

# **Biotecnología Alimentaria: METABOLISMO MICROBIANO**

Máster Universitario en Ingeniería Química  
*Prof. María Martín Conde*

# Biotecnología Alimentaria

La **biotecnología alimentaria** es cualquier técnica que utiliza microorganismos vivos para la producción de alimentos.

Esta definición cubre las técnicas tradicionales y los métodos de la biotecnología moderna.

LOS MICROORGANISMOS tienen un papel predominante en el desarrollo de la Biotecnología por las siguientes razones:

- **Fácil crecimiento masivo**
- **Rápida tasa de crecimiento**
- **Medios de cultivo baratos (materias primas de deshecho)**
- **Gran diversidad de tipos metabólicos**

# Microorganismos

Los **Microorganismos** se definen como organismos vivos demasiado pequeños para ser vistos con claridad por el ojo humano. Tienen un diámetro de aproximadamente 0,1 mm o menor.

En general, los microorganismos utilizados en la industria alimentaria pertenecen a cepas industriales.

**Estas cepas de microorganismos suelen ser objeto de patente, como *Saccharomyces carlsbergensis*, del Instituto Carlsberg, en Dinamarca.**

Muchas de estas cepas están modificadas genéticamente, con el fin de mejorar su producción y aumentar las ganancias de la industria.

# Metabolismo microbiano

El término **metabolismo** se utiliza cuando nos referimos a todos los **procesos químicos** que tienen lugar **dentro de una célula**.

**Conjunto de procesos** por los cuales un microorganismo obtiene la energía y los nutrientes que necesita para vivir y reproducirse.

**Conjunto de reacciones** químicas que tienen lugar en el interior de una célula **catalizadas por enzimas** con el fin de realizar las funciones vitales.

**Papel crucial de las enzimas:**  
especifican cuáles son las reacciones que ocurren y a qué velocidad.

# Rutas metabólicas

## **CATABOLISMO:**

Conjunto de reacciones de degradación o descomposición que implican **producción de energía**

## **ANABOLISMO:**

Reacciones biosintéticas (síntesis de compuestos) **requieren energía**

# Moléculas que intervienen en el metabolismo

## Metabolitos

- moléculas que se incorporan en las rutas para degradarse o producir otras (**glúcidos, lípidos o proteínas**). Se consideran intermedios metabólicos.

## Nucleótidos

- moléculas que permiten la oxidación y reducción de los metabolitos (**NAD, NADP, FAD, FMN, ...**).

## Moléculas energéticas

- moléculas energéticas (**ATP, GTP o Coenzima A**) que, al almacenar o desprender fosfato de sus moléculas, liberan o almacenan energía.

## Moléculas ambientales

- **O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, ácido láctico, etanol ...**, que se encuentran al comienzo o final de algún proceso metabólico.

# Metabolitos

## Glúcidos

**Carbohidratos / Azúcares / Sacáridos / Polialcoholes**

Moléculas orgánicas formadas por C, O e H.

Principal **fente de energía** de los seres vivos, los enlaces se rompen fácilmente.

- **Monosacáridos:** glúcidos de 3 a 9 átomos de C.
- **Disacáridos:** glúcidos formados por dos monosacáridos a través de un enlace O-glucosídico.
- **Oligosacáridos:** unión de varios monosacáridos entre 3 y 20.
- **Polisacáridos:** formados por la unión de más de 10 monosacáridos.

**molécula de glucosa**  
(monosacárido)

**molécula de sacarosa**  
(disacárido)

# Nucleótidos

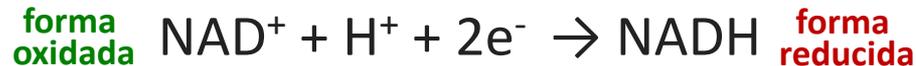
Moléculas con **mucha energía acumulada en los enlaces de los grupos fosfato**, por lo que son muy utilizadas en todo tipo de células para la transferencia de energía en los procesos metabólicos.

