creado un área de Ciencias de la Vida (Mistretta, 2008). En la citada institución mexicana también se han patentado dos “software” para diagnóstico, que están en una fase precomercial.

En problemas de salud particulares, en la actualidad se ha diseñado un “chip” para trabajar las variaciones genéticas más frecuentes en problemas de obesidad. La búsqueda se basa en cuáles letras del genoma se encuentran con mayor frecuencia en pacientes que presentan determinada enfermedad, o cuáles otros no se detectan.

Un símil de la utilidad, para comprender este fenómeno, es cuando un lector intenta encontrar primero en el capítulo de un texto, una enfermedad particular e ir después a lo específico que será la letra relacionada con el problema y la falta de ortografía precisa en dicha letra y en su caso corregir, en la página determinada del documento.

En el caso de pacientes obesos se han realizado estudios comparativos. Uno de ellos trabajó con unos 1000 sujetos enfermos y otra cantidad similar que representaron el grupo control. En todos se realizó el escaneo del genoma (un “chip” puede contener un millón de letras por persona). Con estos datos la supercomputadora comparó las letras presentes en el grupo problema y en el control y se estableció el código de barras de enfermos y sanos (Mistretta, 2008).

Otros proyectos de mediano plazo, que estarán en el plan estratégico, incluye, entre otros, propuestas para las industrias de alimentos y farmacéuticas. Se pretende desarrollar planes de negocios, además validación científica simple hasta transferencia de tecnología, en diversos campos de la genómica, como proteómica, bioinformática, y biotecnología, entre otros.

En este momento también se percibe un mercado potencial con el HAPMAP (mapa genómico), que se podrá realizar para otros países latinoamericanos, con el objetivo de ofrecer soluciones génicas a los padecimientos probables, de la región (Jiménez, 2008).

Cabe advertir que los productos o servicios genómicos en México, están respaldados por la Unidad de Propiedad Intelectual vinculada al Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual. De esta forma las acciones de INMEGEN (cursos, imagen corporativa, logotipo, servicios) son marcas registradas (Jiménez., 2008).

Ahora, bien, ¿de qué servirá esta herramienta para una persona determinada?. La respuesta es el aspecto crucial para la salud de tal individuo, porque aquellas letras se podrán asociar a ciertos padecimientos (obesidad, diabetes, osteoporosis, entre otros) y se tendrá la posibilidad de estar alertas, durante la vida, sobre el padecimiento posible. En este contexto, el proveedor de salud (farmacia, alimentos) podrá ofrecer una atención individualizada, preventiva y predictiva.

Algunos países han dado pasos firmes hacia la I&D, como es el caso, reiterado de México, con el INMEGEN, pero también se puede citar a Cuba, cuya industria biotecnológica ocupa un lugar importante similar a la producción de azúcar y al turismo. También Brasil tiene su industria biotecnológica y de genómica. India cuenta también con el Centro Internacional para la Ingeniería Genética y Biotecnología, igual que China que también tiene desarrollos biotecnológicos.

A este esfuerzo en el campo de la genómica se agrega la Organización Mundial de la Salud (OMS) que en su momento solicitó a sus científicos la elaboración de un reporte especial sobre genómica y salud mundial (Simopoulos, 2002).

El propósito de todos estos esfuerzos variará con el antecedente dietario de un país determinado y los niveles socioeconómicos.

Sin embargo, habrá que promover patrones de vida que den lugar a un fenotipo saludable que emerge de genotipos de individuos en diferentes condiciones de vida.

Los líderes en el campo de la nutrigenética deben ser expertos para orientar un mercado sustentable. Las formas de medir la expresión genética deben ser productos controlados por estudios clínicos precisos y rigurosos. Estas herramientas no sólo deben seguir los estándares de calidad de la industria que los fabriquen sino las regulaciones de la *Food and Drug Administration* de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés). Además se debe reducir al mínimo la posible afectación o insatisfacción del consumidor.

Como se ha mencionado, igual que en la farmacogenómica, que intenta personalizar los medicamentos, la nutrigenética busca personalizar el consumo de alimentos de acuerdo con el perfil genómico individual. Por ello algunos esfuerzos de I&D se encaminan al estudio de nuevos productos en bebidas y alimentos, lo cual llevará a prevenir o tratar problemas de salud en individuos, familias o subgrupos con riesgo de enfermedades.

