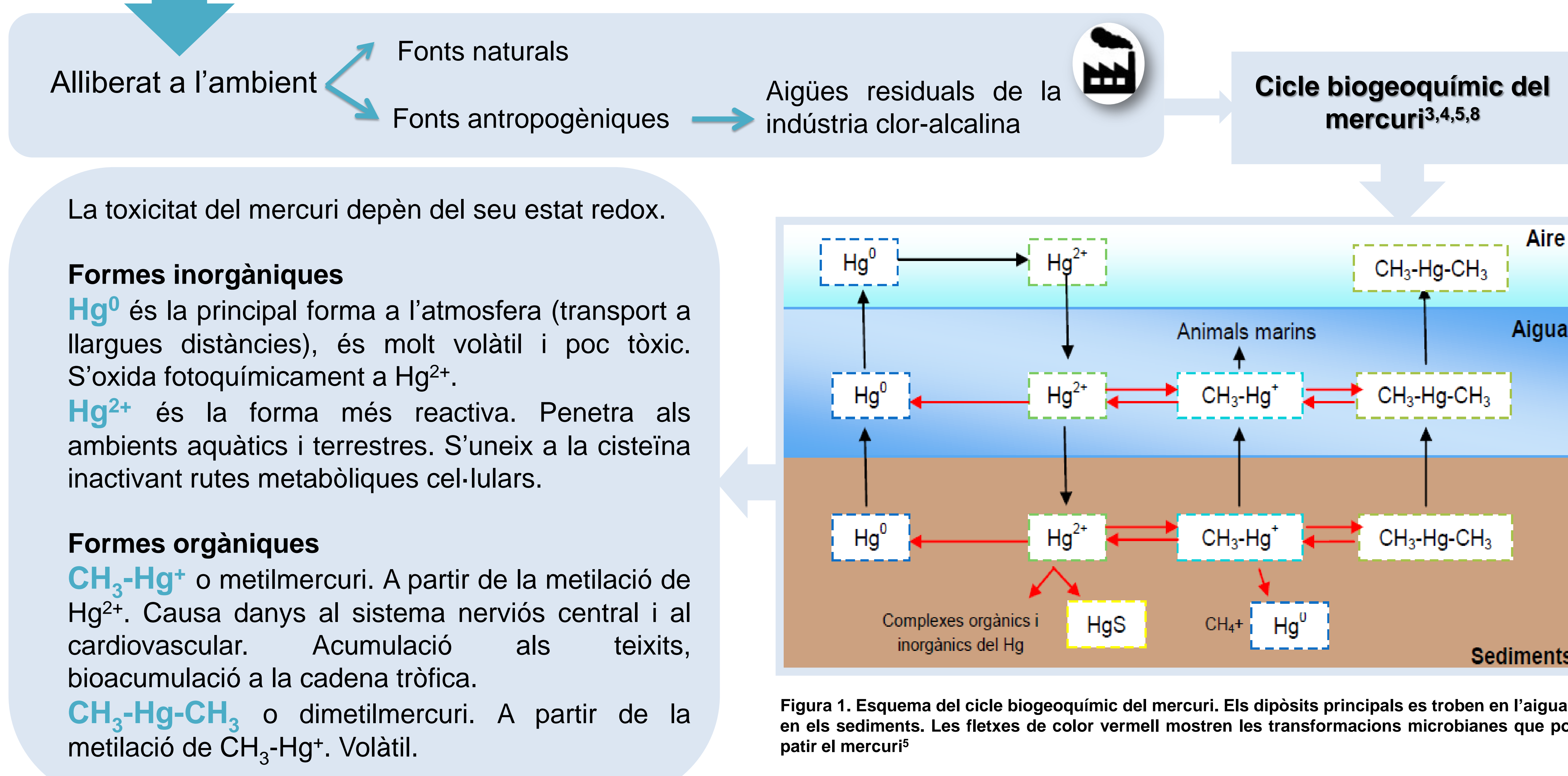


Els principals objectius d'aquest treball són presentar una revisió bibliogràfica amplia i actual dels problemes mediambientals relacionats amb la contaminació per metalls pesants, en concret el mercuri, i el potencial i aplicabilitat pràctica dels microorganismes en processos de bioremediació d'aigües residuals contaminades.