Los principales aceptores y donadores son:

- **NAD** (Nicotinamida adenina dinucleótido)



- **NADP** (Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato)



- **FAD** (Flavín adenín dinucleótido)



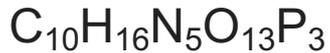
# Moléculas energéticas

## ATP

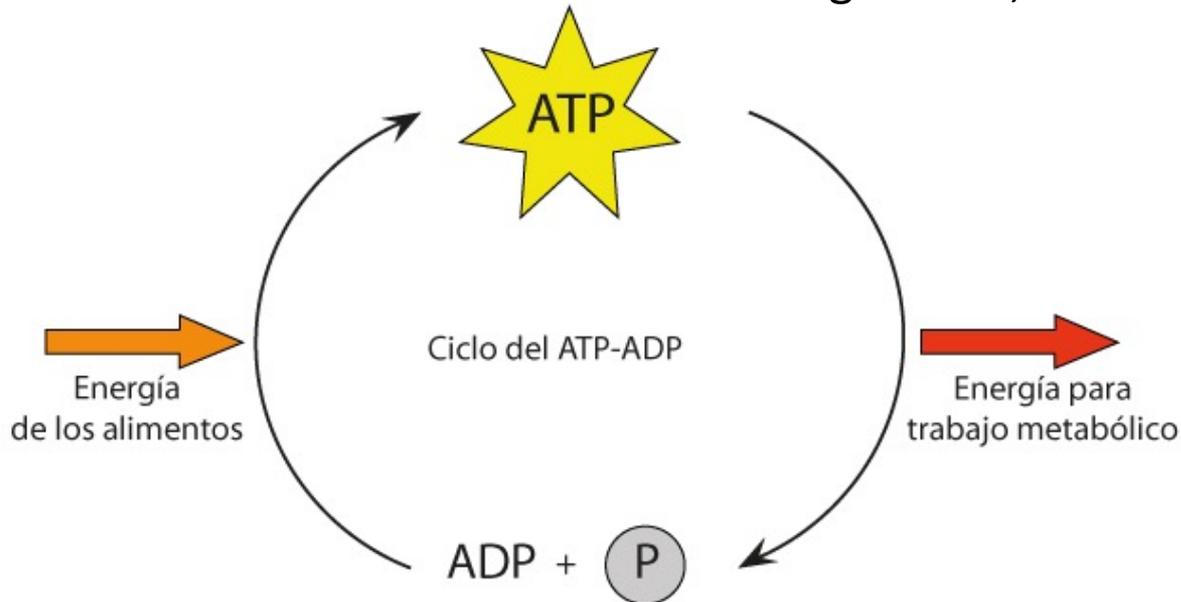
trifosfato de adenosina / adenosín-trifosfato

Forma química usual en la que se encuentra la energía

base nitrogenada + azúcar + fosfato



El ATP no se almacena masivamente en nuestro organismo, es **necesario generarlo**.



# Generación del Trifosfato de Adenosina (ATP)

- **FOSFORILACIÓN A NIVEL DE SUSTRATO:**

a partir de **ADP** por transferencia de un grupo fosfato de alta energía de un intermediario de una ruta catabólica.



- **FOSFORILACIÓN OXIDATIVA:**

utiliza energía liberada por la **oxidación de nutrientes** para producir ATP.

Transporte de electrones a través de **reacciones redox**.



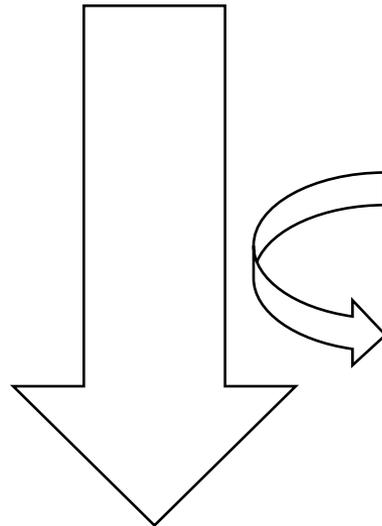
# Características del catabolismo y anabolismo

**Nutrientes**  
**productores de energía**  
Glúcidos, Grasas, Proteínas

**Macromoléculas celulares**  
Proteínas, Polisacáridos,  
Lípidos, Ácidos Nucleicos

## CATABOLISMO

- Degradativo
- Genera energía, produce ATP
- Los productos finales e intermedios son materias primas del anabolismo



