

La qualitat de l'aigua regenerada com a font de subministrament

Instrumentos innovadors per a la gestió integrada de les aigües subterrànies en un context d'escassetat

Antoni Munné

Molins de Rei. 28 de març de 2023





Temes a tractar

- 1. Qualitat de l'aigua regenerada.** Estàndards de qualitat, estat de la qüestió i requeriments a futur.
- 2. Campanya demostrativa (prova pilot a l'ERA del Prat):** Mostreig i anàlisi de contaminants emergents, elements microbiològics (indicadors i patògens). Anàlisi toxicitat a medi.
- 3. Propostes a futur:** Efectes del canvi climàtic. Impuls de l'aigua regenerada al Pla de conca de 3r cicle (2022-2027).



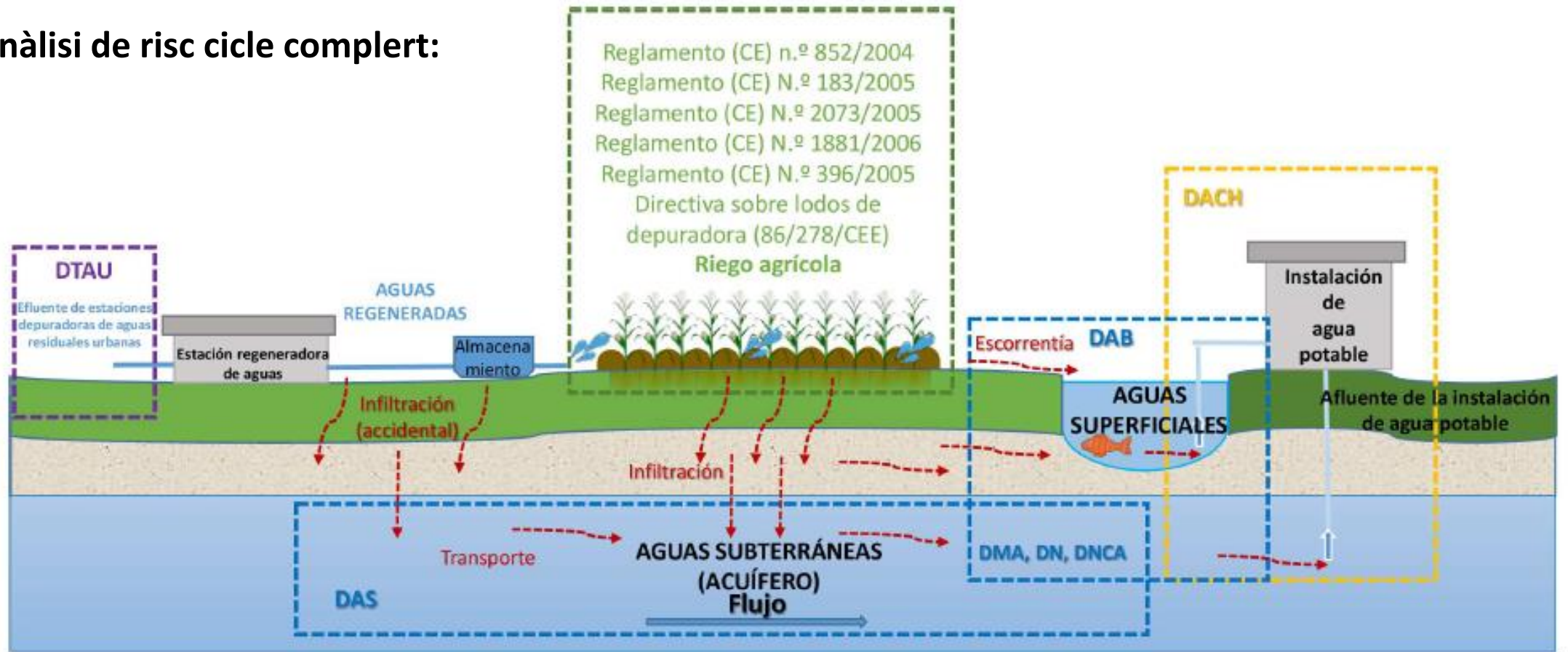
Estàndards de qualitat en aigua regenerada

- A l'Estat espanyol tenim el **RD 1620/2007** de reutilització d'aigües depurades.
- A nivell europeu el Reglament del Parlament Europeu i del Consell sobre els requisits mínims de **reutilització de l'aigua (per usos agrícoles) REGULATION (EU) 2020/741**. Actualitzada/matisada per les Directrius (**Guia**) que donen suport a l'aplicació del Reglament (**2022/C 298/01**).
- Controls microbiològics (indicadors): *E. coli*, Nemàtodes intestinals. Incorporació **anàlisi de risc – validació** (reducció Log_{10} indicadors patògens) *E. coli*, total coliphages, *Clostridium perfringens*, bacteries sulfatoreductores formadores d'espores.
- Control **SS, terbolesa, DBO₅** i contaminants segons el resultat de **l'avaluació del risc**. Els requisits de controls addicionals poden ser:
 - a) metalls pesants
 - b) pesticides
 - c) subproductes de desinfecció (DBPs)
 - d) productes farmacèutics
 - e) altres substàncies de preocupació emergent
 - f) resistència antimicrobiana



Estàndards de qualitat en aigua regenerada

Anàlisi de risc cicle complet:



DTAU: Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; DACH: Directiva relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (si hay aguas superficiales o subterráneas clasificadas en la zona protegida de agua potable [DPAP]);
DAB: Directiva sobre las aguas de baño (si el agua superficial se utiliza para el baño); DAS: Directiva sobre las aguas subterráneas; DMA: Directiva marco sobre el agua;
DNCA: Directiva sobre las normas de calidad ambiental; DN: Directiva relativa a los nitratos (si el régimen de reutilización del agua se incluye en una zona vulnerable a los nitratos [ZVN]).



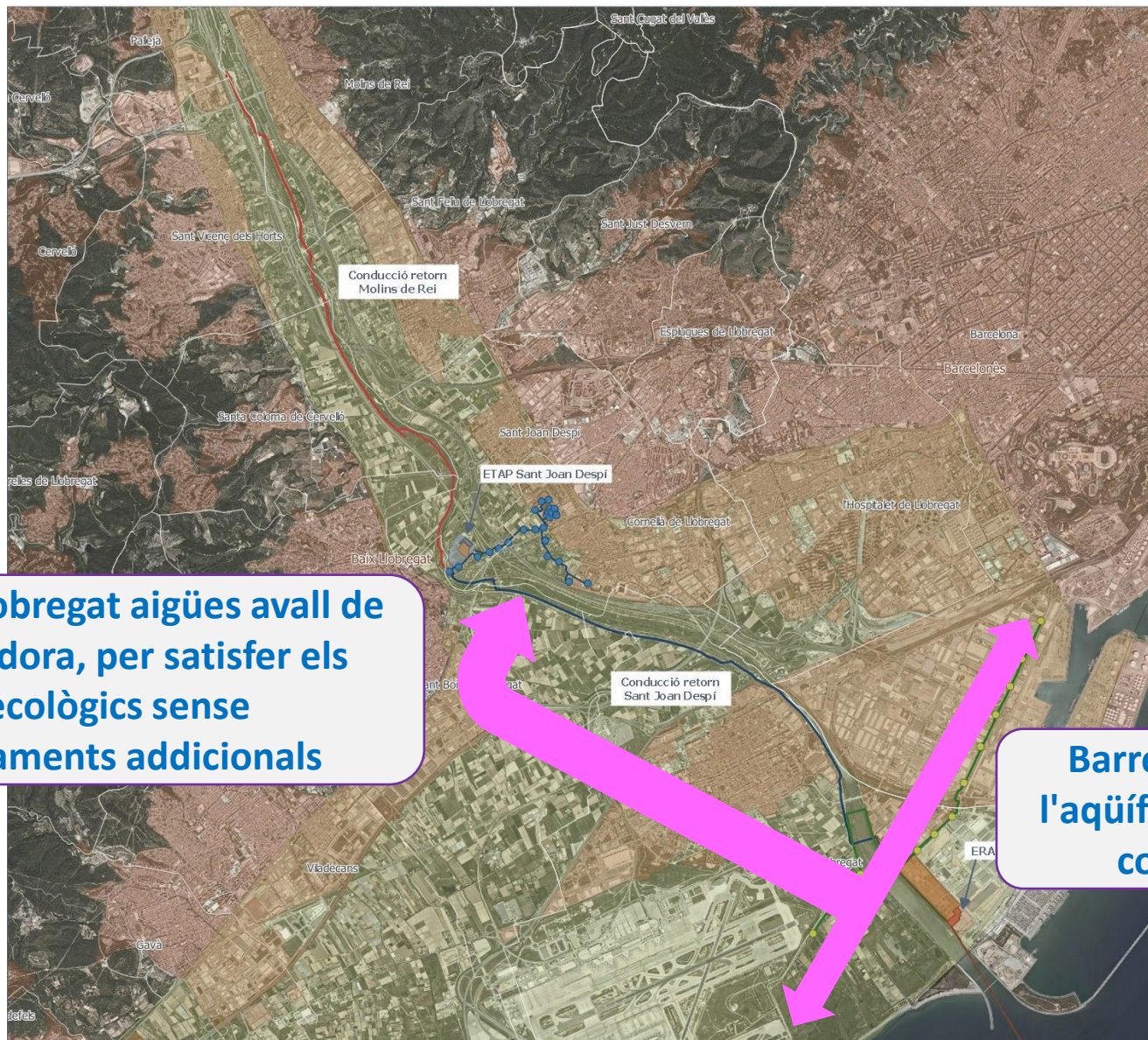
Temes a tractar

1. **Qualitat de l'aigua regenerada.** Estàndards de qualitat, estat de la qüestió i requeriments a futur.
2. **Campanya demostrativa (prova pilot a l'ERA del Prat):** Mostreig i anàlisi de contaminants emergents, elements microbiològics (indicadors i patògens). Anàlisi toxicitat a medi.
3. **Propostes a futur:** Efectes del canvi climàtic. Impuls de l'aigua regenerada al Pla de conca de 3r cicle (2022-2027).



