

# La proteína celular (PC): Una fuente proteica alternativa para la alimentación sostenible.

Por: Marcelo J. Molinatti

En la alimentación humana y animal, el componente más costoso y difícil de conseguir es siempre la proteína. Así, la proteína celular es un método de producción de biomasa de bajo costo y altos rendimientos que permite sustituir las fuentes proteicas tradicionales por alternativas más económicas, pero de gran valor nutricional. Hoy te contamos en qué consisten, cómo se producen y los retos para masificar este tipo de biotecnologías.

## Las fuentes de proteínas en la alimentación

En todo el mundo, son grandes los esfuerzos que se hacen para aumentar la productividad relacionada a la producción de fuentes proteicas para alimentación humana y animal. Para el año 2050 se estima que sobre el planeta convivirán unas 10000 millones de personas y la verdad es que no estamos muy seguros de cómo vamos a alimentar a semejante cantidad de seres humanos. Por ello, se investiga arduamente en mejorar los rendimientos de las fuentes proteicas tradicionales e incorporar otras formas de producción de proteínas.

Así, la proteína celular (PC) o proteína única celular (PUC) como también se le conoce, es utilizada como una alternativa a las

proteínas que son de origen animal o vegetal. Estos productos ofrecen un alto valor nutricional y se componen principalmente de microorganismos que crecen sobre sustratos de bajo costo. Las fuentes de carbono y energía usada en estos bioprocesos generalmente usan biomasa resultante de residuos agroindustriales. Son biotecnologías que generan grandes rendimientos y buscan solventar el déficit de alimentos ricos en proteínas dando uso a materiales que de otra forma pudieran terminar en un vertedero. De esta forma, se obtiene un producto de alto valor y se procesa un pasivo ambiental, [contribuyendo con la economía circular y el desarrollo sostenible](#).

Uno de los procesos más utilizados es la producción de microalgas como la mostrada en la siguiente figura.



Planta de investigación de algas [BioCentury de la Universidad de Iowa](#).

## La importancia de las proteínas en la alimentación

Las proteínas son componentes esenciales de la nutrición de todos los animales incluyendo al ser humano. Estas proveen elementos esenciales que son incorporados en nuestro cuerpo para formar parte de todos los aspectos de nuestra fisiología. La mayoría de las proteínas las obtenemos del consumo de carne y productos lácteos, y en menor medida de legumbres, cereales, y frutos secos. Los animales de los cuales obtenemos las proteínas, la obtienen a su vez del consumo de proteína vegetal durante su alimentación.

Desde 2019, con el inicio de la pandemia global causada por el COVID-19, [la situación en torno al alimento rico en proteínas se ha profundizado considerablemente](#). Según reportes recientes de la FAO, debido al COVID-19 y otros factores, [se espera un menguado global en los suministros de proteína para el año 2020/21](#), principalmente la carne, productos lácteos, el pescado, y cultivos oleaginosos como la soja y canola. Esta situación se debe a la tambaleante situación del mercado como

consecuencia del aislamiento y restricciones tras el inicio de la pandemia, y la precariedad de la cadena de suministros, desde la producción hasta la distribución y venta (tanto al por mayor como al por menor).

La principal consecuencia de estos problemas, es una baja en la accesibilidad de las personas a los alimentos, especialmente en países de bajos ingresos. Esto trae como consecuencia repercusiones en el ámbito de la salud, principalmente de los niños, los cuales aún están en etapa de crecimiento y desarrollo.

En este contexto, la proteína celular (también llamada proteína unicelular o biomasa microbiana) surge como una alternativa económica y de alto valor nutricional que surge en respuesta a la futura crisis mundial debido a la escasez en los suministros de proteína o de alimento rico en proteína. Esta tecnología consiste de biomasa obtenida de microorganismos como bacterias, hongos o algas crecidos en sustratos de bajo costo que en su mayoría, provienen de desechos agrícolas y residuos industriales; y que poseen un alto valor nutricional ya que tienen un gran contenido en aminoácidos esenciales (compuestos que forman las proteínas), que son parte importante y obligatoria de nuestra dieta.

## La proteína celular se obtiene del crecimiento de microorganismos

La PC se define más formalmente como células microbianas secas o proteínas totales provenientes de bacterias, hongos, levaduras, o algas que sirven de alimento y/o

suplemento, y que se obtienen por fermentación a gran escala para su uso como fuente de proteína para la alimentación humana o de animales. El valor nutricional principal de esta, es que tiene alto contenido en leucina, lisina, treonina y tirosina, aminoácidos importantes para la nutrición. Además, es una buena fuente de vitaminas y en algunos casos, de ácidos grasos y antioxidantes.



