

# El piruvato: una molécula v

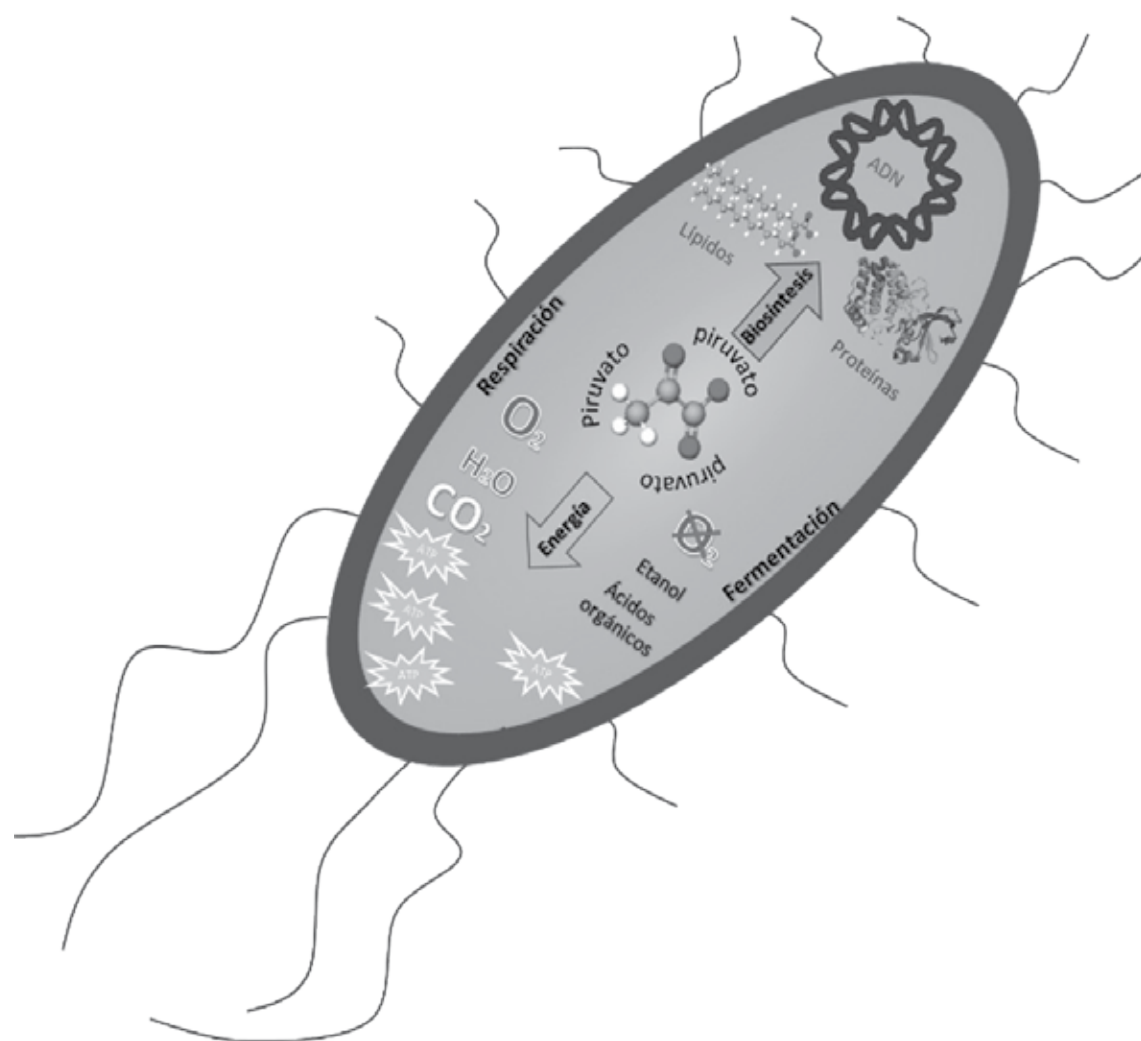
Eliseo R. Molina Vázquez, Diana M. Vázquez Enciso  
Estudiantes de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Ana Alejandra Vargas Tah  
Posdoctorante, Instituto de Biotecnología de la UNAM

Dr. Alfredo Martínez Jiménez, Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, Investigador Titular del Instituto de Biotecnología de la UNAM Campus Morelos.

