

IMPORTANCIA DE BIOFILMS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Angela Cabezas

Laboratorio de Microbiología Ambiental y Biotecnología
ITRCS/UTEC



Universidad Tecnológica

The Universidad Tecnológica of Uruguay (UTEC) is a public institution with activity in national campuses across the country. Second public university.

Since 2014, UTEC offers courses and programs with a focus on technology.

The Department of Environmental Sustainability is located in Durazno city and focus on renewable energy, natural resources and agro-environmental research.



Laboratorio de Microbiología Ambiental y Biotecnología-LabMAB

Departamento de Sostenibilidad Ambiental
Grupo de Biotecnología y Química Ambiental (BiQA)

Angela Cabezas, Profesor Asociada

René Cardeña, Profesor Asociado

Patricia Bovio, Postdoc

Mariana Perroud, Maestría en biotecnología

Luciana Varela: Maestría en biotecnología

Valeria da Costa: Maestría en biotecnología

Juan Cawen: Estudiante de grado

Julieta Monzón: Estudiante de grado

Matías Urruty: Estudiante de grado



Ciclo del agua y aguas residuales



Aguas residuales

Industria	Concentración DBO mg/L
Láctea	500-4000
Mataderos	15000-20000
Vitivinícola	600-2000
Lavadero de lana	2000-5000
Doméstica	200-500
Límite máximo aceptado	60 (a curso de agua)

- Parámetros controlados: pH, OD, DBO5, aceites, grasas, detergentes, amoníaco libre, nitratos, fósforo total, sólidos suspendidos, etc.
- Vertidos líquidos industriales, Decreto 253/79 (reglamenta al Código de Aguas, Ley N° 14.859) el cual es específico para cursos de agua.

Composición de las aguas residuales

- Carbohidratos
- Proteínas
- Lípidos
- Compuestos recalcitrantes

¿Cómo los eliminamos?

Sistemas de tratamiento de efluentes

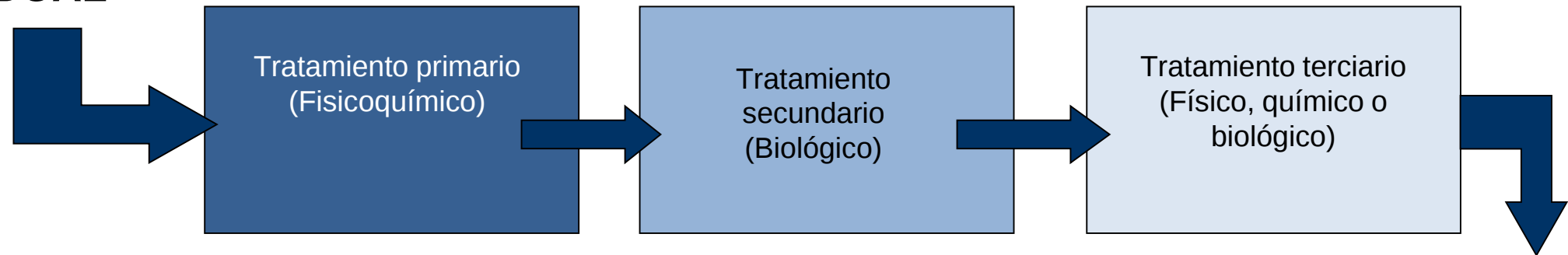
- Degradación biológica aerobia
- Degradación biológica anaerobia



Etapas para lograr un efluentes limpio

- 1) Tratamiento primario: Tratamiento físicoquímico
- 2) Tratamiento secundario: Tratamiento biológico
- 3) Tratamiento terciario: Físico, químico o biológico.

**AGUA
RESIDUAL**



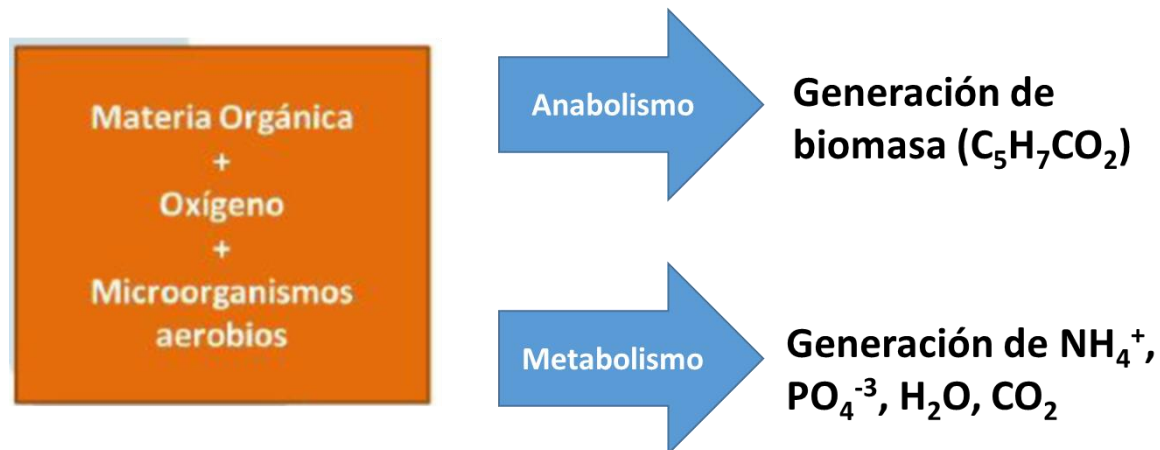
AGUA TRATADA

Sistemas de tratamiento aerobios

- Respiración aerobia

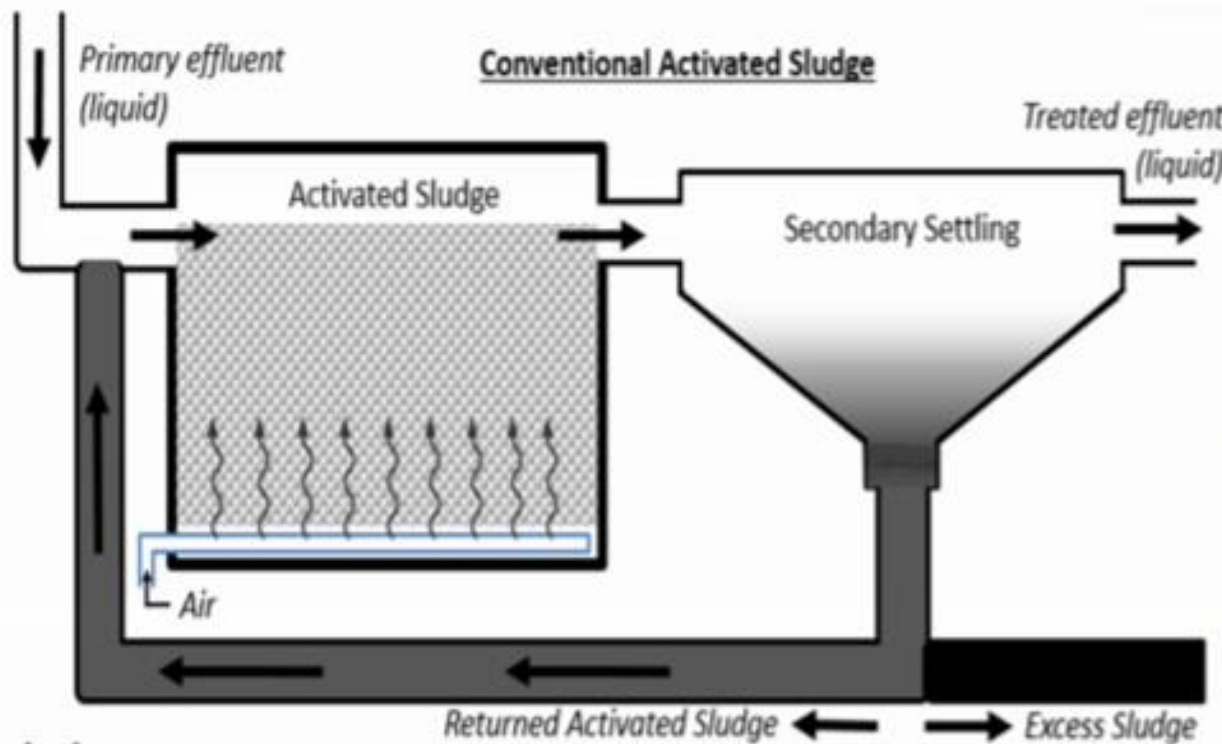


Materia orgánica + $\text{O}_2 \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Crecimiento de biomasa}$



Se gasta energía y se genera lodos

Sistemas de lodos activados

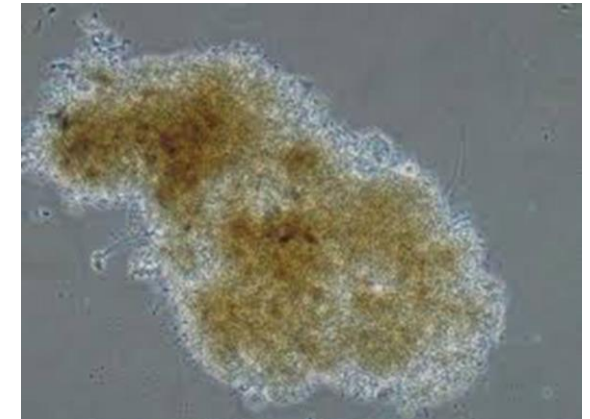
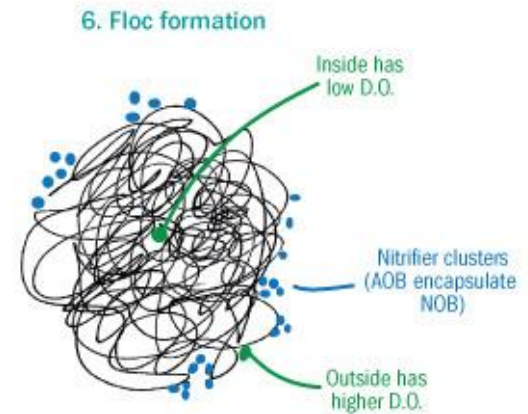


- Doble rol de los microorganismos**
- 1) Degradar la materia orgánica
 - 2) Formar estructuras sedimentables

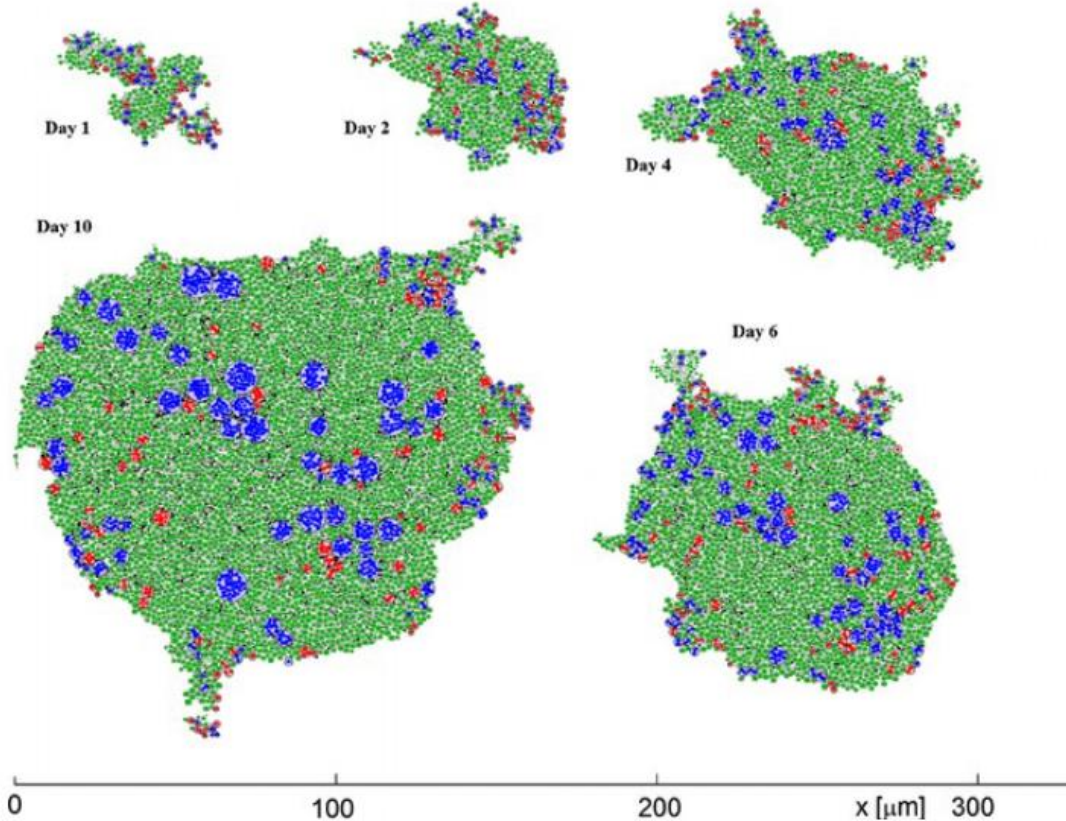
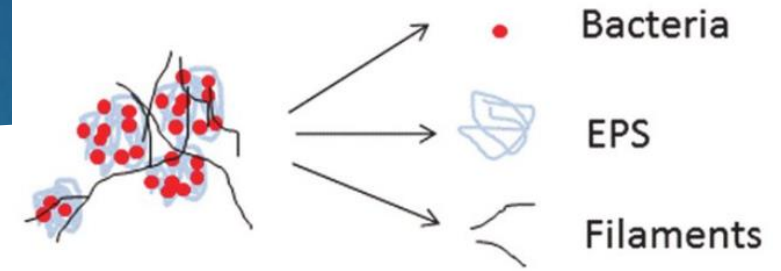


Unidad funcional de degradación: Flóculo

- En sistemas de lodos activados los organismos se agrupan formando flóculos.
- La formación de flóculos es fundamental para la sedimentación (sedimentador)
- Los flóculos se forman por una red de bacterias filamentosas a la cual se adhieren microorganismos que segregan exopolímeros.
- Hay bacterias se encuentran libres o formando parte de los flóculos.