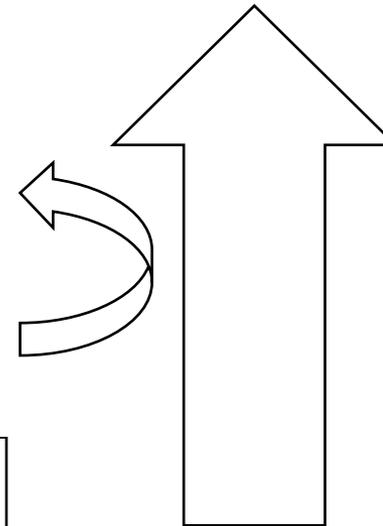
ADP  
NAD<sup>+</sup>  
NADP<sup>+</sup>  
FAD<sup>+</sup>

ATP  
NADH  
NADPH  
FADH<sub>2</sub>

Energía  
química

## ANABOLISMO

- Sintético
- Utiliza energía, consume ATP
- Los productos finales son materias primas del catabolismo



**Productos poco**  
**energéticos**  
CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>

**Moléculas precursoras**  
Aminoácidos, Monosacáridos,  
Ácidos Grasos, Bases nitrogenadas

# Catabolismo de la Glucosa

La oxidación de la glucosa es una fuente principal de energía en la mayoría de las células

## **Primera fase: GLUCÓLISIS**

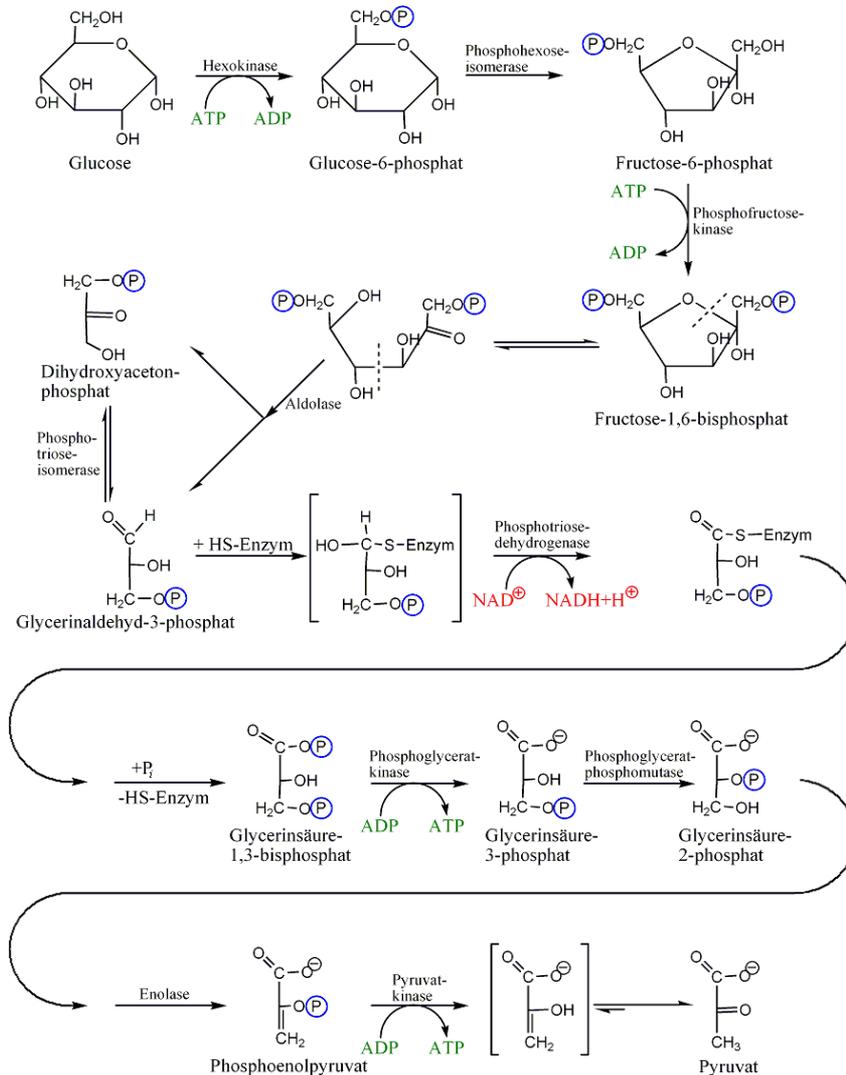
Degradación de la glucosa en piruvato que se efectúa en el citoplasma de la célula en condiciones anaeróbicas (ausencia de  $O_2$ ).