Entre algunos ejemplos se puede mencionar el desarrollo de dietas cetogénicas para infantes con problemas de epilepsia, la cual conlleva una dosis génica en su aparición (Simopoulos, 2002). Las dietas equilibradas en ácidos grasos indispensables, representan un buen conocimiento previo para tratar pacientes con enfermedades crónicas inflamatorias (artritis, asma, lupus). También hay productos para pacientes con enfermedad celiaca, fenilcetonuria u otros padecimientos monogénicos (Simopoulos, 2002).

Respecto a nuevos productos se sugiere que el desarrollo de los llamados alimentos funcionales podría contribuir con una mejor salud humana y se ha considerado la sustitución de algunos macronutrientes como los hidratos de carbono (azúcar de mesa) con sustitutos de mayor poder edulcorante o en el caso de las grasas, ofertar en el mercado algunas de menor densidad energética. De hecho una asociación de la nutrigenética con los alimentos funcionales (tema que también trabajan los autores de este texto) es una posibilidad de nuevos productos y refuerza la connotación de “mercado de la salud”, que se planteó en un apartado inicial. Un ejemplo en el mercado es el producto olestra, un sustituto de grasas, que mantiene sus características sensoriales, pero no aporta energía al organismo.

Sin embargo, se apunta una alerta precautoria, en tanto el consumo a largo plazo de este tipo de alimentos puede conducir al organismo a buscar medidas compensatorias para su sistema homeostático asociado con el control del peso corporal (Palou, *et al.*, 2004).

En este campo del diseño de nuevos alimentos, a finales de los años 60, la empresa Unilever, de presencia mundial, desarrolló semillas (Becel y Flora) con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, con el objetivo de reducir las concentraciones de colesterol en humanos. Después se observó que los productos mejoraban con la adición de fitosteroles (Brown, van der Ouderaa, 2004). En la actualidad en el mercado nacional, se comercializa la margarina Becel, cuyos componentes más importantes son los fitosteroles. Respecto a los consumidores, algunas poblaciones como la norteamericana, ya considera la idea de que su dieta diaria pueda asociarse con su perfil genético.

Esta denominada “nueva presión de los consumidores” ha permitido el desarrollo de compañías como Sciona, Interleukin Genetics, GeneLink, que realizan exámenes nutrigenéticos para los interesados (Brown, van der Ouderaa, 2004).

Otras empresas como DSM y BASF, dedicadas a los alimentos también han incursionado en este mercado, en conjunto con las grandes como Unilever y Nestlé. Estas dos últimas se han sumado al desarrollo de seis iniciativas de investigación génica, conocidas como LIPGENE y Diógenes (Brown, van der Ouderaa, 2004).

Otras aproximaciones entre la industria alimentaria y los conocimientos generados sobre la nutrigenética son los desarrollados por la empresa Galileo Laboratorios (García-Vallejo, 2004) que ha establecido nexos con fabricantes de alimentos para ofertar sus productos. Este laboratorio se especializa entre otros, en alteraciones del metabolismo energético celular que genera problemas cardiovasculares, diabetes o inflamación.

Desde hace unos años han aparecido en el mercado y están en expansión, diversas compañías que ofrecen recomendaciones nutrimentales basados en pruebas genéticas, sin embargo como dice Ordovas (citado por Sinha, 2005) estos productos deben tener la supervisión profesional adecuada para cuidar la salud del consumidor. Una de estas empresas es Sciona fundada en el año 2000, que oferta dietas personalizadas y recomendaciones basadas en el estilo de vida y en el perfil genético.

A los consumidores se les solicita llenar un cuestionario sobre nutrigenética además de rastrear variaciones entre 19 genes relacionados con el metabolismo. A partir de los datos recabados se prescribe la dieta individualizada (Arkadianos, 2002).

La compañía Sciona utiliza un “chip” genético para investigar la forma en que diversos genes interactúan con la dieta y propician enfermedades.

En este entorno, al mismo tiempo que se observa un progreso rápido en el campo de la genómica nutrimental, también la industria agrícola se involucra en el mejoramiento de plantas con apoyo de la genética y ahora se producen vegetales enriquecidos con determinados nutrimentos. Surgirán así nuevos conocimientos de cómo los nutrimentos pueden modificar el riesgo para desarrollar alguna enfermedad y cómo los alimentos (funcionales o nutraceuticos) puedan transformarse en herramientas agronómicas y biotecnológicas, útiles para la prevención (Go, Butrum, Wong, 2003).