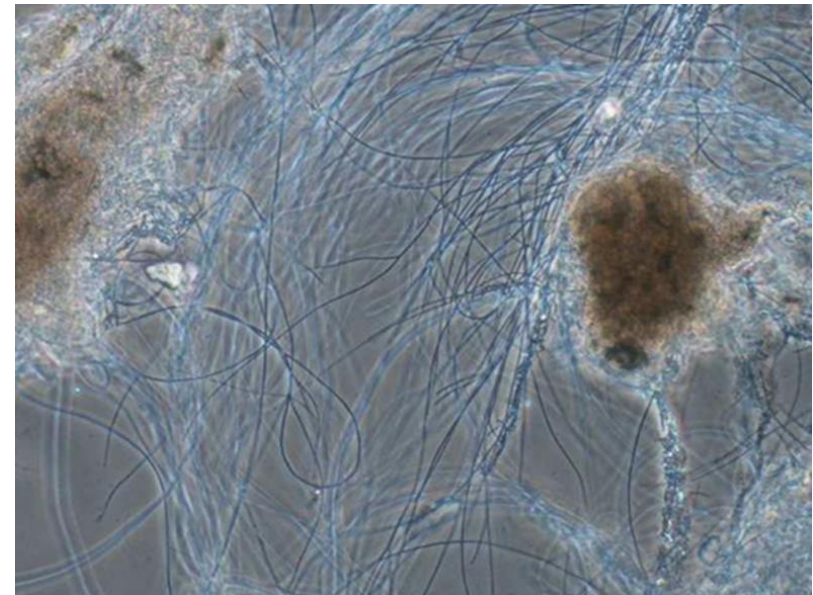
Floculación



- Como las bacterias filamentosas crecen mas lento al principio se forman flóculos pequeños y redondeados (integrados solo por bacterias formadoras de floculos)
- Al crecer los filamentos forman la red en la cual se adhieren las bacterias floculantes, estos flóculos tienen una morfología variable y son mas grandes.
- Los filamentos producen la unión de varios flóculos se producen flóculos mas grandes.

Bulking filamentoso

- Es uno de los principales problemas de sistemas de lodos activados
- El sobrecrecimiento de bacterias filamentosas causa flóculos con menor densidad que se flotan.
- El crecimiento desmedido causa un gran aumento de la biomasa del reactor.



Reactores con biomasa adherida

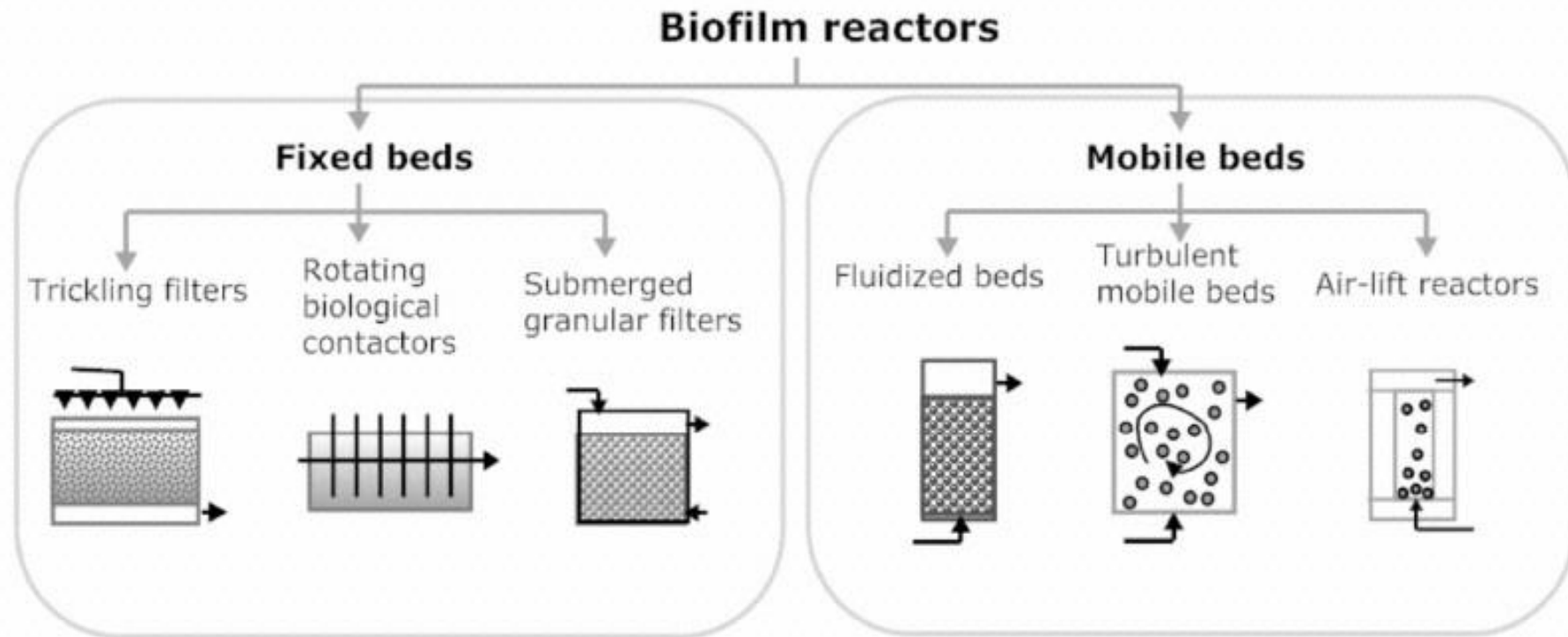
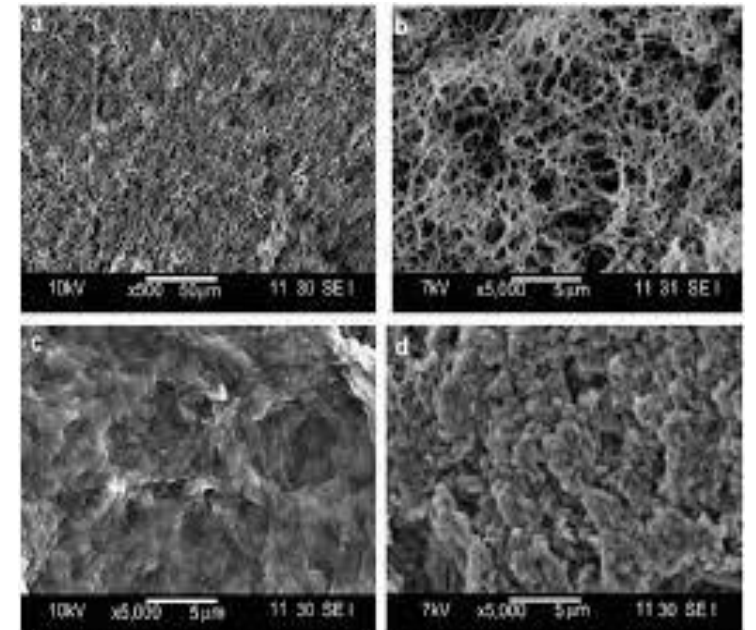


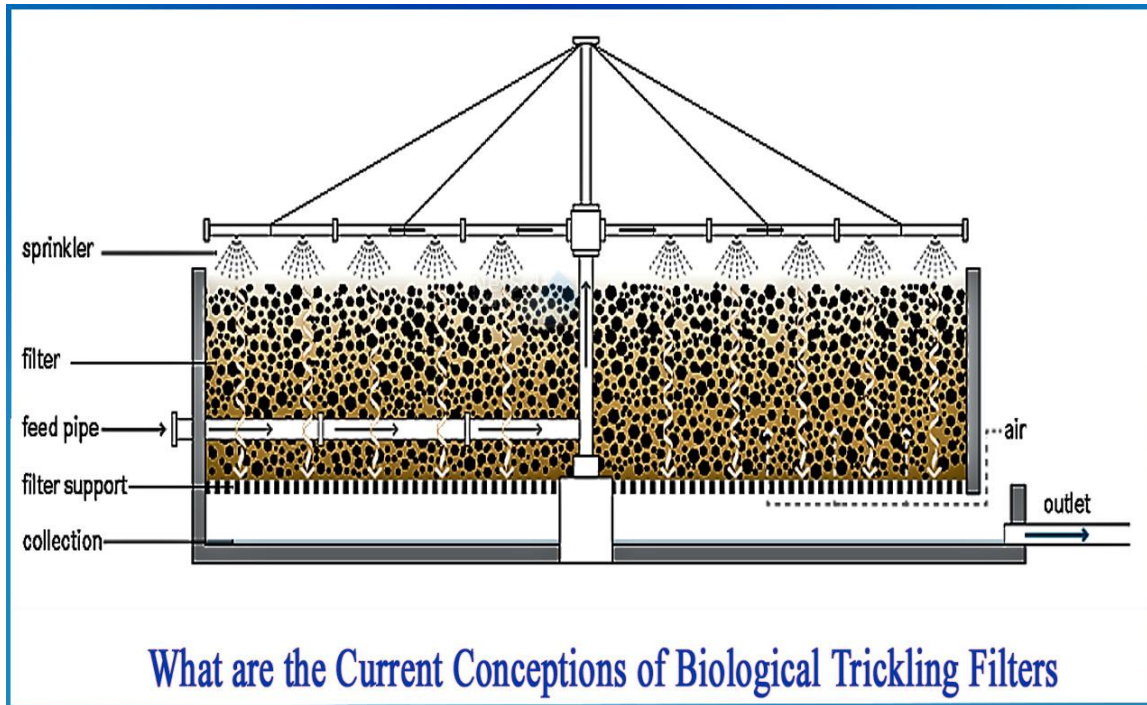
Figure 4. Overview of common configurations for biofilm wastewater treatment

Mayor cantidad de biomasa en el reactor No se necesita sedimentador externo

Reactores de biodiscos



Biofiltros



Formación de biofilms

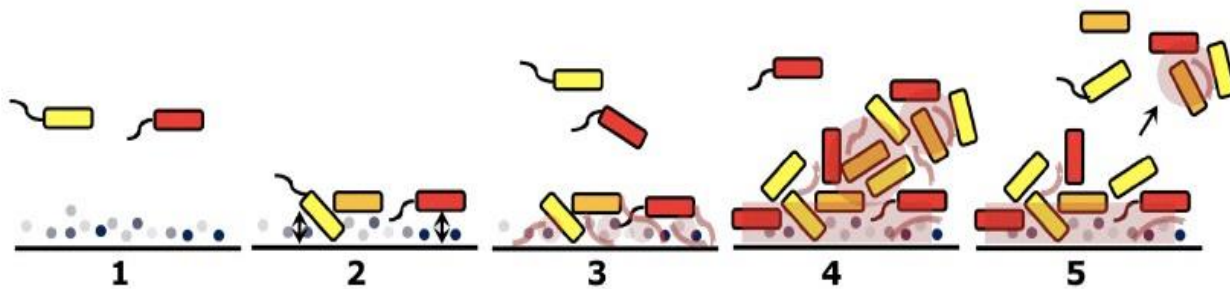
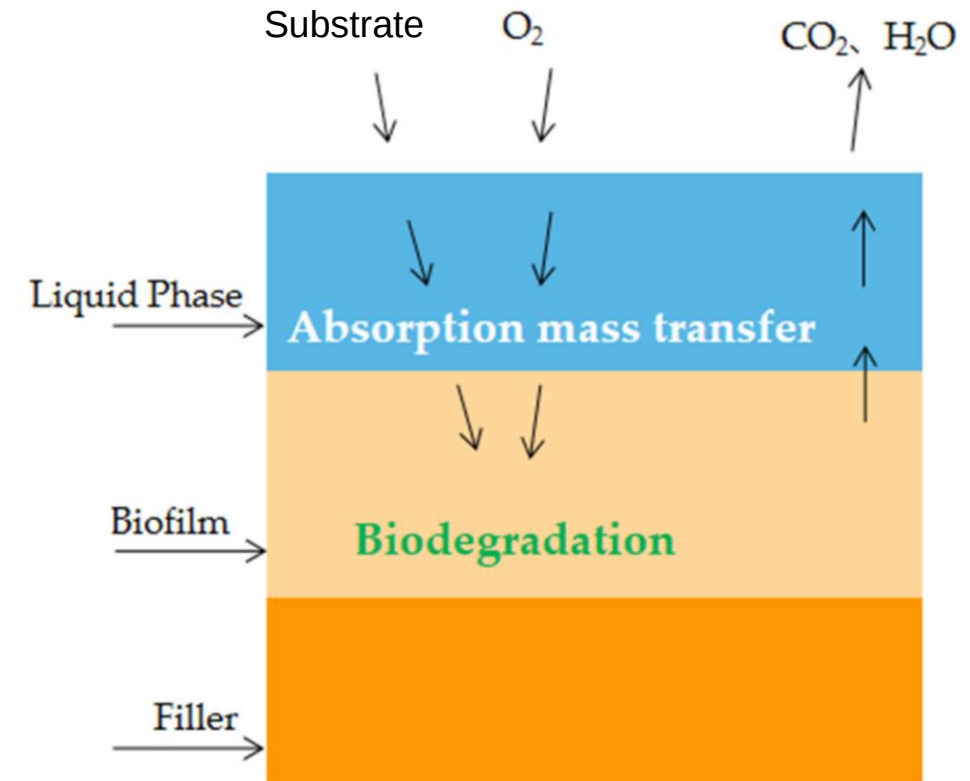


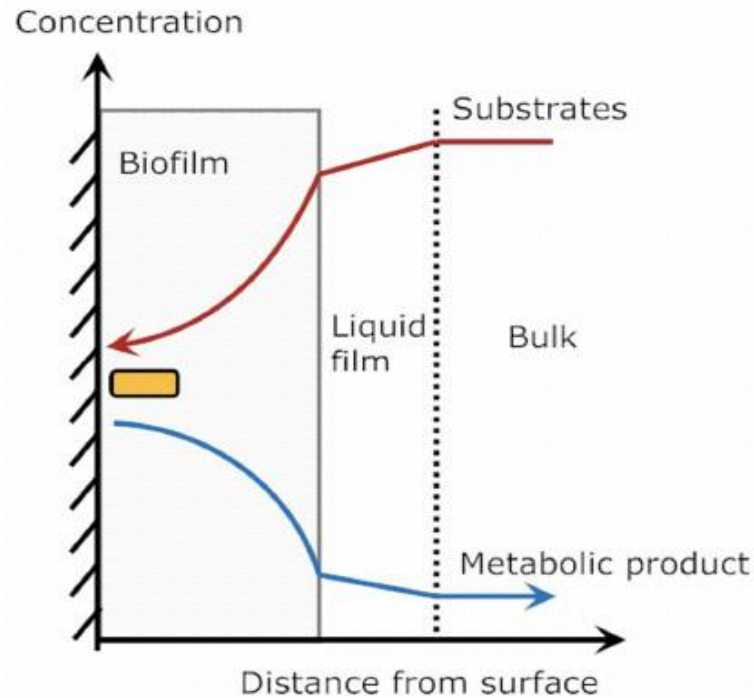
Figure 5. Schematic representation of the steps involved in biofilm formation. 1. Formation of conditioning film on the surface, 2. initial adherence of bacterial cells, 3. irreversible attachment of bacteria, 4. maturation of the biofilm, 5. detachment.