## **Segunda Fase: RESPIRACIÓN AERÓBICA O ANAERÓBICA**

**Condiciones aeróbicas (Ciclo de Krebs):** tiene lugar en las mitocondrias y degrada el piruvato obtenido en la glucólisis en  $CO_2$ .

**Condiciones anaeróbicas (Fermentación):** transformación del piruvato obtenido en la glucólisis en **etanol o ácido láctico**.

# Glucólisis



- Glucólisis o vía de Embeden-Meyerhof-Parnas
- Principal vía de degradación de la glucosa a piruvato en el catabolismo.
- Actúa en ausencia de O<sub>2</sub> (condiciones anaeróbicas).
- **Degrada 1 molécula de glucosa (6C) en 2 de piruvato (3C).**
- Se produce **ATP** y **NADH**.

# Balance energético – Glucólisis

Balance global **Glucólisis**:

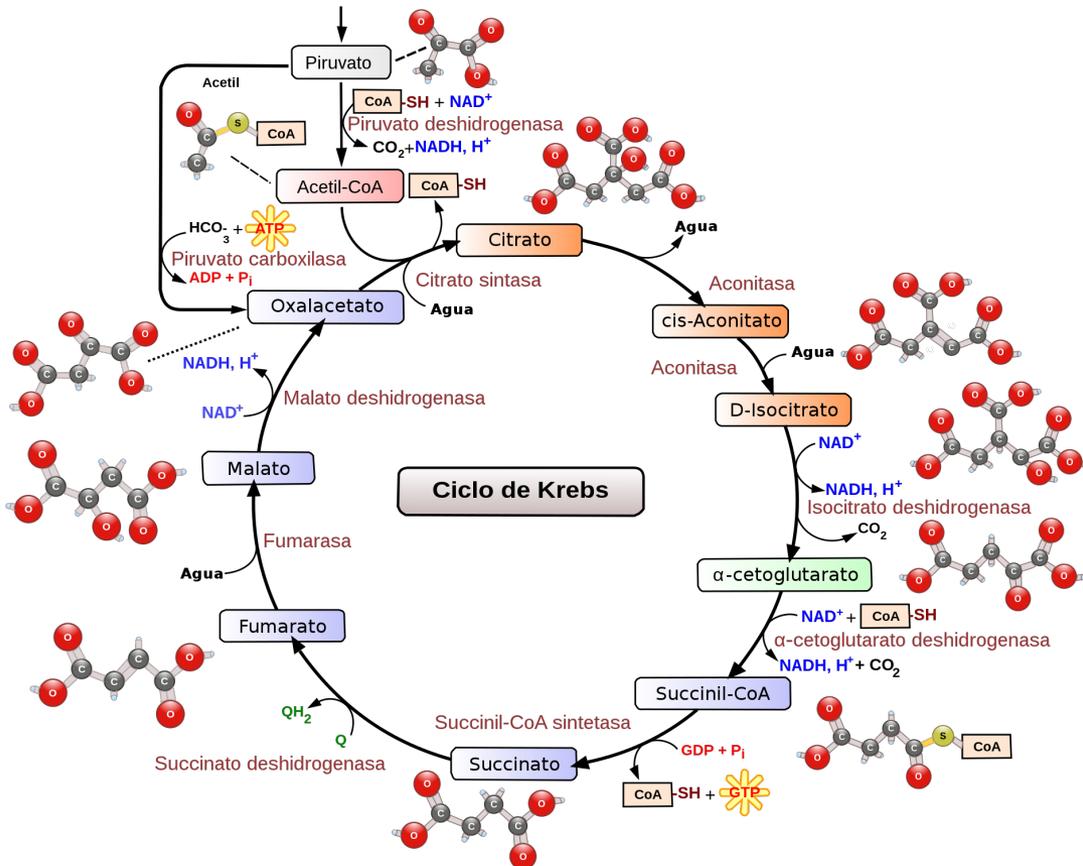


Cada **NADH** citoplasmático que entre en la cadena respiratoria mitocondrial producirá **3 ATP** y cada **FADH** producirá **2 ATP**