*Proteína celular (PC): a la izquierda, alimento para peces a base de *Methylobacterium extorquens* producido por [KnipBio](#); y a la derecha, astaxantina natural obtenida de *Spirulina* comercializada para el cuidado de la salud por [Cyanotech](#) bajo el nombre de BioAstin.*

Para que un microorganismo pueda considerarse para su uso como PC, este debe contener en su biomasa un alto contenido en proteína, entre 45-85% en peso seco. Además, el ciclo de vida del microorganismo debe ser corto y deben ser resilientes a los cambios en factores externos (es decir, que el rendimiento no se vea demasiado comprometido con los cambios en el entorno como la temperatura y la acidez del medio donde crecen), genéticamente estables y con una alta tasa de crecimiento específica. Otras características que hacen a un

microorganismo adecuado como PC sería la capacidad de este de ser modificado genéticamente (con el fin de mejorar la cantidad de proteína cruda a obtener) y que sea capaz de crecer en sustratos no convencionales y económicos, preferiblemente, biomasa resultado de procesos industriales y agrícolas.

En la siguiente Tabla se muestran algunas empresas productoras de PC, microorganismos usados, sustrato y producto comercial.

**Algunas empresas que manufacturan PC (Ritala et al. 2017).**

<b>Compañía</b>	<b>Microorganismo</b>	<b>Sustrato</b>	<b>Producto Comercial</b>	<b>Pais</b>
Algaeon	<i>Euglena gracilis</i>	CO <sub>2</sub>	Lisado de Euglena	Indianapolis, USA
Cyanotech	<i>Spirulina platensis</i>	Bicarbonato de sodio, CO <sub>2</sub>	BioAstin	Hawaii, USA
KnipBio	<i>Methylophilus extorquens</i>	Metanol	KnipBio	Massachusetts, USA
Lallemand Inc.	Levaduras		Laltide	Montreal, Canadá
Euglena Co. Ltd.	<i>Euglena</i>	CO <sub>2</sub>	Euglena for the body	Tokio, Japon
Calysta	Bacterias degradadoras de metano	Gas Natural	FeedKind	California, USA
Marlow Foods Ltd	<i>Fusarium venenatum</i>		Quorn	North Yorkshire, UK
Tangshan Top Bio-Technology Co., Ltd.	Levaduras		TUOPO	Tangshan, China
TerraVia Holdings, Inc.	Microalgas	Carbohidratos vegetales de bajo costo	Protein-Rich Whole Algae powder	California, USA
Unibio	Bacterias	Gas Natural	UniProtein	Kalundborg, Dinamarca
Shanghai Tramy Green Food Co	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Trichoderma</i> sp.	Agua residual de frijol		Shangai, China

Algunos microorganismos comúnmente usados son bacterias de la especie *Methylophilus extorquens* para la producción de PC a partir de metanol. También se utilizan los géneros *Pseudomonas*, *Cellulomonas* y *Alcaligenes* cuyo uso está más limitado debido a la falta de aceptación pública. Otros microorganismos usados son levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis* y *Candida lipolytica*, algas como *Spirulina maxima*, *Chlorella vulgaris* y *Dunaliella salina* y el protozoario fotosintético *Euglena gracilis*. Más ampliamente aceptados y usados son los hongos filamentosos como *Aspergillus niger*, *Trichoderma reesei*, *Trichoderma viride*, y *Trichoderma harzianum*.

## La biomasa como fuente de carbono y energía de bajo costo

Para que la producción de PC resulte en procesos rentables económicamente y que tengan un impacto positivo sobre el ambiente, estos deben de hacerse eligiendo sustratos de bajo costo y que sean abundantes, como los que son obtenidos como productos secundarios de la industria y la agricultura. Es por ello que la producción de PC entra en línea con la [economía circular](#).