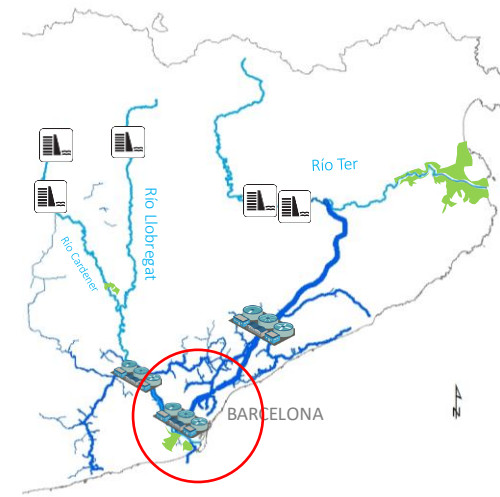
Campanya demostrativa (prova pilot a l'ERA del Prat)

En situació de **normalitat hidrològica**, l'aportació al riu per satisfer el cabal ecològic absorbeix la major part de l'efluent disponible.



Retorn al riu Llobregat aigües avall de la potabilitzadora, per satisfer els cabals ecològics sense desembassaments addicionals

Barrera d'injecció profunda a l'aquífer del Llobregat per lluitar contra la intrusió salina



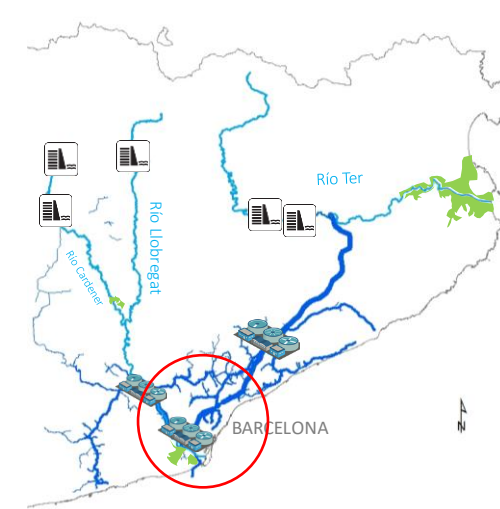


Campanya demostrativa (prova pilot a l'ERA del Prat)

En **situació de sequera**, els cabals ecològics són menors i hi ha un excedent d'aigua regenerada.

L'objectiu del projecte és demostrar la viabilitat del retorn aigües amunt de la potabilitzadora, en situacions de sequera, amb la consegüent reducció dels desembassaments.

La metodologia es pot aplicar després a altres rius (ex. Riu Besòs).





Campanya demostrativa (prova pilot a l'ERA del Prat)

Anàlisi holística del possible risc sobre la salut humana i toxicitat ambiental. **Grup de treball** motor assistit per un **Panell d'Assessorament Expert**.

GRUP DE TRABALL

- Agència Catalana de l'Aigua
- Agència de Salut Pública de Catalunya
- Àrea Metropolitana de Barcelona
- Aigües de Barcelona

PANEL·L ASESORAMENT CIENTÍFIC





Selecció de compostos químics a analitzar

Selecting contaminants (step 1):

A first list (candidates to be considered):

- **Pharmaceuticals:** a total of **778** prescribed pharmaceuticals and its metabolites were obtained as possible (antibiotics, antivirals, antidiabetics, antidepressants, etc.). Prescribed and over-the-counter sold.
- **Pharmaceuticals used additionally in hospitals:** **17** cytostatic products (used in chemotherapy), drugs, hormones, radiological contrast agents.
- **Personal care products and food additives :** **11** compounds (food preservatives, additives for domestic products “e.g. toothpaste”, sunscreen, skin creams, etc.). Currently in use.
- **Contaminants from industrial activities:** **51** compounds (heavy metals, VOCs, dioxins, phenols, organic solvents, PAHs, flame retardants, phthalates, etc.). Industrial declarations (most relevant).
- **Other contaminants from domestic and urban uses (pesticides, organochlorides, etc.):** **208** compounds (pesticides, PFOS, PBDEs, etc.). Previously detected in the Llobregat river (from research projects and monitoring programs)
- **Chlorination byproducts:** **5** compounds (NDMA, chloroform, bromoform, etc.). Most relevant.
- **Regulated compounds:** **2** additional compounds (from 39/2013/UE Directive - Watch List): 2,6-ditert-butyl-4-methylphenol and metaflumizone.

Total: 1,072 compounds (initial list)

Selecció de compostos químics a analitzar

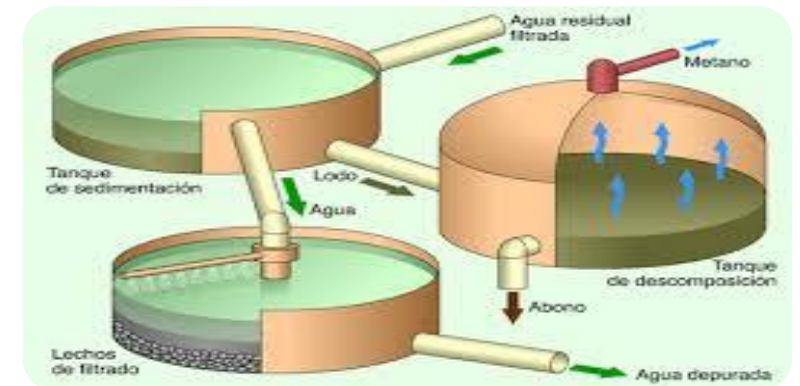
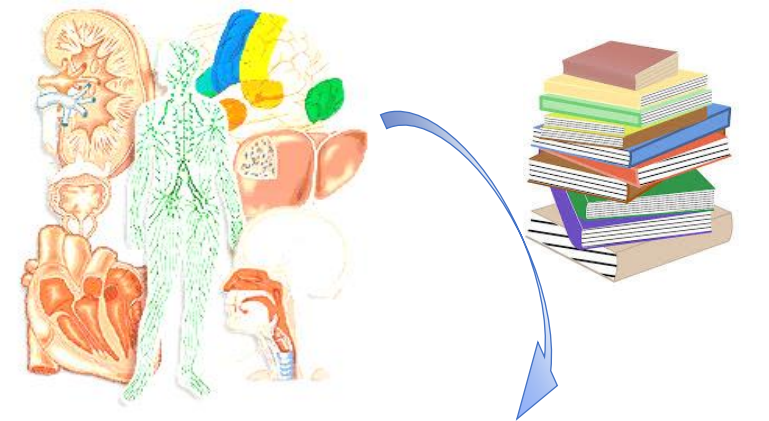
Selecting contaminants (step 2): Pharmaceuticals

Pharmaceuticals were selected regarding its possible effects and fate in environment.

Metabolites were also considered according to literature.

From total annual Daily Dose (**DDD**), we calculated the maximum concentration of each drug that could be found in the wastewater influent. It is assumed an average maintenance dose per day for a drug used for its main indication in adults (from WHO). **Estimated concentration in Waste Water** was assessed.

We used the **EPI Suite program** (US EPA), a predictive method to assess exposure and fate of chemicals, to assess concentrations at effluent.



$$\textit{Estimated concentration in Waste water} = \frac{\text{DDDt} \times \frac{\text{mg}}{\text{DDD}} (\text{WHO})}{\text{waste water inflow} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right)} \times \frac{\frac{1000\mu\text{g}}{1\text{mg}}}{\frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3}}$$



Selecció de compostos químics a analitzar

Selecting contaminants (step 2): Pharmaceuticals

On the other hand, we calculated a Guide Value (**GV**) for each pharmaceutical compound. The compounds for which it was established an acceptable daily intake (**TDI**: Tolerable Daily Intake).

$$GV = \frac{TDI (mg/kg\ bw/day) \times bw (kg) \times P}{V (L/day)}$$

Where: $V=2$ L/day; *TDI*:
Tolerable daily intake; *P*:
Proportion from water

For those compounds for which has not been established yet a TDI, we use the Minimum Therapeutic Dose (**MTD**) values to calculate the GV:

$$GV = \frac{MTD \left(\frac{mg}{day} \right) \times P \times 10^3}{SF \times V (L/day)}$$

Where: $V=2$ L/day; *MTD*:
Minimum Therapeutic Dose; *P*:
Proportion of MTD from water;
SF: Safety factor



Selecció de compostos químics a analitzar

Selecting contaminants (step 2): Pharmaceuticals

Once **GV** is obtained, we finally assess a Risk Coefficient (**RC**): Ratio between the calculated or estimated guides values for a compound and the calculated initial theoretical concentrations in the wastewater influent (as exposed before). A margin (RQ) below 1, indicates that the concentration is above the value guide for the compound. This margin is taken as a first approach in order to prioritize which compounds we would consider to assess regarding its possible presence in the reclaimed water.

$$RQ \text{ (Risk Coefficient)} = \frac{\textit{Estimated concentration in water}}{\textit{Guide Value (GV)}}$$

