

A young girl with light brown hair styled in two buns, wearing a pink sweater, is smiling broadly while holding a large white plate filled with fresh green spinach leaves. The background is a plain, light-colored wall.

# PAN DEL AIRE

por Óscar OCAMPO CERVANTES\*

*De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, una dieta equilibrada dependerá básicamente de factores como la edad, el género, la estatura y la actividad física que se realice; en otras palabras, el requerimiento energético no será igual para un adolescente que para un adulto sedentario; tampoco lo será para un trabajador de la industria de la construcción que para un oficinista.*

*En una dieta sana hay que incluir carbohidratos en un 55 por ciento, lípidos o grasas en un 30 o 35 por ciento, proteínas en un 10 al 15 por ciento en la dieta diaria. Existe, además, un conjunto de nueve aminoácidos que son esenciales, los cuales son: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina.*

Los organismos biológicos se encuentran constituidos por un conjunto de elementos básicos, genéricamente conocidos como CHONPS

**¿Cuál es el descubrimiento** científico más importante en la historia de la humanidad? Algunos dirán que la computadora, otros que el átomo, algunos más que la rueda, la penicilina, etcétera. Cada persona puede tener una opinión propia; sin embargo, hay un descubrimiento determinante en la historia de la humanidad, que se dio en un momento de convulsión profunda y que ha determinado el presente. Este es un caso en donde la ciencia ha producido un profundo impacto y ha sido determinante en lo político y en la estructura económica mundial y que, además, cambió definitivamente la historia de la humanidad, pero, sobre todo, es un descubrimiento que generó intensos cuestionamientos éticos y morales, llenos de claroscuros.

### **¿DE QUÉ ESTAMOS HECHOS?**

Para contextualizar la importancia de esta historia, planteemos una situación simple: ¿alguna vez se ha preguntado usted de dónde viene la materia que forma su cuerpo? Si aplicáramos una

\* Ingeniero Bioquímico y Maestro en Ciencias Químico-Biológicas, ambos grados otorgados por el IPN. Ha sido divulgador de la cultura científica en América Latina para la Universidad de Oxford, y autor y coautor de libros de texto para el aprendizaje de la ciencia y la tecnología. Actualmente se desempeña como profesor de física en la Escuela Nacional Preparatoria de la UNAM.

Existen tres grandes grupos de compuestos que son fundamentales en la nutrición: carbohidratos, grasas y proteínas

encuesta social, la respuesta más común sería: de los alimentos. Pero ¿cómo es posible que la materia que constituye los alimentos pase a formar parte de nuestro cuerpo? Esta es una pregunta compleja. De manera simple diremos que esto ocurre mediante los procesos que se llevan a cabo en nuestro sistema digestivo. Gracias a ellos, lo que ingerimos se descompone en sustancias más simples, hasta el nivel de átomos y moléculas, las cuales se integran a nuestra estructura corporal y construyen nuevas células que sirven para reponer a las que han muerto, para renovar los componentes de las células vivas u obtener y formar otros compuestos fundamentales para diferentes procesos necesarios para mantener a los organismos biológicos en condiciones óptimas, de tal forma que nuestros sistemas funcionen de manera óptima y así nos mantenemos saludables.

Los organismos biológicos naturales se encuentran constituidos por un conjunto de elementos básicos, genéricamente conocidos como CHONPS, palabra representativa que viene de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo (*phosphorus*) y azufre (*sulfurum*). Cada uno de estos elementos puede asociarse para formar estructuras más grandes y complejas, a las cuales llamamos compuestos y que cumplen diversas funciones. Ahora bien, existen tres grandes grupos de compuestos que son fundamentales en la nutrición: carbohidratos, grasas y proteínas. Cada uno de ellos tiene una estructura básica que nos permite diferenciarlos: su composición y organización les confiere funciones específicas en el organismo.