**Balance: Glucosa → 2 Piruvato**

**Total energía: 2 ATP + 2 NADH (6 ATP) = 8 ATP**

# Ciclo de Krebs o del ácido cítrico o de los ácidos tricarbónicos



- Paso previo: descarboxilación oxidativa del piruvato para dar acetil-CoA.
- Ciclo de Krebs: degradación vía aeróbica (presencia de O<sub>2</sub>).
- Libera mayor energía que en la glucólisis.
- Oxidación completa de grupos acetilo hasta CO<sub>2</sub>.

FUENTE: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citric\\_acid\\_cycle\\_with\\_aconitate\\_2-es.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citric_acid_cycle_with_aconitate_2-es.svg)

# Balance energético – Glucólisis

Balance global **Descarboxilación oxidativa del piruvato:**



**Balance: Piruvato → Acetil-CoA**

**Total energía: 1 NADH (3 ATP) = 3 ATP -> 6 ATP**

**partes de 2 Piruvatos!!! (Todo el balance x2)**

Balance global **Ciclo de Krebs:**



**Balance: Acetil-CoA → CO<sub>2</sub>**

**Total energía: 1 GTP + 3 NADH + 1 FADH<sub>2</sub> = 12 ATP -> 24 ATP**

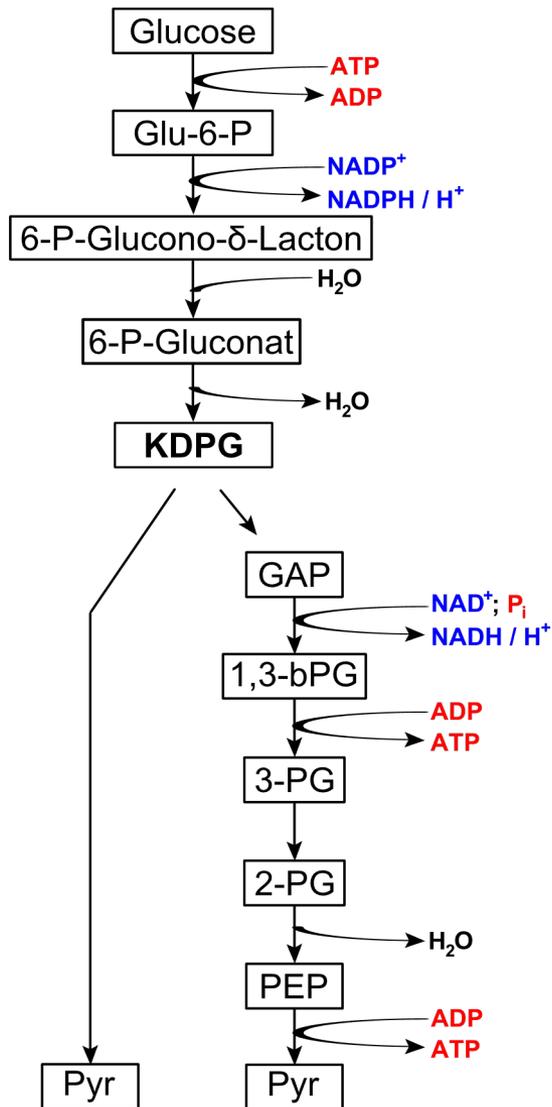
**partes de 2 Acetil-CoA!!! (Todo el balance x2)**

# Resumen energético de las rutas metabólicas

Resumen del rendimiento energético obtenido, por oxidación, de una molécula de glucosa

| Proceso  | Rendimiento                            | Transporte electrónico   | Total ATP                |
|--|--|--|--------------------------|
| <b>Glucólisis</b>                              | 2 ATP<br>2 NADH                        | 2 NADH x 3 ATP = 6 ATP   | 2 ATP<br>6ATP            |
| <b>Descarboxilación oxidativa del piruvato</b> | 2 NADH                                 | 2 NADH x 3 ATP = 6 ATP   | 6 ATP                    |
| <b>Ciclo de Krebs</b>                          | 2 ATP<br>6 NADH<br>2 FADH <sub>2</sub> | 6 NADH x 3 ATP = 18 ATP<br>2 FADH <sub>2</sub> x 2 ATP = 4 ATP | 2 ATP<br>18 ATP<br>4 ATP |
| <b>TOTAL</b>                                   |  |  | <b>38 ATP</b>            |