## MERCURI

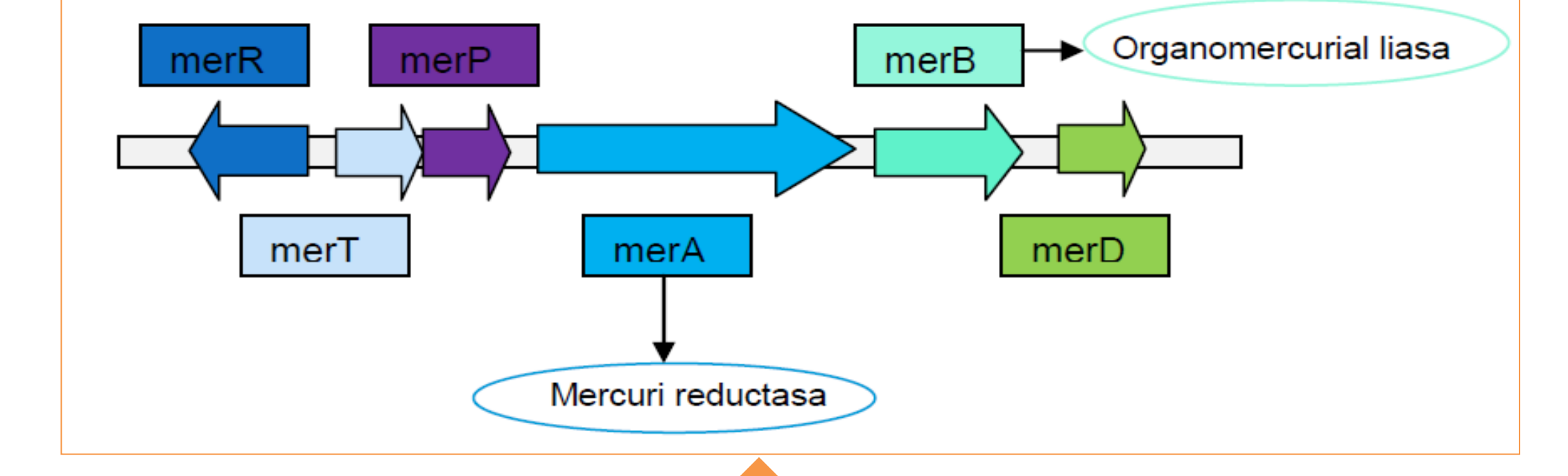


La toxicitat del mercuri depèn del seu estat redox.

**Formes inorgàniques**  
 $Hg^0$  és la principal forma a l'atmosfera (transport a llargues distàncies), és molt volàtil i poc tòxic. S'oxida fotoquímicament a  $Hg^{2+}$ .  
 $Hg^{2+}$  és la forma més reactiva. Penetra als ambients aquàtics i terrestres. S'uneix a la cisteïna inactivant rutes metabòliques cel·lulars.

**Formes orgàniques**  
 $CH_3-Hg^+$  o metilmercuri. A partir de la metilació de  $Hg^{2+}$ . Causa danys al sistema nerviós central i al cardiovascular. Acumulació als teixits, bioacumulació a la cadena tròfica.  
 $CH_3-Hg-CH_3$  o dimetilmercuri. A partir de la metilació de  $CH_3-Hg^+$ . Volàtil.