Los carbohidratos o hidratos de carbono están formados por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Su estructura está definida por la fórmula general  $C_nH_{2n}O_n$ , en donde  $n$  representa el número de átomos de cada uno de los elementos.

Este grupo de compuestos es el más abundante en prácticamente todo lo que comemos. Para identificarlos de forma rápida y sencilla, recordemos que a este grupo pertenece el azúcar, la cual se obtiene de la caña de azúcar y está formada por dos compuestos: glucosa y fructosa. El almidón también pertenece a esta familia y se encuentra presente en granos y semillas, como el trigo y el maíz. Por ello, es obvio saber que el pan y las tortillas son ricas en carbohidratos. Este grupo es importante porque es nuestra principal fuente de energía. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>1</sup>, una dieta equilibrada debe aportar del 50 al 55 por ciento del requerimiento total de energéticos mediante los carbohidratos. La cantidad por consumir depende básicamente de factores como la edad, el género, la estatura y la actividad física que se realice. En otras palabras, el requerimiento energético no es igual para un adolescente que para un adulto sedentario; tampoco lo será para un trabajador de la industria de la construcción que para un oficinista.

En cuanto a los lípidos o grasas, comúnmente se piensa que se puede o se debiera prescindir de ellos en la dieta, sobre todo si se desea bajar de peso; sin embargo, tal creencia es literalmente falsa. Para darnos una idea de su importancia basta saber que la pared de las células incorporan en su estructura moléculas lipídicas, es decir, son componentes estructurales de vital importancia. Los lípidos también son fundamentales en la síntesis de hormonas que cumplen diversas funciones en el organismo, las cuales van desde la prevención del raquitismo, enfermedad producida por deficiencia de vitamina D, hasta la respuesta al estrés y la regulación de la conducta. En este caso, la recomendación es que la dieta contenga entre 30 y 35 por ciento de lípidos al aporte diario de nutrimentos.

1. Organización Mundial de la Salud. *Alimentación sana*. 2015. Recuperado el 7 de septiembre de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/es/>



Los carbohidratos o hidratos de carbono es el compuesto más abundante de prácticamente todo lo que comemos

El tercer grupo de nutrientes fundamentales corresponde al de las proteínas. A pesar de que sólo se requiere una proporción del 10 al 15 por ciento en la dieta diaria, son estructuras determinantes en el estado de salud de las personas. Esto se debe a que forman parte de diversas estructuras y procesos, como la muscular, el tejido conectivo (el cual un músculo y huesos, por ejemplo), así

como en la síntesis de hormonas. Las proteínas se encuentran constituidas a su vez por estructuras más pequeñas, llamadas aminoácidos, los cuales se incorporan en los diferentes sistemas que conforman nuestro cuerpo. Existe un conjunto de nueve aminoácidos que son esenciales, los cuales son: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y vali-

**D**e acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, una dieta equilibrada deberá aportar del 50 al 55 por ciento del requerimiento energético total a partir de los carbohidratos



na. ¿Cuál es su importancia? El triptófano es determinante en el crecimiento normal de los recién nacidos y es fundamental en el equilibrio de nitrógeno en adultos. El cuerpo no lo puede producir, razón por la cual debe obtenerse a través de los alimentos. La falta de este nutriente causa serios problemas de salud. La leucina es parte fundamental de nuestro código genético, participa en la producción de hormonas, forma y

repara tejido muscular, regula los niveles de azúcar, entre otras funciones vitales. La principal fuente de leucina son la carne, la leche, los huevos y el pescado. Sólo por mencionar un par de ejemplos de aminoácidos.

A pesar de ser requeridos en menor proporción, los aminoácidos y las proteínas son fundamentales para la vida y para mantener un estado de salud adecuado. El elemento que condiciona

la síntesis de estas estructuras es el nitrógeno.

