




DESENVOLUPAMENT D'EINES PER AL SUPORT EN LA
IMPLEMENTACIÓ I GESTIÓ DE LA REUTILITZACIÓ
(SUGGEREIX)

PT2: IDENTIFICACIÓ I MONITORATGE DE CONTAMINANTS

Juny 2022

Líders del lliurable:  **ICRA**
Institut Català
de Recerca de l'Aigua

Participants del lliurable:

 **CETAQUA**
CENTRE TECNOLÒGIC DE L'AIGUA

 **eurecat**
Centre Tecnològic de Catalunya

 **Agència Catalana
de l'Aigua**

 Generalitat de Catalunya
Departament de Territori i Sostenibilitat
**Secretaria de Medi Ambient
i Sostenibilitat**

AUTORS/RES

Mercè Font, Wolfgang Gernjak, Joaquim Comas, Gianluigi Buttiglieri - ICRA

Mireia Mesas, Lúdia Fernández - Eurecat

Clàudia Puigdomènech - CETAQUA

CONTINGUT

1. RESUM.....	6
2. OBJECTIUS I ABAST.....	6
3. METODOLOGIA D'IDENTIFICACIÓ I MONITORATGE DE CONTAMINANTS.....	8
3.1 SELECCIÓ D'INDICADORS QUÍMICS I MICROBIOLÒGICS.....	9
3.2 IDENTIFICACIÓ DE PARÀMETRES SUBROGATS PER AL MONITORATGE DELS TRACTAMENTS.....	16
3.3 MÈTODES DE MONITORATGE.....	17
3.4 METODOLOGIA PER DEFINIR ELS REQUERIMENTS DE MONITORATGE.....	21
3.5 REVISIÓ DE MÈTODES DE PRIORITZACIÓ I SELECCIÓ DE CONTAMINANTS I INDICADORS.....	33
4. CONCLUSIONS.....	38
5. REFERÈNCIES.....	40

TAULES DEL LLIURABLE

Taula 1. Límits de l'abast de la metodologia proposada en el PT2, indicant-ne les diferències respecte dels requeriments necessaris d'acord amb el marc del procés d'avaluació de riscos.....	7
Taula 2. Definicions dels conceptes indicador i paràmetre subrogat.....	10
Taula 3. Selecció inicial de 68 substàncies químiques.....	11
Taula 4. Selecció dels 18 indicadors químics.....	12
Taula 5. Selecció dels 3 indicadors microbiològics.....	13
Taula 6. Mètodes d'anàlisi principals d'amoni, nitrat i fosfat.....	18
Taula 7. Models dosi resposta utilitzats per al càlcul de valors de reducció logarítmica de patògens.....	22
Taula 8. Proposta de freqüències de monitoratge al punt de sortida de la planta en funció dels valors de reducció logarítmica de patògens requerits per a un tren de tractament.....	25
Taula 9. Proposta de rangs del quocient de risc (RQ) al punt de sortida i freqüències de monitoratge associades.....	29
Taula 10. Llíndars d'eficiència d'eliminació d'indicadors químics considerats per a la proposta de monitoratge al llarg d'un determinat tractament.....	30
Taula 11. Exemple: proposta de requeriments per al monitoratge d'un tren de tractament per a la producció d'aigua regenerada per a irrigació.....	32

Taula 12. Principals criteris proposats en guies, normatives i projectes per a la selecció de contaminants i indicadors per al monitoratge de la qualitat de l'aigua i l'eficiència de trens de tractament per a la producció d'aigua regenerada a partir d'aigua residual urbana..... 34

Taula 13. Informació bàsica sobre el monitoratge operacional en 4 plantes de producció d'aigua regenerada per a ús prepotable 36

TAULES DE L'ANNEX

ANNEX A

Taula A1. Selecció de contaminants químics i microbiològics

Taula A2. Selecció d'indicadors químics i microbiològics

Taula A3. Propietats dels contaminants i indicadors, i comportament equivalent en els tractaments

Taula A4. Mètodes d'anàlisi de contaminants, indicadors, i paràmetres subrogats que depenen de la qualitat de l'aigua

Taula A5. Monitoratge dels tractaments amb paràmetres subrogats

Taula A6. Monitoratge dels tractaments: punts de mostreig i freqüències de monitoratge