Sofia Andersson (2009): Characterization of Bacterial Biofilms for Wastewater Treatment. School of Biotechnology, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden.



La superficie selecciona el tipo de microorganismo

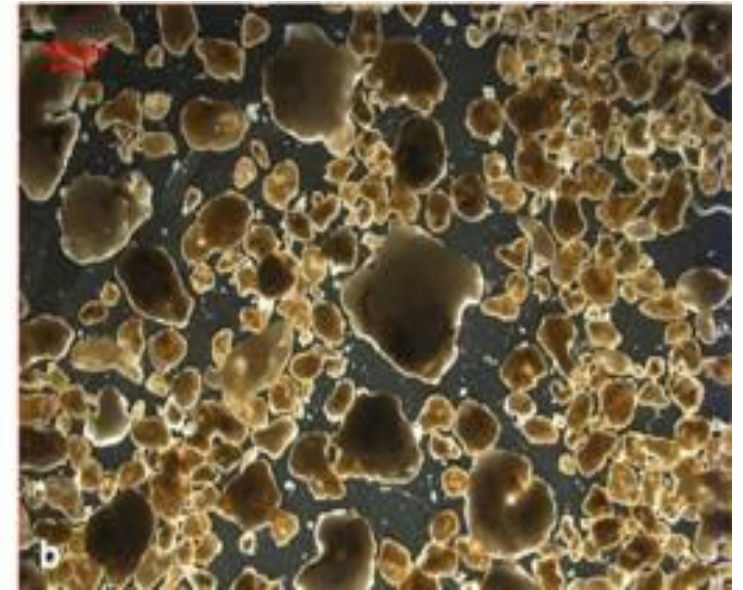
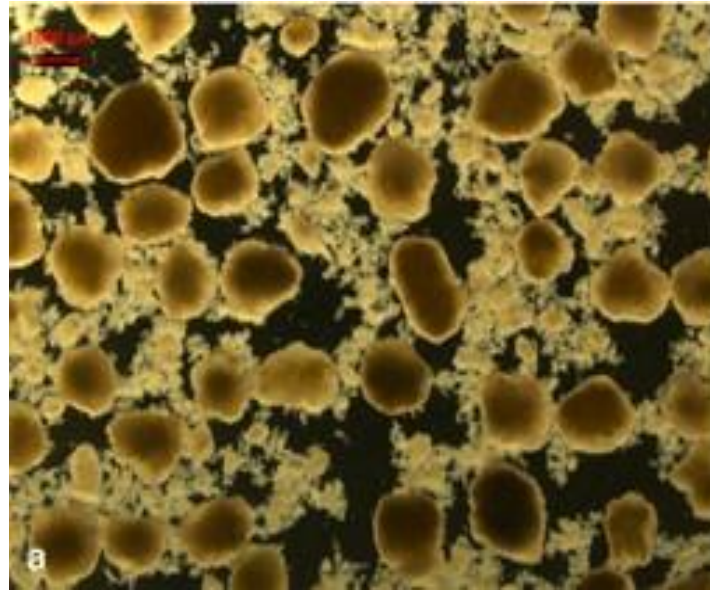
Limitaciones en el transporte de sustrato



Esta limitación puede ser utilizada para favorecer un proceso en varias etapas.

Figure 6. The transport limitations in a diffusion controlled biofilm leads to concentration gradients of both substrates and metabolic products within the biofilm, thus affecting the biofilm activity.

Gránulos aerobios



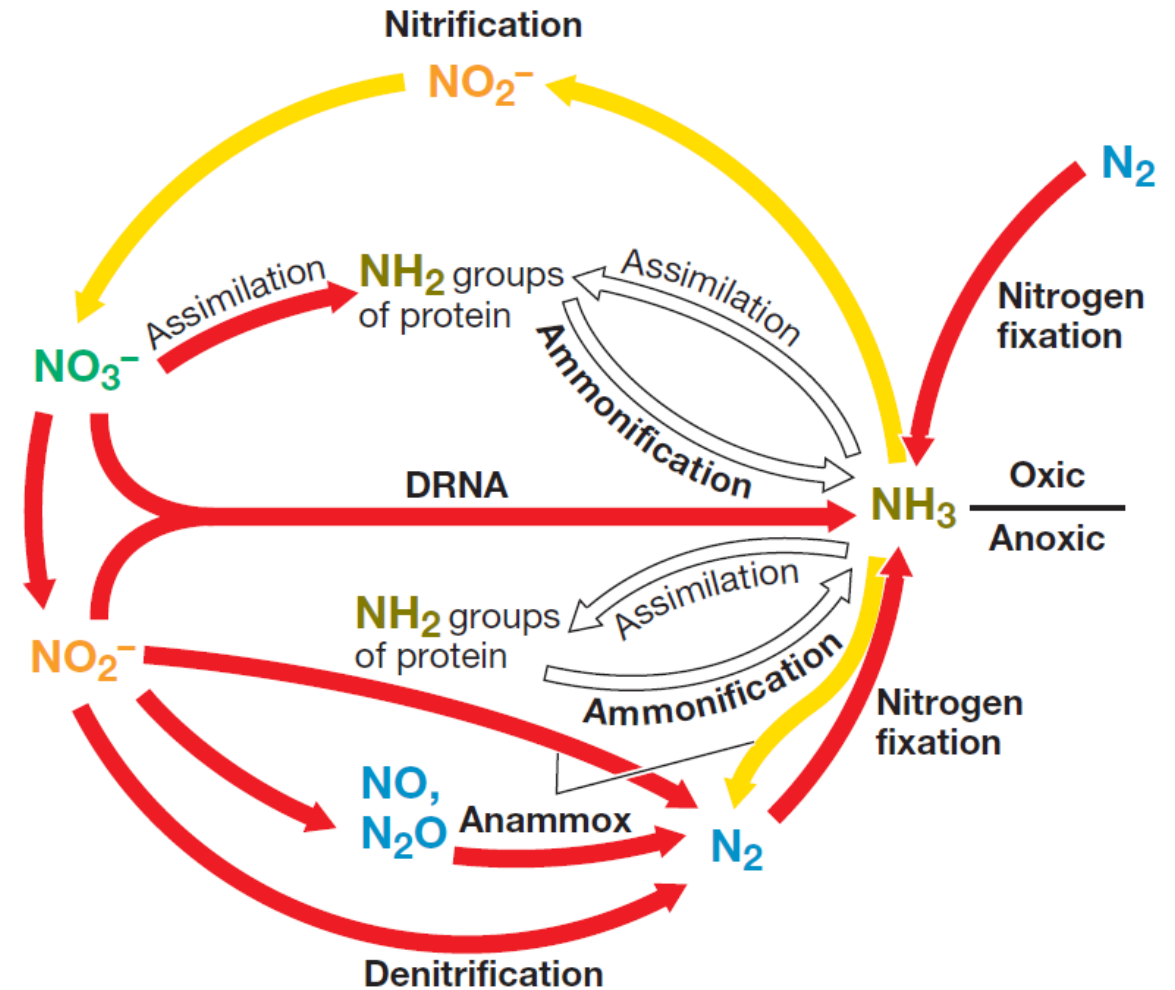
Sistemas de remoción de Nitrógeno

- Aguas residuales con alto contenido en proteínas (industria lechera, curtiembres, industria cárnica).
- Al ser tratadas en los sistemas convencionales de tratamiento liberan grandes cantidades de amonio.
- Es necesario un post-tratamiento para completar la eliminación de la contaminación y cumplir con las normas de vertido.



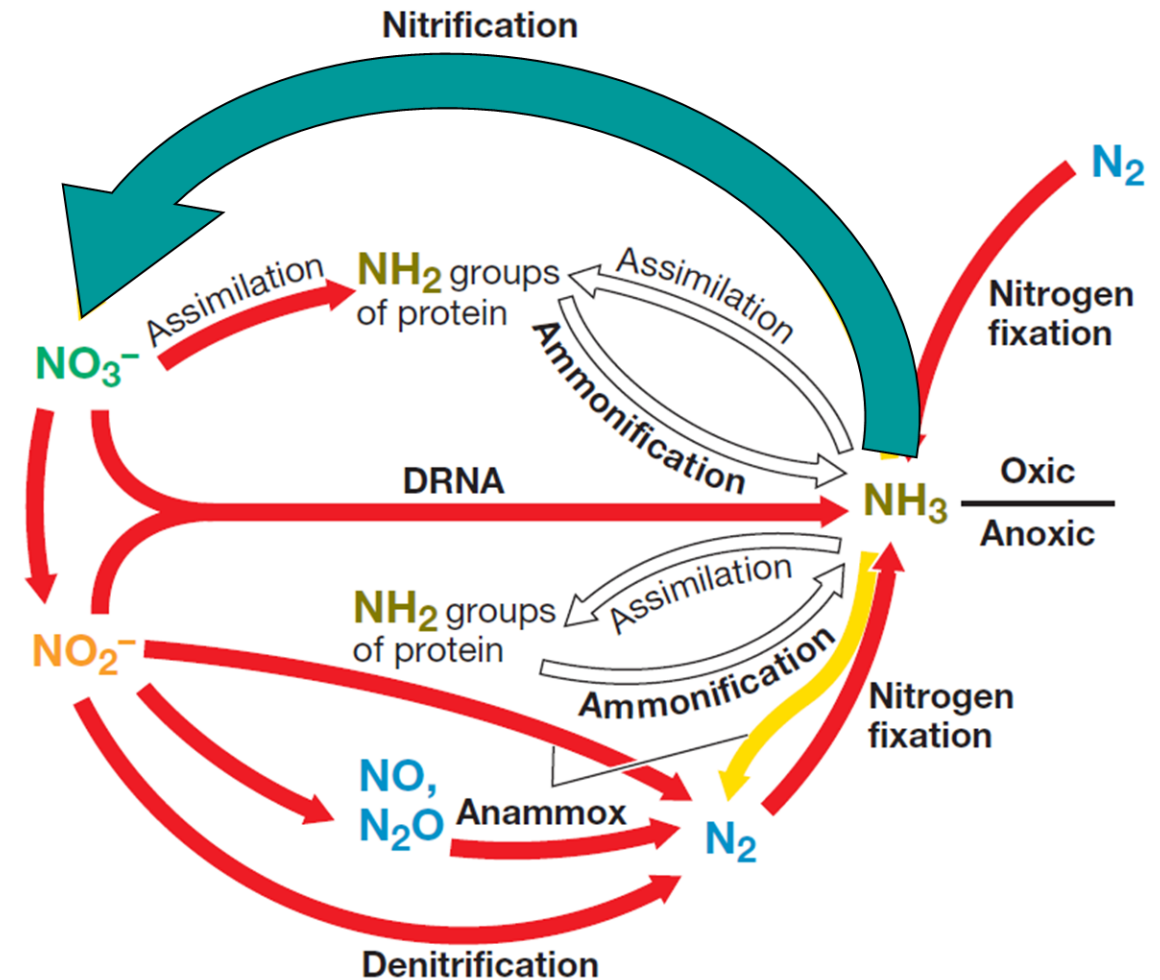
Ciclo del Nitrógeno

- Nitrificación (oxidación aerobia del amonio a nitrato)
- Desnitrificación (reducción del nitrato a N_2 en condiciones anóxicas).