Esta idea de la nutrigenética también se ha extendido a la dieta de animales. Por ejemplo, la suplementación diaria del ganado, con ácidos grasos como el linoleico y/o linolénico, puede elevar los niveles de ácido linoleico conjugado (*cis-9, trans 11*), nutrimento benéfico anticancerígeno presente en la leche (Brown, van der Ouderaa, 2004). Al mismo tiempo se han observado diferencias significativas en el producto (leche) de cada animal que depende del grado de enriquecimiento, con este ácido graso, lo cual sugiere que se involucran factores genéticos.

Otro ejemplo, con impacto actual en el mercado y en la dieta diaria, es el de los omega-3 (DHA, EPA) en leche y en huevo, que se asocian con la disminución de riesgos cardiovasculares. Lo anterior ha llevado a suplementar la alimentación de animales con aceites y productos derivados de pescado y algas marinas para incrementar la presencia de los ácidos grasos citados. De igual manera el tratamiento dietario de aves de corral con semillas de lino se realiza con la idea de lograr concentraciones altas de ácido alfa linolénico (omega-3), en el huevo comercial.

Otro aporte en el campo ganadero se inició desde 2003 con un proyecto en especies ganaderas (Hereford, Holstein, Limousine, Jersey, Roja Noruega y Braham) para observar las diferencias genéticas entre estas poblaciones de animales.

A mediados de 2007 la Commonwealth Scientific and Industrial Organization (CSIRO por sus siglas en inglés) difundió una secuencia genética de la especie *Bos Taurus*, cuya amplitud es de 2900 millones de pares de bases, lo cual implica la mayor secuencia lograda, en el genoma vacuno.

Lo anterior, sin duda es un avance importante para el manejo genético tanto de la reproducción de las especies como de la producción de insumos, sobre todo de alimentos para el consumo humano (Romero, 2007).

De hecho como parte de estos estudios, se ha logrado la identificación de algunos genes con interés para la producción bovina. Entre otros se incluyen: el gen de la caseína alfa S<sub>1</sub> (alelos A,B,C,E,F,O), el de la caseína k (alelos A y B), el gen Dgat (síntesis de triglicéridos) o el gen GLUT4 (transporte de glucosa) y el gen Calpaína II (alelos CAPN2<sup>A</sup> y CAPN2<sup>B</sup>/terneza de la carne). De estos últimos genes, el CAPN2<sup>A</sup> tiene dos características importantes: se presenta con mayor frecuencia en la raza Hereford y es el gen que confiere mayor terneza a la carne (Romero, 2007).

Como se observa con los ejemplos anteriores, los avances científicos han permitido la identificación de algunos loci (zonas del DNA característicos de un fenotipo específico) que se asocian con factores de importancia económica en la producción animal (crecimiento, peso, fertilidad, producción de leche, entre otros) y posibles de colaborar para optimizar la reproducción (Brown, van der Ouderaa, 2004).

En otro campo ganadero el de las gallinas ponedoras se considera que las llamadas “ligeras” observan comportamientos metabólicos que permiten sintetizar la enzima trimetilamina oxidasa que puede romper enlaces bioquímicos de la trimetilamina, molécula presente en la sinapina que a su vez procede de la harina de colza, alimento de estos animales. Sin embargo, en el caso de las gallinas “semipesadas”, éstas no pueden seguir la vía metabólica mencionada, lo cual conduce a que la trimetilamina permanezca en el producto (huevo) con un consecuente sabor a pescado, poco agradable para los consumidores (Romero, 2007).

Con estos animales también se han ensayado dietas con semillas de linaza para aumentar en los huevos el contenido de ácido alfa linolénico (omega-3). Al respecto habrá que continuar los estudios para definir con precisión si este tipo de dietas puede ser más efectivo si se realiza una selección génica.

En algunas regiones ya se desarrollan estos ensayos con determinadas razas, edades y lípidos en la dieta para observar el efecto de estas variables en la incorporación de ácidos grasos en los huevos y valorar los parámetros de calidad del producto (Brown, van der Ouderaa, 2004).

