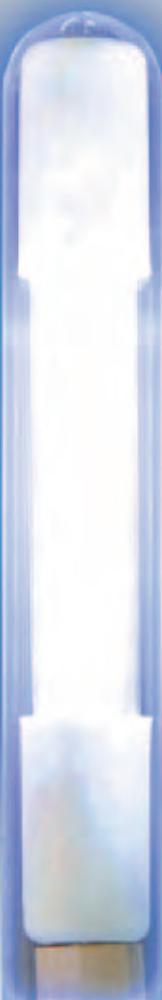


Ing. Alim. Laura Domínguez
Téc. Magali Parzanese
Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca

Luz ultravioleta en la conservación de alimentos



Los distintos métodos de conservación de alimentos procuran incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, idealmente, aplicando técnicas que impidan alteraciones microbiológicas y mantengan la calidad del producto.

La eficacia de estos métodos depende principalmente del cuidado de la higiene durante el proceso productivo, siendo su objetivo disminuir la carga microbiana y evitar su desarrollo. Para tal fin muchos productos son tratados térmicamente, técnica que muchas veces modifica las características, tanto sensoriales (textura, sabor y color), como nutricionales (pérdidas de vitaminas, principalmente) del alimento.

Debido a estos efectos adversos del tratamiento a altas temperaturas, se encuentran en desarrollo procesos no térmicos de conservación, también denominados *tecnologías suaves*. Son poco agresivos y tienen la ventaja de ofrecer productos semejantes a los frescos -por lo tanto, acordes con las demandas actuales del mercado- pero sin perder sus garantías en materia de inocuidad.

Hace años se investigan los efectos de la luz sobre bacterias y otros organismos, lo que comenzó a partir del concepto del daño celular causado por la incidencia de la radiación solar sobre organismos vivos. Posteriormente se estudió el efecto producido por radiaciones monocromáticas del espectro ultravioleta (UV).

Las aplicaciones de este método comenzaron alrededor de 1901 cuando se logró producir luz artificialmente. Esta

técnica se emplea para desinfectar aire, agua y superficies de materiales con posible contaminación biológica (virus, bacterias, esporas, mohos, levaduras).

En la industria de alimentos se utiliza para desinfectar por ejemplo cintas transportadoras, láminas y tapas de cierre, y envases. También las superficies de algunos alimentos sólidos entre los que se pueden mencionar frutas, verduras, pescados y líquidos como jugos y agua. En acuicultura, por ejemplo, se emplea para proteger el flujo y la recirculación en acuarios de agua dulce o salada.

En la actualidad el sistema más utilizado es continuo. Se compone de emisores de radiación encendidos en forma permanente que aplican luz UV sobre productos líquidos o sólidos. El principal uso es el tratamiento de agua.

La radiación UV se utiliza en diferentes sectores de la industria de alimentos, debido al efecto nocivo que causa sobre el ADN de muchos microorganismos. Asimismo, es elegida por tratarse de un proceso que no altera las propiedades organolépticas de los productos y reduce el uso de sustancias químicas. Se emplea para la preservación de alimentos líquidos y sólidos, pero en estos últimos su aplicación es efectiva a nivel superficial.

En los alimentos líquidos

La radiación UV se utiliza para desinfectar agua, ya sea para ser comercializada como tal o en la industria de bebidas. También para desinfectar aguas de proceso, por ejemplo en el transporte de peces a criaderos y en la desinfección del agua resultante de la

depuración de moluscos: como no deja residuos químicos que puedan afectar la vida de los animales, asegura una elevada reducción de microorganismos, sin alterar olor, color o pH. Otra aplicación la utiliza para desinfectar y aumentar la vida útil de jugos de frutas y verduras.

Cabe destacar que el poder de penetración disminuye cuando se tratan líquidos que no son transparentes y/o tienen sólidos en suspensión. Los líquidos con buena transmitancia¹ de luz no presentan inconvenientes en el tratamiento con radiación UV, la baja transmitancia está asociada a la concentración inicial de microorganismos, partículas en suspensión, color y composición del producto. Por ser un líquido transparente, el agua tiene el mayor índice de transmisividad².

Vale destacar que el poder germicida de la radiación disminuye al aumentar la distancia desde la fuente de luz. Por esto, el tiempo de exposición, la dosis y el perfil de flujo son esenciales para lograr la reducción microbiana necesaria.