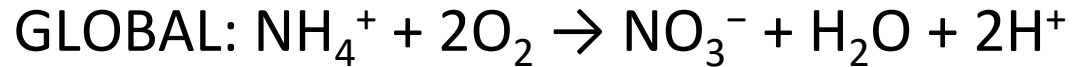
Nitrificación

- Proceso aeróbico en dos pasos oxidación de amonio y de nitrito
- Autótrofo, utilizan CO_2 como fuente de Carbono
- Bajo rendimiento celular
- Crecimiento lento
- Difícil de cultivar
- En general en baja proporción



Oxidación de amonio y nitrito a nitrato

Oxidación de amonio a nitrato



Grupos de microorganismos

Bacterias oxidadoras de amonio (AOB) (Frankland and Frankland, 1890)

Nitrosomonas (1890), *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio* (betaproteobacteria) y *Nitrosococcus* (gammaproteobacteria)

Arqueas oxidadoras de amonio (AOA) (Könneke et al., 2005)

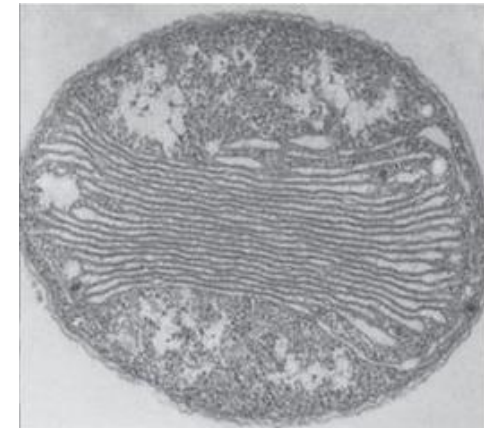
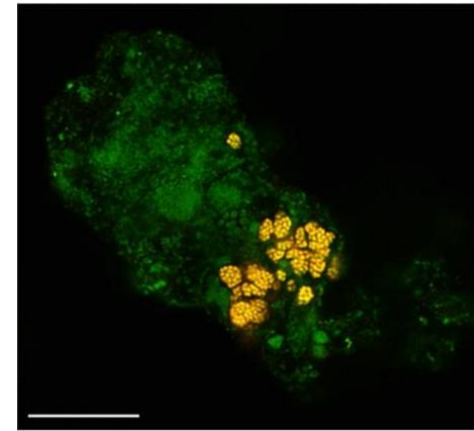
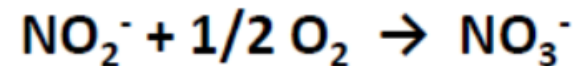
Nitrosopumilus (2005), *Nitrososphaera*, *Nitrosotalea*, *Nitrosocaldus*, *Nitrosoarchaeum*, *Nitrosotenuis* y *Nitrosocosmicus* (phylum Thaumarchaeota)

Bacterias oxidadoras nitrito (NOB) (Winogradsky, 1890)

Nitrobacter, *Nitrotoga*, *Nitrococcus*, *Nitrospina*, and *Nitrolancetus* (Alfa, Beta y gamma y delta proteobacteria), *Nitrolancetus* (Chloroflexi) y *Nitrospira* (Nitrospirae)

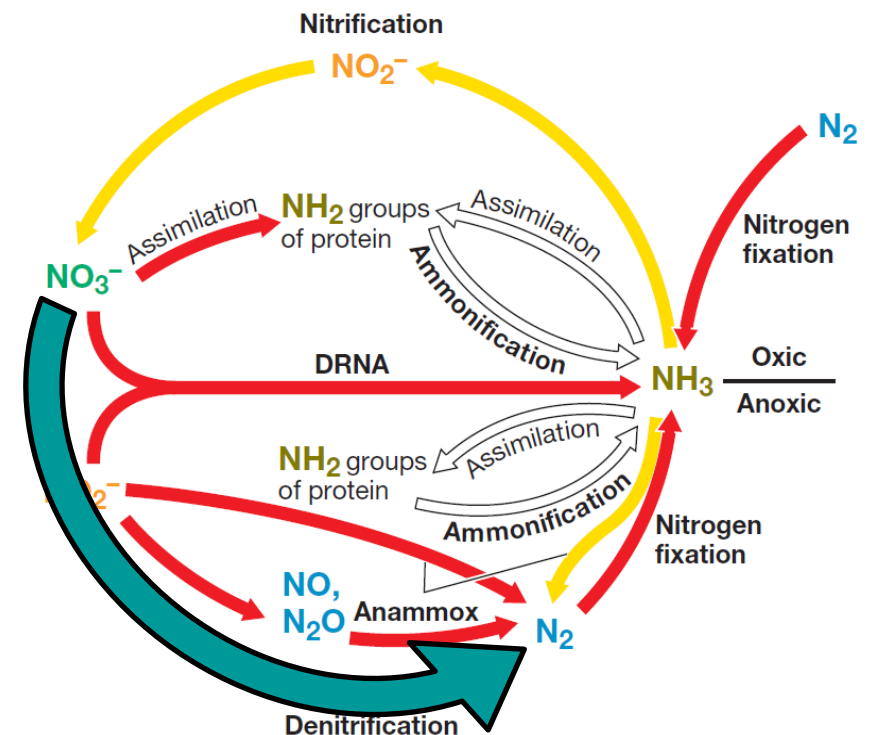
Commamox: Oxidan amonio a nitrato (Daims et al., 2015; van Kessel et al., 2015)

Nitrospira

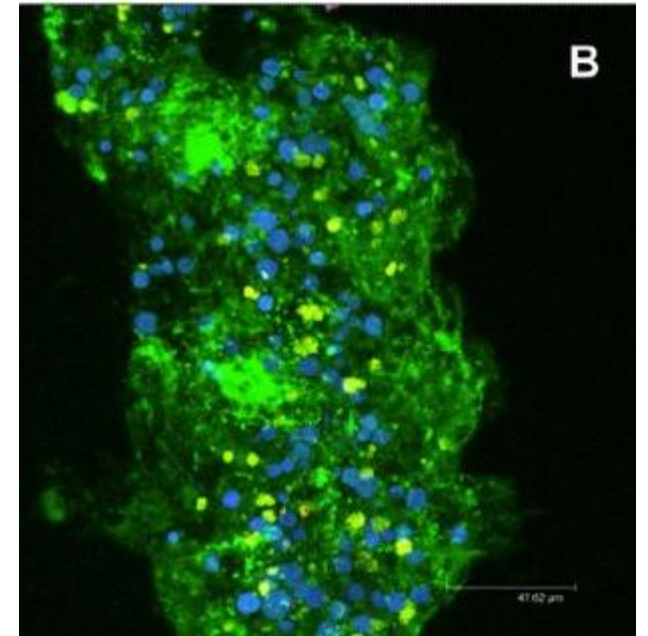


Desnitrificación

- Metabólicamente diversas
- En general son aerobias pero en condiciones anaerobias pueden respirar nitrato.
- Heterótrofas, utilizan compuestos orgánicos como dadores de electrones y fuente de carbono (acetato, succinato, etanol). Algunos puede utilizar H_2 o sulfuro
- Rendimiento celular alto, crecimiento rápido
- Alta diversidad filogenética, arqueas (2 filos) y bacterias (4 filos)
- Ampliamente distribuidas en el árbol filogenético.



¿Cómo se pueden acoplar los dos procesos?



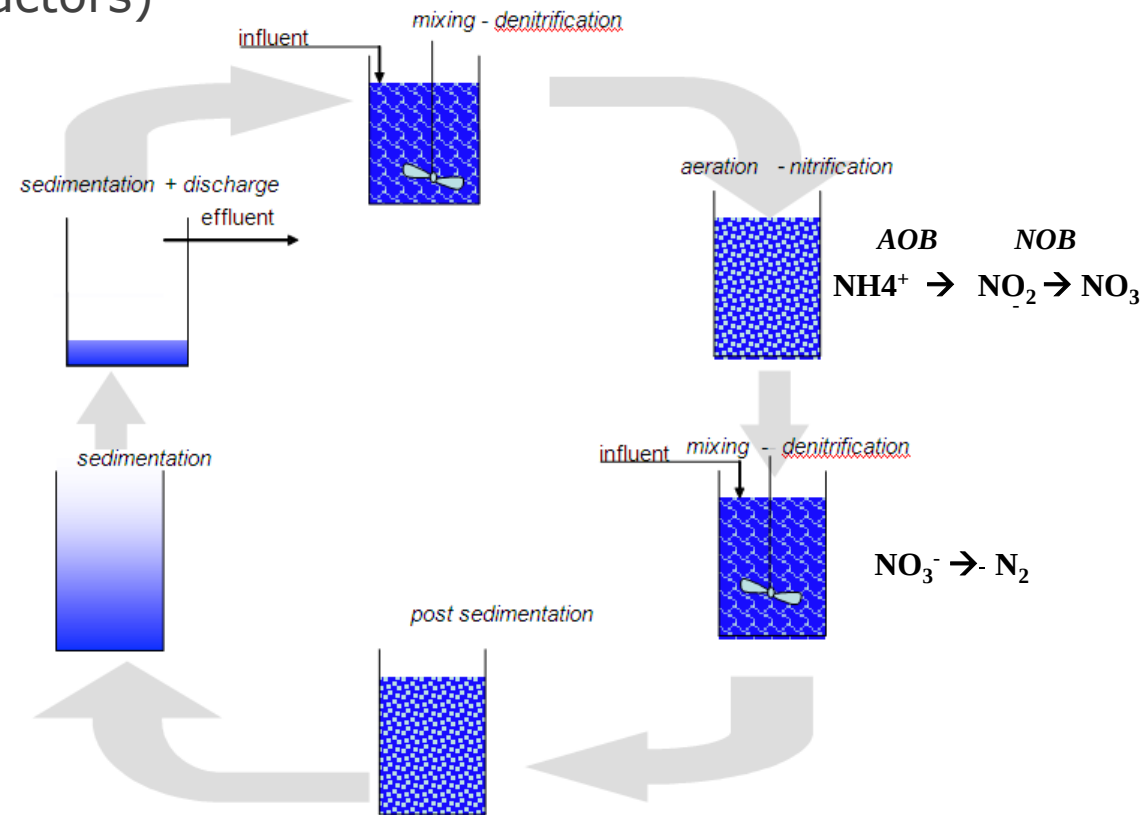
Sistemas de remoción de N

Sistemas en dos etapas

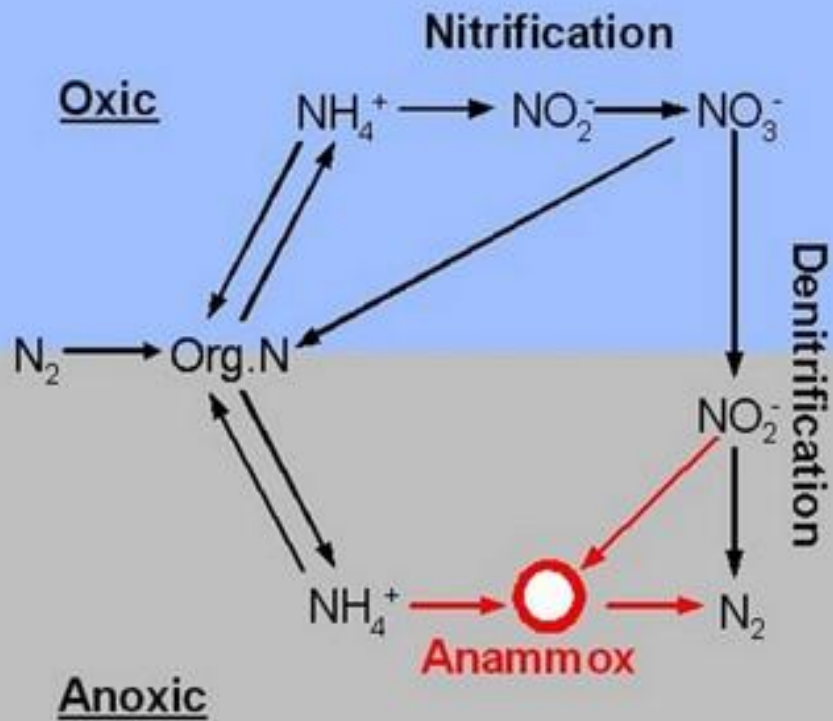


Fig. 14.7. Eliminación de nitrógeno en dos etapas (Kiely, 1999)

Sistemas SBR (sequencing batch reactors)

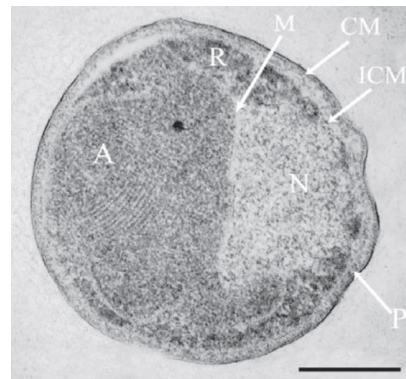


Proceso Anammox (anaerobic ammonia oxidation)



The simplified marine nitrogen cycle including the potential anammox 'sink'; Org. N: organic nitrogen.