## UN DESCUBRIMIENTO TRASCENDENTAL

Algunas fuentes de nitrógeno y aminoácidos son las lentejas, los garbanzos, el frijol y la soya, así como la proteína de origen animal, que es la más rica en este tipo de nutrientes. La pregunta central ahora es ¿cómo se incorpora el nitrógeno a las estructuras biológicas? Este proceso se da mediante un ciclo natural, en el cual participa un conjunto de microorganismos que crecen en las raíces de algunas plantas, las que “atrapan” el nitrógeno del aire y lo incorporan a través de las raíces al resto del vegetal. El siguiente paso en la cadena alimenticia se da cuando las especies consumidoras de vegetales obtienen los compuestos nitrogenados de las plantas y los integran a su estructura corporal; posteriormente los carnívoros, al alimentarse de los consumidores primarios, obtendrán también aminoácidos y nitrógeno. Este proceso plantea un fenómeno complicado: si la demanda de proteína se incrementa, por efecto del crecimiento poblacional, por ejemplo, ¿es posible que los microorganismos fijadores logren asimilar suficiente nitrógeno del aire para integrarlo a las plantas y de esta forma producir alimentos suficientes? La respuesta es, no. Existe una capacidad limitada para este propósito.

La historia de cómo se resolvió este problema nos remite a uno de los episodios más interesantes en el desarrollo de la humanidad, particularmente de la ciencia y la tecnología. Me refiero a una época determinante para el futuro de la humanidad, su desarrollo y solución la cual paradójicamente se dio en un momento de crisis y destrucción: la Primera Guerra Mundial.

A finales del siglo XIX la producción mundial de alimentos dependía significa-

tivamente de la obtención de salitre en Chile. Así la producción agrícola de diversos países dependía de la importación de esta sustancia<sup>2</sup>. El salitre es una sustancia natural que fue ampliamente explotada para su uso como fertilizante, pero que también ha servido para la producción de pólvora. El salitre está formado por nitrato de potasio y nitrato de sodio, ambos compuestos ricos en nitrógeno. De ahí su importancia en la producción agrícola. Su uso en la agricultura incrementaba el rendimiento de las tierras de cultivo, cubriendo satisfactoriamente durante mucho tiempo el abasto de alimentos.

Al crecer la población, el incremento en la demanda de productos alimenticios planteó un serio problema, a tal grado grave que, a finales del siglo XIX, el físico y químico inglés William Crookes, en un discurso ante la British Association, señaló que la cantidad de fertilizantes nitrogenados era limitada y la población mundial crecía a un ritmo constante, por lo cual el abastecimiento de alimentos representaría un grave problema en los próximos años. Ahí mismo convocó a los científicos, particularmente a los químicos, a buscar una solución para incrementar la productividad agrícola<sup>3</sup>.

Paradójicamente, el aire de la atmósfera está constituido por un 78 por ciento de nitrógeno, pero al respirarlo ni siquiera es posible integrarlo a nuestro cuerpo. De manera natural, la única forma de incorporar el nitrógeno de la atmósfera es a través de las bacterias fijadoras de nitrógeno, la descomposición de la materia orgánica o mediante procesos electroquímicos que se dan al momento de la descarga eléctrica de un rayo, por ejemplo. Sin embargo, estos procesos son limitados.

Durante la Primera Guerra Mundial, el salitre que se importaba de Chile no sólo se utilizó como fertilizante, sino también en la producción de pólvora, lo cual

Los lípidos son fundamentales en la síntesis de hormonas que cumplen diversas funciones en el organismo, las cuales van desde la prevención del raquitismo, hasta la respuesta al estrés

2. Schütte, D. (Coord.). *La industria salitrera (1880-1930)*. Chile: Biblioteca Nacional de Chile – Memoria chilena. 2017. Recuperado el 7 de septiembre de 2017, de <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-3309.html#presentacion>  
3. Moreno, F. *Proceso de Haber-Bosch para la obtención de hidrógeno*. Recuperado el 7 de septiembre de 2017, de <http://www.escriitoscientificos.es/trab1a20/carpetas/fhaber/proces02.htm>

Las proteínas son estructuras determinantes en el estado de salud de las personas, porque forman parte de los músculos, el tejido conectivo y en la síntesis de hormonas

incrementó su demanda, sobre todo por parte de Alemania. Al bloquear la importación de este material, los alemanes enfrentaron problemas para la producción de alimentos y explosivos, razón que los impulsó a la búsqueda de una solución.

