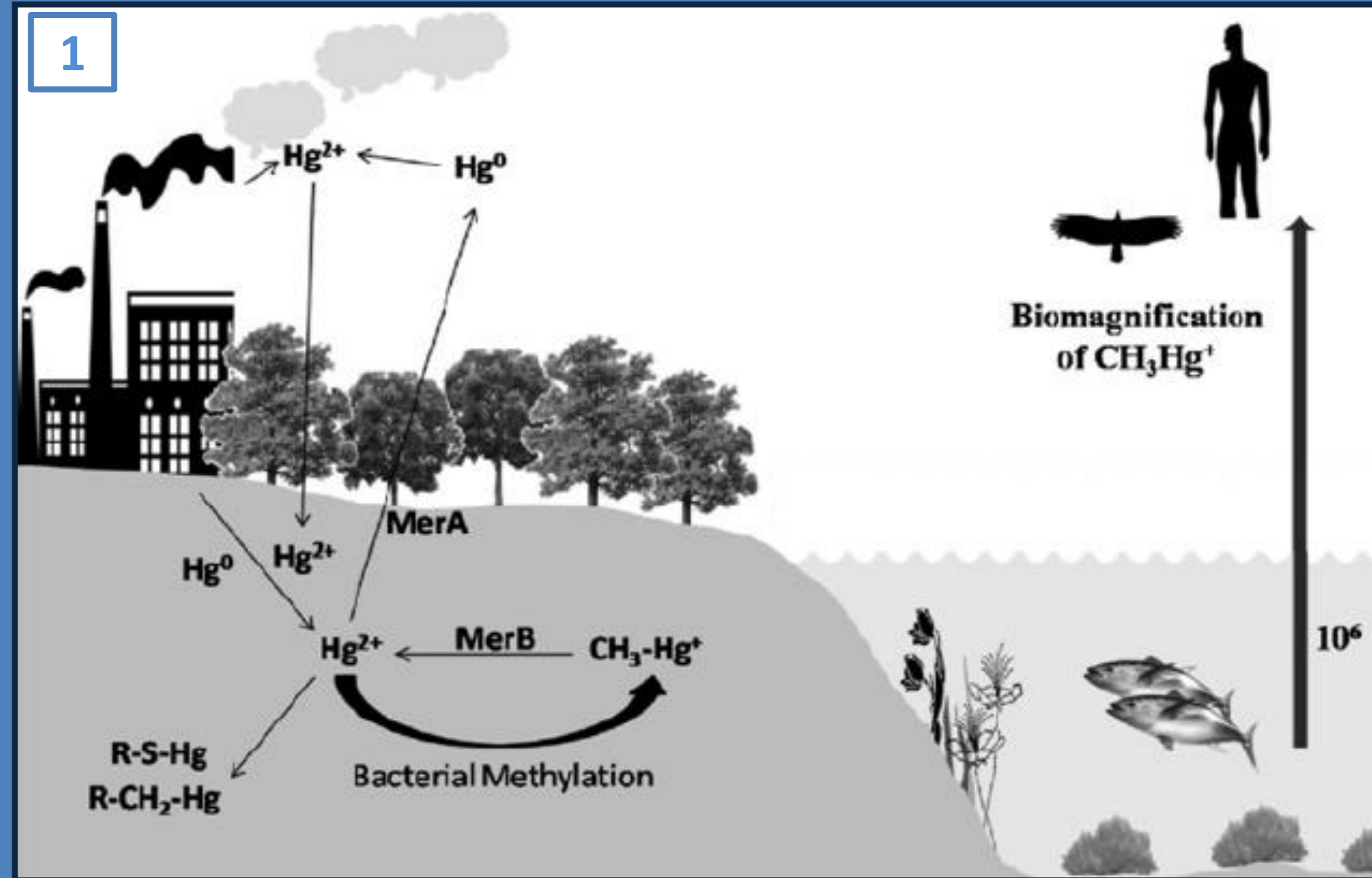


Cada vegada augmenta més l'alliberament de mercuri al medi ambient per part de diferents indústries i els mètodes actuals de remediació no són econòmics i/o respectuosos amb l'entorn. Per això la **bioremediació** s'està imposant cada cop com la millor alternativa. Seguidament s'exposaran diferents tecnologies basades en **bioreactors de llit fix amb biofilms bacterians** immobilitzats pel tractament d'aigües residuals de la indústria clor-alcaldina.