Como ejemplo puede mencionarse que la penetración de luz UV en jugos es de aproximadamente 1 mm para obtener una absorción del 90% (Sizer y Balasubramaniam, 1999). En estos alimentos es muy importante asegurar un flujo turbulento a fin de lograr una mayor eficiencia de contacto de la radiación con el producto.

¹ Transmitancia es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo por unidad de tiempo (potencia).

² Transmisividad: es la proporción de radiación solar incidente sobre un material que es capaz de ser transmitida por ese material (que es capaz de atravesar dicho material).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ❑ No produce alteraciones organolépticas en la mayor parte de los alimentos. ❑ Método físico en el cual la energía es el medio germicida, sin generar productos secundarios indeseables. ❑ El tratamiento no produce residuos químicos ni radiación. ❑ Es efectivo para desinfección de diversas superficies. ❑ Es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos ❑ Es de fácil aplicación. ❑ Bajo costo y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Los organismos protegidos por sólidos (partículas, polvo o cubiertas) no son afectados. ❑ Poca penetración en materiales sólidos y en líquidos no transparentes. ❑ La exposición prolongada a radiación UV puede dañar la vista y causar quemaduras. ❑ La unidad o equipo de UV se debe colocar tan cerca como sea posible al producto a tratar. ❑ Los microorganismos pueden reparar los efectos destructivos de la radiación UV mediante un “mecanismo de reparación”, también conocido como foto reactivación o, en ausencia de radiación, como reparación en oscuro.

En los alimentos sólidos

Al aplicar radiación UV en frutas y vegetales, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en la superficie, se produce un fenómeno denominado “efecto hormético” (Stevens *et al.*, 1997, 1999). Dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos tales como mohos y levaduras, dado que puede estimular la producción de fenilalanina amonia-lisasa, que induce la formación de compuestos fenólicos (*fitoalexinas*), tóxicos para ellos.

Es posible tratar con luz UV en la superficie distintos tipos de carne (pescado, pollo, carne bovina), antes de su refrigeración, para reducir la carga microbiana en dos o tres ciclos logarítmicos (dependiendo de la dosis aplicada), lo que puede aumentar varios días su

vida útil. No obstante, es posible que se generen sustancias iniciadoras de la oxidación del alimento, por lo existe el riesgo de que las características organolépticas del producto se modifiquen.

Por esto, hace un tiempo se comenzó a investigar su aplicación en forma pulsatada, es decir, aplicando sobre el producto flashes o pulsos de luz intensa, de manera que se libera energía rápidamente a la superficie del producto. El escaso tiempo de exposición limita la formación de estos componentes, lo que dificulta esas modificaciones químicas indeseables.

Existen diversos alimentos en los que el tratamiento con radiación UV podría ser especialmente interesante. Uno de ellos son las especias, que en general poseen elevada contaminación en origen, lo que puede provocar que la

mayor parte de la carga de microorganismos en un alimento especiado provenga de estas y no del alimento fresco.

Otro grupo con potencial es el de las harinas y cereales, donde la luz UV podría reducir la carga microbiana, especialmente, la descontaminación de patógenos como *Bacillus cereus*. También es importante su aplicación en aquellos productos que no poseen en su proceso alguna etapa de reducción de microorganismos, como el tratamiento térmico.

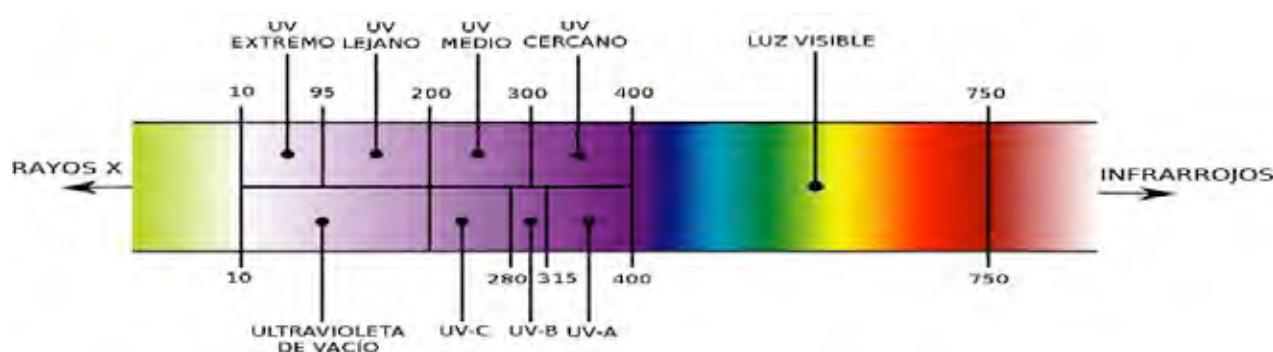
Vale recordar que pese a ser una tecnología aplicable a muchos alimentos, es necesario tener en cuenta la composición de cada producto, ya que se requieren dosis distintas de radiación UV según la matriz (composición química y ordenamiento estructural) propia del alimento. Por esto, sería importante realizar ensayos de laboratorio de rutina, a fin de evaluar la eficacia del procedimiento.