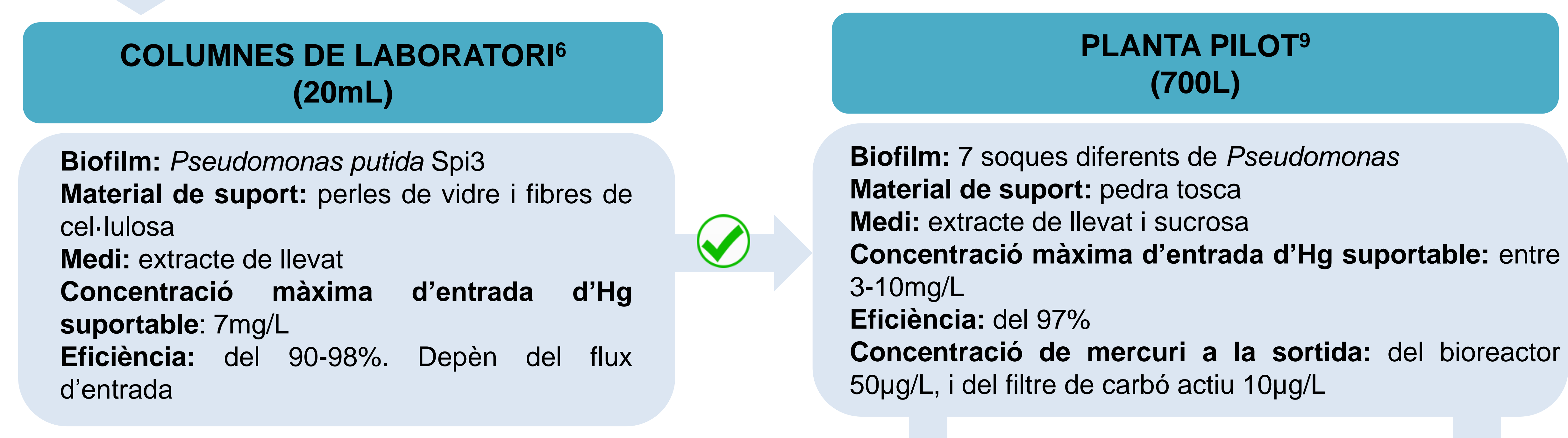
Figura 2. Esquema de l'operó mer. MerA codifica per mercuri reductasa; MerB, organomercurial liasa; MerR/D (Regulació) i MerP/MerT (transport)



- Controlades per l'operó mer i resultant en la formació de  $Hg^0$
- Transformacions microbianes enzimàtiques<sup>8</sup>**
1. Reducció de  $Hg^{2+}$  a  $Hg^0$  → enzim mercuri reductasa (merA)
  2. Desmetilació de compostos organomercurials → enzim organomercurial liasa (merB)
  3. Metilació de  $Hg^{2+}$
  4. Oxidació de  $Hg^0$  a  $Hg^{2+}$

## PROCESSOS DE BIOREMEDIACIÓ A TRAVÉS DE BIOFILMS

Bioremediació basada en la retenció del mercuri elemental ( $Hg^0$ ) format en el procés de reducció microbiana en un **bioreactor de llit fix**. Aquests tipus de bioreactors consisteixen en un material de suport inert i porós que està recobert per un biofilm d'alguna espècie de bacteri mercuri-resistent. En aquest cas es tracten efluentes de plantes clor-alcaldines.



Les **soques bacterianes mercuri-resistents** es troben majoritàriament en espais contaminats amb mercuri. Sobretot s'han aïllat d'ambients marins. Existeixen mecanismes molt sofisticats per mantenir les concentracions d'aquests metalls en un estat estable per la cèl·lula, en els quals l'operó mer té un paper fonamental<sup>2</sup>.

Algunes soques mercuri-resistents pertanyen als gèneres *Escherichia*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* i *Brevibacterium*.

**Comunitat microbiana del biofilm<sup>7</sup>**

✓ Biofilms formats amb multiespècies resistents

- Més eficaç
- Més estable

Si el flux d'entrada és aigua residual no estèril és millor tenir més diversitat d'espècies quan les condicions del medi són canviant. La diversitat microbiana proporciona un dipòsit de soques fisiològicament diferents que van canviant selectivament sota les diferents condicions que es presenten, el que resulta amb un gran benefici sobre les soques que estan més ben adaptades.