Este ejemplo da cuenta de las diferencias genéticas entre animales, importantes de estudiar, si se considera su aporte de productos para el consumo humano.

Otro caso de cooperación entre los perfiles genéticos de animales y la posibilidad de coadyuvar con las producciones de alimentos para perfiles génicos humanos con alteraciones, es el siguiente. En el organismo humano la antitrombina se biosintetiza de manera natural y su función es evitar los coágulos sanguíneos. Sin embargo, algunos sujetos no tienen el gen para producir la molécula (antitrombina) con las obvias consecuencias para su salud.

Por ello un mecanismo que se ha ensayado es el implantar en cabras el gen correspondiente y de esta forma obtener una buena cantidad de la molécula mencionada en la leche de estos animales, la que después se somete a un proceso de filtración y aislamiento para el posterior consumo humano.

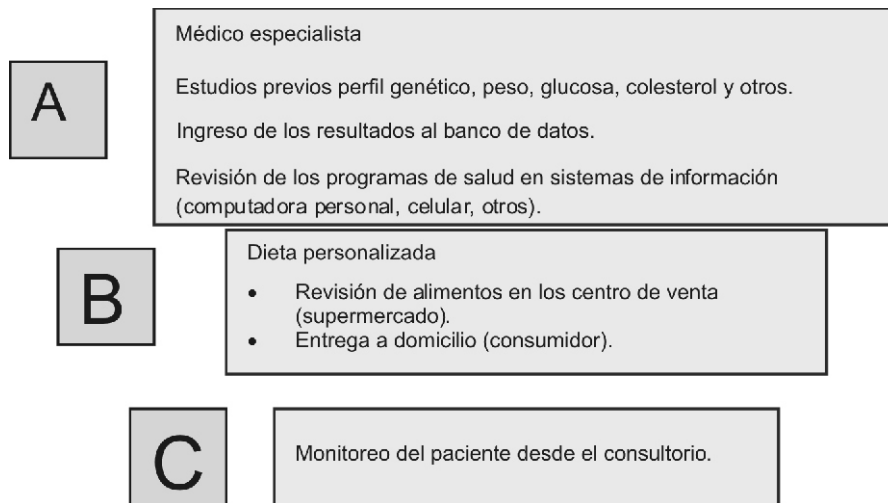
Otro caso similar es el de la producción de somatotropina humana en la leche de vaca. Al respecto un grupo de investigadores argentinos da cuenta del tratamiento exitoso de niños con retrasos en el crecimiento que se han alimentado con leche de una línea particular de vacas, de la raza Jersey, las cuales se habilitaron con procesos genéticos para biosintetizar el producto (Romero, 2007).

Por otra parte un beneficio más de las tecnologías genómicas, es su factibilidad para identificar las señales dietarias que propician la inmunidad, lo cual es útil para evitar las altas dosis de antibióticos en la nutrición animales.

Así la secuenciación genética del mapa de especies animales, combinada con los adelantos en nutrigenética (polimorfismos en el perfil génico humano) serán de utilidad al integrar en los alimentos (carne, leche, huevos) componentes saludables que prevengan padecimientos u optimicen la salud.

Como corolario de este apartado Daniel, (2009) ofrece una perspectiva importante (figura No. 2), en el marco de lo que hoy se denomina salud móvil.

**Figura No. 2**  
**Perspectivas de la nutrigenética aplicada: Perfil genético individual (dieta personalizada)**



**Fuente: Modificado de Daniel, 2009.**

## NUTRIGENÉTICA Y FINANCIAMIENTO PARA I&D

La primera consideración en este rubro es el lapso de tiempo que ocurre entre el origen de la idea para crear un nuevo producto hasta que se decide investigar al respecto. Todo esto pasa por un costo de escalamiento, seguido por la transferencia y al final la comercialización. Por ello no es sólo el interés del oferente tecnológico, también es quien demanda la tecnología en un proceso a veces bastante prolongado hasta que el nuevo producto llegue a manos del consumidor.

En este camino es indudable el papel fundamental del financiamiento.

En 2004 la Unión Europea autorizó 23 millones de euros para el trabajo de seis años, de la Organización Europea de Nutrigenómica. El grupo incluye a 22 participantes de diez países europeos, con el objetivo de establecer estándares de manera que se logren avances a mediano plazo.

