

**Mario Raziell Romay-Ramírez, María Elena Rodríguez-Alegría y Agustín López Mun-guía, Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cuernavaca, Morelos.**

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

#### Alimentos fermentados en la dieta

Hay mucho que aprender de la forma en que algunos países desarrollados han incorporado la ciencia y tecnología a su cultura y tradición alimentarias. Basta considerar el ejemplo del yogurt para ilustrar este punto. De hecho, es estudiando los beneficios del consumo de yogurt en la salud, que Eli Méchnikoff inicia los estudios científicos que hoy en día nos permiten tener muy claro que la *microbiota intestinal* tiene una importancia vital en nuestra vida y en la calidad de la misma. Méchnikoff fue Premio Nobel en Fisiología Celular en 1908 y director del Instituto Pasteur cuando el mismísimo Louis Pasteur dejó el cargo. Méchnikoff, por cierto, padre de la gerontología, estudió la microbiota intestinal de poblaciones de ancianos en Bulgaria, llegando a la conclusión de que si llegaban a viejos, era gracias al consumo de yogurt. Actualmente, hay países europeos como Holanda, Alemania y Francia, e incluso Turquía, en los que, en promedio, la población consume unos 35 kg de yogurt al año per cápita. En México, si bien lo consumimos, apenas llegamos a un promedio de 8 kg por mexicano al año. Hoy es claro que en la longevidad influyen muchos otros factores, incluida una vida sin estrés y cerca de la naturaleza. Y sin embargo...

La *microbiota intestinal* la integran más de treinta millones de millones (para no meternos en el lío de los billones y trillones en México y en los EUA) de distintas bacterias que pueblan nuestro intestino grueso agrupadas en más de 500 especies. Hoy sabemos que si queremos gozar de buena salud, debemos mantener a este batallón como nuestro aliado (ver: ¿Somos más bacteria que humano? ACMor 18 de julio de 2016). Para ello requerimos tener un perfil adecuado de especies bacterianas, lo que depende de diversos requisitos, siendo uno de los más importantes el consumir microorganismos como los del yogurt que es, como todos sabemos, un alimento fermentado elaborado por bacterias lácticas a partir de la leche. Necesitamos también consumir fibra soluble y azúcares complejos abundantes en los vegetales, ya que además de otras funciones en nuestro organismo, son el principal alimento de los microorganismos beneficiosos.

¿Por qué un producto como el yogurt ha llegado a tales niveles de popularidad y consumo en todo el mundo? Al analizar este y otros alimentos fermentados o producidos por microorganismos clásicos de la cultura europea, se constata que actualmente son producidos en mayor o menor medida empleando métodos industriales o semi industriales. En muchos casos, esto ha permitido conservar buena parte de su carácter tradicional/artesanal y al mismo tiempo garantizar el abasto, la seguridad para el consumidor – es decir la inocuidad del alimento– y muy particularmente, llevar el beneficio de su consumo a amplios sectores de la población. Es el caso de la *kombucha*, del *kefir*, de la *masa madre*, del *jocoque* o el de cientos de *quesos artesanales*, por citar algunos ejemplos. Un debate

interesante en el tema industria/tradición se da en Francia: por un lado, las instancias de salud prohíben el uso de leche bronca –sin pasteurizar– en la producción de ciertos quesos fermentados, y por el otro, muchos productores locales insisten en usarla, a pesar del alto riesgo que conlleva para la salud del consumidor. Charles de Gaulle decía: *es imposible gobernar un país que produce más de 300 quesos*.