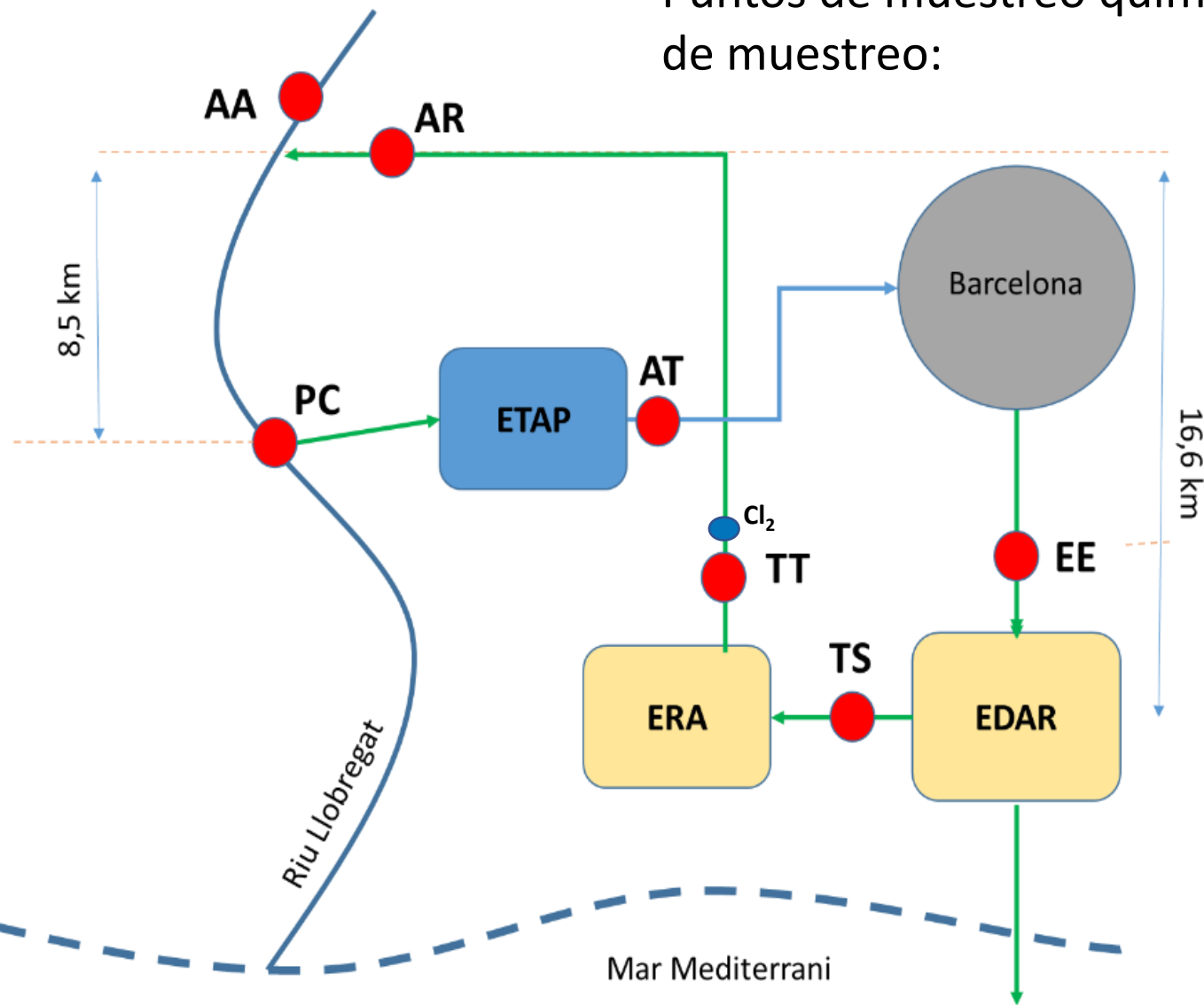
We selected pharmaceuticals with **RQ > 0.1**

Total selected pharmaceuticals: 77 out of 795 total pharmaceuticals previously listed.

Total compounds (after step 2): 376 out of 1,072 compounds

➤ Disseny prova demostrativa

Puntos de muestreo químicos y elementos microbiológicos y frecuencia de muestreo:

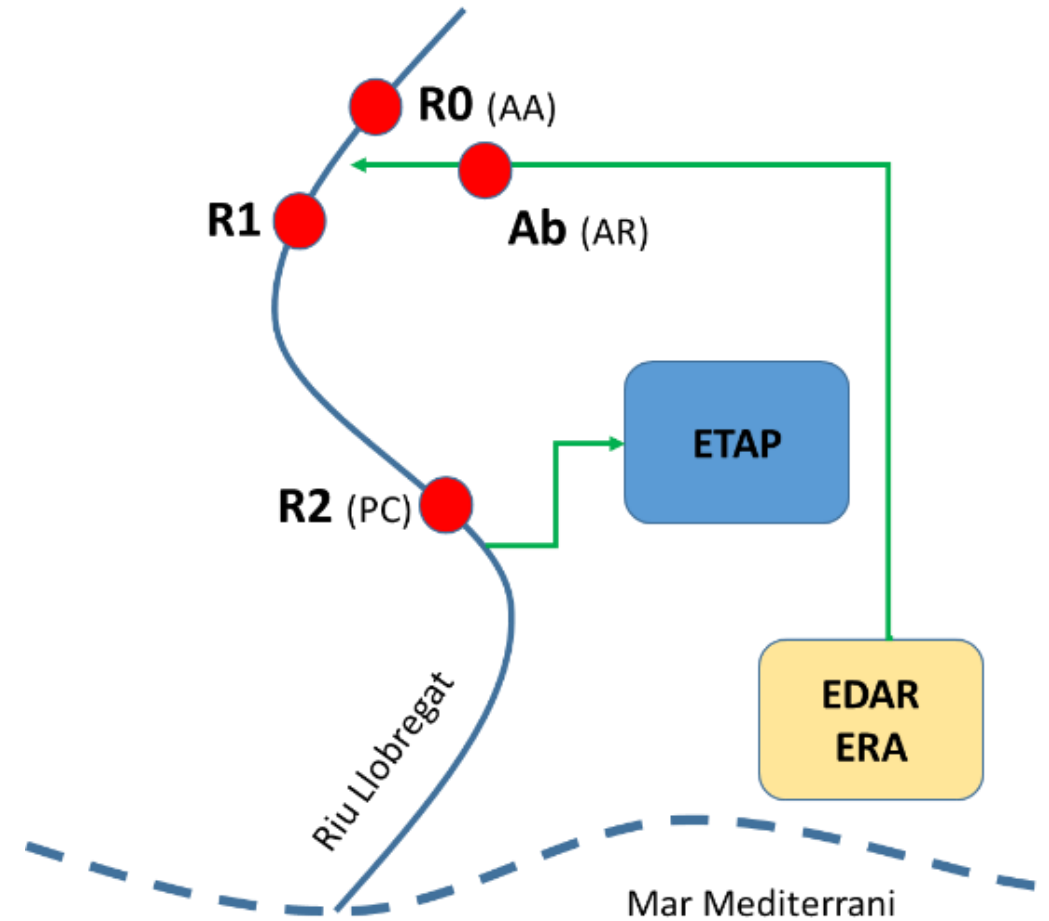
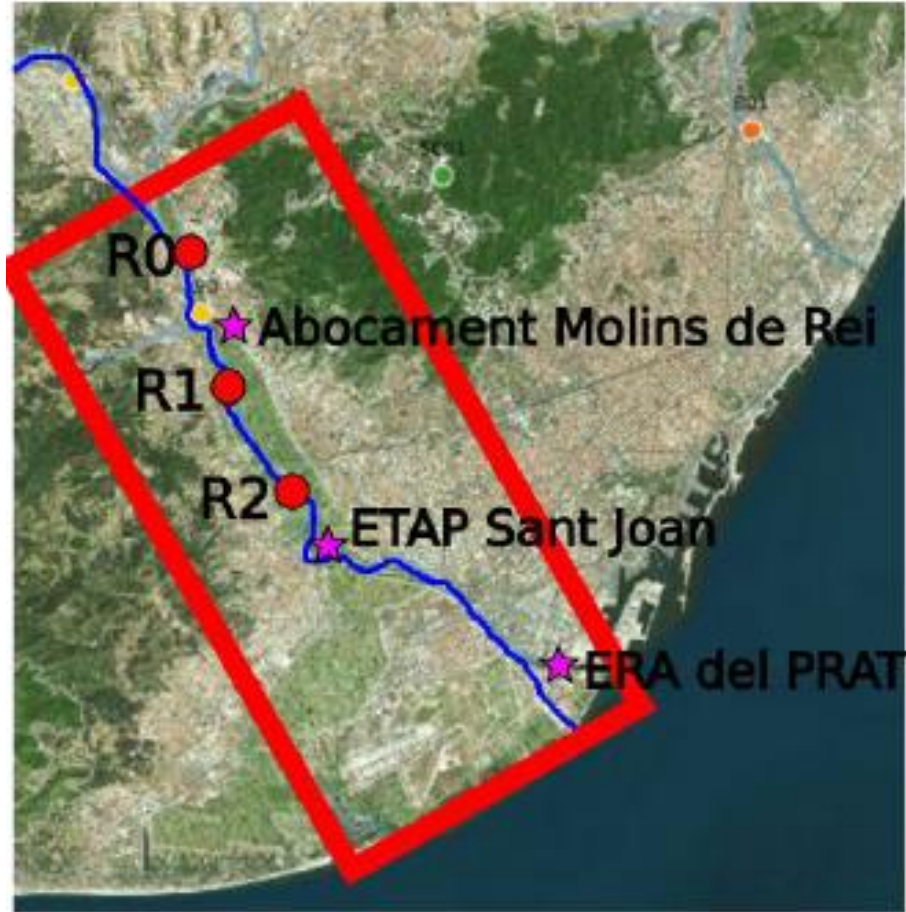


Codi del punt de mostreig	Freqüència de mostreig
EE	Quinzenal (4 mostres en el transcurs de prova pilot; cada 2 setmanes)
TS	Mensual (2 mostres en el transcurs de prova pilot; una cada mes)
TT	Quinzenal per a químics (4 mostres en el transcurs de prova pilot), i setmanal per a microbiològics (8 mostres).
AR	Setmanal (8 mostres en el transcurs de prova pilot)
AA	Quinzenal (4 mostres en el transcurs de prova pilot; cada 2 setmanes)
PC	Setmanal (8 mostres en el transcurs de prova pilot).
AT	Setmanal (8 mostres en el transcurs de prova pilot).