Concepto y descripción de la técnica

El uso de la tecnología UV con fines de desinfección involucra a la región ultravioleta del espectro electromagnético, con un rango de longitud de onda entre 100 y 400 nm. Éste puede subdividirse (Bolton 1999) en:

- ❑ UV de onda corta UV-C entre 200 y 280 nm. Rango germicida
- ❑ UV de onda media UV-B entre 280 y 315 nm.
- ❑ UV de onda larga UV-A entre 315 y 400 nm.

La máxima eficiencia para la desinfec-



ción se sitúa en los 254 nm.

La radiación UV produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte. La radiación absorbida por los nucleótidos produce cambios físicos de electrones, formando uniones cruzadas entre tiamina y citocina, (nucleótidos de bases *pirimidínicas*) pertenecientes a la misma cadena, lo que provoca la formación de dímeros *ciclobutil pirimidina*.

Esto produce distorsiones en la forma del ADN interfiriendo en el apareamiento normal de las bases. Como resultado se bloquea la síntesis de ADN

y consecuentemente quedan afectadas las funciones celulares pudiendo provocar la muerte. Los efectos en los enlaces cruzados son proporcionales al tiempo de exposición e intensidad de la luz UV (Snowball y Hornsey, 1988; Sastry *et al.*, 2000).

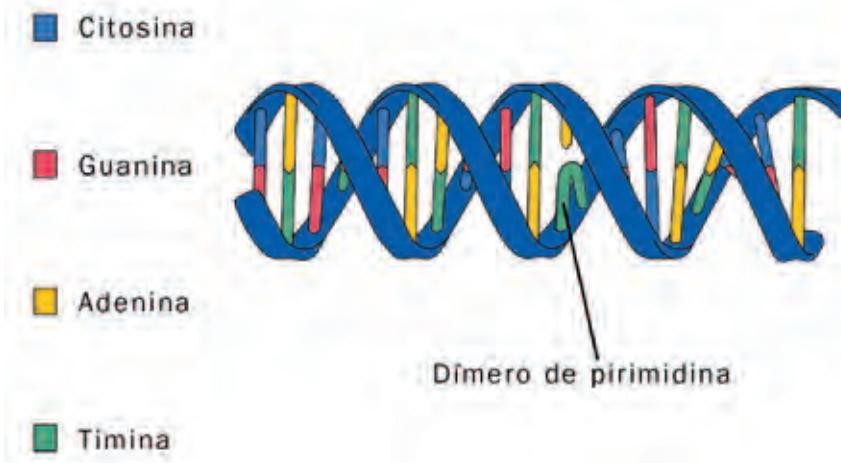
No obstante, es posible que ocurra una reactivación dado que el ADN puede ser reparado por factores proteínicos (Yajima *et al.*, 1995) cuando las células dañadas se exponen a longitudes de onda superiores a 330 nm (Liltved y Landfald, 2000). Puede estimularse la separación del ácido nucleico debido a la activación de la enzima fotolíasa que monomeriza los dímeros (separación de tiaminas y otras pirimidinas) formados después del proceso de radiación (Stevens *et al.*, 1998). Vale aclarar que

un ambiente oscuro puede evitar la foto reactivación de productos tratados con radiación UV o restaurar las células expuestas. Estas células foto reactivadas pueden ser más resistentes a la radiación UV cuando se aplica un segundo tratamiento de UV (Sastry, *et al.*, 2000).