Aunque en general, los europeos gozan de buena salud, *no solo de yogurt vive la microbiota* y no sólo por consumir yogurt se llega a viejo. En un artículo publicado en la revista *Nature* el 29 de julio pasado, un equipo de la Universidad de Keio, en Japón, dio a conocer un estudio con 160 ancianos con más de 100 años, de plano en “la cuarta edad”; también participaron 112 personas entre 85 a 89 años, y 47 de entre 21 y 55 años. El estudio demostró que la población que logra rebasar los 100 años tiene menor susceptibilidad a infecciones y no padecen de inflamación intestinal crónica: ¿por qué? Lo interesante de este estudio, es que se encontró que la microbiota intestinal de la población centenaria contiene bacterias capaces de producir sales biliares que tienen una poderosa capacidad contra las bacterias patógenas, capacidad que no iguala ningún antibiótico existente. ¿Cómo logró reunir esas características su microbiota? ¿qué comen los japoneses? Seguro pueden imaginarse algunos de los maravillosos platillos que integran la cocina japonesa y apuntar hacia posibles responsables. Sin embargo, otro estudio reciente, publicado en el *British Medical Journal* de enero del 2020, sugiere, después de analizar la vida de unos 13,000 japoneses fallecidos en la última década, que mientras más *natto* se consume, menos riesgo de morir por afecciones cardíacas se tiene (<https://www.bmj.com/content/368/bmj.m34>). Y... ¿qué es el *natto*?

#### Un paseo por tiendas de conveniencia

Sugerimos al lector que por un momento se pare en la puerta de una tienda de conveniencia en México, de esas que hay ahora en cualquier ciudad, en cualquier colonia, y casi en cualquier calle (O por O, les llaman en la península yucateca) e eche un vistazo buscando –entre refrescos y botanas– algún alimento fermentado característico de la cultura alimentaria mexicana, patrimonio de la humanidad. Nos referimos a los alimentos que transforman y conservan las bacterias y que –como el yogurt en Europa– se consume por estos rumbos desde que éramos Mesoamérica ¿Ven por ahí *pozol*, *pulque*, *atole agrio*, *tesgüino*, *tepache*, *tuba* o algún otro? Y sin embargo, es claro que así como los fer-



**FIGURA 1. (A)** Productos en un mercado de conveniencia japonés. El *natto* es un producto tradicional, pero también semi industrializado, lo que permite que este alcance de cualquier consumidor en Japón o en cualquier país del mundo. (b) Nattos en un mercado de productos del Japón en la CDMX.

# Salud, dieta y longevidad

mentados lácteos han jugado desde siempre un papel clave en la salud intestinal de los europeos, por siglos los alimentos fermentados en México han sido esenciales en la salud de la microbiota intestinal de los mexicanos, al menos en las zonas rurales. Recordemos que antes de la revolución, en la Ciudad de México se bebía más pulque que cerveza. Ojalá alguien documentara la posible relación entre la longevidad en la población rural y el consumo de pulque.

Suponiendo ahora que el lector hubiera podido asistir a las olimpiadas en Tokyo y, haciendo la misma tarea, hubiera buscado en el equivalente a una tienda de conveniencia, algún alimento fermentado local. Es muy probable entonces que el lector encontrara un panorama como el de la Figura 1, dentro del cual el encargado de la tienda o el guía le mostraría diversas marcas comerciales de *natto*. No se cuántos *nattos* se identifican en la figura pero seguramente debe haber más de una docena. Para la investigación sobre el *natto* que los autores realizamos actualmente en el laboratorio del Instituto de Biotecnología de la UNAM, pudimos adquirir –con todo y pandemia– cinco productos en un mercado de la colonia Roma en la CDMX. Aquí cabe la reflexión comparativa sobre qué tan lejos han llegado el yogurt y, en este caso el *natto*, comparados con nuestros fermentados tradicionales, que con excepción del pulque que empieza a llegar a los EUA, la mayor parte apenas logra atravesar la frontera de los poblados en que se produce.

#### ¿Qué es el *natto*?

El *natto* es un alimento fermentado tradicional de varias regiones del oriente asiático, particularmente de Japón, donde como ya se mencionó, está plenamente integrado a su extraordinaria cultura gastronómica. Su origen, cuenta la tradición, se remonta a una batalla de clanes en el Siglo X al noroeste del país. Los ejércitos tenían almacenadas reservas de granos de soja como alimento, mismos que fermentaban espontáneamente ocasionando cambios de sabor, textura y apariencia. Ante la escasez de alimento, había que consumir la soja aunque estuviera fermentada, y así nació el *natto*. No debe sorprendernos que los fermentados en Asia sean de arroz o de soja, pues son los granos base de la dieta oriental, como lo son maíz y frijol en la nuestra. Gracias a la inversión en ciencia y tecnología en el *natto*, su producción alcanzó las 261,000 toneladas en el 2018. El consumo de *natto*