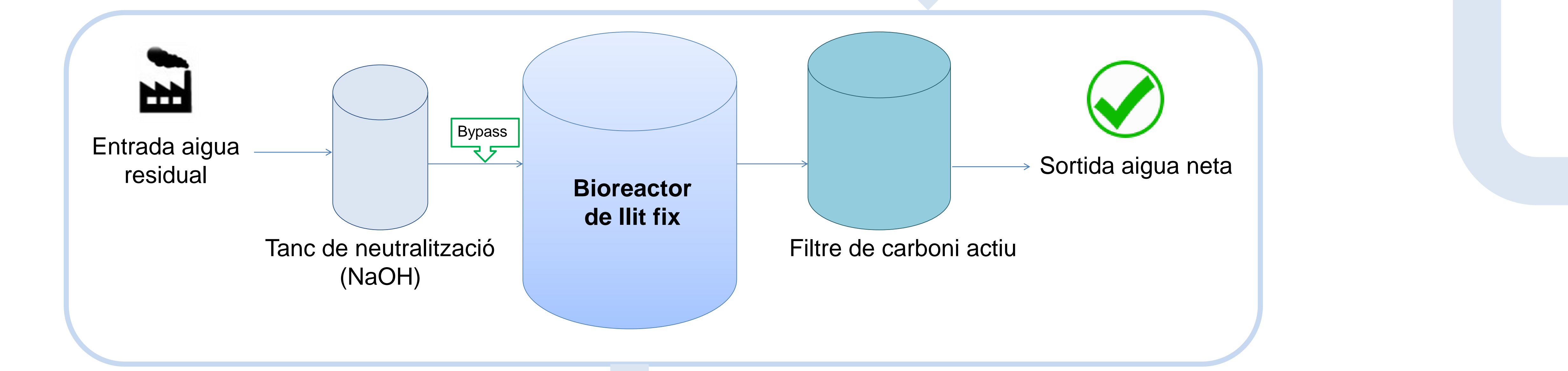


Figura 3. Esquema d'una planta pilot<sup>9</sup>

**Funcionament planta pilot**  
Consistia primerament en un pretractament de l'aigua residual d'entrada:

1. Neutralitzar el pH amb l'addició de NaOH
2. Complementar el flux d'entrada amb nutrients pels microorganismes del biofilm (sucrosa i extracte de llevat)

Seguidament, el flux d'aigua residual tractada entrava dins d'un bioreactor de llit fix amb les soques de bacteris resistents en forma de biofilm sobre un material de suport. Finalment, el flux de sortida del bioreactor passava a través d'un filtre de carbó actiu per eliminar vestigis restants de mercuri.

- ✓ La concentració de mercuri que entrava a la planta estava monitoritzada i controlada.
- ✓ Operació en bypass quan les condicions d'entrada de l'aigua residual no eren les adequades.