# Ruta Entner Doudorof



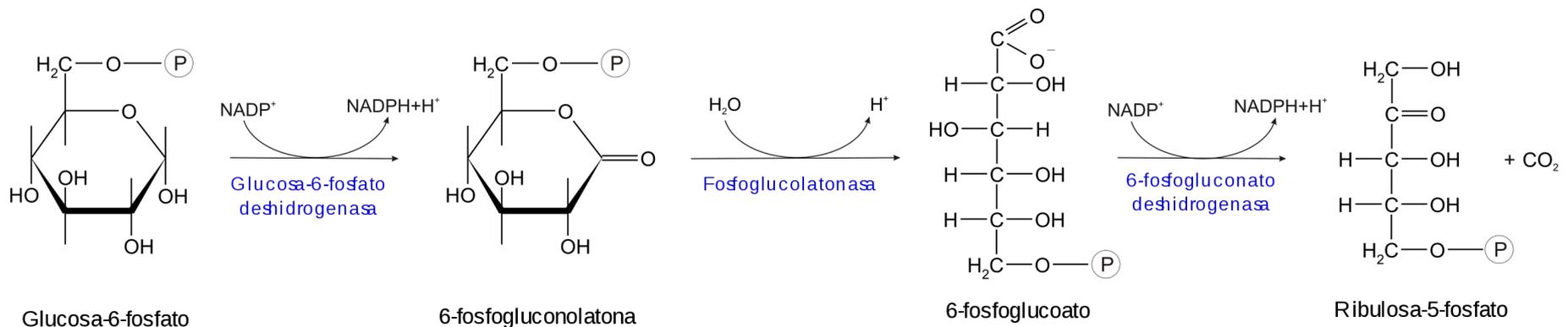
- Ruta metabólica alternativa que cataboliza glucosa a piruvato.
- La producción de energía es más baja que en la glucólisis, sólo **1 ATP**, **1 NADH** y **1 NADPH**.
- La utilizan unas pocas bacterias (procariotas) entre ellas las *pseudomonas* que no metabolizan la glucosa por la ruta de la glucólisis.