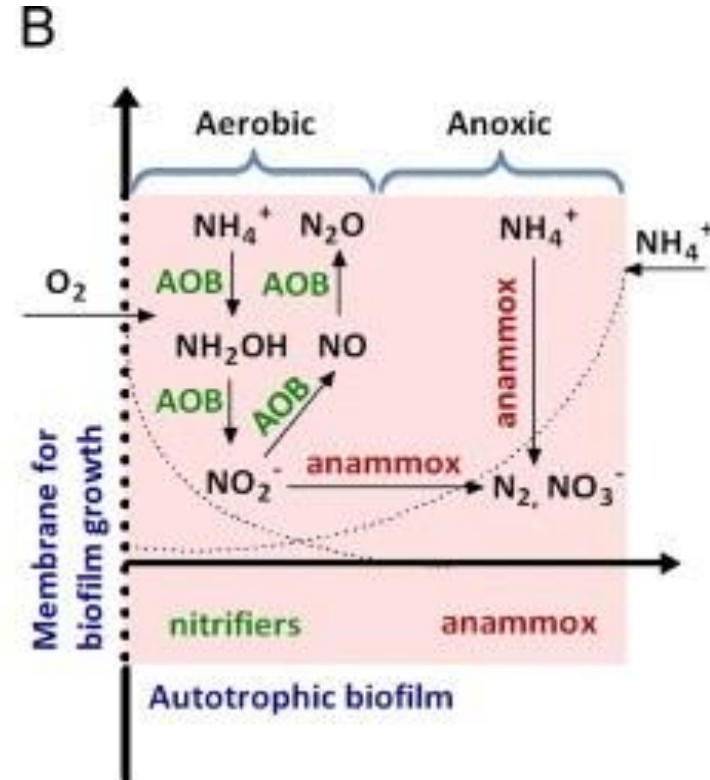
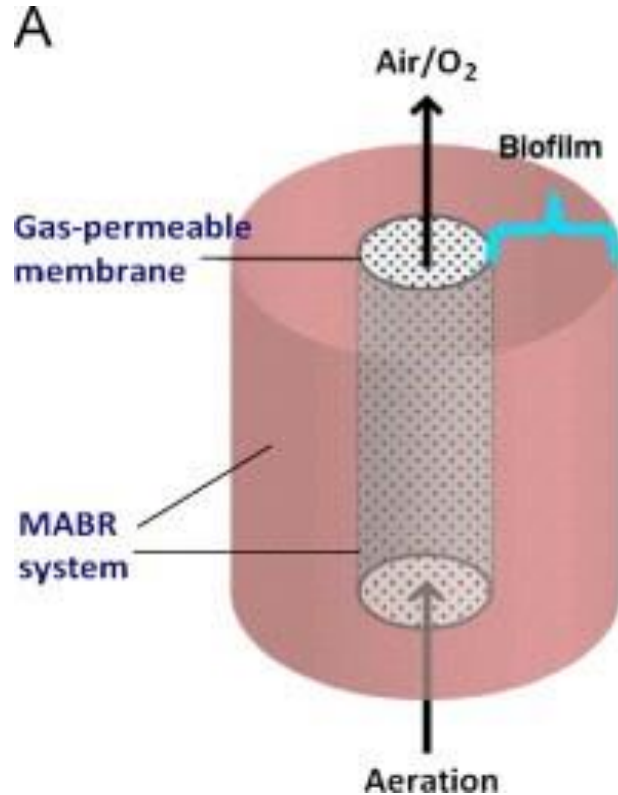
Picture: M. Kuypers



- Descubierto en 1995 en un sistema de tratamiento de efluentes desnitrificante
- Se identificó la primer bacteria en 1999.
- Bacterias anaerobias estrictas
- Pertenecen al filo Planctomycetota
- Es necesario tener nitrito y amonio en la proporción correcta.
- Ahorro de aireación
- Proceso autótrofo
- No se debe agregar materia orgánica

Sistemas combinados

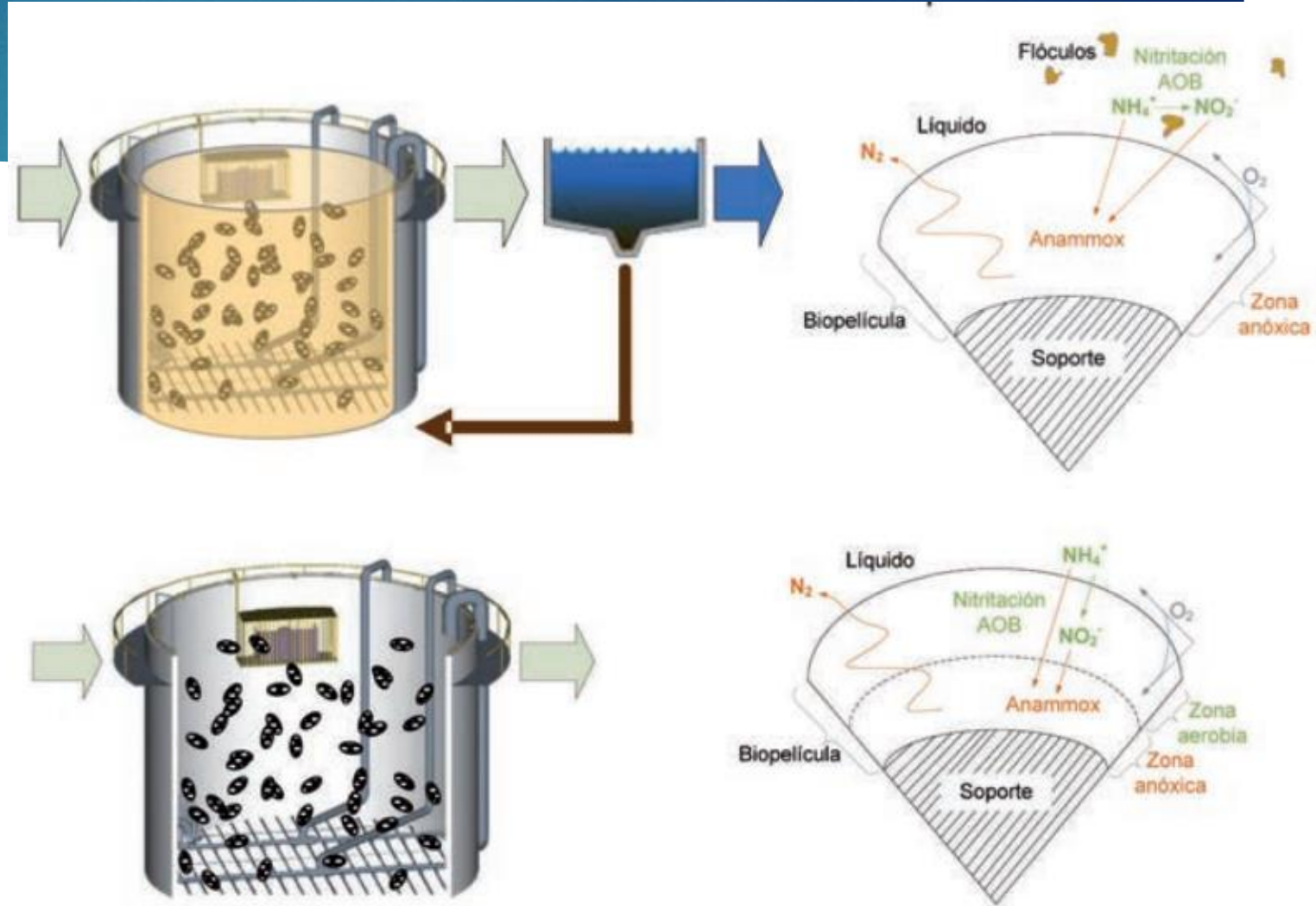
Sistema de aeración tubular



Sistemas combinados

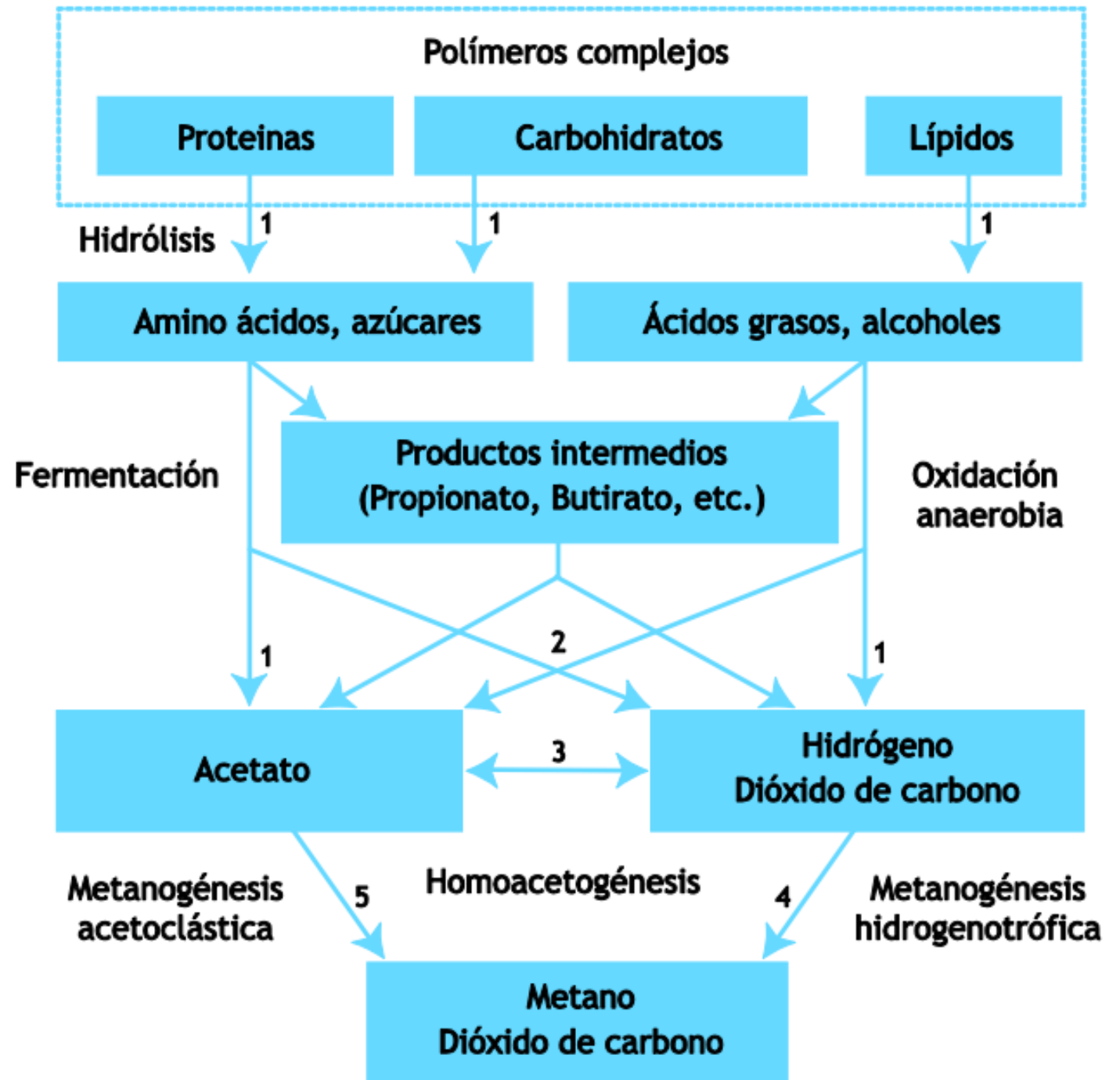


Anita™ Mox



Tratamiento anaerobio de aguas residuales

- 1: **Fermentadores** primarios (bacterias hidrolíticas y fermentadoras)
- 2: **Fermentadores** secundarios (Bacterias acetogénicas sintróficas)
- 3: SAOB: **Bacterias** oxidadoras de acetato sintróficas y **Bacterias** homoacetogénicas
- 4: **Arqueas** metanogénicas hidrogenotróficas
- 5: **Arqueas** metanogénicas acetoclásticas



Reactores metanogénicos

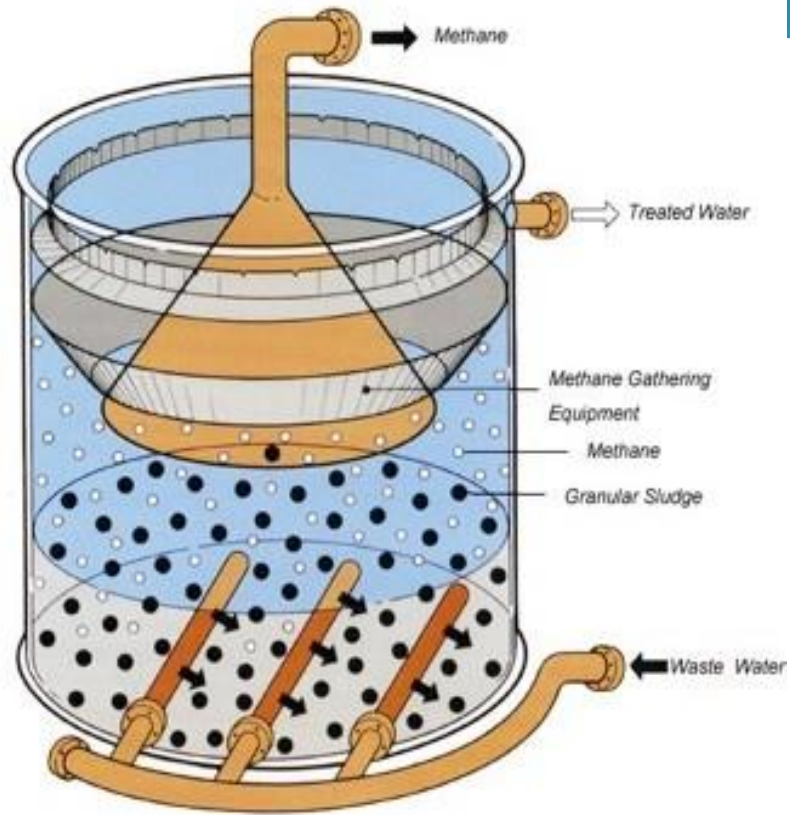


No se utiliza energía para airear

Se genera bioenergía (Biogas)

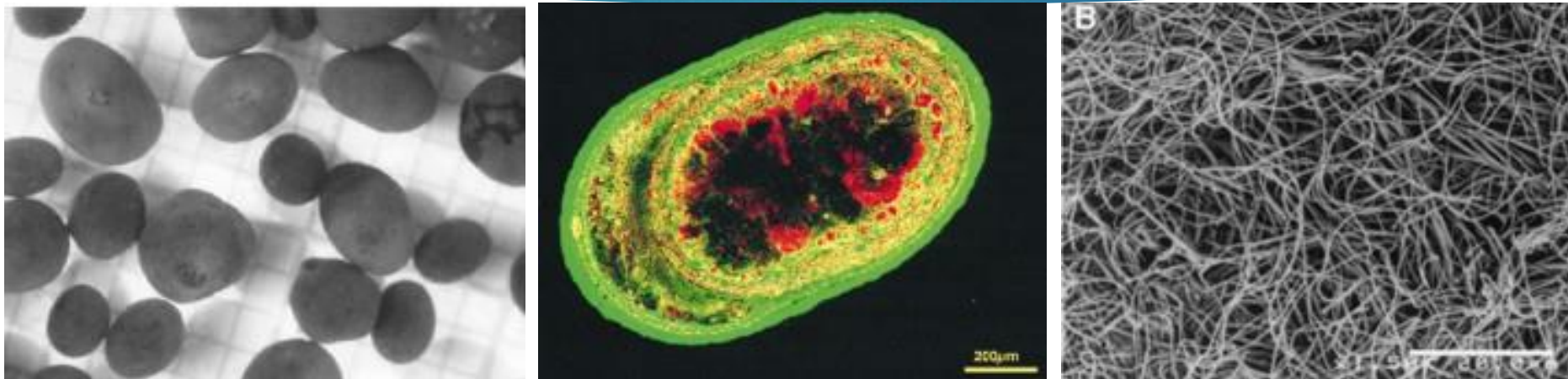
Se genera menos lodos

Reactores UASB



Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB)

Gránulos metanogénicos



A) Hulshoff Pol et al., 2004. B) FISH de secciones de gránulos mesófilos con **EUB338** marcada con FLUOS y **ARC915** marcada con rodamina. C) Micrografía electrónica de barrido de gránulos mesófilos [Sekiguchi et al., 1999].