**T**odos los seres vivos estamos conformados por células, unidades microscópicas increíblemente organizadas que, a través de una serie de reacciones bioquímicas perfectamente coordinadas, se desarrollan y realizan un sinnúmero de funciones.

¿Te has preguntado de dónde obtienen las células la energía necesaria para llevar a cabo sus funciones? Sin duda, muchos responderemos, con base en nuestra experiencia, de lo que se alimentan. Las células pueden utilizar diversos compuestos orgánicos como alimento y fuente de energía. Uno de los principales es el azúcar más simple denominado *glucosa*. Esta es transformada químicamente hasta llegar a una molécula central que es el *ácido pirúvico*. El ácido pirúvico tiene diversos destinos, dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno y de las necesidades de la célula: concretamente, ser dirigido hacia el suministro de energía o bien hacia la síntesis de componentes celulares (**Figura 1**).



**Figura 1.** Diferentes destinos del piruvato obtenido de la glucosa de acuerdo a las necesidades metabólicas. Las estructuras tridimensionales de biomoléculas fueron obtenidas de molview.org

## La transformación de la glucosa en energía en las células

El proceso a través del cual las células transforman la molécula de glucosa en energía, aprovechable para sus funciones metabólicas, depende de las condiciones en las que vive una célula. Hay células que *respiran*, pues dependen del oxígeno para vivir, son las llamadas *aerobias*. Por otro lado, aquellas que se desarrollan en ausencia de oxígeno son denominadas *anaerobias* y en la mayoría de los casos obtienen la energía requerida para sus funciones mediante la *fermentación*. Al respirar o al realizar la fermentación, las células transforman químicamente la molécula de glucosa en otras moléculas.

En la respiración, la degradación de estas moléculas acaba cuando se obtiene bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Es decir, se parte de una molécula formada por seis átomos de carbono, seis de oxígeno y doce de hidrógeno ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) que se transforma, por acción del oxígeno respirado, hasta que sólo queda  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Lo maravilloso de este proceso es que al romper los enlaces que mantienen unidos a los átomos de la glucosa o sus productos de oxidación, moléculas de menor tamaño, la energía que se libera se puede aprovechar para formar otras moléculas que sirven como reservorios de energía universal.