Por otra parte el Centro Nacional de Excelencia en Genómica Nutricional de los Estados Unidos opera desde 2003, con 6.5 millones de dólares de procedencia federal.

En Nueva Zelanda también hay inversiones en consorcios de orden bilateral públicos y privados para trabajar la nutrigenómica.

En estas tareas el gigante Suizo Nestlé tiene unos 75 científicos cuyo objetivo es la nutrición personalizada con inversiones alrededor de 50 millones de dólares al año (Sinha, 2005). Esta compañía se ha desplazado del campo de los agroalimentos hacia la I&D sobre nutrición, salud y bienestar (Sherwood, 2006), con la nutrición personalizada como el corazón de un cambio relevante en la industria de los alimentos.

Además de Nestlé, otros consorcios como Unilever, Kraft y Cargill tienen inversiones en este nuevo campo y algunos departamentos de I&D en estas compañías líderes están explorando en la genómica sea directamente o por medio de colaboración empresarial para contribuir a fortalecer su posición en el mercado de la salud (Lucas-Schnarre, 2007).

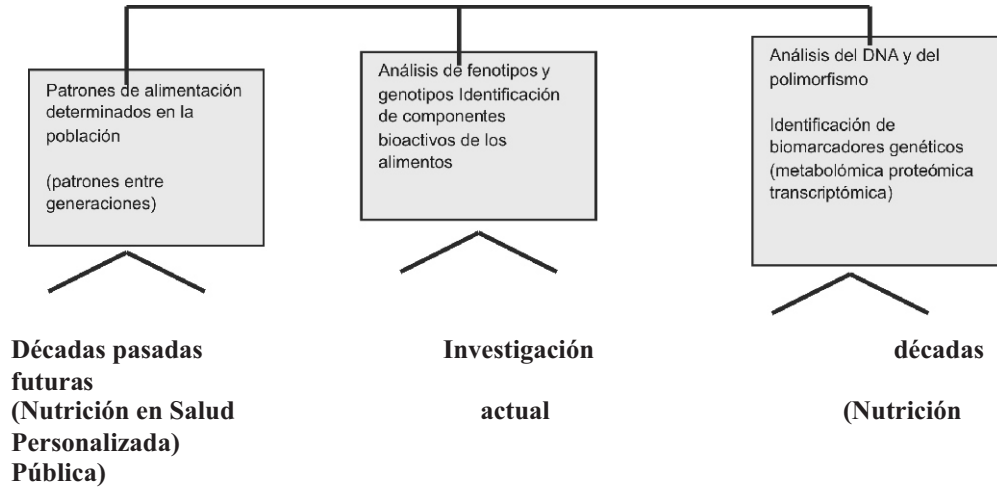
Respecto a los alimentos funcionales con antecedentes en el mercado, y que ahora se sugieren para dietas personalizadas se observó un crecimiento de 20% entre 2002 y 2004 y se espera que cubrirán el 5% del mercado global en el año 2010 (Sherwood, 2006).

A medida que avanza la comprensión sobre la relación de la dieta con las enfermedades, la nutrigenética se apunta como una vía de oportunidades para el desarrollo de producto o recomendaciones dietéticas hechas a la medida para cubrir las necesidades nutrimentales requeridas por grupos específicos de la población o para individuos en particular.

Se asevera que la nutrición personalizada cambiará el mercado de los alimentos porque de considerarse como avance tecnológico, pasará a formar un conglomerado de consumidores para el cual las inversiones tecnológicas en alimentos obedecerán más bien a la demanda que a la oferta, así la preferencia de los consumidores por una salud óptima será la directriz más relevante para la selección de los alimentos y en consecuencia los nuevos productos que se diseñan (Ronteltap, *et al.*, 2007). Además desde el punto de vista económico la aceptación de nuevos productos alimenticios para la población se analiza en un marco de costo/beneficio en el cual a una marca se le ubica como un beneficio social.

Antes de concluir los autores consideran relevante brindan al lector una perspectiva integral sobre el campo analizando (figura No. 3).

**Figura No. 3**  
**Perspectivas de investigación, desarrollo e innovación (IaDaI) asociadas con la nutrigenética aplicada**



Fuente: Modificado de Pérez, Melendez, Zuñiga, 2005.