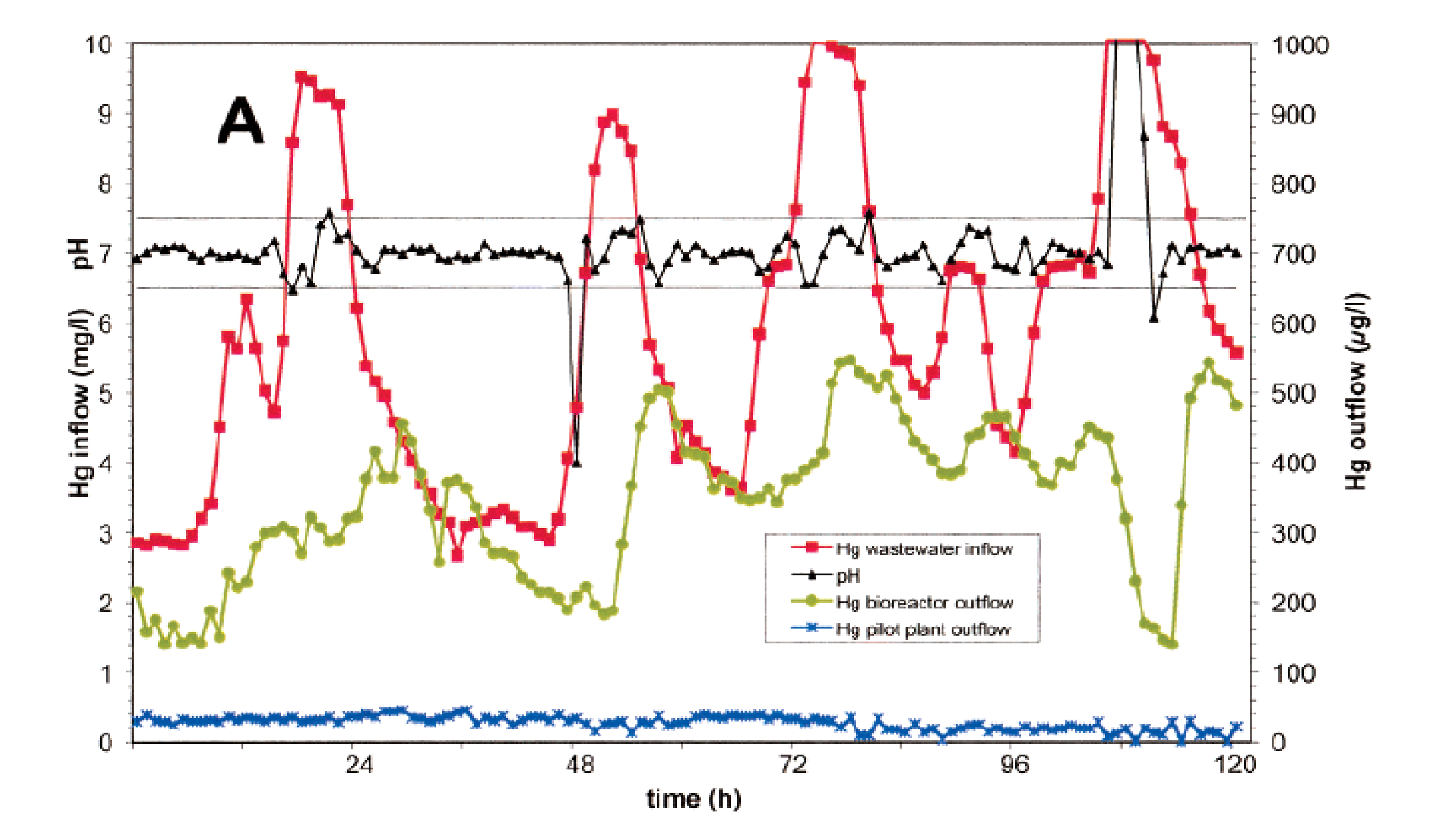


Figura 4. Efecte de les fluctuacions del flux d'entrada d'aigua residual d'una fàbrica clor-alcaldina sobre el rendiment de la planta pilot durant 5 dies, després de 3 setmanes de la inoculació. Es mostra la concentració de mercuri en el flux d'entrada, que es troba en un interval de 3 a 10mg/L, la concentració de mercuri a la sortida del bioreactor i després de passar pel filtre de carbó actiu. Les fluctuacions d'una concentració de mercuri de més de 10mg/L executaven una operació de bypass. El pH després de la neutralització també es mostra<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONS

El problema de contaminació per mercuri és un motiu de preocupació mundial des de que se'n va començar a fer ús a escala industrial i sobretot des de que es coneixen àmpliament tots els problemes de salut que comporta estar-hi exposat.

És necessari investigar tecnologies alternatives d'eliminació de metalls pesants basades en la capacitat que tenen alguns microorganismes, com per exemple bacteris mercuri-resistents aïllats d'ambients contaminats, de transformar les formes més tòxiques d'aquests metalls en d'altres de més innòcues.

En el cas del mercuri, tècniques basades en la retenció del mercuri en un bioreactor de llit fix a través de biofilms estan donant molts bons resultats i una alta eficiència. Són tècniques ecològicament sostenibles, sense necessitat d'utilitzar components químics i molt econòmiques si les comparem amb altres tècniques fisicoquímiques.

La contaminació de l'aigua amb metalls pesants és un problema real i, per tant, la cerca de tècniques de bioremediació té molt de futur.

## BIBLIOGRAFIA

1. Asakiewicz, C. et al. (2003). *An electronic bulletin of Undergraduate Research*, 5.
2. Dash, H. et al. (2014). *Environmental Science and Pollution Research*, 21: 2642-2653
3. Gaona, X. (2004). El mercuri como contaminante global. Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de química analítica.
4. Järup, L. (2003). *British Medical Bulletin*, 68: 167-182
5. Madigan, M. et al. (2009). Brock. Biología de los microorganismos.
6. Von Constein, H. et al. (1999). *Applied Environmental Microbiology*, 65(12): 5279-5284.
7. Von Constein, H. et al. (2002). *Applied Environmental Microbiology*, 68(6):2829-2837.
8. Wagner-Döbler, I. (2003). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 62: 124-133.
9. Wagner-Döbler, I. et al. (2000). *Environmental Science and Technology*, 34(21): 4628-4634.