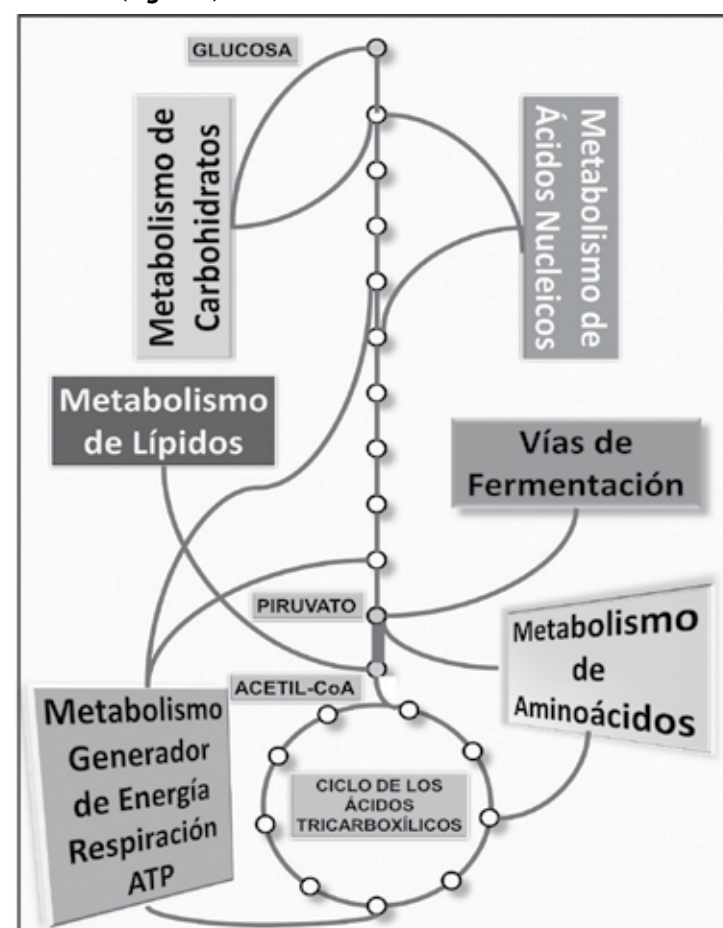
Una de las moléculas que resulta de la transformación química (oxidación) de la glucosa en el interior de la célula es el ácido pirúvico. Este es una molécula formada por tres carbonos, es incoloro y con aroma similar al vinagre. Generalmente, dentro de las células, el ácido pirúvico se encuentra ionizado, de tal forma que es más correcto definirlo como

piruvato, como cuando se encuentra formando una sal combinado con sodio o con potasio (piruvato de sodio o de potasio). En presencia de oxígeno, el piruvato es oxidado en las células mediante una secuencia de reacciones bioquímicas hasta llegar a formar dióxido de carbono y agua. En la célula, una parte de la energía liberada de este proceso de oxidación es capturada en forma de moléculas de adenosina trifosfato (ATP), la cual podemos considerar una "batería bioquímica", que a través de los enlaces químicos entre los fosfatos se encarga de almacenar energía, para más tarde proveer de esta en la mayoría de las actividades de la célula.

En la fermentación también produce ATP, ya que en ausencia de oxígeno el mismo piruvato que se obtuvo a partir de la glucosa es transformado en un ácido o en un alcohol y  $\text{CO}_2$ . Las células musculares de los mamíferos son preferentemente aeróbicas; sin embargo, cuando el ejercicio es excesivo o no se está acostumbrado a ejercitarse, la demanda energética de las células aumenta y la cantidad de oxígeno que se obtiene al respirar no alcanza para oxidar a dióxido de carbono todo el ácido pirúvico que se genera. En ese caso, las células musculares se ven obligadas a emplear mecanismos anaerobios, en el cual el piruvato es transformado a ácido láctico (lactato), ácido orgánico que, al producirse en exceso, da lugar a la acumulación de microcristales que se incrustan en los tejidos y causan el clásico dolor muscular que padecemos después de sobre ejercitarnos.

## El ácido pirúvico: en la encrucijada metabólica

El piruvato no solo es importante por ser un intermediario en la generación de energía, sino como hemos señalado ya, porque también es el punto de partida para la biosíntesis celular. En efecto, el piruvato es la materia prima que las células usan para sintetizar moléculas más complejas que son necesarias para mantener sus funciones vitales, para crecer y para reproducirse. Por ejemplo: el piruvato es utilizado para la formación de los ácidos grasos que dan estructura a las membranas, que a su vez dan forma y conforman a las células. El piruvato es precursor de moléculas como el citrato, que es el punto de partida de un ciclo de reacciones en serie, conocido como el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, cuya función es también la producción de ATP y otras moléculas conocidas como "acarreadoras de electrones" que también servirán para formar más ATP. Además, el piruvato también es punto de partida para la síntesis de varios aminoácidos, que son las unidades básicas de las cuales están formadas las proteínas. Así, puede ubicarse al piruvato como un elemento central en el metabolismo de la célula, cuya importancia radica en actuar como intermediario de una gran diversidad de procesos metabólicos (**Figura 2**).