Taula A7. Monitoratge de la qualitat química

Taula A8. Monitoratge de la qualitat microbiològica

Taula A9. Assumpcions per al càlcul dels valors de reducció logarítmica de bacteris, virus i protozous

ANNEX B

Taula B1. Descripció de la infraestructura de tractament existent

Taula B2. Rangs de concentracions típiques dels indicadors a la sortida de la decantació primària

Taula B3. Rangs de concentracions típiques dels indicadors a la sortida de tractaments secundaris

ACRÒNIMS

AAS	Espectrometria d'absorció atòmica	ICP-OES	Espectrometria d'emissió òptica de plasma acoblat inductivament
ACA	Agència Catalana de l'Aigua	MDMA	Metilendioximetanfetamina
AMPA	Àcid aminometilfosfònic	MF	Membrana de microfiltració
BDE	Èter difenílic polibromat	NDMA	N-nitrosodimetilamina
BRM	Reactor biològic de membrana	NRMMC	Natural Resource Management Ministerial Council (Austràlia)
CAG	Carbó actiu granular	OI	Osmosi inversa
CEU	Council of the European Union, Consell de la Unió Europea	PFOA	Àcid perfluorooctanoic
COT	Carboni orgànic total	PFOS	Àcid perfluorooctanosulfònic
DALY	Disability-adjusted life years, anys de vida ajustats per discapacitat	qPCR	Reacció en cadena de la polimerasa quantitativa
DEET	N,N-dietil-m-toluamida	QR	Quocient de risc
DEHP	Bis(2-etilhexil) ftalat (DEHP)	SAD	Sistema d'ajuda a la decisió
ECETOC	European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals	TCPP	Tris(2-cloro-1-metiletil)fosfat
EP	European Parliament, Parlament Europeu	UF	Membrana d'ultrafiltració
ERA	Estació regeneradora d'aigües residuals	US EPA	United States Environmental Protection Agency
ICC-PCR	Mètode integrat de cultiu-reacció en cadena de la polimerasa	UV	Radiació ultraviolada
ICP-MS	Espectrometria de masses de plasma acoblat inductivament	VP	Valor protector
ISO	International Organisation for Standardisation, Organització Internacional per a l'estandardització	WHO	Organització Mundial de la Salut, World Health Organisation

1. RESUM

En aquest treball es descriu la metodologia d'identificació i monitoratge de contaminants que s'ha desenvolupat en el paquet de treball 2 (PT2) del projecte SUGGEREIX.

Com s'explica a la Secció 2, la metodologia té com a objectiu fer una proposta de monitoratge de la qualitat de l'aigua als punts d'entrada i sortida d'una planta de producció d'aigua regenerada i de cadascun dels tractaments que formen un tren de tractament.

A la Secció 3 es descriu la metodologia desenvolupada.

- A la Secció 3.1 es presenta el llistat dels indicadors químics i microbiològics que el sistema d'ajuda a la decisió (SAD) utilitzarà per avaluar els trens de tractament avançats definits en el PT4 i fer-ne una proposta de monitoratge operacional.
- A la Secció 3.2 s'introdueixen els paràmetres subrogats, paràmetres que permeten avaluar l'eficiència de processos de tractament en continu o de manera ràpida.
- A la Secció 3.3 es fa un resum dels mètodes d'anàlisi dels indicadors químics i microbiològics i dels mètodes de monitoratge dels tractaments en temps real.
- A la Secció 3.4 es descriu la metodologia que el SAD implementarà per definir els requeriments de monitoratge: proposta de paràmetres subrogats i indicadors químics i microbiològics que caldria monitorar a cada punt de mostreig, i freqüències de monitoratge de cada punt determinades segons els valors protectors (VP) (o valors objectiu de qualitat) que caldria aconseguir, definits en el PT3.
- A la Secció 3.5 s'indiquen les principals fonts d'informació que es van consultar per definir els criteris de selecció dels contaminants i indicadors.