**FIGURA 2. BACILLUS subtilis natto.** (a) colonias creciendo en una caja petri con medio sólido. (b) células vistas bajo el microscopio

está tan arraigado en la dieta japonesa que la nación del sol naciente debe importar grandes cantidades de soja para esta y otras formas de consumo. Paradójicamente el 70% del *natto* se produce en Japón con soja importada de los Estados Unidos de América, que es como si produjéramos *pozol* con maíz estadounidense. La soja sin duda ha constituido una de las más importantes fuentes de proteína en la dieta japonesa, como los frijoles en la nuestra, aunque no tengamos ningún producto fermentado tradicional derivado del frijol. La cultura en torno al *natto* se desarrolla paralelamente a la historia de Japón, pues fue un alimento rico en nutrientes, consumido particularmente durante los periodos de guerra debido en buena medida a la facilidad para su producción casera y su estabilidad una vez fermentado. Hoy, como hemos visto, si bien el *natto* se sigue produciendo de forma artesanal, también puede adquirirse en tiendas de autoservicio. Y se exporta. La composición nutricional lo ubica como un excelente y completo alimento, que por lo mismo, forma parte incluso del desayuno escolar.

#### Un superalimento pegajoso

El proceso de producción de *natto* a gran escala inicia con el lavado y esterilizado con vapor del grano de soja, con el propósito de cocerlo y suavizarlo para facilitar la fermentación. Entonces se agrega al actor central del proceso: *Bacillus subtilis*, en realidad la subespecie *Bacillus subtilis natto*, la bacteria responsable de la fermentación (figura 2). Se trata de una bacteria inocua, presente de manera natural en muchos alimentos y con la que, de hecho, hemos trabajado por décadas en nuestro laboratorio. En el caso del *natto*, los bacilos se agregan en forma de esporas aplicadas como aerosol a la masa de granos de soja. Ahí las esporas germinan y fermentan los granos en condiciones aerobias por varias horas hasta alcanzar una textura y aspecto característicos. En la figura 3 mostramos una imagen que demuestra por qué se le describe como un “superalimento pegajoso”. Un buen *natto* –como un buen pulque– dependerá de su textura; pero también de la calidad de la materia prima, del tiempo de fermentación, de la temperatura y de la cepa de *Bacillus subtilis* disponible. Al producto terminado se le pueden agregar diferentes aditivos, según la región o consumirse acompañándolo de arroz, sushi, sopa, ensaladas e incluso a algunas bebidas. El parecido con el pulque no es coincidencia: en ambos casos parte de la textura se debe a polisacáridos conocidos como levanas.

Si desde el punto de vista nutricional, la soja es un grano muy valioso, rico en proteínas, *Bacillus subtilis natto* via la fermentación, potencia su valor nutricional ascendiendo al nivel de *alimento funcional*, es decir un alimento en el que se reconocen compuestos muy importantes para beneficio de la salud: es un súper-alimento, dirían los encargados de la mercadotecnia. Por ejemplo, las enzimas proteolíticas de *B. subtilis* hidrolizan la proteína de la soja haciéndola más digerible. Además, algunos de esos fragmentos proteicos tienen actividad biológica. Dentro de las enzimas proteolíticas destaca la *nattokinasa*, que de hecho se puede adquirir como complemento alimenticio, ya que tiene un efecto anticoagulante, mejorando el sistema cardiovascular evitando trombos. Otro producto de la fermentación es la vitamina K2 (menaquinona-7), que se agrega a la riqueza nutricional de la soja, y contribuye a prevenir enfermedades cardiovasculares y a la disponibilidad de calcio, además de fortalecer el sistema inmunológico. Para aportar más datos que dan cuenta de la buena salud de la población nipona, baste señalar que tienen la esperanza de vida más alta del mundo (84.2 años) lo que, como es evidente, está íntimamente ligada a su excelente alimentación.



**FIGURA 3. UNA** característica intrínseca del *natto*, es que la fibra: “se ve” consecuencia de la fermentación del grano con *B. subtilis*.