Chlorine addition
(10 i 14 mg Cl²/L)

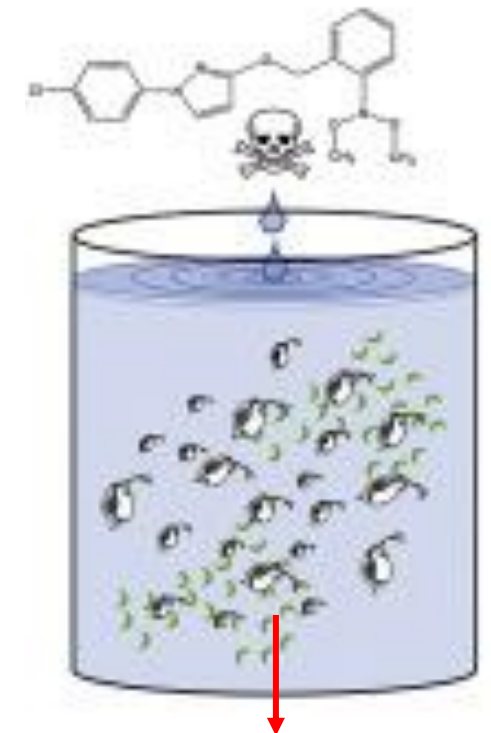
➤ Disseny prova demostrativa

Punts de mostreig d'elements biològics, biomarcadors i anàlisi de toxicitat ambiental:



➤ Bioindicadors, biomarcadors i anàlisis de toxicitat ambiental

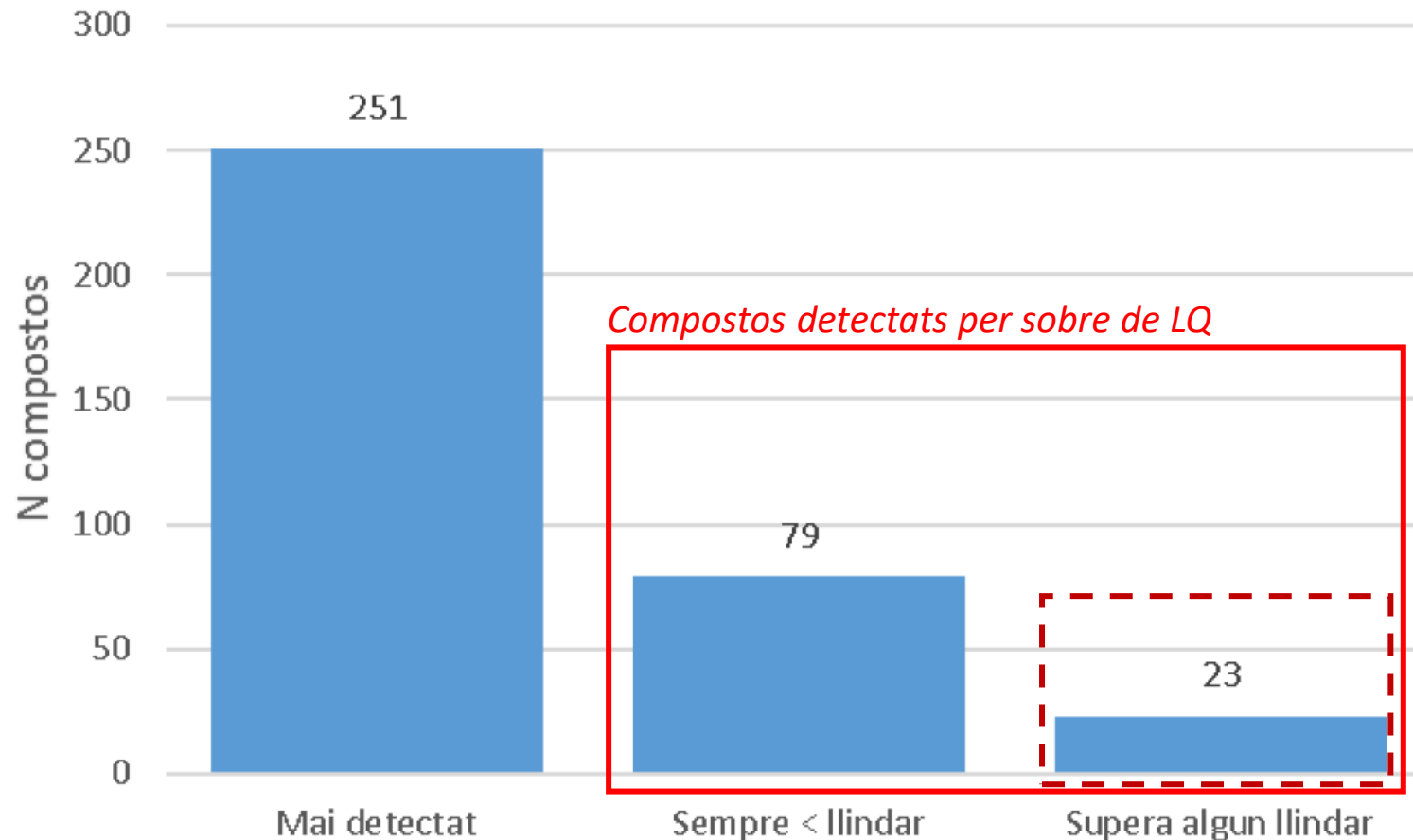
Marcador / Indicador	Organisme	Mesura
Anàlisi estructura i composició de la població (indicadors biològics) i indicadors fisiològics		
IBMWP	Macroinvertebrats	Qualitat biològica
IASPT	Macroinvertebrats	Qualitat biològica
ICM-Star	Macroinvertebrats	Qualitat biològica
IMMi-T i IMMi-L	Macroinvertebrats	Qualitat biològica
Diversitat genètica	Macroinvertebrats	Qualitat biològica
IPS	Diatomees	Qualitat biològica
Taxa d'ingesta	<i>Daphnia magna</i>	Efectes tròfics
IBICAT2010 i IBICAT2b	Peixos	Qualitat biològica
Relació longitud-pes	Peixos	Efectes tròfics
Histograma longituds	Peixos	Efecte sobre l'estructura d'edats (mides)
Anàlisi alteració cel·lular o bioquímica (biomarcadors)		
Glutatió-S-transferasa (GST)	<i>H. exocellata</i>	Biotransformació fase II
Catalasa (CAT)	<i>H. exocellata</i>	Resposta antioxidant a l'estrès oxidatiu
Superòxid dismutasa (SOD)	<i>H. exocellata</i>	Resposta antioxidant a l'estrès oxidatiu
Glutatió peroxidase (GPX)	<i>H. exocellata</i>	Resposta antioxidant a l'estrès oxidatiu
Glutatió reductasa (GR)	<i>H. exocellata</i>	Resposta antioxidant a l'estrès oxidatiu
Glutatió reduït (GSH)	<i>H. exocellata</i>	Resposta antioxidant a l'estrès oxidatiu
Peroxidació de lípids (LIPOX)	<i>H. exocellata</i>	Estrès oxidatiu
Fòrmula leucocitària	Peixos	Resposta a estrès / estat immunològic
Anomalies nuclears eritròcits	Peixos	Alteracions a l'ADN





Resultats: contaminants emergents i SPs

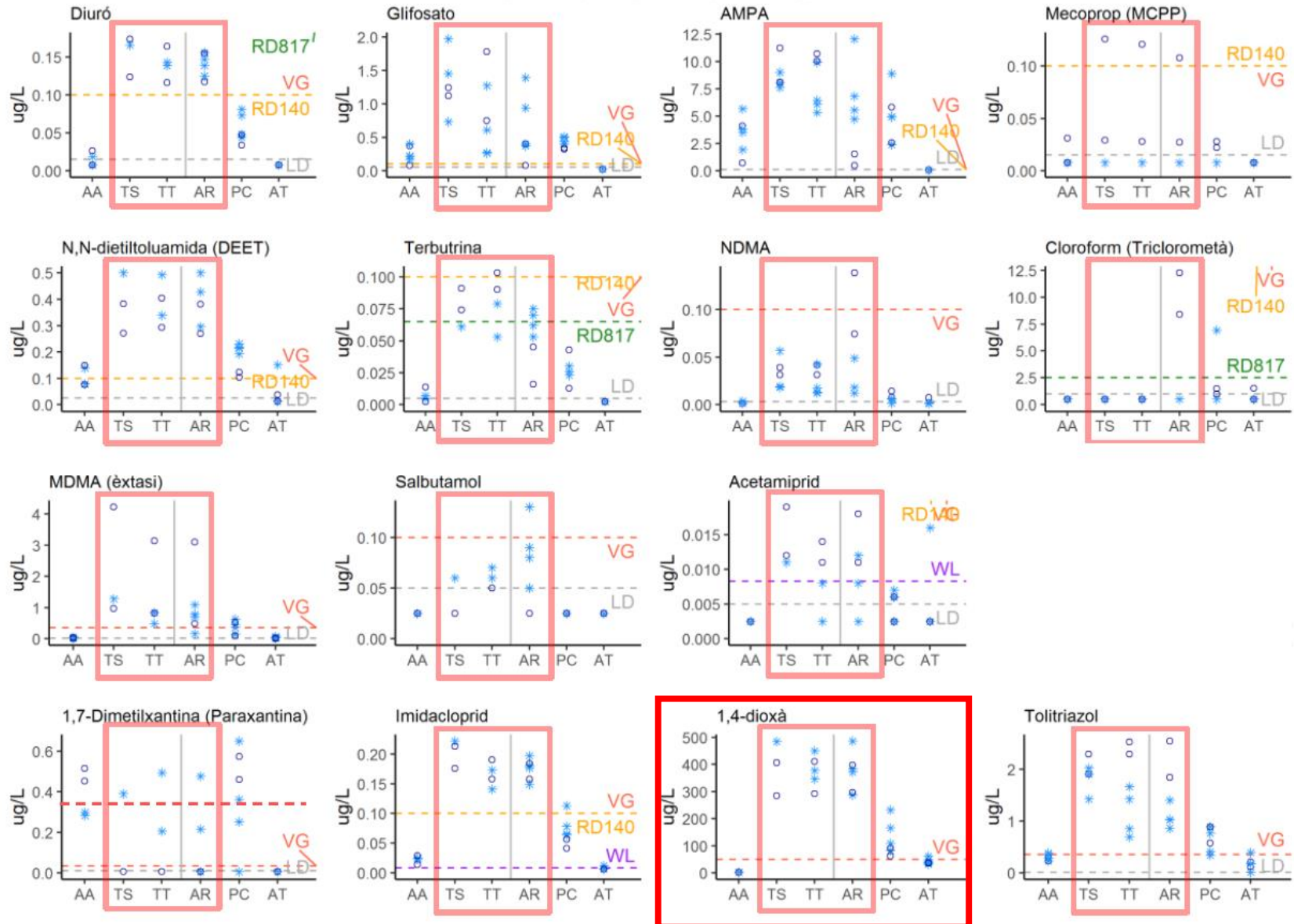
Del total de **376 compostos microcontaminants** orgànics, substàncies prioritàries i contaminants emergents analitzades, un total de **102 (27%)** es van detectar per sobre del límit de quantificació (LQ), dels quals **23 (6%)** van superar en algun moment el “valor guia”.