## PROBLEMÀTICA DEL MERCURI

El mercuri elemental ( $Hg^0$ ) provinent de les indústries arriba a l'atmosfera i s'oxida a mercuri iònic ( $Hg^{2+}$ ) el qual es diposita a la superfície terrestre. Llavors es transforma en metilmercuri que és absorbit pels organismes aquàtics que el **bioacumulen** al no poder-lo eliminar i després es **biomagnifica** augmentant de nivell en els organismes de la cadena tròfica (Fig. 1).<sup>(1)</sup>

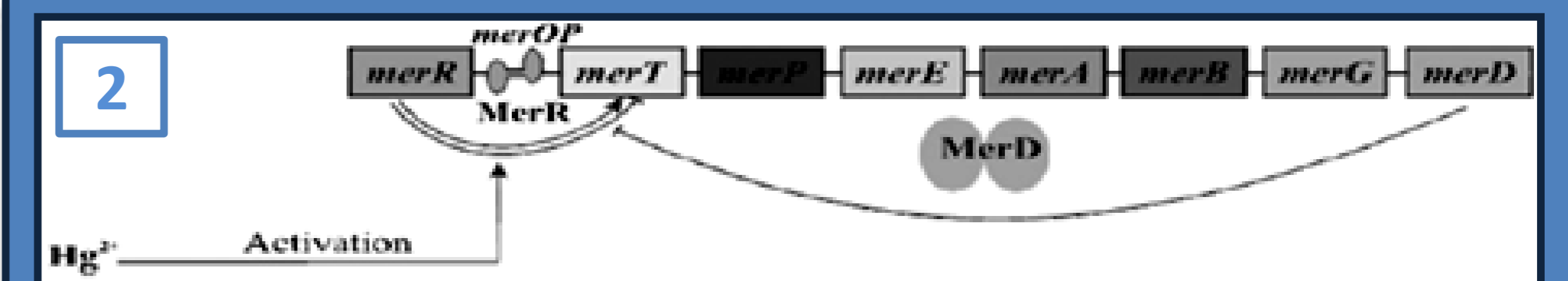
L' $Hg^{2+}$  és molt reactiu i inactiva enzims i el metilmercuri pot travessar la barrera hematoencefàlica i desmetilar-se, així que els dos ocasionen problemes de salut (principalment desordres neurològics).<sup>(2)</sup>



**Fig.1:** esquema del cicle del mercuri residual de les indústries alliberat al medi ambient, amb les transformacions més rellevants i la seva problemàtica acumulació en peixos i en aus i humans que els consumeixen.<sup>(1)</sup>