Las células reactivadas pueden ser más resistentes si son sometidas a un segundo tratamiento. Se observó que sería necesaria una dosis mayor de radiación para lograr una reducción 4-log de células foto reactivadas, previo al tratamiento de agua con UV (Hoyer, 1998; Sastry *et al.*, 2000). La siguiente tabla muestra los cambios que podrían ser necesarios.

A fin de lograr la inactivación microbiana, la exposición a la radiación UV debe ser al menos 400 J/m² en toda la superficie del producto. Los factores críticos incluyen la transmisividad del producto, la configuración geométrica del reactor, la potencia, la longitud de onda y la disposición física de la fuente de UV, el perfil de flujo de producto y la trayectoria de la radiación.

La radiación emitida se mide en Watts (W) y la intensidad de la radiación en W/m². Para una desinfección eficaz es importante conocer la dosis de radiación necesaria para reducir la carga del



Microorganismo	Exposición requerida sin reactivación (J/m ²)	Exposición requerida con la reactivación (J/m ²)
<i>Escherichia coli</i> ATCC 23958	50	200
<i>Vibrio cholerae</i> wild isolate	50	210
<i>Citrobacter freundii</i>	80	250
<i>Escherichia coli</i> ATCC 11229	100	280
<i>Enterobacter cloacae</i>	100	330
<i>Yersinia enterocolitica</i>	100	320
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	110	310
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	110	190
<i>Salmonella Typhimurium</i>	130	250
<i>Serratia marcescens</i>	130	300
<i>Salmonella Typhi</i>	140	190
<i>Enterocolitica faecium</i>	170	200
<i>Mycobacterium smegmatis</i>	200	270

microorganismo, la cual es el producto entre la intensidad de la radiación (I), expresada como energía por unidad de área y el tiempo de residencia o contacto con la luz UV (t) en segundos. La dosis (D) se mide en J/m² (1 Joule = 1 Watt x segundo):

$$D (J/m^2) = I (W/m^2) \times t (s)$$

También suele expresarse en mJ/cm² = μ W s/cm²

La resistencia de los organismos a la luz ultravioleta es variada. El ambiente en el que se encuentran también influye en la dosis necesaria para su destrucción.

La relación entre la dosis y la destrucción de un microorganismo por tratamiento con luz UV puede verse de la siguiente forma (Mani, 2003):

$$N = N_0 e^{-KD}$$

Donde:

N₀ = número inicial de microorganismos

N = Número de microorganismos después del tratamiento

K = Constante de velocidad de inactivación

D = Dosis

Según la relación anterior, si se duplica la dosis aplicada, la destrucción de mi-

croorganismos aumentará en un factor de 10. Por lo tanto al duplicar la dosis requerida para la destrucción del 90%, se reducirá el 99% de los microorganismos. Si se triplica la dosis, la reducción producida será 99,9%, y así sucesivamente.

Proceso para el tratamiento del agua

La luz ultravioleta es producida por lámparas de vapor de mercurio, de las que existen varios tipos, dependiendo del uso y la potencia necesaria. Entre otras variantes las hay con y sin generación de ozono, compactas, para uso en aire, agua, etc. Los tipos de lámparas UV utilizadas en la industria son:

- Baja presión
- Presión media
- Baja presión de alta intensidad
- Presión media de alta intensidad
- Amalgama

Valores de requerimientos de dosis para la destrucción del 90% de algunos microorganismos

Species	Dosis (mJ/cm ²)
<i>Bacillus subtilis</i> (espora)	12.0
<i>Clostridium tetani</i>	4.9
<i>Legionella Pneumophila</i>	
2.04	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.5
<i>Streptococcus faecalis</i>	4.5
<i>Hepatitis A virus</i>	11.0
<i>Hepatitis Poliovirus</i>	12.0
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6.0
<i>Infectious pancreatic necrosis</i>	60.0
Dosis mJ/cm ²	Reducción en el número de microorganismos vivos
5.4	90.0%
10.8	99.0%
16.2	99.9%
21.6	99.99%
27.0	99.999%

<http://www.lenntech.es/uv-informacion.htm#ultraviolet#ixzz3pMUXC4uc>

Las de baja presión generalmente se utilizan para situaciones de flujos bajos que no poseen elevado requerimiento de potencia. Las lámparas de alta presión son empleadas para flujos mayores que requieren alta intensidad de energía UV. Las de amalgama presentan las ventajas de las lámparas de baja presión (alta eficiencia en la emisión de una determinada longitud de onda) pero con mayor potencia.