Resultats: contaminants emergents i SPs (salut humana)

Del total de **23 compostos** que van superar en algun moment els “llindars de referència”, un total de:

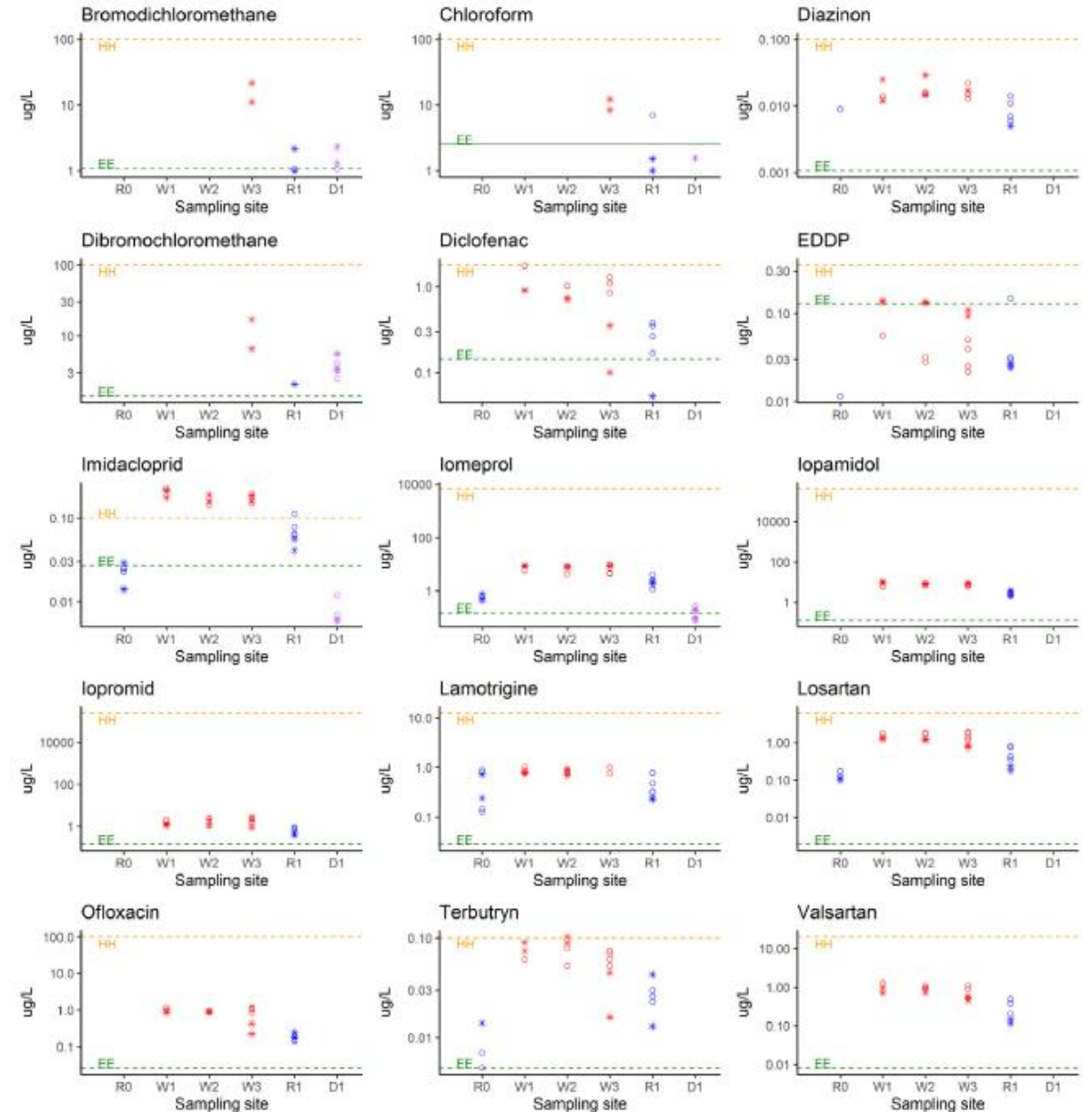
- **14** superen dins del procés de tractament (sucralose, diuron, mecoprop, NDMA, azithromycin, gemfibrozil, salbutamol, ciprofloflaxin, doxycycline, furosemide, triclosan, chlorpyrifos, clarithromycin i lorazepam)
- **4** Superen al riu però no a causa de l'abocament (Glifosat, AMPA, Diuron, Paraxantina).
- **4** Superen al riu a causa de l'abocament però no afecten la potabilització (1 per cloració) DEET, MDMA, Imidacloprid, Cloroform.
- **1** amb risc sobre la potabilització (**1,4 dioxà**)



Resultats: contaminants emergents i SPs (toxicitat ambiental - PNEC)

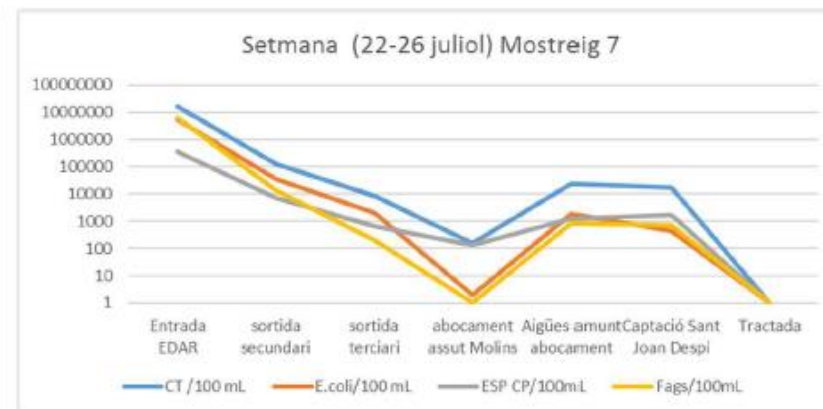
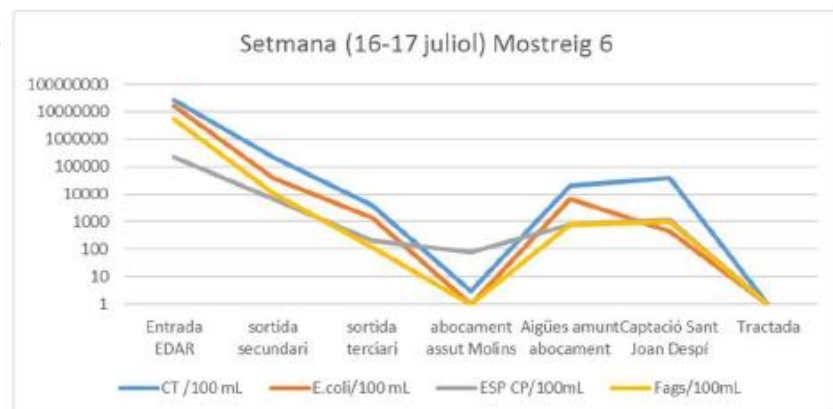
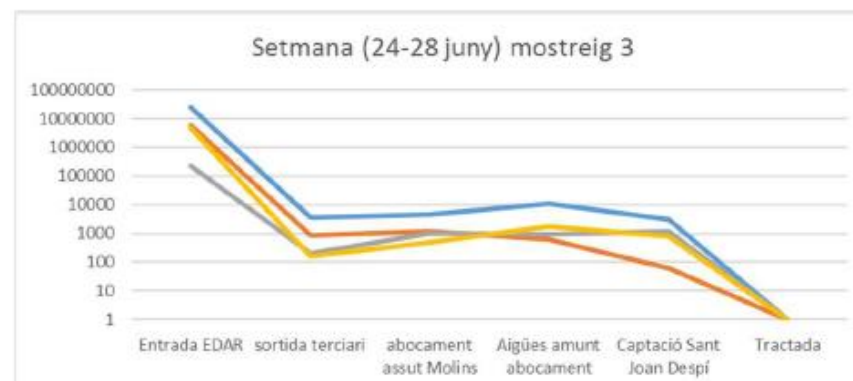
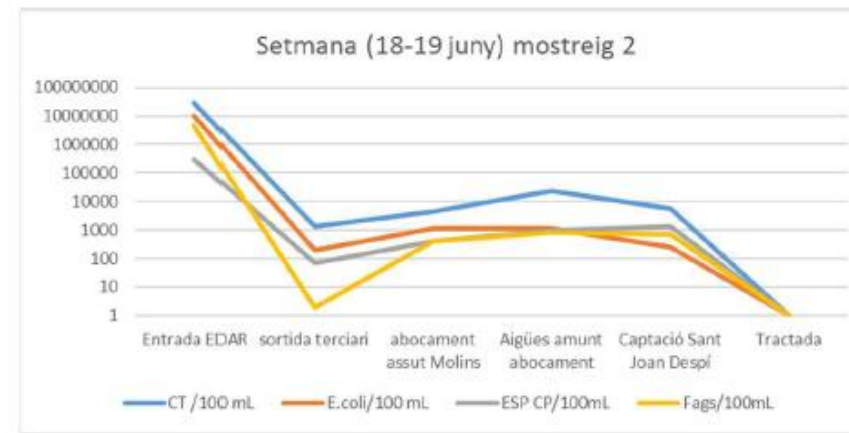
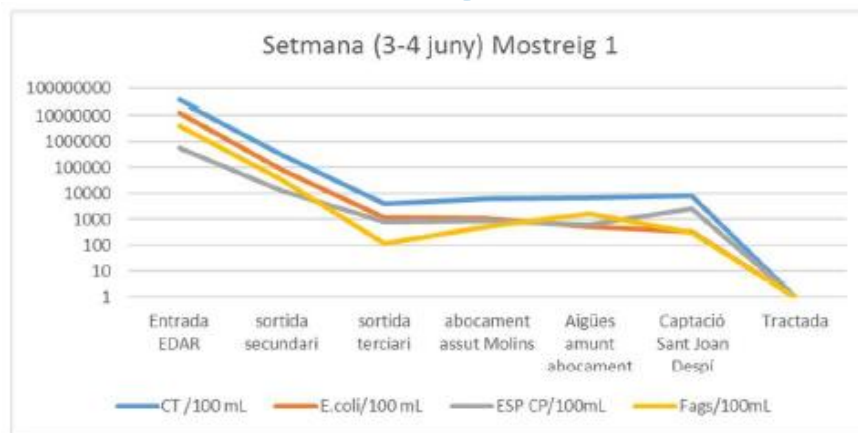
Un total de **15 microcontaminants** van superar els líndars PNEC al riu Llobregat. La majoria **fàrmacs o agents de contrast radiològics** (iomeprol, diclofenac, lamotrigina, iopamidol, ioprimid, ofloxacina, valsartan, losartan i diazinon), el principal metabòlit de la metadona (EDDP), l'insecticida neonicotinoide imidacloprid, un herbicida (terbutrina) i alguns subproductes clorats (DBP) o compostos industrials com el bromodiclorometà, el dibromoclorometà i el cloroform, especialment quan es clorava l'aigua recuperada.