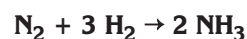
Fritz Jakob Haber, químico alemán, decidió enfrentar este problema y buscar una solución. Debido a la convocatoria realizada por William Crookes, muchos químicos desarrollaron proyectos enfocados a la síntesis y producción de fertilizantes nitrogenados a partir de la fijación del nitrógeno atmosférico, sin embargo, las propuestas desarrolladas hasta ese momento eran inviables.

La síntesis de amoníaco, compuesto formado por un átomo de nitrógeno y tres de hidrógeno (NH<sub>3</sub>), a partir del proceso propuesto por Haber fue la base para la obtención de compuestos nitrogenados útiles en la producción de fertilizantes, como el nitrato de amonio. De este modo, Haber logró resolver uno de los problemas más apremiantes de la humanidad: garantizar el abasto de alimentos. Para darnos una idea de la importancia de esta aportación consideremos lo siguiente: si aún se mantuvieran los sistemas de producción agrícola de finales del siglo XIX (suponiendo que se tuviera suficiente salitre) sólo sería posible producir alimento para 4,000 millones de personas, pero en la actualidad en el planeta hay poco más de 7,500 millones de habitantes, de manera que se impediría alimentar a los más de 3,500 millones de diferencia<sup>4</sup>.

Si en estos momentos consideráramos la cantidad de nitrógeno presente no sólo en los seres humanos, sino también en los alimentos vegetales y de origen animal e, incluso, en los microorganismos, nos daríamos cuenta de que una buena proporción de las proteínas se han sintetizado con base en el nitrógeno obtenido mediante procesos industriales.

Por tanto, una fracción significativa de la biomasa del planeta se origina en los procesos de síntesis química realizadas en grandes laboratorios.

En el proceso sintético de fijación, dos átomos de nitrógeno (N<sub>2</sub>), presente en el aire, se enlazan a tres moléculas de hidrógeno (H<sub>2</sub>) para formar dos moléculas de amoníaco (NH<sub>3</sub>), tal como se muestra en la siguiente reacción química.



Haber logró transformar parte del aire en un importante precursor para la producción de fertilizantes, indispensable para incrementar la productividad agrícola. Podríamos decir, no sólo metafóricamente, que Haber logró transformar el aire en pan para alimentar a la humanidad.

Este proceso fue exitoso por ser rápido, ya que Haber utilizó un catalizador, que es un material que acelera la transformación de los reactivos químicos a un producto deseado. Además, económicamente el mecanismo que él propuso fue viable, en otras palabras, el gasto que implica la producción, se compensa con el beneficio obtenido. Actualmente el amoníaco es el compuesto de mayor producción en la industria química, el 80 por ciento de su producción se destina a la obtención de fertilizantes y el resto se utiliza en productos de limpieza y la síntesis de otros productos nitrogenados.

## ENTRE EL CIELO Y EL INFIERNO: LA VIDA TERRENAL

Hasta aquí la historia sobre la síntesis de Haber pareciera ser pura felicidad, sin embargo, la vida de Haber está llena de claroscuros. En agosto de 1901 contrajo matrimonio con Clara Immerwahr, quien fue la primera mujer en obtener un doctorado en química en una universidad alemana, y que tomó como juramento “Nunca decir, escribir o enseñar algo

4. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Alimentos y población: la FAO anticipa. 2000*. Recuperado el 7 de septiembre de 2017, de <http://www.fao.org/NOTICIAS/2000/000704-s.htm>



