FUENTES DE CARBONO

- **A)INORGANICAS:**
  - CO_2
  - $CO_3^{=}$
  - HCO_3^{-}
- **B)ORGANICAS**
  - **MONOSACARIDOS**
    - Pentosas
    - Desoxiazucares
    - Hexosas
    - Azucares ácidos
    - Azucares alcoholes
  - **DISACARIDOS**
  - **AMINOACIDOS**
  - **COMPUESTOS AROMATICOS**
  - **LIPIDOS**
  - **ALCOHOLES**
  - **HIDROCARBUROS**
  - **COMPUESTOS CICLICOS LIBRES DE N**
  - **COMPUESTOS CICLICOS NITROGENADOS**

F U E N T E S D E E N E R G I A

-Según la fuente de energía que utilizan, los microorganismos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

I.-**F O T O T R O F O S:** Organismos cuya fuente de energía es la radiación -- solar, la cual son capaces de convertirla en energía química en forma de ATP mediante un mecanismo de -- fotofosforilación ciclica o no ciclica que sucede durante la FOTOSINTESIS. Son **AUTOTROFOS.**

Requieren de un donador de electrones para el evento de fotosíntesis, el cual al oxidarse libera H^+ y -- electrones para reducir finalmente al $NADP^+$.

Dependiendo de la naturaleza química del sustrato -- oxidable empleado, los organismos fototrofos se pueden subdividir en:

i)**FOTOLITOTROFOS:** Aquellos organismos que para llevar a cabo la foto-- síntesis requieren de **dondadores de electrones inorgánicos reducidos** como el H_2O, H_2S, $H_2S_2O_3$, $H_2,SO_3^{=}$.

Utilizan al CO_2 como única fuente de carbono, el --- cual es reducido a compuestos organicos como $C_n(H_2O)_n$ requiriendose para ello el ATP y NADPH+H producidos- durante la fotosíntesis.

Los microorganismos fotolitotrofos requieren factores de crecimiento como la Vitamina B12, Biotina, Tiamina en bajas concentraciones para su crecimiento.

Dentro de este grupo se incluyen:

a)**PLANTAS SUPERIORES:** Donador de electrones: H_2O, se libera O_2 durante la fotosintesis, por lo que el proceso se conoce como FOTOSINTESIS OXIGENICA.

b)**ALGAS SUPERIORES:** H_2O es el donador de electrones FOTOSINTESIS OXIGENICA

c)**BACTERIAS FOTOSINTETICAS:** H_2S es el donador de electrones. FOTOSINTESIS ANOXIGENICA, no se libera O_2 sino S°. P ejem:

1)Fam. Chlorobiaceae
2)Fam. Chromatiaceae

d)**CIANOBACTERIAS:** H_2O es el donador de electrones FOTOSINTESIS OXIGENICA

ii)**FOTOORGANOTROFOS:** (FOTOHETEROTROFOS):Aquellos organismos cuyo crecimiento depende de donadores de electrones orgánicos, los cuales ademas de servir como poder reductor, sirven tambien como fuente de carbono, aunque algunos de ellos tambien son capaces de emplear al CO_2 como fuente de carbono.

Entre los donadors de electrones empleados se encuentran:

1)Acidos Grasos
2)Acidos Orgánicos:Acetato,Butirato,Lactato,Malato
3)Alcoholes primarios
4)Alcoholes secundarios: Isopropanol
5)Carbohidratos
6)Compuestos Aromaticos

Cuando el acetato sirve como donador de electrones, tambien actua como fuente de carbono, por lo que no se requiere de CO_2. En cambio, el butirato solo sirve como donador de electrones y no como fuente de carbono, la fuente de carbono es el CO_2.

EJEMPLO: Familia: Rhodospirillaceae

II.- **Q U I M I O T R O F O S:** Organismos que obtienen su energía a partir de la oxidación de compuestos químicos inorgánicos ú orgánicos. La energía en forma de **ATP** se genera mediante **FOSFORILACION A NIVEL DE SUSTRATO ó FOSFORILACION OXIDATIVA.**

Según la naturaleza química del sustrato oxidable, los quimiotrofos se pueden subdividir en dos grupos que son:

i)**QUIMIOLITOTROFOS:** Aquellos microorganismos cuya energía en forma de **ATP** la obtienen de la oxidación de compuestos inorgánicos ó elementos, entre ellos el S°,H_2, NH_4^+, NO_2^- ,NH_2OH, Fe^{+2} y formas reducidas del azufre como el H_2S, $S_2O_3^=$, $S_2O_4^=$, $S_2O_5^=$, $S_2O_6^=$,SCN^-.