Dels 15 microcontaminants, un total de **10 no es van detectar aigües amunt**, sinó després de l'abocament, la majoria fàrmacs i alguns compostos industrials i DBP (bromodiclorometà, dibromoclorometà, cloroform, EDDP, diclofenac, iopamidol, ioprimid, lamotrigina, ofloxacina i valsartan).



Resultats: indicadors microbiològics

La **cloració de l'aigua** regenerada causa una reducció addicional de la càrrega microbiològica a l'aigua abocada (mostrejos 6 i 7) pel que fa al tractament de regeneració sense cloració, encara que aquest efecte ja **no es nota un cop l'aigua ha estat barrejada amb l'aigua del riu Llobregat**.



CT: coliforms totals

E.coli: *Escherichia coli*

ESP CP: espores de *Clostridium perfringens*

Fags: bacteriòfags

Resultats: indicadors microbiològics

La reducció de la càrrega microbiològica en tot el procés de tractament d'aigua regenerada és de l'ordre d'entre 4 i 6 unitats logarítmiques per *E. coli* i colifags somàtics, i d'entre 2 i 3 unitats logarítmiques en espores de Clostridis sense clorar l'aigua regenerada, i de l'ordre d'entre 6 i 7 unitats logarítmiques per *E. coli* i colifags somàtics, i 3 unitats logarítmiques en espores de Clostridis clorant l'aigua regenerada

	Log eliminació Sense cloració	Log eliminació Amb cloració*
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	3,8 – 4,7	6,4 – 7,2
Espores de <i>C. perfringens</i> (esp./100 ml)	2,8 – 3,6	3,4 – 3,5
Bacteriòfags (fags/100 ml)	4,5 – 6,4	6,7 – 6,8

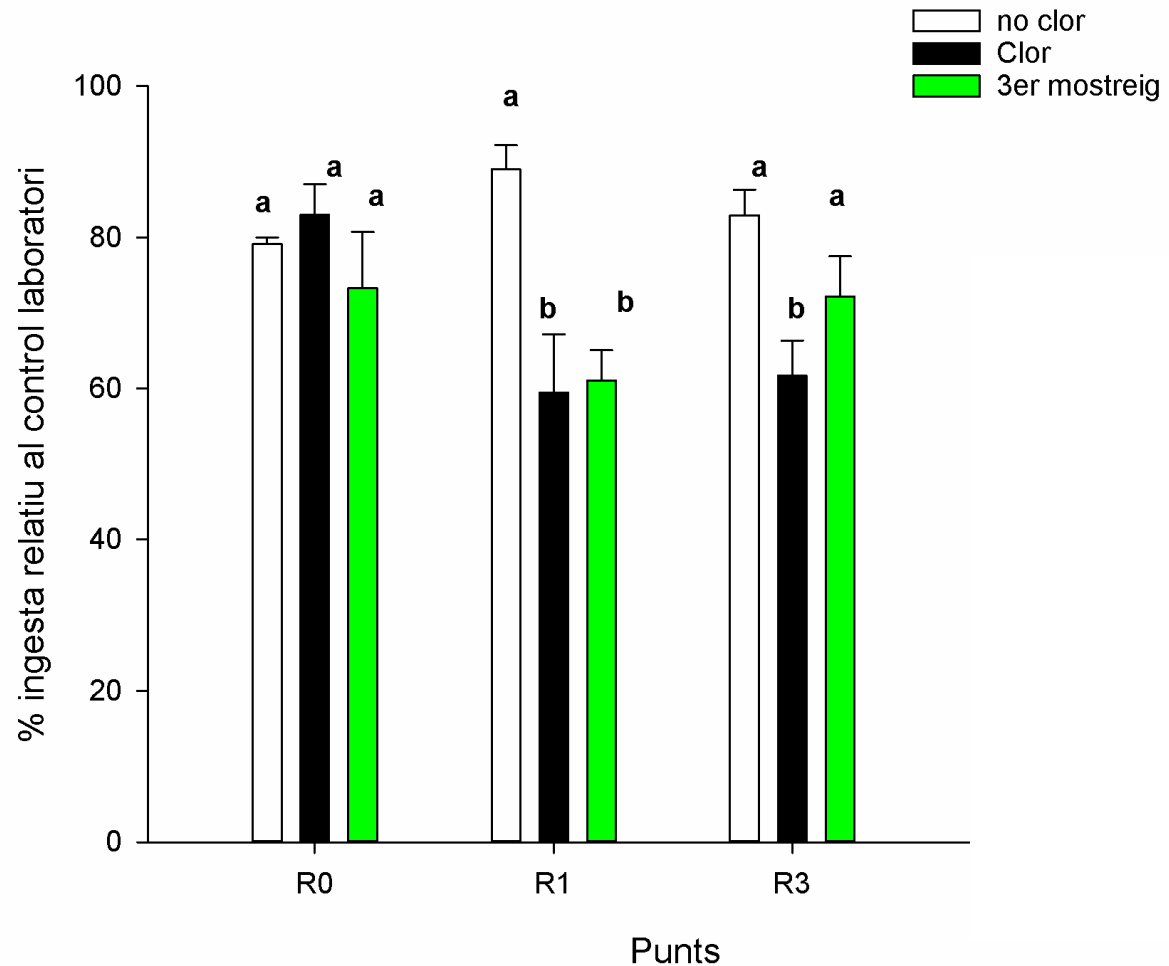
Reclaimed water quality class	Indicator microorganisms (*)	Performance targets for the treatment chain (log ₁₀ reduction)	Reduccions assolides a l'aigua regenerada amb cloració (valor mitjà)
A	<i>E. coli</i>	≥ 5.0	6,8
	Total coliphages/ F-specific coliphages/somatic coliphages/coliphages(**)	≥ 6.0	6,7
	<i>Clostridium perfringens</i> spores/spore-forming sulfate-reducing bacteria(***)	≥ 4.0 (in case of <i>Clostridium perfringens</i> spores) ≥ 5.0 (in case of spore-forming sulfate-reducing bacteria)	3,5 NA



Resultats: toxicitat ambiental

Resultats (Mitjana \pm SE, N = 5-7) de la taxa d'ingesta relatives al control de laboratori.
Diferents lletres indiquen diferències significatives (ANOVA considerant el test de Tukey).