**E**l salitre es una sustancia natural que fue ampliamente explotada para su uso como fertilizante a finales del siglo XIX

contrario a mis creencias. Perseguir la verdad para llevar la dignidad de la ciencia a las alturas que merece”. Sin embargo, posteriormente el patriotismo de Haber lo llevó a colaborar con el ejército alemán, dejando para la historia un lema “En la paz por la humanidad y en la guerra por Alemania”. Así, Haber pasó de convertir el aire en pan a transformarlo en pólvora. Recordemos que los com-

puestos nitrogenados son adecuados para ello, también colaboró en la síntesis de gases tóxicos utilizados en el frente de batalla, lo que costó miles de vidas. Por ello, pasó también de salvador de ellas a destructor. Cuando su esposa se enteró de que él se encontraba involucrado en la producción de armas químicas, lo cual ella consideraba una abominación de la ciencia y un signo de barbarie, decidió



**E**l salitre está formado por nitrato de potasio y nitrato de sodio, ambos compuestos ricos en nitrógeno, de ahí su importancia en la producción agrícola



4. Katz, M. *La Química y sus contextos: el caso de Fritz Haber*. 2013. Recuperado el 7 de septiembre de 2017, de <http://cancilleria.gov.ar/userfiles/Quimica%20y%20Civilizaci%C3%B3n%20-%20E1%20caso%20Fritz%20Haber%20cap%209.pdf>

suicidarse, utilizando la pistola que el ejército alemán le había proporcionado a Haber<sup>5</sup>.

A pesar de la controversia que generó la participación de Haber en la guerra del lado del ejército alemán, se decidió asignarle el Premio Nobel de Química en 1918, por el desarrollo de la síntesis de amoníaco a partir de sustancias elementales. Algunos hicieron referencia a

Haber como el monstruo que alimentó al mundo y se manifestaron en contra de la entrega del reconocimiento. Haber murió de un infarto el 29 de enero de 1934, en Basel, Suiza, tras un paseo que emprendió sin un destino claro.

Es un hecho que gracias al trabajo de Haber el mundo se ha alimentado, pero no todo ha sido miel sobre hojuelas. Aproximadamente la mitad del nitrógeno

de los fertilizantes no puede ser asimilado por las plantas cultivadas, generando un problema derivado de su uso extensivo. Esto se debe a que sus compuestos son solubles en agua. Estos se desplazan de forma natural a los ríos, lagos y el mar, en donde se convierten en un alimento, contaminante que favorece el crecimiento de diversas especies como las algas, lo cual genera el desplazamiento de las especies originales, trayendo como consecuencia cambios en la composición original de los ecosistemas. Hay otro problema generado por la volatilidad de los compuestos con nitrógeno. Al mezclarse con el vapor de agua presente en la atmósfera generan ácido nítrico, el cual a su vez contribuye a formar la lluvia ácida que afecta suelos y cuerpos de agua, y que sobre todo modifica su nivel de acidez. El exceso de acidez tiene efectos negativos sobre ve-

getales, especies animales y microorganismos, lo que modifica los sistemas. La lluvia ácida también tiene graves efectos sobre las construcciones de concreto, las estructuras metálicas, zonas arqueológicas y monumentos: causa serias pérdidas económicas y destrucción del patrimonio histórico y cultural mundial.

Obviamente, Haber desconocía que todo esto negativo llegaría a ocurrir. Él aportó una solución a un serio problema, y gracias a su descubrimiento muchos de nosotros tenemos asegurado el suministro diario de alimentos. Afortunadamente, los científicos actuales han enfocado su atención en resolver los problemas que se han generado como consecuencia de la aplicación de esta tecnología. En el futuro inmediato se requerirá el trabajo de muchas personas para resolver estos problemas. ■



Si aún se mantuvieran los sistemas de producción agrícola de finales del siglo XIX (suponiendo que se tuviera suficiente salitre) sólo sería posible producir alimento para 4,000 millones de personas, pero en la actualidad hay poco más de 7,500 millones de habitantes