Los electrones liberados durante la oxidación de estos compuestos químicos son transferidos a una cadena de citocromos, ya que tienen un potencial redox insuficiente para reducir al $NADP^+$ó NAD^+. Durante esta transferencia de electrones hasta el O_2 (aceptor final) ocurren eventos de fosforilación para formar **ATP.** Debido a que el O_2 es requerido como aceptor final de electrones, los organismos son **AEROBIOS ESTRICTOS.** Su fuente de carbono es el CO_2,es decir, son **AUTOTROFOS.**

Para la oxidación de los compuestos mencionados no se requiere de luz esencialmente.

Dentro de este grupo se incluyen aproximadamente 30 especies de bacterias, las cuales según el sustrato oxidable que usen se subdividen en:

1)**BACTERIAS NITRIFICANTES:** Oxidan el NH_4^+ a NO_3^-

a)Las que Oxidan al NH_4^+ a NO_2^- ó el NH_2OH en NO_2^-

b)Las que Oxidan el NO_2^- a NO_3^-

2)**BACTERIAS OXIDADORAS DEL AZUFRE:**Oxidan compuestos inorgánicos de azufre, reducidos tales como el S°, H_2S, $S_2O_3^=$, $S_2O_4^=$ $S_2O_5^=$, $S_2O_6^=$ ó SCN^-. Usualmente el aceptor final de electrones es el O_2, por lo que son AEROBIOS ESTRICTOS, aunque Thiobacillus denitrificans al oxidar al Tiosulfato utiliza al NO_3^- como aceptor final de electrones, según la siguiente reacción:

$$5\ Na_2S_2O_3 + 8\ NaNO_3 + H_2O \longrightarrow 9\ Na_2SO_4 + H_2SO_4 + 4\ N_2$$

Como producto de las oxidaciones se obtiene $SO_4^=$.

3)**BACTERIAS OXIDADORAS DEL FIERRO:** Oxidan compuestos de fierro o manganeso reducidos($Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ ó $Mn^{+2} \rightarrow Mn^{+4}$),toleran bajos pH, son autotrofos y aerobios estrictos. ya que el O_2 es el aceptor final de electrones.

4)**BACTERIAS OXIDADORAS DEL HIDROGENO:** Oxidan al H_2. El aceptor final de los electrones liberados es el O_2, son AEROBIOS, y la fuente de carbono es el CO_2, son AUTOTROFOS, pero pueden crecer quimioorganotroficamente

ii)**Q U I M I O O R G A N O T R O F O S:** Organismos cuya energía la obtienen de la oxidación de compuestos orgánicos reducidos, los cuales funcionan tambien como fuente de carbono. Los electrones desprendidos durante la oxidación pueden ser transferidos al O_2 mediante una cadena de acarreadores, ocurriendo etapas de **fosforilación** produciendose **ATP;** o bien los electrones pueden ser transferidos a compuestos diferentes al oxigeno con liberación de ATP, cuando el aceptor de electrones es un compuesto orgánico el proceso se llama FERMENTACION. Aquí se incluyen la mayoria de las bacterias, levaduras, hongos, protozoarios.