Es detecta certa toxicitat al medi després de l'abocament amb aigua regenerada i clorada

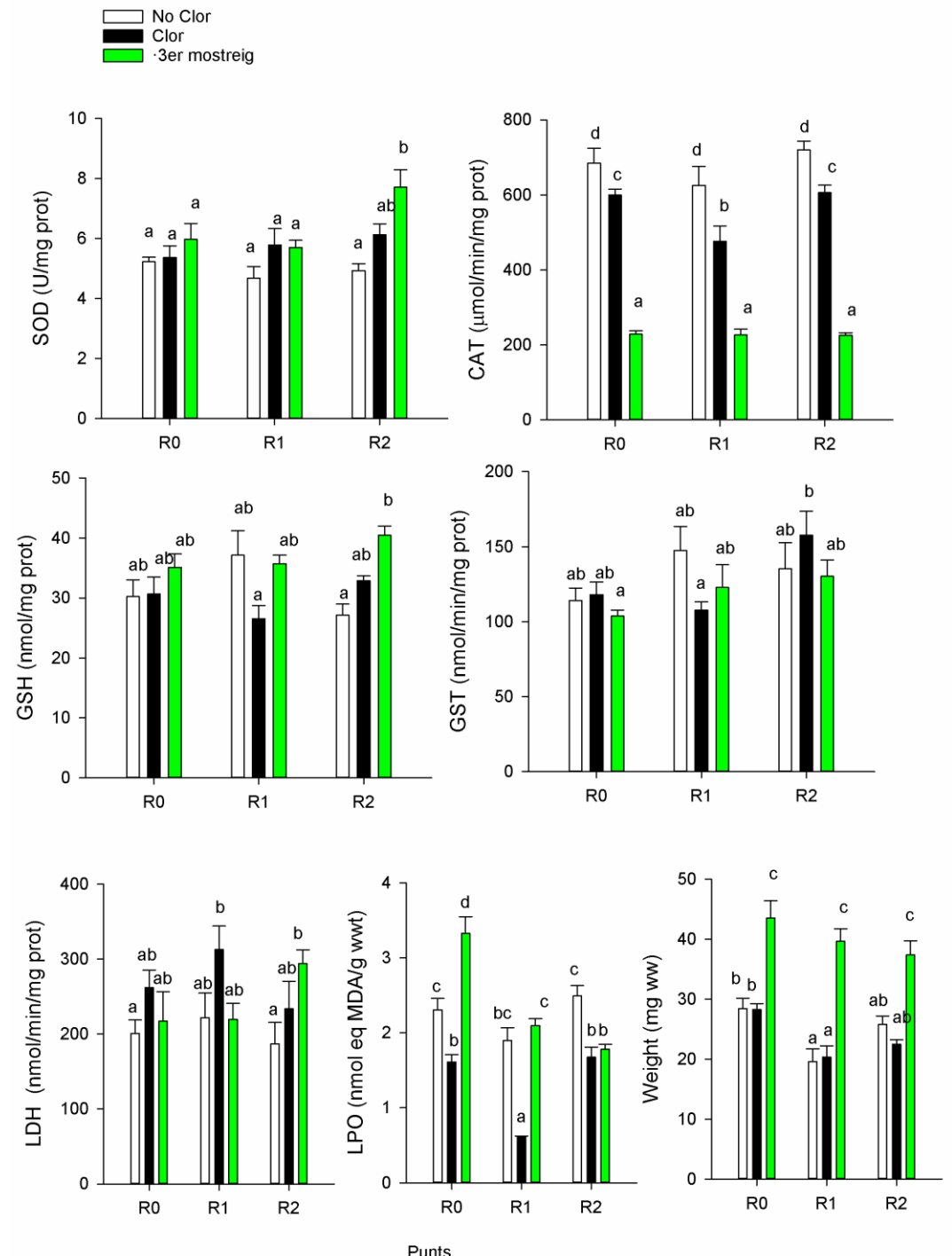




Resultats: toxicitat ambiental

Resposta dels biomarcadors estudiats (Mitjana \pm SE, N = 7-10) a *Hydropsyche exocellata* mostrats al Llobregat. Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre grups segons les comparacions múltiples de Tukey i les anàlisis ANOVA.

Certa divergència de resultats.





CONCLUSIONS resultats

Science of the Total Environment 866 (2023) 161339



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Indirect potable water reuse to face drought events in Barcelona city. Setting a monitoring procedure to protect aquatic ecosystems and to ensure a safe drinking water supply



Antoni Munné ^{a,*}, Carolina Solà ^a, Elisabet Ejarque ^a, Josep Sanchís ^a, Pere Serra ^b, Irene Corbella ^b, Mercè Aceves ^c, Belen Galofré ^d, M. Rosa Boleda ^d, Miquel Paraira ^d, Jordi Molist ^a

^a Catalan Water Agency, c/ Provença 260, 08036 Barcelona, Spain

^b Public Health Agency of Catalonia, Roc Boronat 81, 08182 Barcelona, Spain

^c Barcelona Metropolitan Area, C/62, 18, Zona Franca, 08040 Barcelona, Spain

^d Aigües de Barcelona, General Batet 1-7, 08028 Barcelona, Spain



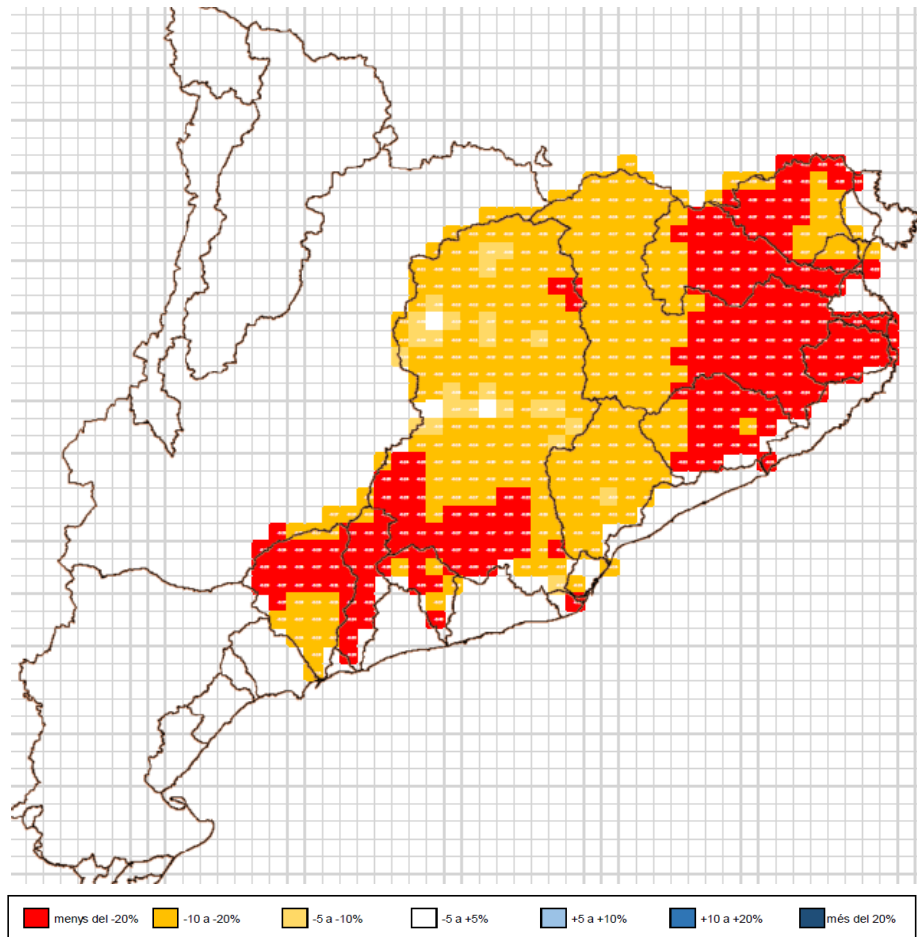
Temes a tractar

1. **Qualitat de l'aigua regenerada.** Estàndards de qualitat, estat de la qüestió i requeriments a futur.
2. **Campanya demostrativa (prova pilot a l'ERA del Prat):** Mostreig i anàlisi de contaminants emergents, elements microbiològics (indicadors i patògens). Anàlisi toxicitat a medi.
3. **Propostes a futur:** Efectes del canvi climàtic. Impuls de l'aigua regenerada al Pla de conca de 3r cicle (2022-2027).

Expectatives de futur: canvi global/canvi climàtic

An **SRES-A1B** scenario is considered as reference (equivalent to **RCP 6.0**), for the horizon 2039 based on projections of the **ESCENA model** applied on a semi-distributed monthly passage hydrological model (5x5 km)..

The differences observed with this model are subsequently compared to the reference historical series (2021-2050 vs. 1971-2020).