### CONCLUSIONES

Por la complejidad del extenso ámbito de la nutrigenética tomará algún tiempo para que se observe el desarrollo de la ciencia básica y sus aplicaciones tecnológicas, por lo que la investigación, el desarrollo y la innovación requerirán una gama diversa de estudios experimentales y demoscópicos, en los próximos años.

Sin embargo, independientemente de su inicio reciente y su complejidad la nutrigenética, ya se incluye en los estudios de la cadena alimentaria (producción animal, vegetal, calidad, inocuidad, entre otros) y tiene en el ámbito nacional y mundial un entorno favorable para su expansión.

Además, en la industria alimentaria se percibe que se ha adelantado, a los tiempos, y oferta en el mercado diversos productos de nueva creación que buscan apoyar una vida saludable (alimentos con ácidos grasos omega-3, 6 ó 9, productos bajos en grasa o con sustitutos de azúcar) entre otros, que es relevante porque podría a futuro aminorar el impacto de un cambio dietario radical.

Los autores consideran que la nutrición personalizada está próxima (unos 10 años) de considerarse como propuesta de salud, en diversas regiones del mundo, como lo plantea la mayor parte de la literatura. Se señala que en este tiempo (10 años) habrán pruebas genéticas que el usuario puede llevar a casa y utilizarlas. De igual manera acudirá a alguna cita médica con su "chip" genico, el cual podrá copiarse en la computadora.

Tal vez a futuro podrían combinarse tanto la dieta personalizada con otros tratamientos provenientes de la terapia génica (farmacogenómica), en aquellas enfermedades que se han desarrollado sea por la ausencia de un componente fundamental derivado de la expresión de un gen determinado o por la presencia de un metabolito indeseable, producto también de alguna expresión genética.

Cabe advertir que como todo lo que se refiere a salud humana, los pasos a dar en el campo de la nutrigenética deben ser rigurosamente vigilados, en tanto una posible enfermedad no sólo depende del componente dietario, también de factores de riesgo diversos. Como ejemplo está el caso de los padecimientos cardiovasculares, en los cuales un estilo de vida es fundamental (evitar sobrepeso, tabaquismo y estrés, entre otros).

Otro punto a recordar es el camino necesario de recorrer todavía para avalar la calidad y validez clínica de los marcadores nutrigenéticos específicos.

Un aspecto más, es el laboral, en tanto un perfil génico que predisponga a una enfermedad requerirá de absoluta discreción para el interesado, por su repercusión inmediata o futura en su desempeño laboral o en la contratación de un seguro personal.

Por lo anterior algunas interrogantes son pertinentes: ¿un individuo de manera personal deberá recurrir a su examen genómico o requerirá del apoyo de un profesional en nutrición?, ¿el estudio deberá ser compartido con la familia, en el ámbito laboral o ser de estricta reserva personal?, ¿el alcance de los estudios deberá incluir a toda la población al considerar precios accesibles?

Sin duda se requieren más estudios como los que realiza el INMEGEN en México, para detectar los polimorfismos en la población mexicana y su susceptibilidad a los nutrimentos de la dieta no sólo en las diferentes regiones nacionales, sino en los diversos grupos étnicos. Así se ampliará la base de conocimientos sobre el binomio dieta-gen lo cual sin duda incidirá en la salud de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Arkadianos, I., (2002) "Improved weight Management using information to personalize a calorie controlled diet" in *Nutrition Journal*. Vol. 6, 2 pp
2. Brown, L., van der Ouderaa, F., (2004) "El impacto de la nutrigenómica en la industria alimentaria" en *Nutrigenética y Nutrigenómica. Monografías Humanitas No. 9*. Barcelona, Fundación Medicina y Humanidades, pp. 121-137
3. Daniel, H., (2009) "Nutrigenomics: from molecular nutrition to prevention of disease" in *International Symposium in Nutrigenomics*. (Conference), National Institute of Genomic Medicine (Mexico), Mexico City 16 -17, April
4. Fisler, J., Warden, C., (2005) "Dietary fat and genotype: Toward individualized prescriptions for lifestyle changes" in *The American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 81, No. 6, June, pp. 1255-1256
5. Gibney, M., Gibney, E., (2004) "Diet, genes and disease: implications for nutrient policy" in *Proceedings of the Nutrition Society*. Vol. 63, pp. 491-500
6. Go, V., Butrum, R., Wong, D., (2003) "Diet, Nutrition, and Cancer Prevention: the postgenomic era" in *J. Nutr.* Vol. 133, November, pp. 3830S-3036S
7. Jiménez, G., (2008) "Informe de Salud" en *Expansión*. No. 9, Junio, México, pp. 98-101