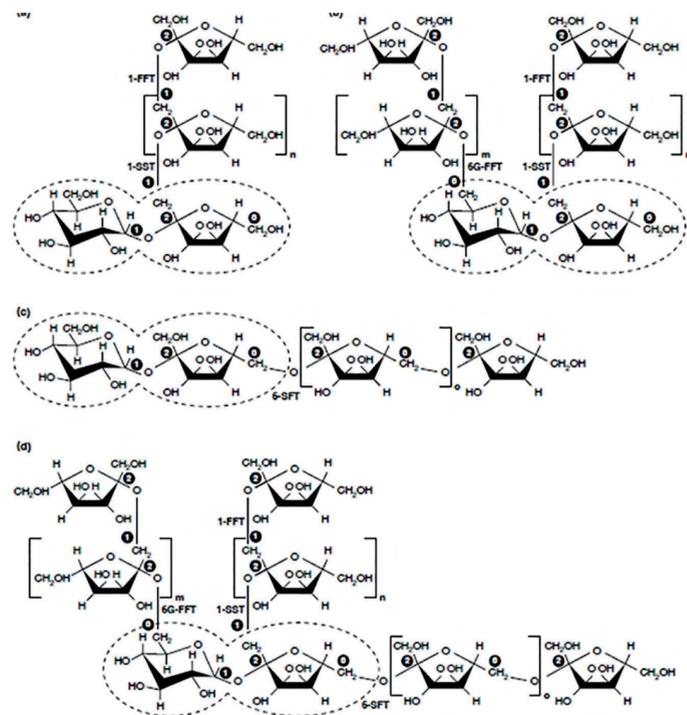
#### La riqueza del *natto*: prebióticos y probióticos

Un tema esencial en esta era de infecciones y pandemias, se refiere a la importancia vital que tiene la microbiota intestinal también en el sistema inmune. En este sentido, es vital fortalecerla mediante el consumo de microorganismos y fibra soluble, una característica que reúnen de manera excepcional los alimentos fermentados. Es claro ya que una *disbiosis* (un inadecuado perfil de especies microbianas en el intestino) aumenta el riesgo de infección por Sars-Cov2.

Pero cuidado, el *natto* no es un producto que de entrada deleitará tu paladar. El sabor no es su riqueza. Hay que reconocer que, de acuerdo con una encuesta realizada en 2017, solo al 63% de los japoneses les gusta mientras que el 13% de plano lo rechaza (<https://www.bbc.com/travel/article/20200727-japans-most-polarising-superfood>). A nivel de textura, este alimento fermentado se caracteriza por estar cubierto de una sustancia blanquecina que le proporciona el carácter viscoso y pegajoso. Su sabor es muy peculiar, por decirlo de forma amable, definido en parte por su contenido de amonio, que viene de la transformación de las proteínas. A su sabor, como al del pulque, o como al del yogurt o al kefir, hay que acostumbrarse sin agregarle azúcar para no arruinar su valor nutricional, ya que en buena medida es uno de los principales agentes que causan la *disbiosis*. Del fuerte sabor del *natto* se ha responsabilizado también a los ácidos grasos de cadena corta ramificados que produce *B. subtilis*, particularmente el ácido isobutírico y el ácido isovalérico. De este último dicen en Wikipedia que tiene un sabor a queso acre o a sudor. Pero peor es el sabor del queso Munster del este de Francia o el Maroilles del norte. Incluso de un simple queso Camembert “bien hecho”.

Se sabe que existen diversas cepas de *B. subtilis* que cumplen *in vitro* con las características requeridas para ser un probiótico. Se entiende por un probiótico una bacteria cuyo consumo beneficia la salud del consumidor, y que además es tolerante al pH (tanto al ácido del estómago como al alcalino del fluido pancreático), a las sales biliares y a las enzimas pancreáticas, además de exhibir propiedades contra patógenos. *B. subtilis* cumple con estas características siendo además capaz de formar biopelículas. Hasta el momento, no existe un probiótico comercial derivado del *natto*.