La biomasa es una fuente renovable de energía que puede ser utilizada en la producción de PC con una inversión relativamente baja y que genera buenos rendimientos. Esta biomasa no agota los recursos naturales ya en declive, y es fácil de obtener ya que son en general desechos de los procesos agrícolas y residuales de las industrias. En conjunto, estas características hacen de la bioconversión de biomasa en PC una metodología que ayuda al manejo de los

residuos, disminuyendo así la contaminación del aire y el suelo. Además, el planteamiento del uso de la biomasa es una fuente de generación de empleos en zonas rurales, que puede aumentar la cantidad de ingresos de agricultores y fomentar una ética de manejo responsable de los cultivos.

También es posible usar residuos orgánicos de la alimentación como cáscaras de frutas. Este es un recurso que ayudaría a solventar el problema de disposición de desechos que aqueja a las zonas urbanas donde según el Banco Mundial, el 52% del total de desechos en América Latina y el Caribe corresponden a desechos alimenticios, de los cuales un gran porcentaje acaba en vertederos (según [reporte realizado por BBCNews](#)). Muchos experimentos se han realizado utilizando cáscaras de cambur, piña, naranja, sandías, lechoza, pepino, y otras frutas, obteniéndose buenos rendimientos y contenidos de proteína cruda de hasta un 60%, principalmente usando hongos filamentosos.

La celulosa es el biopolímero más abundante de la Tierra, y se genera en grandes cantidades durante el proceso de crecimiento de las plantas. Este es uno de los principales desechos agrícolas que resulta de las cosechas y cuyo valor energético es muy alto dado que está compuesto principalmente de azúcares como glucosa y fructosa. Los procesos capaces de aprovechar esta gran cantidad de biomasa para convertirla en PC serían los más rentables si se invierte capital en proyectos innovadores que permitan su bioconversión de forma eficiente.



*Desechos agrícolas que sirven como sustratos para la producción de PC. De izquierda a derecha: Desechos de caña de azúcar, cáscaras de banana, desecho de cebada, conchas de maní (Imagen original de Ghaffar et al. (2014)).*

Sea como sea, un sustrato debe reunir los siguientes criterios para ser usado en la producción de PC: debe ser no tóxico, abundante, regenerable, no exótico, económico y sostener el rápido crecimiento de microorganismos. La última es en especial importante, ya que la mayoría de los sustratos no son capaces de sostener el crecimiento sin un tratamiento previo del mismo. Las cáscaras de fruta por ejemplo deben de ser molidas y reducidas a tamaños más pequeños que permitan una mayor accesibilidad del microorganismo para su digestión. El material lignocelulósico que se obtiene de la agricultura debe tratarse para que pueda degradarse por acción de las enzimas de las bacterias y eliminar compuestos inhibidores del crecimiento que de otra forma impedirían el crecimiento del microorganismo.

## Ventajas de la producción de proteína celular

Varias características de la PC se han mencionado que la hacen una tecnología particularmente buena como una alternativa a la proteína animal. Además de su alto contenido en proteínas, la PC tiene un alto valor nutricional debido a que también contiene vitaminas y ácidos grasos como el omega 3 (que se obtiene normalmente del

pescado). También, el crecimiento de los microorganismos es mucho más rápido que el de animales o plantas por lo que se obtienen grandes cantidades de proteína en menor tiempo. El espacio requerido para producir PC es mucho menor (metros cuadrados) al requerido para producir las proteínas animales o vegetales tradicionales (hectáreas). Finalmente, no se requieren de sustratos exóticos o de infraestructura sofisticada para lograr obtener la PC, la cual se obtiene con eficiencias relativamente altas de bioconversión. De hecho, una de las premisas en la producción de PC es el aprovechamiento de los residuos de las zonas cercanas a la planta de producción.

Una de las características más importantes de la producción de PC, y que hace contrastar esta tecnología con respecto a la producción de proteínas convencionales, es la independencia de la producción de los factores ambientales. Las variables que determinan el crecimiento de los microorganismos, como la temperatura, la acidez del medio de crecimiento, la aireación o la disponibilidad de nutrientes, son controlados de manera artificial, o el microorganismo es tolerante a sus cambios.

Por lo tanto, la producción de PC puede llevarse a cabo de forma continua durante todo el año, sin importar la estación o el clima

predominante en la zona de las instalaciones. Además, dado que la producción se da en fermentadores, no se requieren de grandes extensiones de tierra para obtener grandes cantidades de proteína y, de hecho, se puede hacer mejor uso del espacio vertical de forma que se puede tener una planta de producción en un área de solo algunos metros cuadrados.