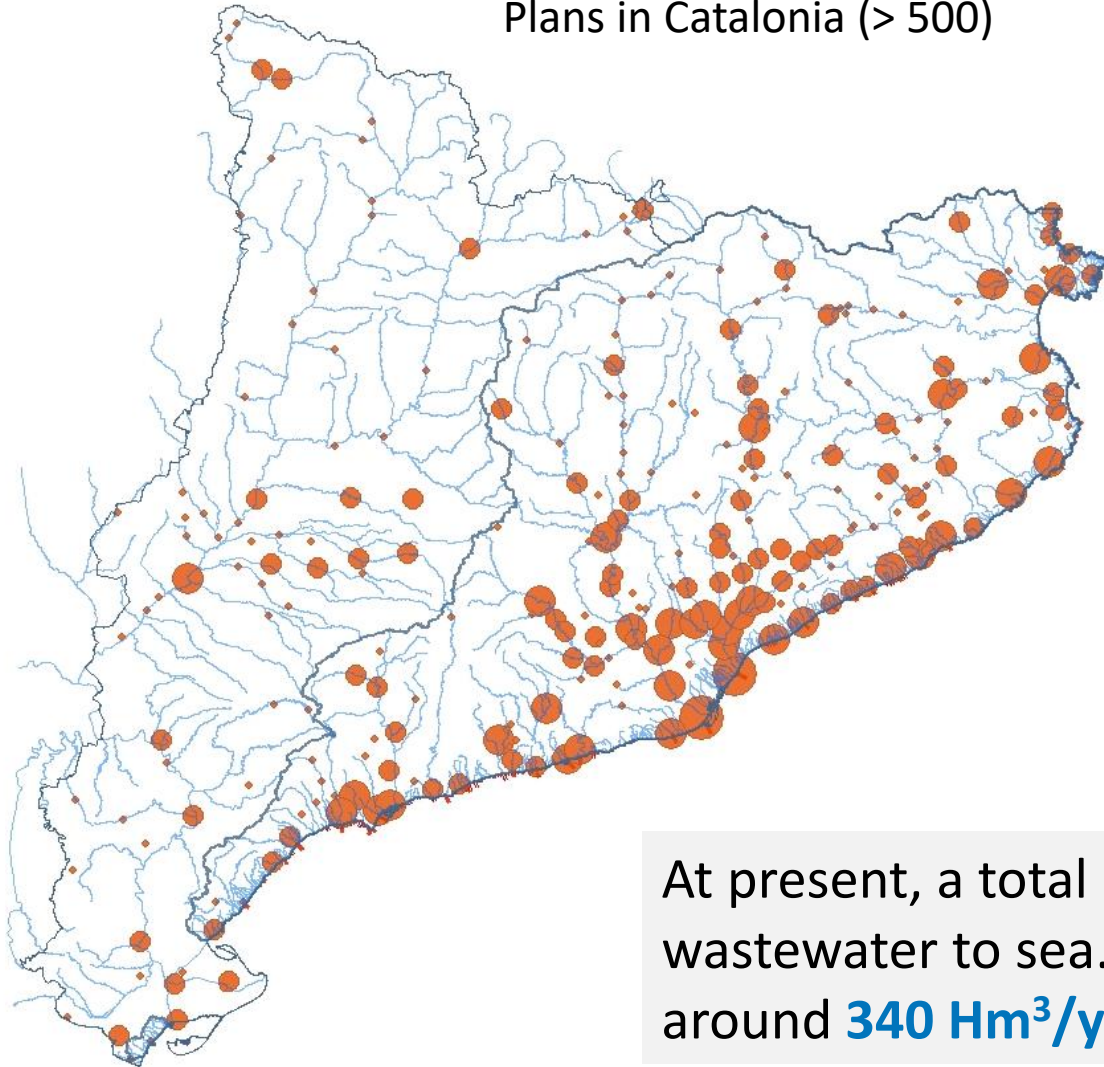


Basins	Average 2021-2050 vs. 1971-2000
Muga	-20.9%
Fluvià	-22.7%
Ter a Ripoll	-16.0%
Ter a Sau	-15.4%
Ter complet	-18.4%
Tordera	-23.9%
Besòs	-14.4%
Llobregat a Sallent	-13.1%
Cardener a Cardona	-20.7%
Anoia complet	-13.1%
Llobregat complet	-14.8%
Foix	-22.3%
Gaià	-22.8%
Francolí	-20.6%
Catalan RBD	-18.3%

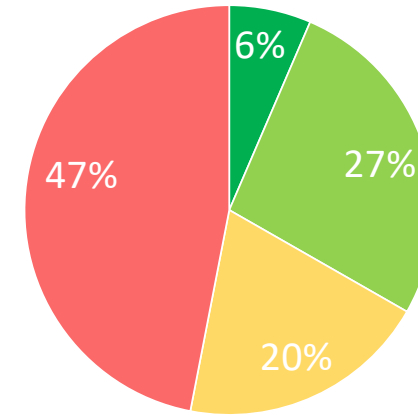


Expectatives de futur: promoció aigua regenerada “potable indirecta”

Urban Wastewater Treatment Plans in Catalonia (> 500)



Percentage of waste water allocation (724 Hm³/y) (97% of people)

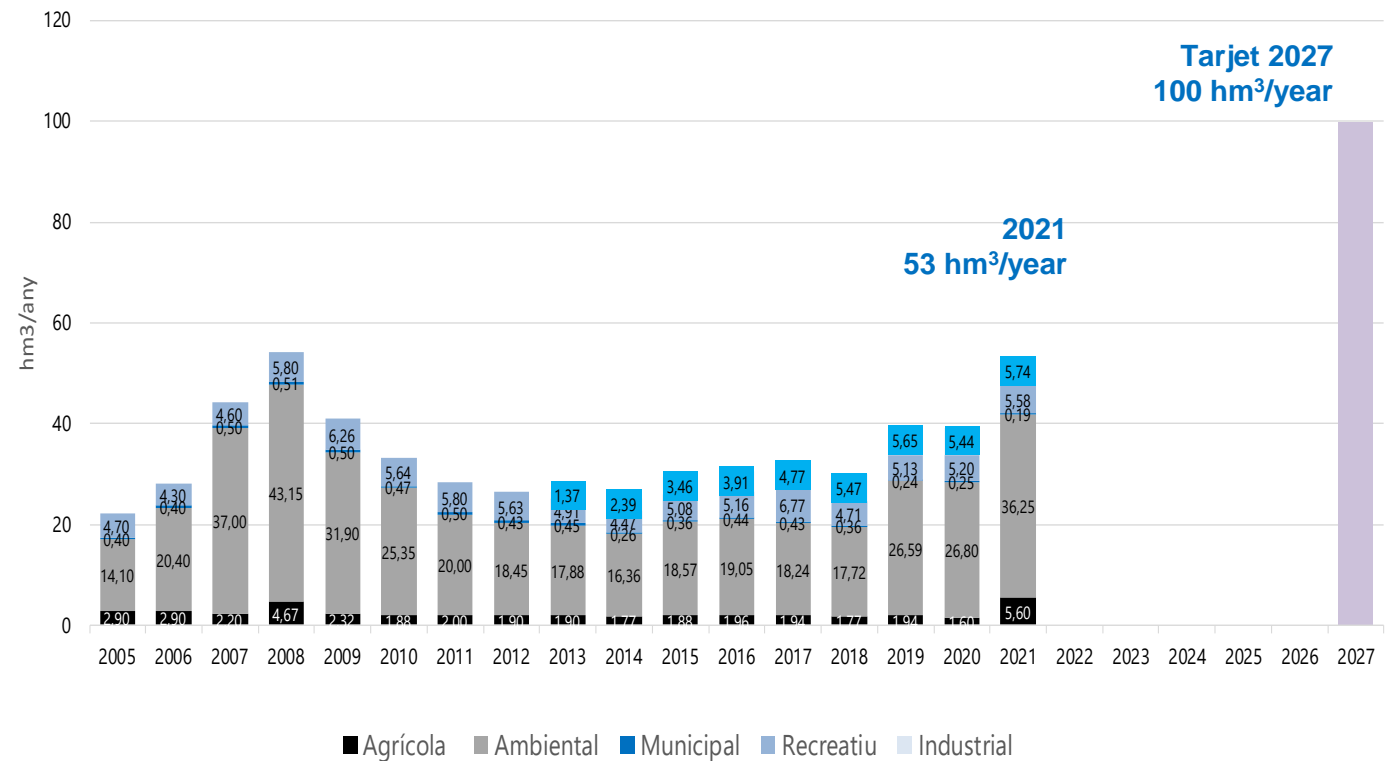
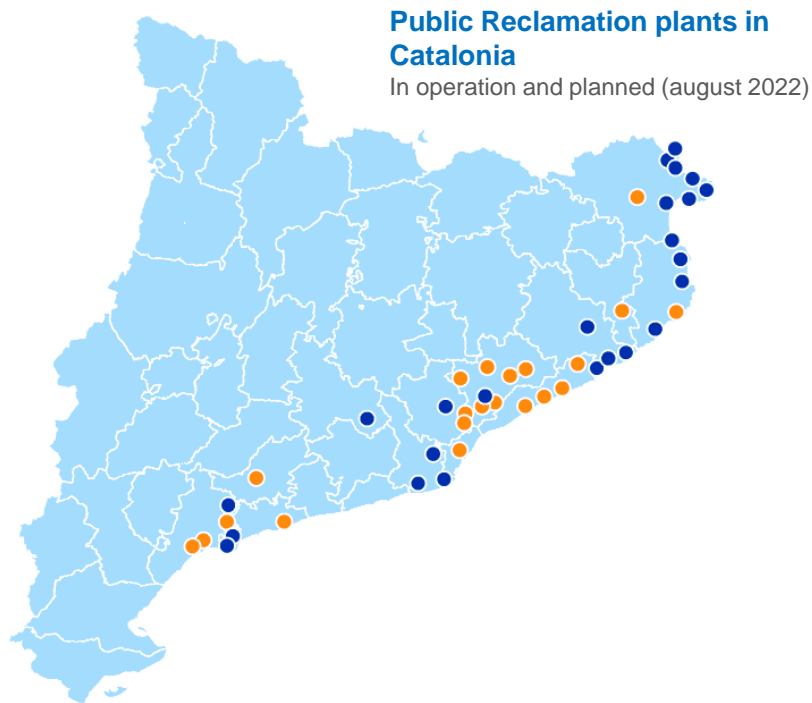


- Planned water reuse
- Unplanned water reused
- Groundwater infiltration (planned or unplanned)
- Discharged directly to the sea

At present, a total of **52 WWTPs** are discharging treated wastewater to sea. The total water discharge to sea comes around **340 Hm³/y**.



Expectatives de futur: promoció aigua regenerada “Pla de conca 3r cicle”



- Estem produint **53 hm³/any** d'aigua regenerada per a usos no potables.
- Tenim previst **construir 25 noves plantes d'aigua regenerada fins a 2027**, per tal d'aconseguir **100 hm³/any** de reutilització directa d'aigua, en col·laboració amb les agències locals.
- Tenim previst ampliar la Reutilització Potable Indirecta, mitjançant el procediment desenvolupat per al Llobregat, en altres indrets (e.g Besòs, etc.).

**Moltes gràcies per la
vostra atenció**