- Transferencia de H^+ interespecies (Favorece la acetogénesis)
- Protección a variación de pH, tóxicos y [sustrato].
- Retención de la biomasa

Sistemas bioelectroquímicos

Interaction between microorganisms and electrodes

Applications

Energy production (Electric, methane, hydrogen)

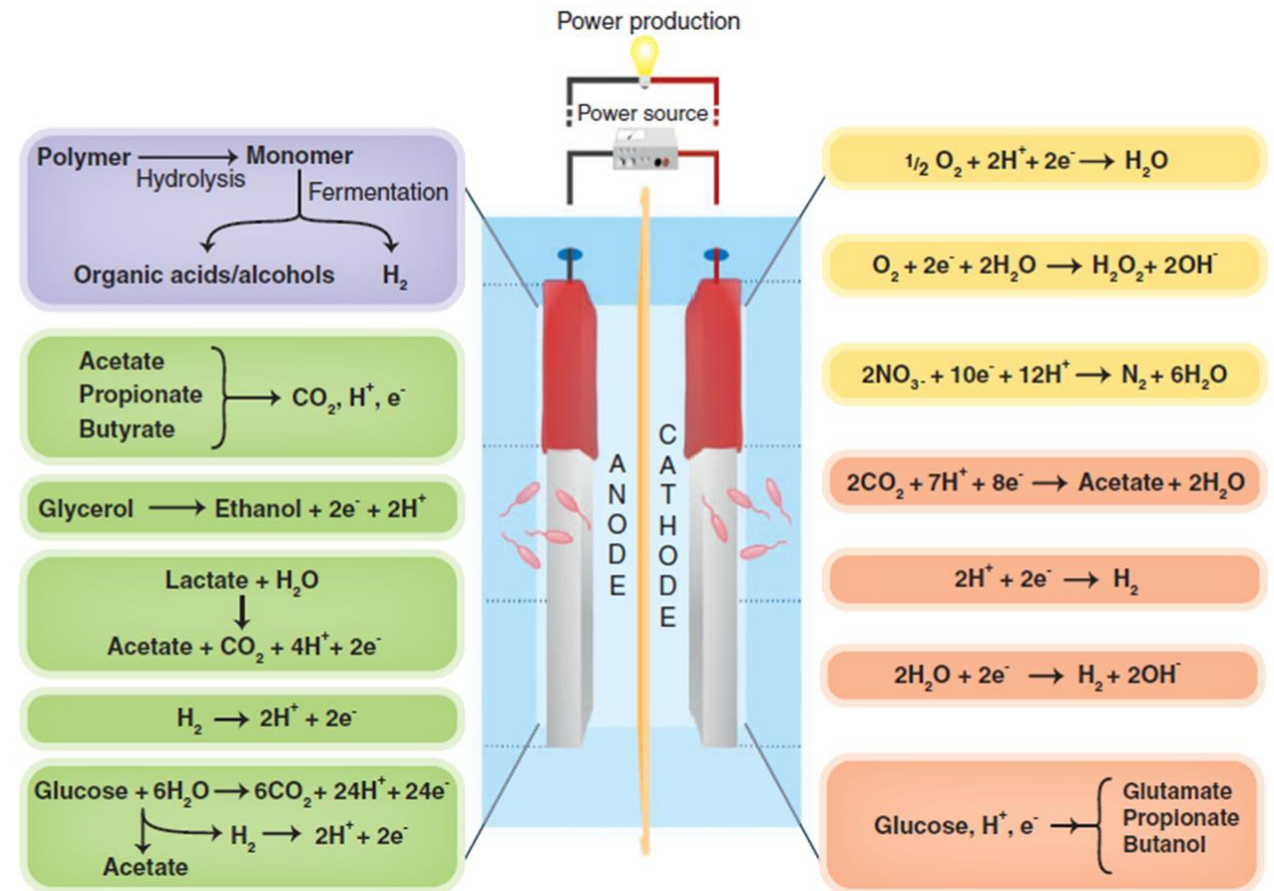
Wastewater treatment

Chemical compounds synthesis

Desalinization

Sensor

Remediation



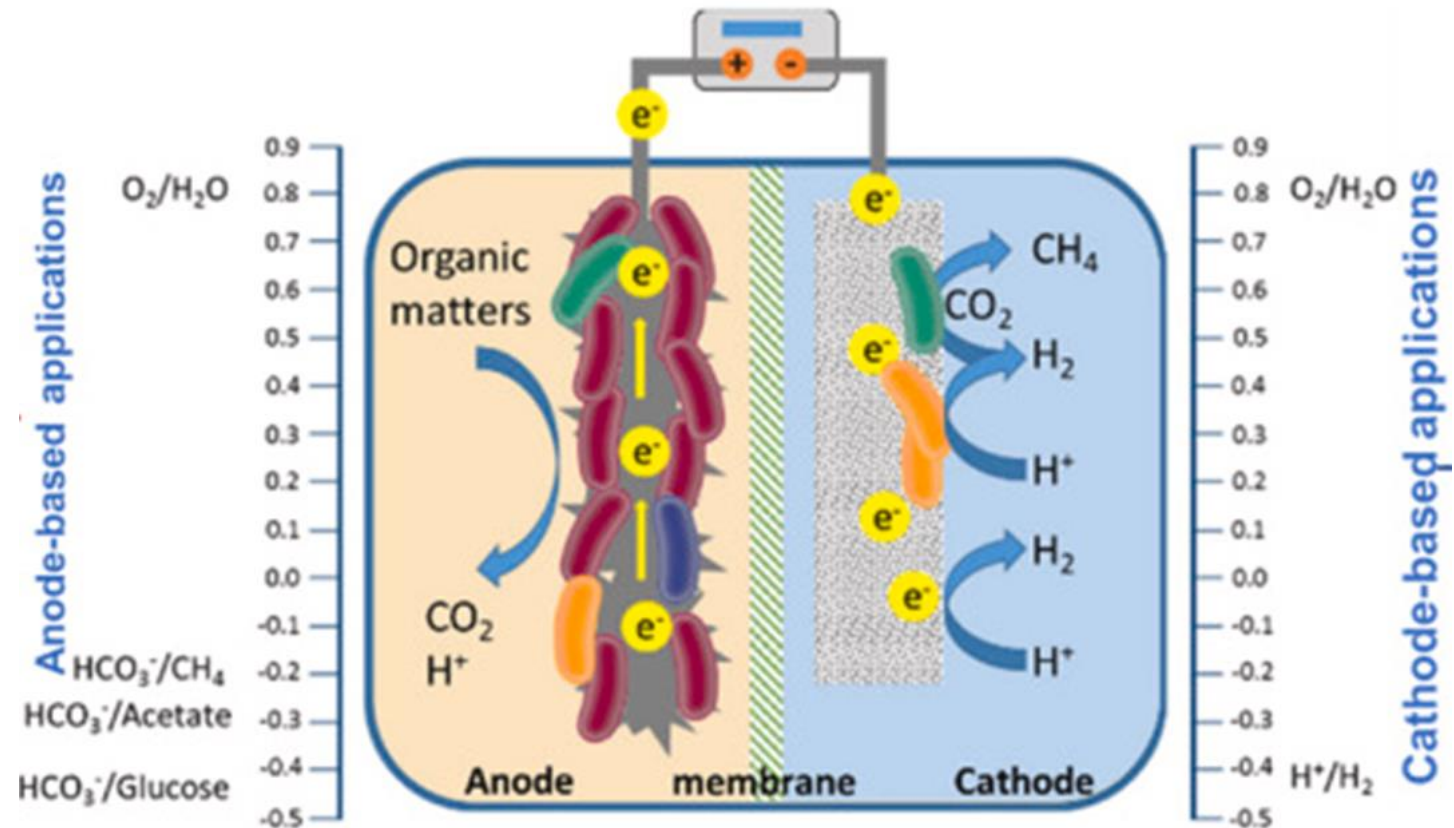
Electroactive bacteria in Bioelectrochemical systems

1) Electrogenic biofilms

Biofilms that include electrogenic microorganisms capable of transferring electrons to an anode. For example MFC or MEC

2) Electrotrophic biofilms

Biofilms that contain electrotrophic bacteria or archaea capable of accepting electrons from a cathode. E.g. electrosynthesis or electromethanogenesis.



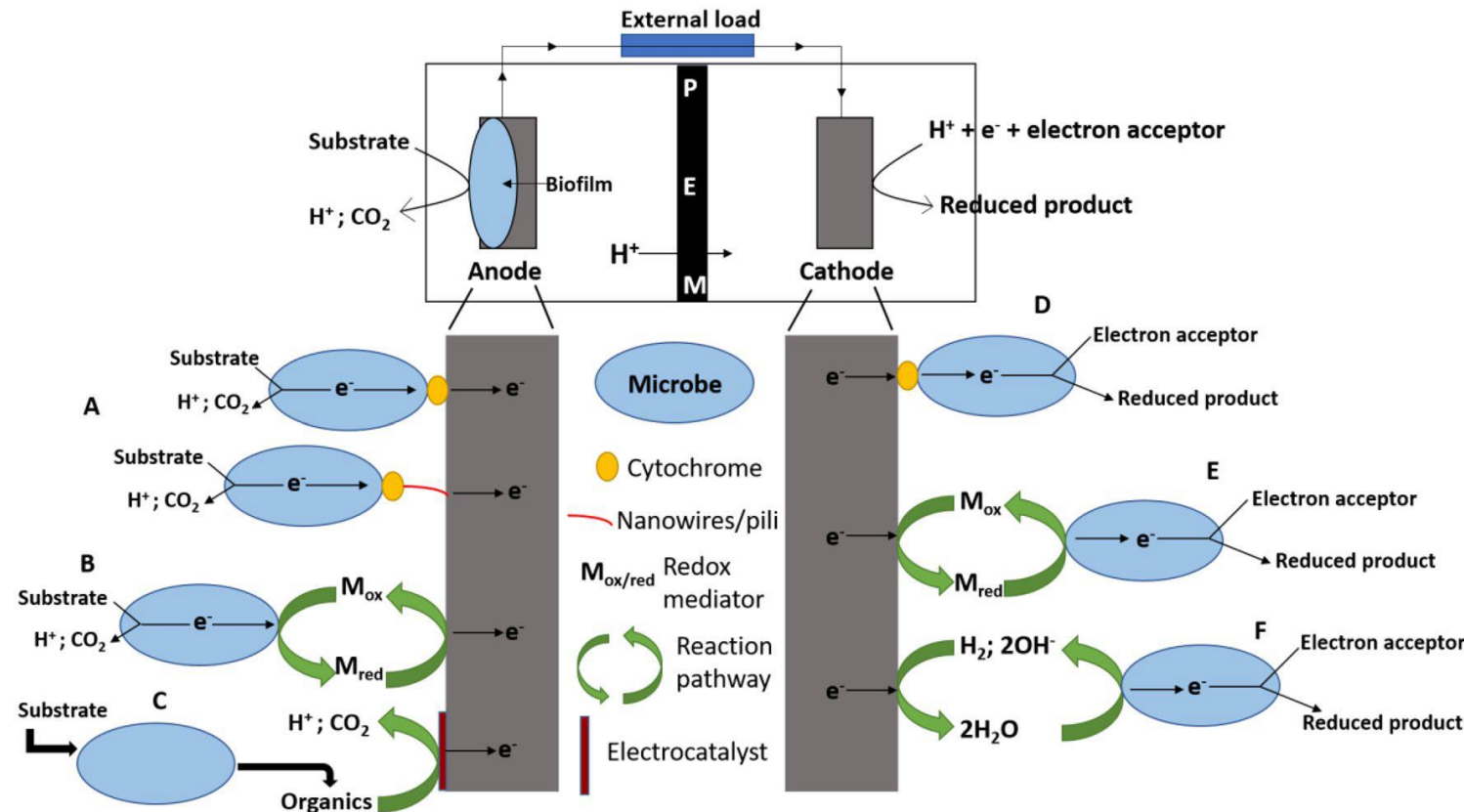
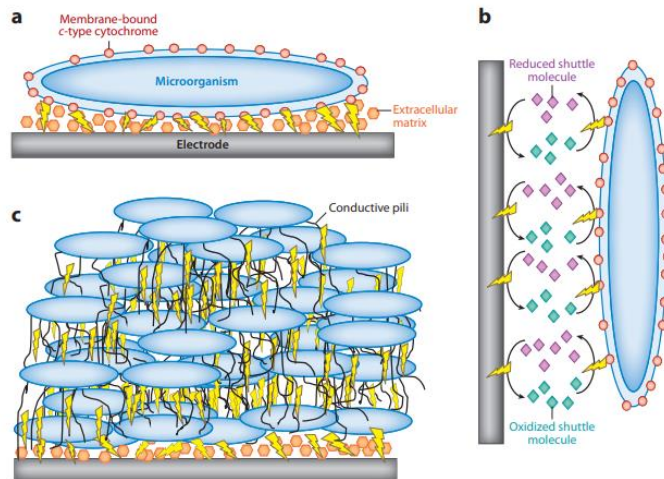
Interaction between microorganisms and electrodes