**Figura 2.** El piruvato: elemento central en el metabolismo de la célula e intermediario de una gran diversidad de procesos metabólicos.



# ersátil y esencial

Por otro lado, existe una enfermedad derivada de la "deficiencia de la enzima piruvato deshidrogenasa" que ocasiona una acumulación intracelular de piruvato. Esta enfermedad es causada por un mal funcionamiento del complejo enzimático denominado *piruvato deshidrogenasa*, que es esencial para la degradación de azúcares en condiciones aerobias. Este complejo permite la conversión del piruvato en un intermediario bioquímico llamado *acetil-CoA*, molécula que alimenta el ciclo de los ácidos tricarboxílicos. Ante una deficiencia en este complejo, la actividad del metabolismo anaeróbico se incrementa, elevando los niveles de piruvato y de lactato, que al no poder ser metabolizados desencadenan un fenómeno denominado *acidosis láctica* crónica en sangre, orina y sistema nervioso central. Esta enfermedad se detecta durante la infancia, aunque es muy importante poder detectarla durante el embarazo, ya que quien la padece sufre graves daños neurológicos y frecuentemente la muerte.

## Usos y producción del ácido pirúvico

El potencial para transformarse en productos de gran valor que tiene el ácido pirúvico ha servido de inspiración para utilizarlo como materia prima en la industria química y para preparar derivados útiles en la industria de alimentos y de cosméticos (Figura 3). Por ejemplo, en la industria alimentaria se utiliza como suplemento alimenticio para promover la pérdida de peso ya que acelera el metabolismo y aumenta el catabolismo de azúcares. También, el *piruvato de creatina* es actualmente promovido para mejorar el desempeño físico y aumentar el volumen muscular. En la industria cosmética, se utiliza en la producción de ácido láctico que a su vez se utiliza en la formulación