## Desventajas de la producción de proteína celular

Existen algunas desventajas en el proceso de producción de PC. Muchos microorganismos pueden producir compuestos tóxicos que pueden bioacumularse al pasar por la cadena alimenticia. Es por ello que se deben de realizar controles y análisis de los productos finales para garantizar la seguridad del mismo. Además, dada la alta concentración de proteínas, pueden surgir reacciones alérgicas que resulten en problemas gástricos o complicaciones más graves.

De hecho, las complicaciones gastrointestinales pueden ser un problema grave de la PC al ser usado como alimento para humanos o animales monogástricos debido a su alto contenido en ácidos nucleicos (del 10-20% del peso seco). Es por ello, que si el alimento es para consumo de humanos o animales monogástricos, se realiza un tratamiento previo por choque térmico para estimular la degradación natural de los ácidos nucleicos en la PC.

## Retos de la producción de proteína celular

Debido a las debilidades mencionadas anteriormente, podría ser difícil producir PC de grado alimenticio para humanos. Sin embargo, este es uno de los retos presentados por esta

tecnología para mejorar y que requieren de ideas innovadoras para lograr entrar de manera satisfactoria en un mercado que ofrece una amplia demanda. Una de las grandes ventajas de la PC, es que permite el acople de las biotecnologías a los procesos industriales de producción existentes, y los transforman para que se adhieran a los procesos de economía circular y el desarrollo sostenible, resultando en la disminución de costos de producción y la mitigación del impacto ambiental que estos generan.

Los llamados Sistemas de Producción de Proteína (SPP) en si mismos son un reto a llevar a cabo como proceso biotecnológico rentable, debido a que hay que pensar en formas innovadoras de lidiar con fuentes de carbono y energía alternativa antes de usarlas como sustrato para el crecimiento del microorganismos. De igual forma, deben de considerar su integración en el mercado y la aceptación general para su consumo, y las direcciones de producción deben de estar conscientes de las barreras que imponen la percepción pública en el consumo de microorganismos.

Algunos aspectos a considerar son:

**La ingeniería de procesos y el desarrollo de la tecnología.** El desarrollo de la tecnología requiere de un análisis profundo del consumo de energía y costos de producción, los cuales se vuelven tremendamente importantes al pasar a procesos a gran escala. El consumo de energía se vuelve un factor fundamental para poder generar procesos eficientes sin que resulte en pérdidas. Altos rendimientos en la fermentación se balancean con los gastos de energía que permiten lograr tales rendimientos, y por lo tanto dejan espacio para la optimización del SPP y obtener un proceso rentable.

**Aceptación pública y crear conciencia.** El cómo es visto un producto a base de PC es clave para generar ganancias. Después de todo, solo habrá ganancias si el producto es consumido. Con el fin de usar PC como alimento animal o humano, se debe de crear conciencia acerca del valor nutricional de la PC, con la finalidad de mejorar la percepción al consumo de microorganismos.

**Funcionalidad y estética.** El valor nutricional no es suficiente para que la PC tenga éxito en el mercado. Las características organolépticas son esenciales, y deben de tomarse en cuenta en la iniciativa para generar un producto de consumo para humanos. Las propiedades organolépticas hacen referencia a los aspectos de los alimentos que una persona experimenta a través de sus sentidos (sabor, olor, color y texturas). Así, es de vital importancia tomar en cuenta esto para que la PC pueda competir

contra alimentos ricos en proteína convencional como la alfalfa, la soya o el pescado.

**Procesos post-fermentativos.** La producción de PC es muy vulnerable a la contaminación, por lo que es muy importante tener en cuenta en la cadena de procesamiento, tecnología verde limpia que pueda cumplir con las demandas de una economía sostenible.

Si bien las dificultades en el camino son varias, estas son oportunidades para crecer y poner a prueba nuestro potencial para generar ideas innovadoras que resulten en procesos rentables que puedan competir. Queda de parte de emprendedores que se atrevan a dar el paso.

Si quieres leer un poco más, te recomendamos el artículo de [Tudela, 2020](#).

**Así que dinos, ¿Qué piensas del consumo de microorganismos? Déjanos tu opinión en los comentarios y recuerda suscribirte a nuestro *blog* para obtener más información sobre actualidad en biotecnología. Te esperamos.**



**Marcelo Molinatti** es graduando de Biología y programador aficionado. Dos años como profesor de Biofísicoquímica y muchos más como asesor en estadística para proyectos de investigación, y ahora escribe de artículos de divulgación científica.