Direct electron transfer (DET)

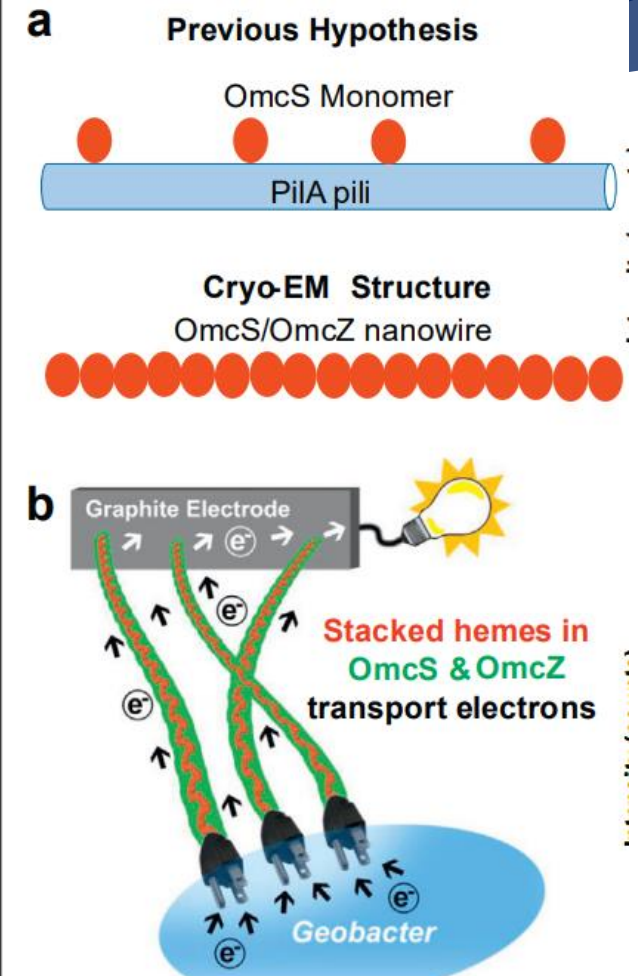
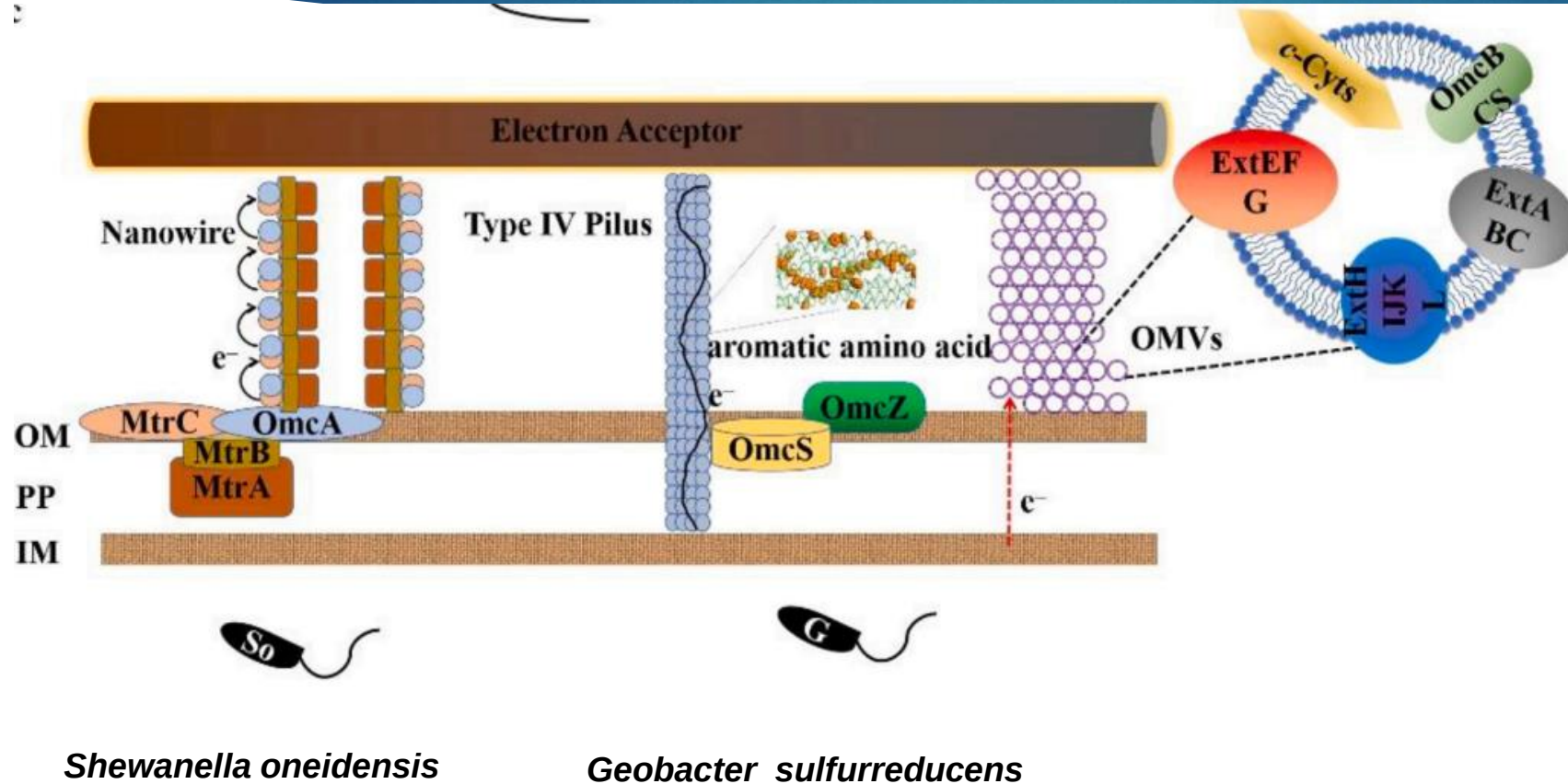
There is contact between the microorganisms and the electrode

Indirect electron transfer (IET)

There is no direct contact. There is an intermediate compound that connects the microorganisms with the electrode.



Transferencia directa de electrones



Role of the electrogenic biofilm

Main roles:

Generate an electrical current.

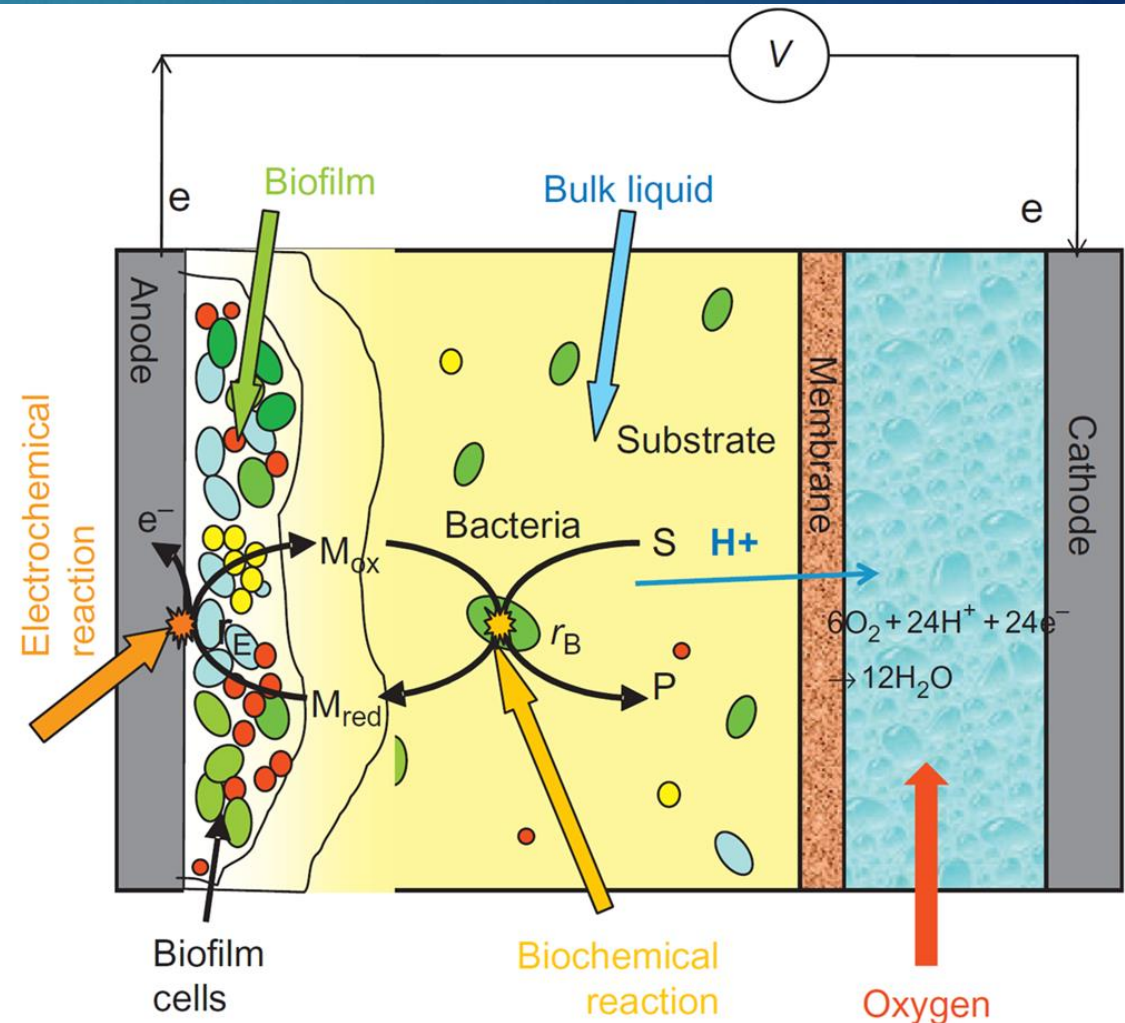
Produce electrons and transfer electrons to an anode (extracellular electron transfer).
Oxidize an electron donor (organic matter from wastewater or soil for example).

Application:

Microbial Fuel cells (MFC)

Microbial Electrolysis cells (MEC)

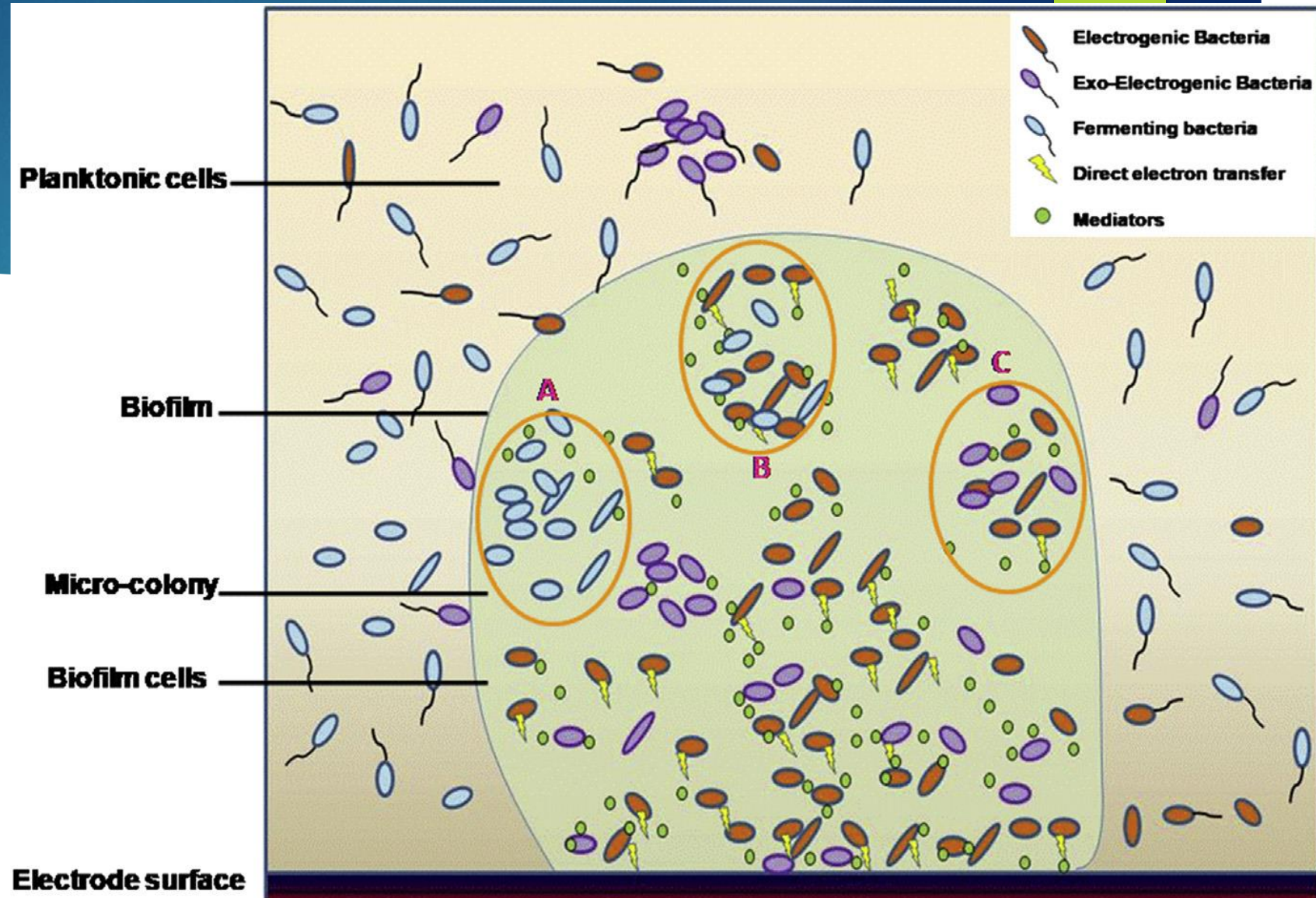
Microbial Electrosynthesis cells (MES)