2. OBJECTIUS I ABAST

Els objectius del PT2 són:

- Identificar contaminants químics i microbiològics que poden ser presents als efluent de plantes de tractament d'aigües residuals urbanes, i que s'han de tractar amb tecnologies addicionals perquè l'aigua es pugui reutilitzar.
- Fer una proposta d'una selecció reduïda d'indicadors perquè el SAD pugui avaluar trens de tractament avançats segons la seva capacitat d'eliminar-los, i en pugui fer una pla de monitoratge factible.
- Desenvolupar una metodologia per fer una proposta de monitoratge per a una planta de regeneració d'aigua que el SAD implementarà:

- al punt d'entrada i al punt de sortida de la planta per garantir el compliment dels VP de l'aigua regenerada, que poden variar en funció de l'ús a què l'aigua es vulgui destinar;
- a l'entrada i/o a la sortida de cadascun dels tractaments (o barreres) individuals i trens de tractament per controlar que operen adequadament en temps real.

A la Taula 1 s'identifiquen els límits de l'abast de la metodologia de monitoratge elaborada en el PT2, indicant-ne les principals diferències respecte dels requeriments de monitoratge necessaris d'acord amb el marc del procés d'avaluació de riscos (Organització Mundial de la Salut—WHO 2006, 2008, 2017b; European Parliament—EP, Council of the European Union—CEU 2020 a, b). Tot i que el seu abast és més general, la metodologia proposada també hauria de servir com a guia perquè, en el cas d'identificar contaminants difícils de tractar, se'n puguin investigar les fonts i s'hi estableixin mesures per prevenir-ne l'emissió, p. ex., promovent canvis en processos productius, comercials, en pràctiques agrícoles o en pautes de consum.

Taula 1. Límits de l'abast de la metodologia proposada en el PT2, indicant-ne les diferències respecte dels requeriments necessaris d'acord amb el marc del procés d'avaluació de riscos

Metodologia proposada en el PT2	Procés d'avaluació de riscos*
Proposta d'una selecció d'indicadors químics i microbiològics per avaluar trens de tractament segons la seva capacitat d'eliminar-los; avaluació orientativa.	Identificació dels perills i avaluació detallada de riscos del sistema des de l'abastament (anàlisi de les fonts d'aigua) fins al punt d'ús; també inclou el manteniment.
Descripció del principi del procés de validació ¹	Determinació i validació de les mesures de control, revaluació i priorització de riscos: aplicació de proves (p. ex. "challenge testing") i càlculs teòrics per validar l'eficiència de cada tractament per eliminar contaminants; definició del marc operacional dins del qual el tractament es pot dur a terme (p. ex. cabal d'aigua i transmitància mínima de radiació ultraviolada (UV) per a desinfecció UV).

¹ En el procés d'avaluació de riscos, un cop s'han identificat i avaluat els riscos, cal identificar i validar l'eficiència de les mesures de control, p. ex., cal demostrar que cada tractament individual permet aconseguir els valors objectiu de reducció dels riscos, que el tren en conjunt assoleix tots els valors objectiu de reducció, i cal definir el marc operacional dins del qual cada tractament és efectiu (WHO 2009, 2017).

Taula 1 (continuació). Límits de l'abast de la metodologia proposada en el PT2, indicant-ne les diferències respecte dels requeriments necessaris d'acord amb el marc del procés d'avaluació de riscos

Metodologia proposada en el PT2	Procés d'avaluació de riscos*
Proposta de punts de mostreig i freqüències de monitoratge d'una selecció d'indicadors i paràmetres subrogats per al monitoratge operacional ² d'una planta de producció d'aigua regenerada.	Monitoratge operacional i de verificació ³ : definició del monitoratge de les mesures de control i verificació que el sistema assoleix els valors objectiu de qualitat o VP.
Vinculació de la proposta de monitoratge amb informació de plantes de producció d'aigua regenerada amb trens de tractament semblants, que pot contenir informació exemplar sobre procediments de gestió (p. ex. en situacions d'emergència).	Gestió i comunicació: preparació de procediments de gestió i programes de suport; p. ex. en situacions d'emergència.
*Fonts: WHO 2006, 2009, 2017; EP i CEU 2020 a, b	

3. METODOLOGIA D'IDENTIFICACIÓ I MONITORATGE DE CONTAMINANTS

La metodologia d'identificació i monitoratge de contaminants es va definir seguint les següents etapes:

- Selecció d'indicadors químics i microbiològics de la qualitat de l'aigua.
- Identificació de paràmetres subrogats per avaluar en línia o de manera ràpida l'eficiència dels tractaments.
- Revisió dels mètodes de monitoratge de la qualitat de l'aigua i dels tractaments.