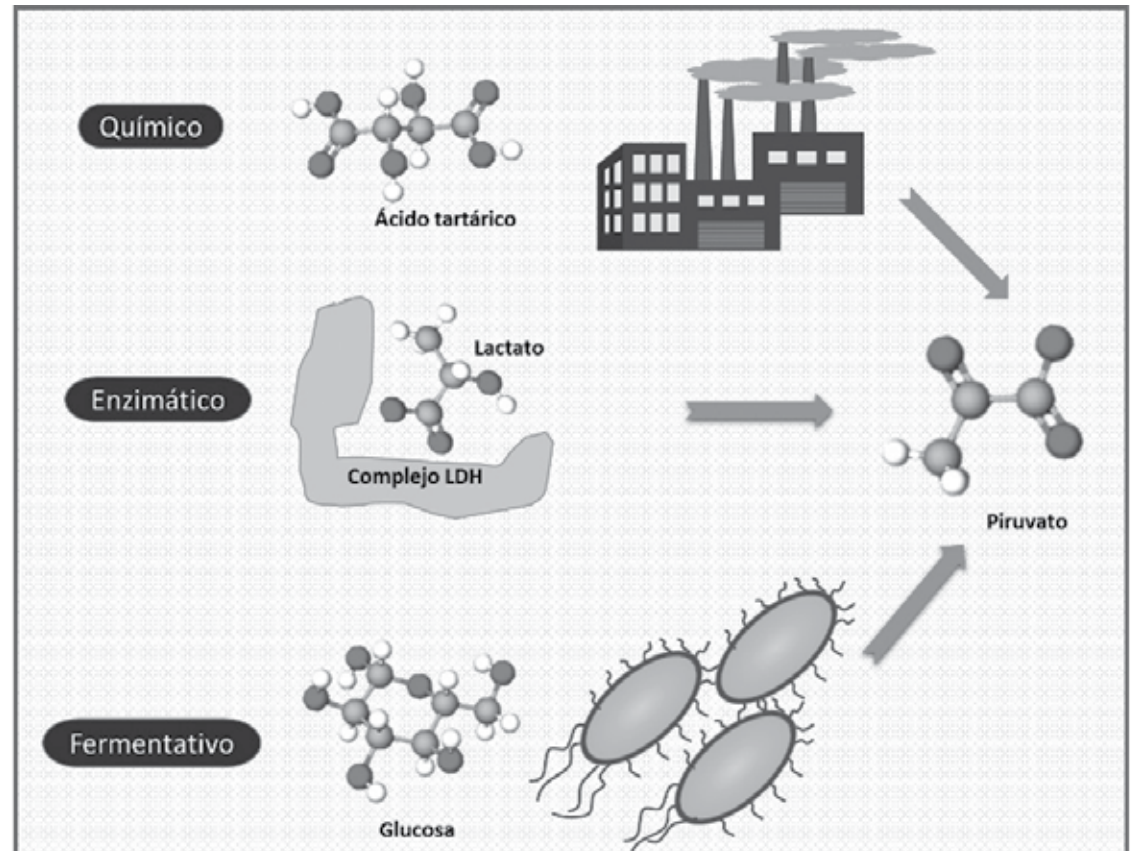


Figura 4. Procesos industriales para la producción de piruvato. Las estructuras tridimensionales de moléculas fueron obtenidas de molview.org