Por otro lado, las sustancias responsables de la apariencia viscosa del *natto*, son polímeros. Uno de ellos es el ácido poliglútamico ( $\gamma$ -PGA), constituido por cadenas de ácido glutámico y le sirve a *B. subtilis* como cobertura protegiéndose así del medio ambiente. El ácido glutámico es un aminoácido responsable de uno de los sabores básicos de nuestro sentido del gusto: el sabor a carne, que los japoneses, sus descubridores, bautizaron como *umami* (delicioso), aunque parece que el  $\gamma$ -PGA es más bien astringente. De acuerdo con una publicación de la revista *Nutrients* (doi:10.3390/nu12082374) el  $\gamma$ -PGA es responsable del controlar los niveles de glucosa en la sangre, lo que explica su efecto cardio protector. El otro polímero es tema de estudio en nuestro laboratorio. Se conoce como *levana* y constituye el 40% del polímero total del *natto*. Se trata de una estructura a base de



**FIGURA 4. ESTRUCTURA** química de la inulina (b2-1) y la levana (b2-6), esta última, la fibra soluble que produce *B. subtilis* en el *natto* (estructura del centro). En círculo se marca la molécula de sacarosa, sobre la cual se agregan las moléculas de fructosa en diversas posiciones, dando lugar a una diversidad de fructanas.

fructosa, muy parecida a la *inulina*, muy estudiada actualmente por ser uno de los *prebióticos* más efectivos. Recordemos que un prebiótico, generalmente asociado con la fibra soluble, es un compuesto que los humanos no digerimos, de tal forma que llega intacto al intestino para delicia de la microbiota, lo que se traduce en múltiples beneficios. La *inulina*, así como la *levana*, cuyas estructuras se muestran en la figura 4, son capaces de modular la microbiota intestinal, la que contribuye a que tengamos un sistema inmunológico fuerte, y a la producción de agentes antiinflamatorios, anti-cancerígenos, anticolesterolémicos, incluso antioxidantes. Mientras que la *inulina* nos llega como premio al consumir vegetales como la cebolla, ajo, espárragos, alcachofas o extractos de agave, ambas, *inulina* y *levana*, son una de las riquezas nutrimentales de muchos alimentos fermentados.

#### Escuchar al intestino.

Sin lugar a dudas, uno de los principales problemas de la alimentación moderna está relacionado con la pérdida de fibra dietética y de microorganismos dentro de los componentes de la dieta. Aunado a esto hemos reducido la diversidad de especies de la microbiota como consecuencia del consumo de antibióticos, no solo por el mal uso o abuso en el tratamiento de enfermedades infecciosas, sino también porque indirectamente los consumimos al ser empleados de manera rutinaria en los sistemas de producción intensiva de animales, carne en particular. Esta pérdida en biodiversidad se ha comprobado fehacientemente comparando el perfil de géneros y especies bacterianas de la microbiota intestinal de pobladores de zonas rurales con la

microbiota de individuos en las grandes ciudades. De niños en África con niños en Europa. De hecho, los cazadores-recolectores que aún subsisten en el planeta como los *Hadza* en Tanzania o los *Yanomamis* en el Amazonas tienen la mayor diversidad microbiana observada en los humanos. Una posible solución ha aparecido en los mercados occidentales: ¡consumir fibra o probióticos como un complemento alimenticio! De probióticos y prebióticos están llenos los anaques de farmacias, supermercados y tiendas naturistas. Sin embargo, la gran parte de quienes intentan consumir fibra a los niveles de antaño –hasta 50 gramos al día– por lo general registran problemas gastro-intestinales. La recomendación es entonces regresar a una dieta rica en vegetales y frutas que incluya diversos alimentos fermentados.

En este sentido, el *natto*, como el yogurt y muchos otros alimentos fermentados aquí mencionados, son ejemplo del éxito de aplicar ciencia y tecnología a la tradición alimentaria: solo así los alimentos fermentados tradicionales pueden seguir siendo centrales en la dieta de los consumidores locales y trascender las fronteras de su lugar de origen. Y es que, si bien hay grandes virtudes en la alimentación del pasado, en ese pasado la gente moría de infecciones antes de padecer cáncer, diabetes o un problema cardiovascular. Hay que aprender de nuevo a escuchar las voces que salen del intestino, pero traducidas por la ciencia. Es sorprendente que, bien interpretados, los mensajes de las bacterias desde nuestras entrañas sean en beneficio de nuestra salud y longevidad.