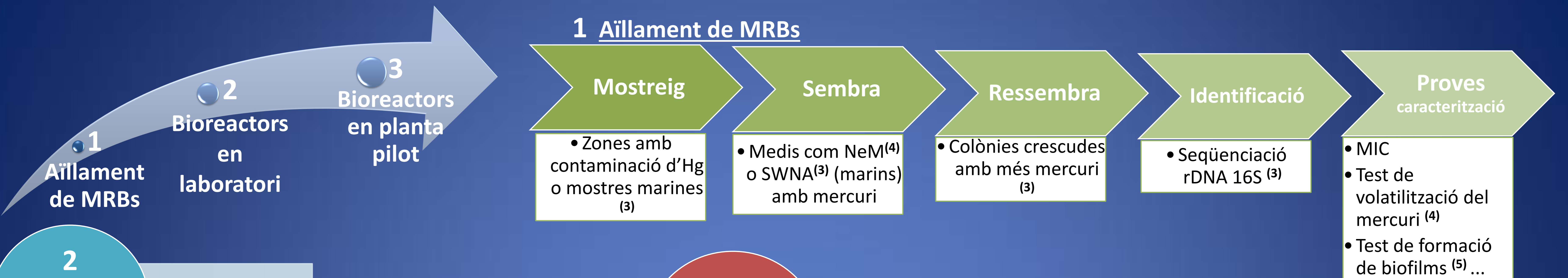
## POTENCIAL DELS MICROORGANISMES

Hi ha bacteris resistent al mercuri (MRB) gràcies a la presència de l'operó *mer* (Fig. 2), que codifica la **mercuri reductasa** (MerA) que pot reduir l' $Hg^{2+}$  en  $Hg^0$  que no és tòxic. A més, hi ha resistent d'ampli espectre que contenen l'**organomercurial liasa** (MerB) la qual separa el metil de l' $Hg^{2+}$ .<sup>(1)</sup>



**Fig.2:** representació d'un operó *mer* amb els dos gens de resistència *merA* i *merB*, els gens dels repressors *merR* i *merD* i altres gens de proteïnes implicades en el transport del mercuri.<sup>(1)</sup>