8. Jiménez, G., Silva-Solezzi, I., Hidalgo, A., March S., (2008) “La medicina genómica en México: los primeros pasos y el camino por recorrer” en *Genoma Reseach*. Vol. 18, No. 8, August, pp. 1191-1198
9. Kummer, C., (2005) “Your genomic diet” in *Technology Review*. August, 6 pp
10. Lucas- Schnarre, P., (2007) “Nutrigenetics & nutrigenomics” disponible en *Products Development & Marketing*. Well Gen. 4 pp
11. Martí, A., Moreno, Ma. J., Zulet, Ma. A., Martínez, J., (2005) “Avances en nutrición molecular: nutrigenómica y/o nutrigenética” en *Nutr. Hosp.* Vol. 20, No. 3, Mayo-Junio, pp. 157-164
12. Meshkin, B., Blum, K., (2007) “Folate nutrigenetics: a convergence of dietary folate metabolism, folic acid supplementation and folate antagonist pharmacogenetics in Drug *Metabolism Letters*. Vol. 1. pp. 55-60
13. Mistretta, M., (2008) “El genoma en un “chip” en *Information Week México*. No. 181, Mayo, pp. 22-25
14. Muñoz, E., (2004) “La nutrigenómica desde la perspectiva del consumidor” en *Nutrigenética y Nutrigenómica. Monografías Humanitas, No. 9*, Barcelona, Fundación Medicina y Humanidades, pp. 71-85
15. Palou, A., Bonet, M., Picó, C., Rodríguez, A., (2004) “Nutrigenómica y Obesidad” en *Rev. Med. Univ. Navarra*. Vol. 48, No. 2, pp. 36-48
16. Pérez, E., Meléndez, G., Zúñiga, A., (2005) “Genómica nutricional: perspectiva para el futuro” en *Revista de Endocrinología y Nutrición*. Vol. 13, No. 4, Octubre-Diciembre, pp. 190-196
17. Pérez, C., (2007) *El desarrollo en el marco de la globalización*, (Conferencia), México, UAM-X 8 de febrero
18. Romero, C., (2007) “Introducción a la nutrigenómica” en *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias (RCCV)*. Vol. 1, No. 2, pp. 22-29
19. Sherwood, D., (2006) “Nutrigenomics: public concerns and commercial interests” in *Agrofood*. Industry hi-tech, Anno 17, No. 4, pp. 56-57
20. Ronteltap, A., van Triyp, J. C. M., Renes, R. J., Frewer, L.J., (2007) “Consumer acceptance of technology-based food innovations: lessons for the future of nutrigenomics” in *Science Direct Appetite*. Vol. 49, pp. 1-17
21. Séguin, B., Hardy, B-J., Singer, P., Daar, A., (2008) “Genomics, public health and developing countries: the case of the Mexican National Institute of Genomics Medicine (INMEGEN)” in *Nature Reviews, Genetics*, October, pp. S5-S9
22. Simopoulos, A., (2002) “Genetic variation and dietary response: nutrigenetics/nutrigenomics” in *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* Vol. 36, No. S6, pp. S117-S128

23. Sinha, G., (2005) “Designer diets” in *Nature Medicine*. Vol. 11, pp. 701-702
24. Stover, P., (2004) “Nutritional genomics” in *Physiol. Genomics*. Vol 16, pp. 161-165
25. Tovar, A., Torres, N., (2007) “La nutrigenómica y la nutrigenética” en *Cuadernos de Nutrición*. Vol. 30, No. 5, Septiembre/Octubre, pp. 177-184
26. Vega, S., (2003) “Innovaciones alimentarias al inicio del siglo XXI. El caso de los llamados alimentos y sustancias funcionales” en Coronado, M., *La innovación tecnológica en el futuro de los profesionales en áreas biológicas*. México, UAM-X, UAEM, Revista Mexicana de Pedagogía, pp. 223-259

**\*(Artículo recibido en octubre del 2009 y aceptado para su publicación en marzo del 2010).**