# Ruta de las Pentosas Fosfato



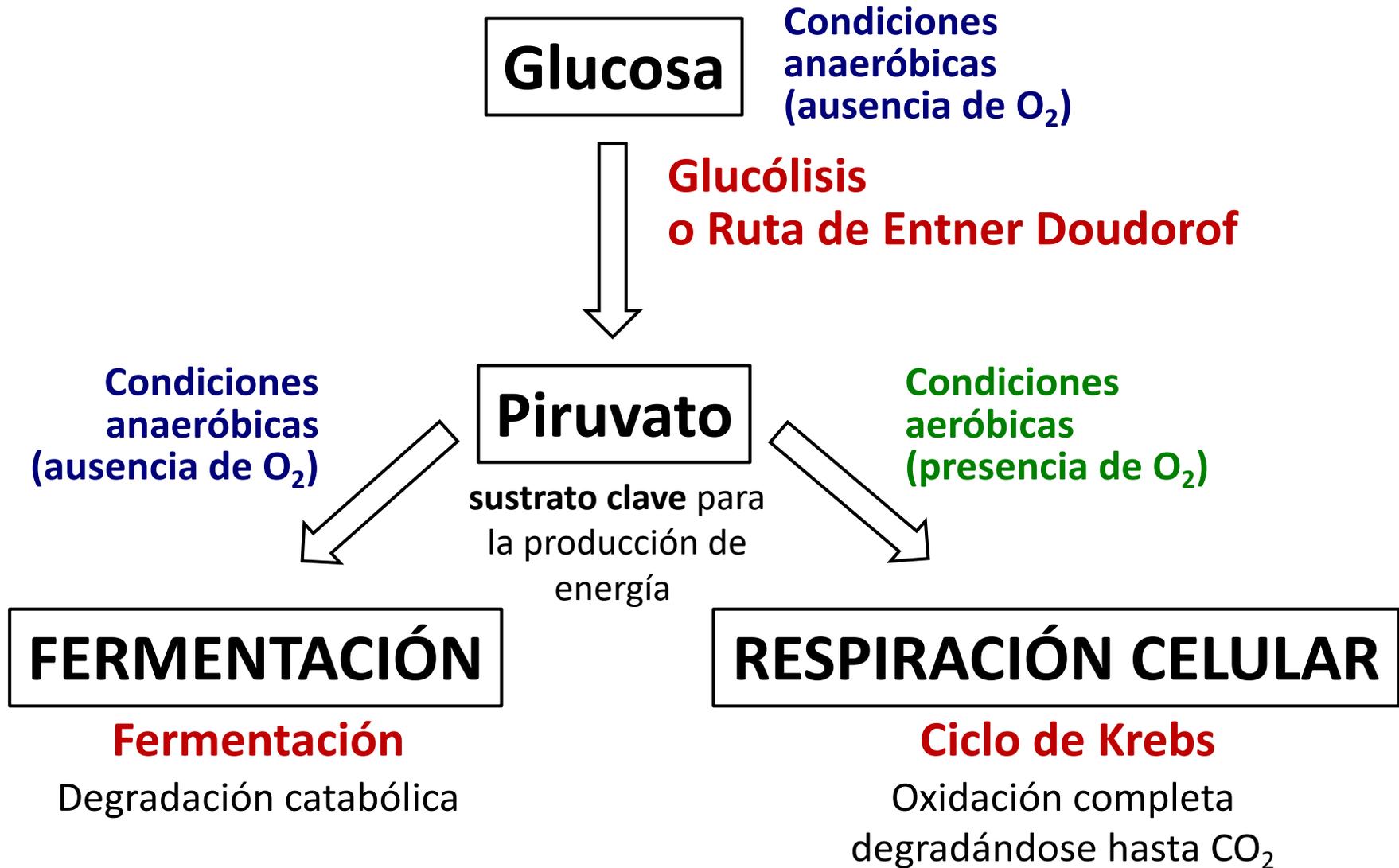
- Se diferencia de la glucólisis en que los compuestos intermedios son pentosas de fosfato.
- Como mecanismo generador de ATP es menos eficiente que la glucólisis.**
- Su principal función es el aporte de **NADPH** para reacciones biosintéticas (anabólicas).



# Obtención de Precursores Metabólicos

| <b>Precursores Metabólicos</b> | <b>Ruta en la que se producen</b> |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Glucosa-6-fosfato              | <b>Glucólisis</b>                 |
| Fructosa-6-fosfato             | <b>Glucólisis</b>                 |
| Triosa fosfato                 | <b>Glucólisis</b>                 |
| 3-fosfoglicerato               | <b>Glucólisis</b>                 |
| Fosfoenol piruvato             | <b>Glucólisis</b>                 |
| Piruvato                       | <b>Glucólisis</b>                 |
| Acetil-Co-A                    | <b>Ciclo de Krebs</b>             |
| $\alpha$ -cetogluturato        | <b>Ciclo de Krebs</b>             |
| Succinil-CoA                   | <b>Ciclo de Krebs</b>             |
| Oxalacetato                    | <b>Ciclo de Krebs</b>             |
| Ribosa-5-fosfato               | <b>Pentosa fosfato</b>            |
| Eritrosa fosfato               | <b>Pentosa fosfato</b>            |

# Importancia del Piruvato



# Fermentación

En la mayoría de los procesos biotecnológicos de producción de alimentos los microorganismos transforman la materia prima en un proceso metabólico denominado **fermentación**.

**La fermentación es un proceso catabólico,** mediante el que se oxida materia rica en glúcidos, produciendo moléculas más pequeñas y **generando energía** para el organismo que la realiza.