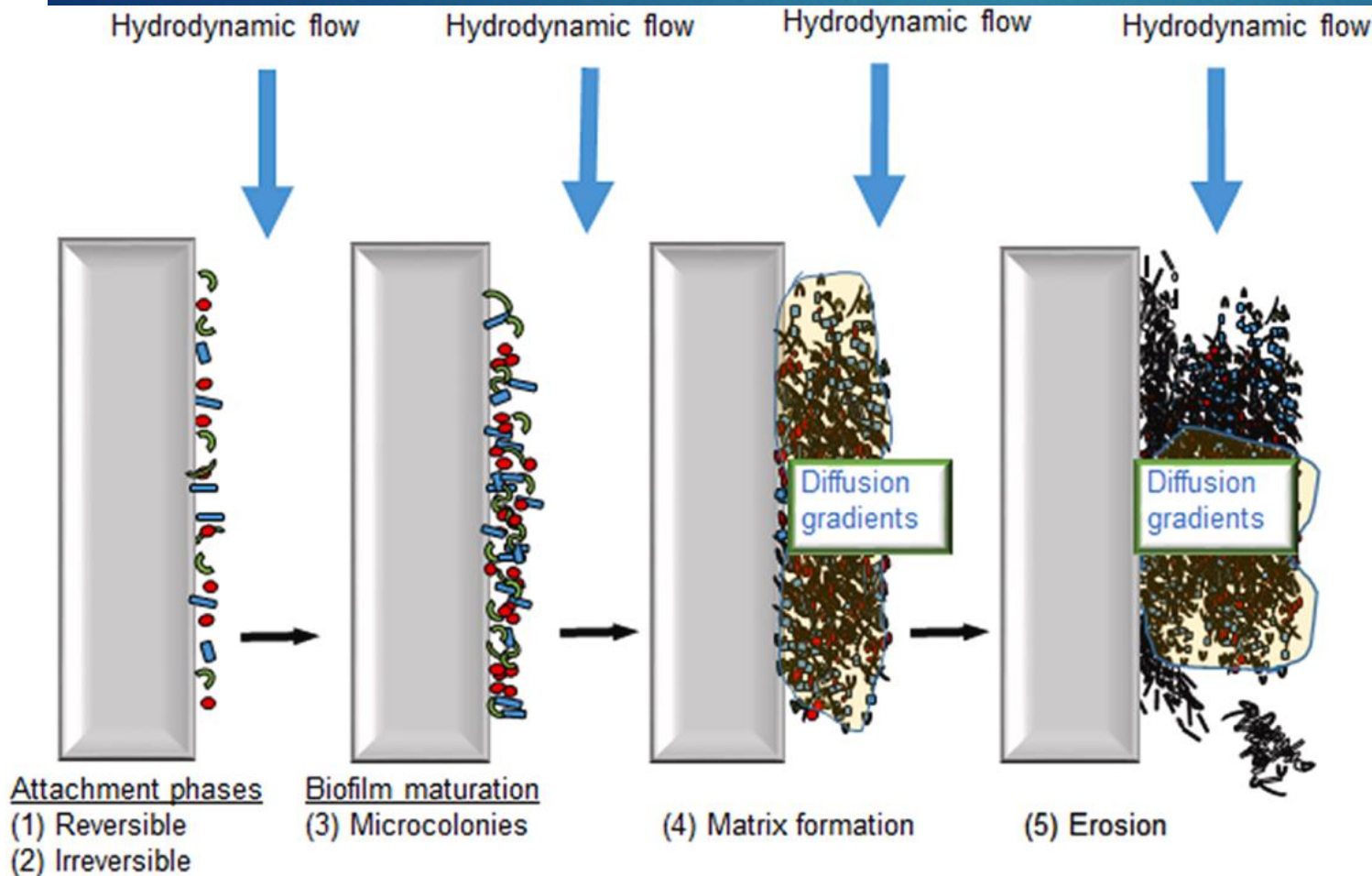
Composition

Electrogens

Diverse communities of
other microorganisms
Composition depends on
electron donor used
Generally hydrolytic and
fermenting bacteria



Biofilm formation

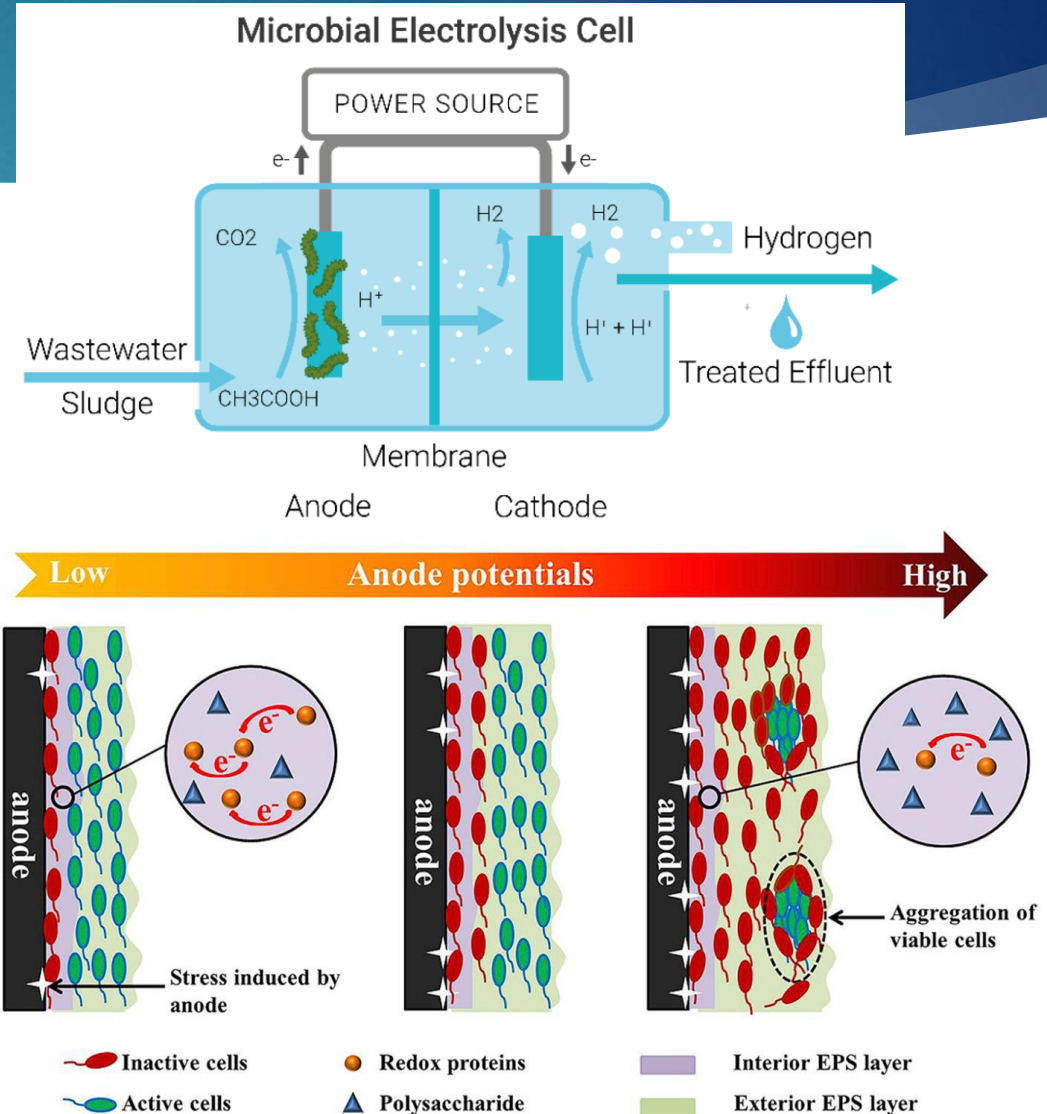


Material
System configuration
Potential
Substrate
Temperature

How do we generate the biofilm?

- 1) Without poised electrode
- 2) With poised electrode

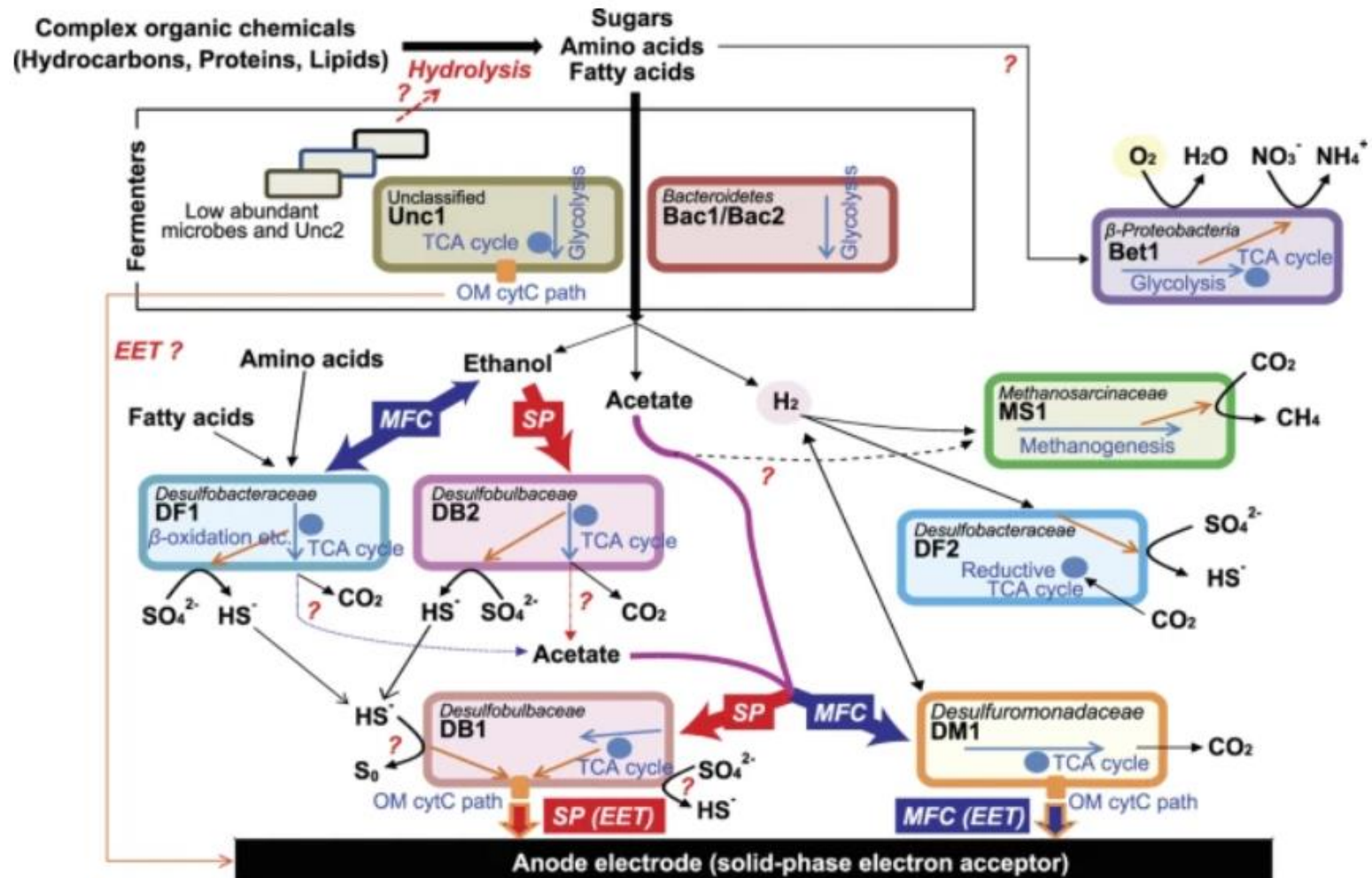
Poised electrode:
Generally generates faster
Uniform thickness
Generally less diverse
Higher density of electroactive
bacteria.



Metabolic network

Depends on several factors:
Type of BES, Inoculum, Substrate,
operation conditions, configuration
and electrode materials:

Importance:
Analysing microbial communities
Understanding processes
Understanding roles



Importancia de los biofilm en sistemas de tratamiento de aguas

- Mayor cantidad de biomasa en el reactor, sistemas con mayor capacidad y menor tamaño.
- Evitan el sedimentador externo
- Mejoran la transferencia entre diferentes grupos de microorganismos.
- Permite realizar sistemas combinados.



Specialist group

Biofilms

Timeline

Group members

Pages

Documents

[Join group](#)**About: Specialist group**

The Biofilms Specialist Group is an organizational unit of the International Water Association (IWA). It represents a forum for the exchange of scientific and technical information among researchers and practitioners involved in the field of biofilms. The scope of the Group includes on one hand all technical and natural aquatic systems, in which sessile bacteria are found, and on the other hand all biological, chemical and physical processes, which are relevant for biofilm behavior.

Group committee

16 Group committee

Group members

1864 members

¡Gracias!



cetchebehere@iibce.edu.uy
angela.cabezas@utec.edu.uy

Claudia Etchebehere
Patricia Bovio
Guillermo Zinola
Andrea Martinez
Gerardo Viera
Micaela Gonzales

Angela Cabezas
René Cardeña

Elena Castelló
Cecilia Callejas
Liliana Borzacconi