## METODOLOGIA DE LA BIOREMEDIACIÓ USANT MRBS

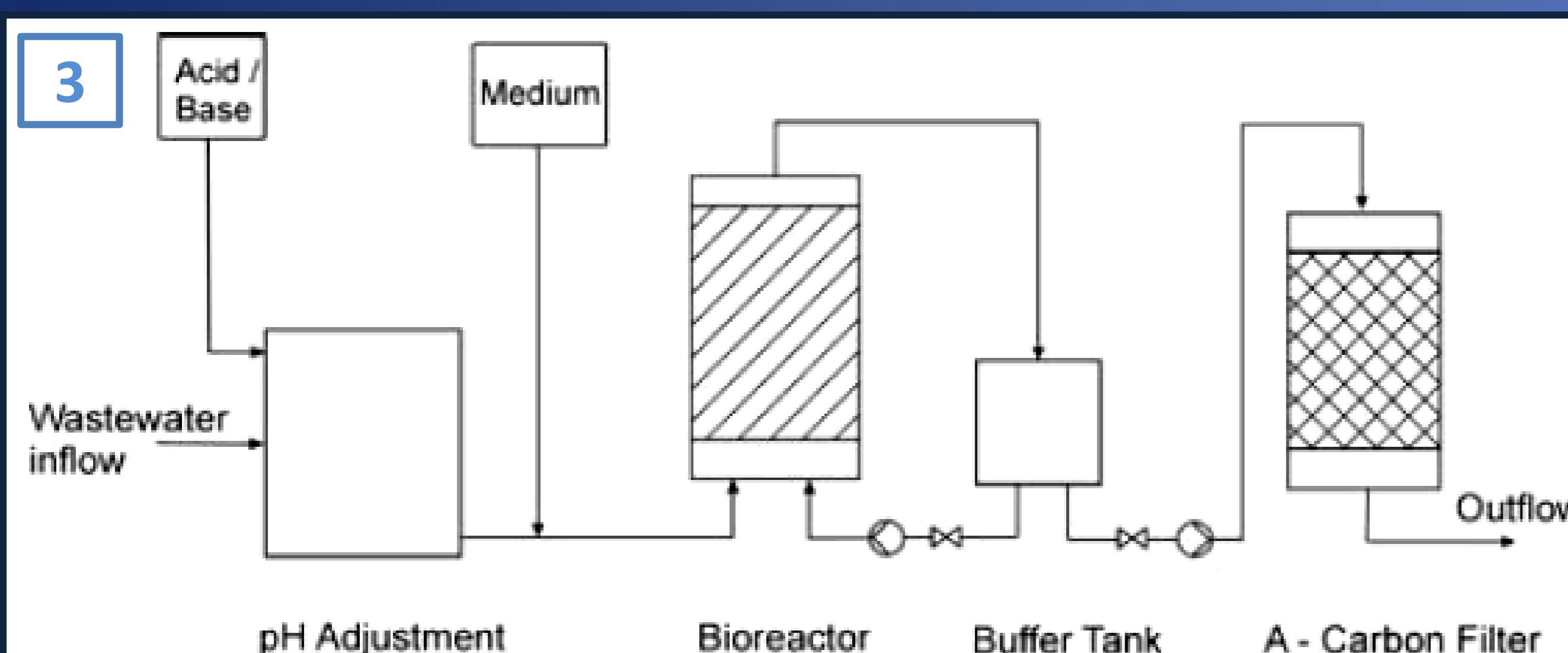


**2 Bioreactors en laboratori**

- Neutralització aigua residual
- Tria material suport pel biofilm
- Circulació l'indòcul +medi cultiu → **Formació biofilm**
- Monitorització del procés: control [Hg] i [NaCl]<sup>(6)</sup>

**Fig.3:** procés complet d'una planta pilot que va tractar les aigües residuals d'una indústria clor-alcaldina d'Alemanya durant 8 mesos. Al sistema funcionava contínuament per tractar 4m<sup>3</sup>/h d'aigua (uns 100m<sup>3</sup> al dia).<sup>(2)</sup>

**Fig.4:** resultats de la planta pilot: **fluctuacions del mercuri de l'afluent, Hg de l'efluent del bioreactor i Hg després del filtre** reduït a nivells permesos del seu alliberament al medi ambient.<sup>(2)</sup>