**En 1870, Louis Pasteur** demostró que la **fermentación** es causada por el crecimiento de microorganismos

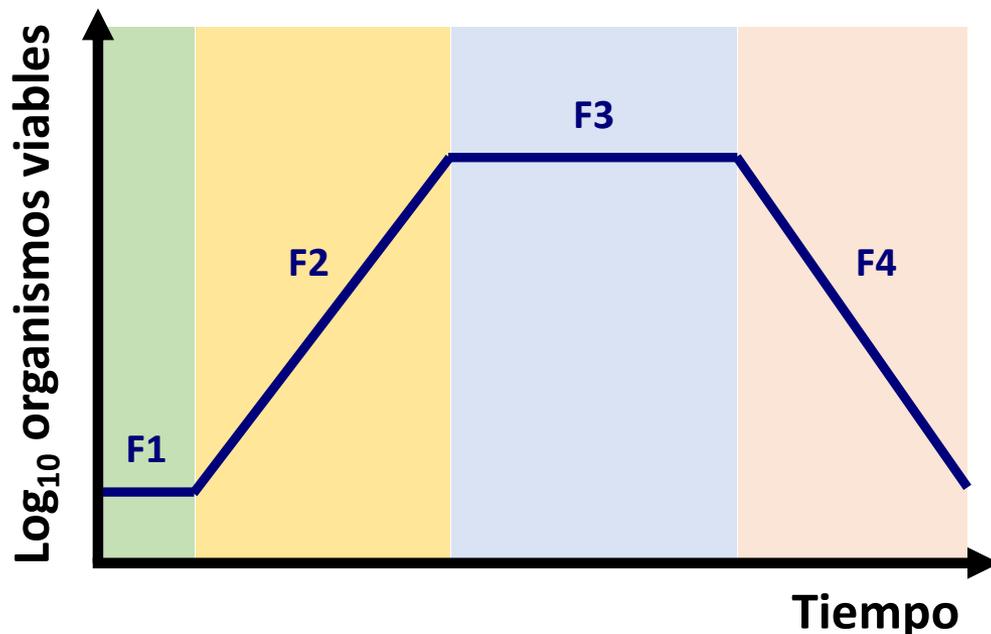
# Tipos de Fermentación

| Fermentación | Microorganismo | Productos   | Alimento  |
|--------------|----------------|---|---|
| Alcohólica   | Levadura       | Etanol y CO <sub>2</sub>  | Vinos, cerveza, licores, bebidas destiladas, pan                                |
| Láctica      | Bacterias      | Ácido láctico   | Yogur, suero de leche, quesos, mantequilla, encurtidos, embutidos               |
| Acética      | Bacterias      | Ácido acético   | Vinagre   |
| Propiónica   | Bacterias      | Ácido propiónico, ácido acético, CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> | Agujeros de ojo del queso emmental  |
| Butírica     | Bacterias      | Ácido butírico, butanol, acetona, isopropanol y CO <sub>2</sub>   | Olores pútridos, mal olor del vino alterado, mantequilla rancia, olor del queso |

# Crecimiento microbiano

## Curva de crecimiento microbiano

Cuando una célula microbiana se encuentra en un ambiente adecuado comienza en primer lugar un **crecimiento individual** (aumento de su masa y volumen) y, después, un **crecimiento poblacional** (divisiones celulares).



### F1: Latencia

Se inoculan los microorganismos en el medio de cultivo y se adapta al ambiente

### F2: Exponencial

Crecimiento tanto de masa como en tamaño poblacional exponencial

### F3: Estacionaria

Crecimiento autolimitado en un cultivo cerrado si no hay aportes de nutrientes

### F4: Muerte

Pérdida irreversible de la capacidad de multiplicarse en cualquier medio

# Factores que afectan al crecimiento microbiano

## Nutrientes y factores de crecimiento

Nutrientes que se encuentran disueltos en el medio de cultivo que aportan los elementos químicos necesarios.

## Concentración de oxígeno molecular

Microorganismos aerobios (requieren  $O_2$  para crecer) y anaerobios (no  $O_2$ ).

## Solutos y actividad de agua

Los microorganismos necesitan agua para crecer. Valores óptimos de la actividad del agua dependiendo del microorganismo (bacterias, levaduras y mohos).

## pH

La mayoría de los microorganismos crecen en rangos de pH muy estrechos. Modificar el pH influye en la velocidad de crecimiento.

## Temperatura

Temperatura óptima que genera la mayor velocidad de crecimiento.