CLASIFICACION DE LOS ORGANISMOS SEGUN SU FUENTE DE ENERGIA

- **FOTOTROFOS**
  - **FOTOLITOTROFAS**
    - 1.-Plantas Superiores
    - 2.-Algas
    - 3.-Bacterias Fotosintéticas
      - Fam. Chlorobiaceae
        - Chlorobium
        - Pelodictyon
        - Prosthecochloris
        - Clathrochloris
      - Fam. Chromatiaceae
        - Chromatium
        - Thiocapsa
        - Thiosarcina
        - Thiopedia
        - Thiodictyon
        - Thiospirillum
        - Ecthothiorodospira
        - Lamprocystis
        - Thiocystis
        - Amoebobacter
  - **FOTOORGANOTROFOS**
    - 1.-Bacterias Fotosintéticas:
      - Fam. Rhodospirillaceae
        - Rhodospirillum
        - Rhodomicrobium
        - Rhodopseudomonas
- **QUIMIOTROFOS**
  - **QUIMIOLITOTROFOS**
    - **I)Bacterias Nitrificantes**
      - a.-Las que oxidan el amonio a nitritos
        - Nitrosomonas
        - Nitrosococcus
        - Nitrosovibrio
        - Nitrosospira
        - Nitrosolobus
      - b.-Las que oxidan el nitrito a nitratos
        - Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus
    - **II)Bacterias oxidadoras del azufre** (Bacterias sulfureas no coloreadas)
      - Beggiatoa
      - Sulfolobus
      - Thiobacterium
      - Thiospira
      - Thiobacillus
      - Achromatium
      - Macromonas
      - Thiovolum
      - Thioploca denitrificans
      - Thiodendron
      - Thiobacillus
      - Thiomicrospira
      - Thiothrix
    - **III)Bacterias oxidadoras del fierro**
      - Sphaerotilus
      - Leptospirillum
      - Gallionella ferroxidans
      - Leptothrix
    - **IV)Bacterias oxidadoras del hidrógeno**
      - Pseudomonas
      - Micobacterias
      - Hydrogenomonas
      - Nocardias
      - Alcaligenes
  - **QUIMIORGANOTROFOS**
    - 1.-La mayoria de las bacterias
    - 2.-Levaduras
    - 3.-Hongos
    - 4.-Protozoarios
    - 5.-Animales

METABOLISMO DE LOS COMPUESTOS INORGANICOS EN LOS QUIMIOLITOTROFOS

I) BACTERIAS NITRIFICANTES: a) Las que oxidan el amonio a nitritos

$$NH_4^+ + 2\,O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2\,H_2O$$

Donador de Electrones — Aceptor de Electrones

$$NH_2OH + O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + H^+$$

b) Las que oxidan el nitrito a nitratos

$$NO_2^- + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow NO_3^-$$

Donador de Electrones — Aceptor de Electrones — Producto del metabolismo

$$\left.\begin{matrix} NO_2^- + H_2O \\ NO_3^- + 2H^+ \end{matrix}\right\} \rightarrow 2\,\bar{e} \longrightarrow \text{cit c} \longrightarrow \text{cit a.a}_1 \rightarrow \begin{matrix} H_2O \\ \tfrac{1}{2}\,O_2 + 2H^+ \end{matrix}$$

ADP + Pi → ATP

II) BACTERIAS OXIDADORAS DEL AZUFRE

$$8\,S^{\circ} + 12\,O_2 + 8\,H_2O \longrightarrow 8\,H_2SO_4$$

$$H_2S + 2\,O_2 \longrightarrow H_2SO_4$$

$$Na_2S_2O_3 + 2\,O_2 + H_2O \longrightarrow Na_2SO_4 + H_2SO_4$$

$$Na_2S_4O_6 + 3.5\,O_2 + 3\,H_2O \longrightarrow Na_2SO_4 + 3\,H_2SO_4$$

$$Na_2S_3O_6 + 2\,O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow Na_2SO_4 + 2\,H_2SO_4$$

$$NaSCN + 4\,O_2 + 4\,H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + 2\,CO_2 + 2NH_3 + Na_2SO_4$$

III) BACTERIAS OXIDADORAS DEL FIERRO

$$4\,FeSO_4 + 2\,O_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2\,Fe(SO_4)_3 + H_2O$$

$$4\,FeCO_3 + 6\,H_2O + O_2 \longrightarrow 4\,Fe(OH)_3 + 4\,CO_2$$

IV) BACTERIAS OXIDADORAS DEL HIDROGENO

$$H_2 + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow H_2O$$

$$\left.\begin{matrix} H_2 \\ 2H^+ \end{matrix}\right\} 2\bar{e} \longrightarrow NAD^+ \longrightarrow Fp \longrightarrow CoQ \longrightarrow \text{cit b} \longrightarrow \text{cit c} \longrightarrow \text{cit a} \rightarrow \begin{matrix} H_2O \\ \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^+ \end{matrix}$$

$$4\,H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

FUENTE DE FOSFORO

El fosforo es indispensable para que los microorganismos sinteticen:

A)ACIDOS TEICOICOS presentes en la pared celular
B)ACIDOS LIPOTEICOICOS asociados con membrana
C)FOSFOLIPIDOS de membrana interna y externa
D)PLASMALOGENOS
E)NUCLEOTIDOS (ATP, GTP, CTP, UTP, etc)
F)AZUCARES-NUCLEOTIDOS indispensables como precursores durante la sintesis de capsulas, lipopolisacárido, peptidoglicana.
G)VITAMINAS: Pirofosfato de tiamina, fosfato de piridoxal, que funcionancomo cofactores de ciertas enzimas.
H)$NADP^+$, NAD^+, FAD^+, Flavinas.