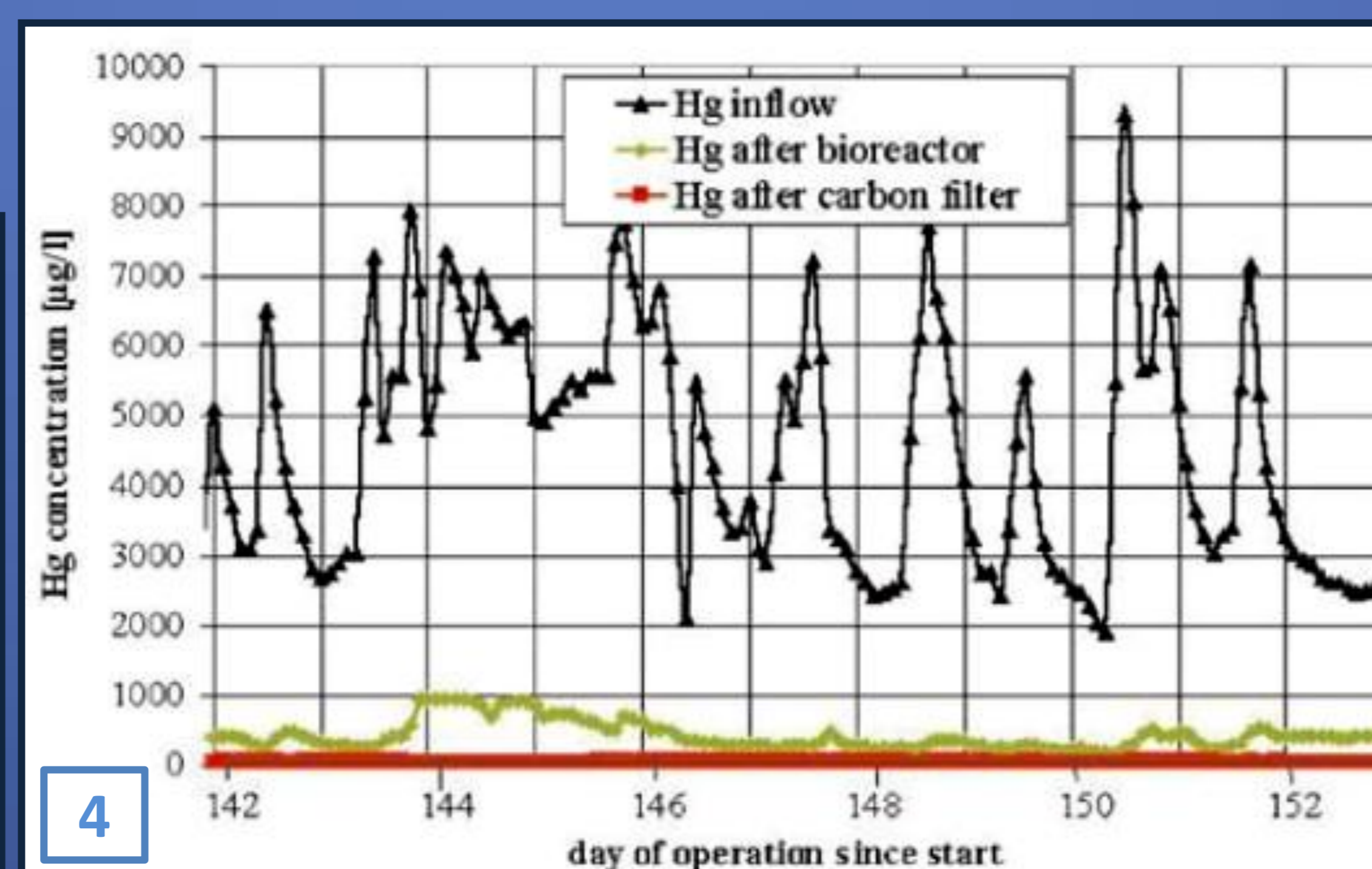


**3 Bioreactors en planta pilot**

Bioreactor d'1m<sup>3</sup> amb **pedra tosca** i set soques de **Pseudomonas**

Després del **filtre de carboni actiu** → Retenció mercuri=**98%**<sup>(2)</sup>

**Condicions:**  
[Hg]=2-10mg/l,  
[Cl]=50g/l,  
Tmàx=47°C



**VALORACIÓ**

- Biofilms multiespècies** milloren els resultats de retenció d'Hg davant condicions canviants.<sup>(5)</sup>
- Sistema robust, **pocs problemes:** fallada d'operació del bioreactor<sup>(6)</sup> i estressos que redueixen el biofilm ([Hg], [Cl] o temperatura molt elevades...)<sup>(2)</sup>

**COMPARACIÓ AMB ALTRES MÈTODES**

- **Menys de la meitat dels costos** del IEMB (bioreactors amb membranes d'intercanvi iònic)<sup>(2)</sup> → Tècnica més usada actualment.<sup>(7)</sup>
- **Sense productes tòxics** com els mètodes químics.<sup>(8)</sup>
- **Sense biomassa carregada amb mercuri** com la bioadsorció o la bioacumulació.<sup>(6)</sup>

## CONCLUSIONS

- Tecnologia de bioremediació **econòmica, ecològica** ja que funciona a temperatura ambient, requereix **poca energia** elèctrica i **no usa productes químics**.<sup>(9)</sup>
- Sistema biològic que presenta una **major especificitat** que els mètodes físics i químics, una idoneïtat per metodologies **in situ** (sense l'ús de productes químics tòxics) i un gran potencial de **millora** mitjançant l'**enginyeria genètica**.
- A gran escala són difícils de trobar degut a la **reticència del mercat** per acollir noves tecnologies i a la **difficultat** inherent per reproduir aquests processos a **gran escala**.<sup>(8)</sup>

## BIBLIOGRAFIA

1. Dash HR, Das S. Int Biodeterior Biodegradation (2012) 75:207-213.
2. Wagner-Döbler I. Appl Environ Microbiol (2003) 62:124-133.
3. De J, Ramaiah N. Ecol Indic (2007) 7:511-520.
4. Pepi M, Gaggi C, Bernardini E, Focardi S, Lobianco A, Ruta M, et al. Int Biodeterior Biodegradation (2011) 65:85-91.
5. von Canstein H, Kelly S, Li Y, Wagner-Döbler I. Appl Environ Microbiol (2002) 68:2829-2837.
6. von Canstein H, Li Y, Timmis KN, Deckwer W-D, Wagner-Döbler I. Appl Environ Microbiol (1999) 65:5279-5284.
7. Layman's Report: Removal of mercury from industrial wastewater by bacteria.
8. Valls M, de Lorenzo V. FEMS Microbiol Rev (2002) 26:327-338.
9. Wagner-Döbler I, von Canstein HF, Li Y, Timmis KN, Deckwer WD. Environ Sci Technol (2000a) 34:4628-4634.