Su apariencia es similar a la de las lámparas fluorescentes. Poseen una vida útil promedio de un año de trabajo sin interrupción. En general, las encontradas en el mercado producen una longitud de onda de luz ultravioleta cerca de 254 nm (máxima eficiencia para la desinfección).

El tipo básico de cámara de exposición para agua a la radiación ultravioleta,

presenta lámparas sumergidas en el agua. Generalmente, cada una se encuentra rodeada por una camisa de cuarzo, material que no interfiere el paso de la luz.

Un sistema de desinfección de agua por radiación UV puede incluir lo siguiente:

- Una cámara de exposición de material anticorrosivo (acero inoxidable), que alberga el sistema.
- Lámparas ultravioleta.
- Limpiadores mecánicos, limpiadores ultrasónicos u otros mecanismos de auto limpieza.
- Sensores conectados a sistemas de alarma para el monitoreo de la intensidad de la luz ultravioleta.
- Dispositivo de control de velocidad de flujo y temperatura.
- Dispositivo de control de

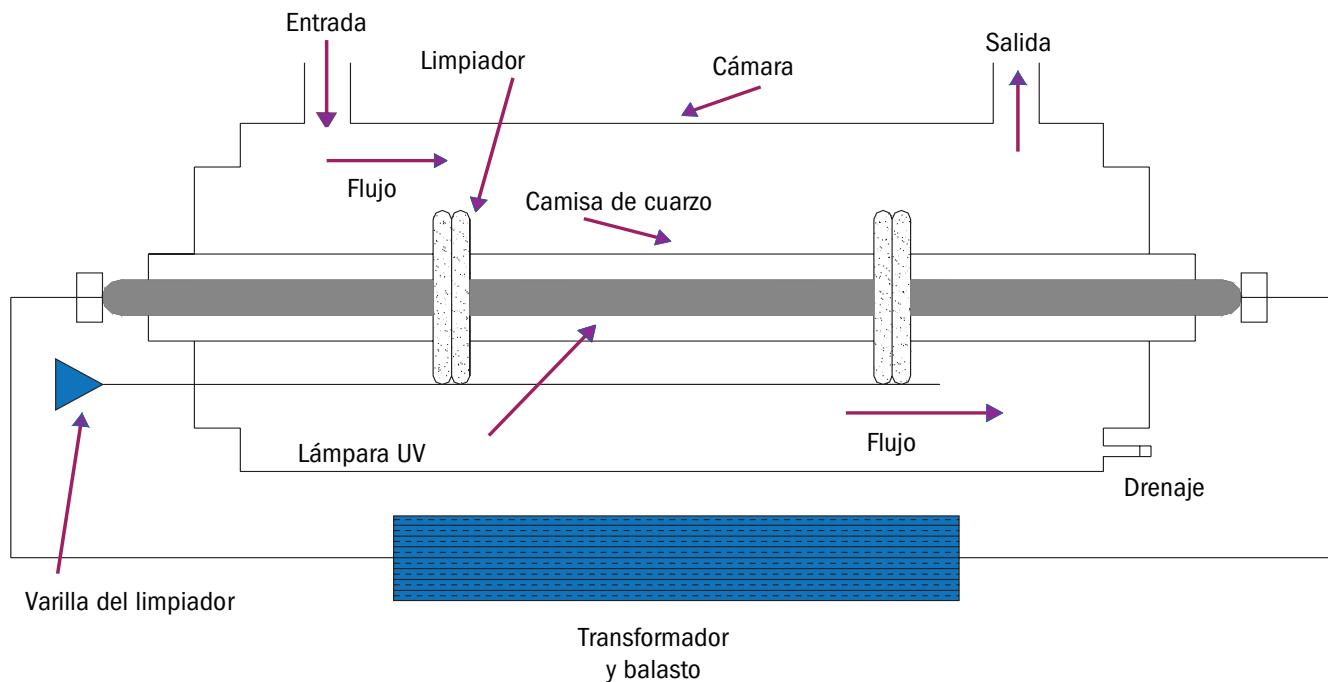
funcionamiento de las lámparas (dosis, fallas de encendido, etc.).

- Balasto (ordena el flujo de electrones).