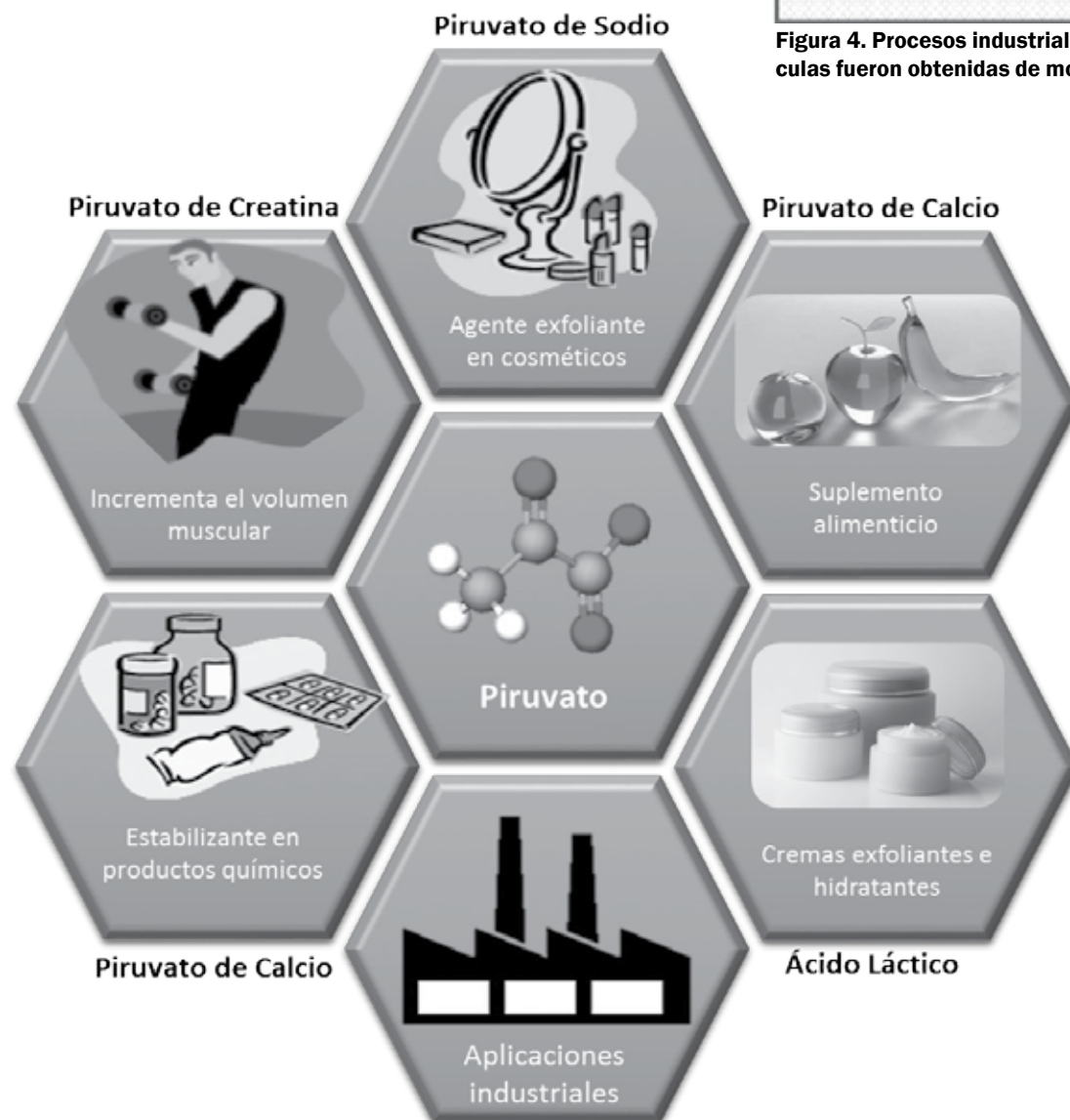


Figura 3. Diversas aplicaciones de compuestos derivados del piruvato. La figura central, así como superior e inferior derecha se obtuvieron de Creative Commons bajo la respectiva autoría de es.wikipedia.org, www.estudiantespilas.wikispaces.com y www.clivir.com

de cremas exfoliantes e hidratantes, en terapias rejuvenecedoras que estimulan la producción de colágeno y como agente protector contra infecciones microbianas.

Debido a las múltiples aplicaciones del ácido pirúvico, su demanda ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, lo que ha llevado a la búsqueda de métodos para su producción a nivel industrial. Para ello, existen actualmente tres diferentes tipos de proceso: el químico, el enzimático y el fermentativo (Figura 4). El método químico es el más utilizado a nivel industrial y se realiza partiendo del ácido tartárico como materia prima; sin embargo, involucra solventes tóxicos, altas temperaturas y un gasto elevado de energía, convirtiéndolo en un proceso poco amigable con el medio ambiente. En el método enzimático, el ácido pirúvico es obtenido a partir del ácido láctico, utilizando enzimas obtenidas de microorganismos para llevar a cabo la síntesis. Este proceso posee la ventaja de tener una alta productividad, siendo posible obtener altas cantidades de piruvato en corto tiempo. Sin embargo, aun no se utiliza a escala industrial por el alto costo del proceso. El ácido pirúvico es producido también industrialmente y con altos rendimientos con la ayuda de bacterias o levaduras, mediante procesos fermentativos, utilizando principalmente glucosa como materia prima. Actualmente se investiga el desarrollo de tecnologías que permitan implementar en éste tipo de procesos el uso de fuentes de carbono provenientes de residuos agroindustriales de bajo costo, los cuales, además de ser de origen renovable, generarían procesos de producción más amigables con el medio ambiente. El método fermentativo requiere del uso de microorganismos que necesitan de nutrientes y diversos cuidados para mantener las condiciones adecuadas en su crecimiento. Sin embargo, éste proceso, por ser muy eficiente y amigable con el medio ambiente, en un futuro permitirá una producción renovable del piruvato a partir de residuos agroindustriales.

## Lecturas recomendadas

Li Y, Chen J, Lun SY. Biotechnological production of pyruvic acid. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2001, 57(4):451-459. <http://dx.doi.org/10.1007/s002530100804>

Zhu Y, Eiteman MA, Altman R, Altman E. High Glycolytic flux improves pyruvate production by a metabolically engineered *Escherichia coli* strain. *Applied Environmental Microbiology*. 2008; 74(21):6649-6655. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.01610-08>