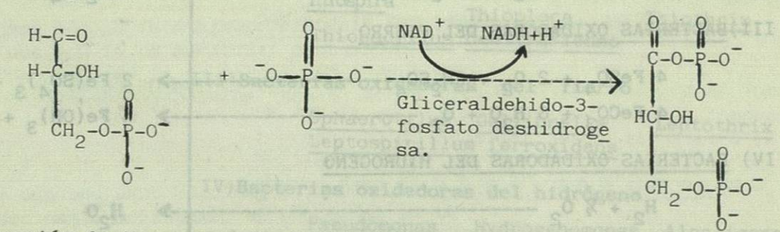
En los medios de cultivo sinteticos, el fósforo es adicionado en forma de sales inorgánicas de potasio o de sodio como KH_2PO_4 y K_2HPO_4, estas dos sales funcionan ademas como reguladoras del pH externo.

En los medios de cultivo complejos, como los que contienen extracto de levadura ; el fosfato proviene de la hidrólisis de los acidos nucleicos de la levadura.

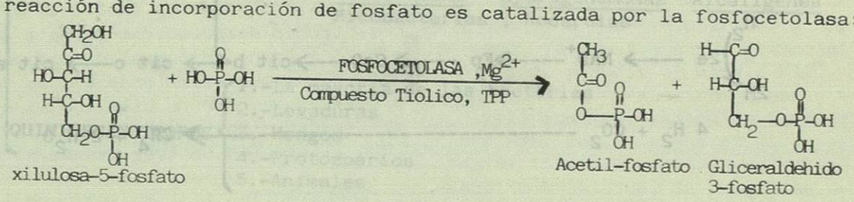
El fósforo como **FOSFATO** en un estado de oxidación de +5, no requiere de reducción para su incorporación en los compuestos orgánicos.

El fosfato es esencial par las reacciones de fosoforilación del ADP ya sea a través de fosforilación a nivel de sustrato, fosforilación oxidativa o -- fotofosforilación.

En glicolisis ocurre una reacción donde el fosfato es incoroporado en el -- gliceraldehido-3-fosfato para formar el acido 1,3 difosfoglicérico, como se muestra enseguida:



Otra reacción de incorporación de fosfato es catalizada por la fosfocetolasa:



FUENTES DE NITROGENO

-La utilización tanto de nitrógeno orgánico como inorgánico da como resultado la síntesis de glutamato y glutamina, intermediarios metabólicos que distribuyen su nitrógeno en la síntesis de aminoácidos, aminoazúcares, vitaminas,- purinas y pirimidinas, compuestos que a su vez participan en la síntesis de- macromoléculas como ácidos nucléicos, heteropolisacáridos, proteínas, lípi-- dos.

-El nitrógeno (N_2) es el elemento más abundante en la atmosfera terrestre, representa el 80% de los gases que la forman; sin embargo, las plantas y los - animales son incapaces de utilizarlo como fuente nitrógeno, solamente ciertos microorganismos pueden hacerlo, a ellos se les designa **FIJADORES DE NITROGENO.** Dichos organismos reducen al N_2 (estado de oxidación = 0) a NH_4^+ (estado de oxidación = -3), que es la forma como el nitrógeno se encuentra en los - compuestos orgánicos.

-Los Microorganismos fijadores de nitrógeno son:

I.- BACTERIAS

a)En asociación simbiótica:
- Rhizobium - Leguminosas
- Franckia - No Leguminosas

b)De vida libre, aerobias.
- Azotobacter vinelandii
- Beijerinckia
- Derxia
- Achromobacter
- Methanobacillus
- Pseudomonas azotogenesis

c)De vida libre, anaerobias facultativas:
- Citrobacter freundii
- Klebsiella pneumoniae
- Enterobacter aerogenes
- Bacillus pplymyxa,B.macerans, B. circulans
- Enterobacter cloacae
- Escherichia intermedia

D)De vida libre, anaerobias obligadas:
- Chromatium vinosum
- Clostridium pasteurianum
- Chloropseudomonas
- Desulphovibrio desulfuricans
- Desulphatomacolum
- Azospirillum brazilen
- Rhodospirillum rubru

II-CIANOBACTERIAS: Anabaena cylindrica , Anabaenopsis circularis, Nostoc muscorum
Tolypothrix (Todas son de vida libre)
Spirulina
Anabaena flos-aquae