En el diseño del equipo es importante asegurarse que cada microorganismo reciba la dosis de radiación necesaria para ser eliminado, determinando el espacio correcto entre las lámparas y las superficies reflectoras del interior de la cámara, como también una adecuada agitación del agua a fin de exponer el flujo a la misma dosis de radiación, logrando un proceso eficaz.

El flujo del agua puede ser paralelo o perpendicular a la longitud de las lámparas. Si es perpendicular se puede producir la turbulencia necesaria para que todo el volumen quede expuesto a la dosis requerida, cuando el flujo es paralelo sería conveniente utilizar agitadores estáticos.

Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara sumergida



Vale aclarar que es fundamental contar con una etapa previa de filtrado o clarificado, con el objeto de eliminar los sólidos en suspensión que puedan interferir en la eficacia del tratamiento.

En Argentina diversas industrias de alimentos y bebidas aplican la tecnología de desinfección por radiación UV en sus procesos de producción, y varias instituciones que llevan adelante investigaciones sobre el tema, como las que desarrollan el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de los Alimentos – CIDCA, la Universidad de Buenos Aires y el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (IIB-INTECH) de la Universidad Nacional de San Martín, y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNSAM-CONICET).

Fuentes consultadas

Guerrero-Beltrán, J.A. Barbosa-Cánovas, G.V. Review: *Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light*. *Food Science Technology International*. EUA, 2004.

Reiff, F.;Witt, V. Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. Documento OPS/OMS, Serie Técnica No. 30 (1995).

Wright, H.B.; Cairns, W.L. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Trabajo presentado en los Anales simposio OPS: *Calidad de agua, Desinfección efectiva* (1998). Publicado también en CD-Rom. Disponible en la OPS/CEPIS

FDA: *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies – Ultraviolet Light*

<http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/ResearchAreas/SafePracticesforFoodProcesses/ucm103137.htm>

Ventajas y desventajas de los tratamientos con luz ultravioleta (EPA, 1999). <http://es.scribd.com/doc/1559175/Environmental-Protection-Agency-cs99064>

<http://www.lenntech.es/uv-informacion.htm#ultraviolet>

<http://www.uvgi.es/alimentacion.htm>

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo4.pdf>

http://www.lighting.philips.pt/pwc_li/pt_pt/connect/assets/TABELA_LAMPADAS_ESPECIAIS_2011.pdf

Carne, sí. Pero cultivada.

Como es sabido, investigadores y científicos imaginan permanentemente nuevas formas de satisfacer la creciente necesidad del mundo por alimentarse y por preservar los recursos naturales. El caso del consumo de carne es en extremo significativo, porque se sabe que -si bien varía según el animal de que se trate- obtener un kilo de carne requiere volúmenes de granos y pasturas muy superiores. Por eso se hallan en marcha iniciativas que pueden provocar asombro, pero que se perfilan como un camino novedoso que es necesario experimentar.

La carne cultivada sería una opción técnicamente disponible, tal vez, a corto plazo (un año o poco más), aunque a precios astronómicos y en forma de salchichas o hamburguesas. Este tipo de carne es un producto animal real, pero que nunca formó parte de un ser vivo completo y a su vez se diferencia enteramente de las imitaciones o sustitutos de la carne que consumen los vegetarianos y son elaborados a partir de proteínas vegetales como la soja. Se logra utilizando células madre procedentes de material animal obtenido de mataderos, que se cultiva en un medio rico en azúcares, aminoácidos, lípidos, minerales y otros nutrientes

que la célula animal necesita para desarrollarse.

Hasta el momento sólo se han fabricado bandas similares a fibras musculares blancas, cada una de ellas de unos 2,5 cm de longitud, menos de un centímetro de ancho y tan finas que casi de puede ver al través. Es una elaboración manual que requiere trabajo intensivo y tiempo, y por ende resulta muy costosa. Asimismo el producto es poco apetecible, dado que la carne 'in vitro' no contiene sangre y carece de color. De momento, se parece más a la carne de una vieira y es bastante insípida.

Aunque solo se trata del principio y queda mucho camino por recorrer para que la carne cultivada sea una realidad con impacto en el consumo, si usted es amante de la parrilla, aproveche para darse el gusto. En el futuro... quién sabe.

Más información:

<http://www.reuters.com/article/2011/11/11/us-science-meat-fidUSTRE7AA30020111111>