² El monitoratge operacional és el conjunt de mesures i activitats que cal dur a terme per demostrar que els mitjans de control funcionen eficientment, és a dir, que cada tractament opera eficientment per garantir el compliment dels objectius de reducció, i poder actuar al més ràpidament possible en el cas d'identificar desviacions significatives que poguessin afectar la qualitat de l'aigua (WHO 2006, 2017).

³ El monitoratge de verificació es distingeix de l'operacional només en el sentit que pot comprendre el monitoratge menys freqüent d'un major nombre d'indicadors i contaminants (WHO 2017).

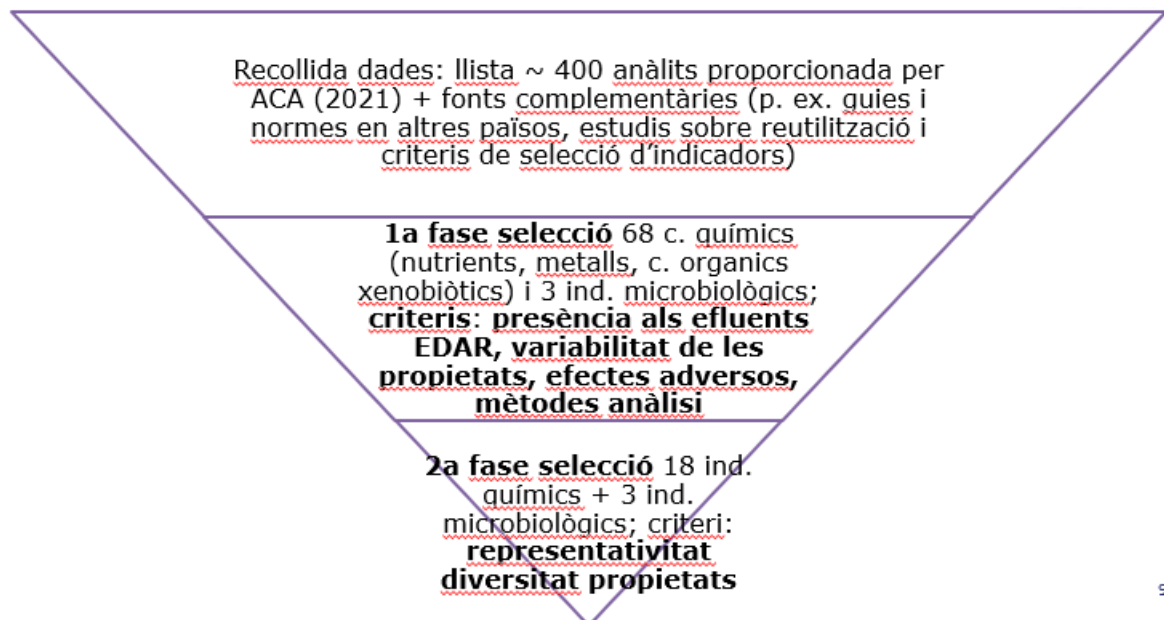
- Definició de la metodologia per definir els requeriments de monitoratge al llarg d'un tren de tractament.

Els resultats obtinguts en cadascuna de les etapes es descriuen amb més detall a les següents seccions.

3.1 SELECCIÓ D'INDICADORS QUÍMICS I MICROBIOLÒGICS

En aquest treball es va fer una selecció reduïda de 3 indicadors microbiològics i 18 químics que el SAD utilitzarà per avaluar trens de tractament avançat per a la producció d'aigua regenerada i fer-ne una proposta de monitoratge operacional. El SAD també permetrà considerar indicadors addicionals per ajustar millor l'avaluació de possibles riscos a la situació real d'una planta i la proposta de trens de tractament per controlar-los.

La



9

Figura 1 mostra les etapes que es van seguir per fer la selecció reduïda d'indicadors. En una primera etapa es van consultar els resultats obtinguts durant les proves fetes per l'Agència Catalana de l'Aigua—ACA a l'estació regeneradora d'aigües (ERA) del Prat de Llobregat el 2019 (ACA 2021). Es van consultar fonts addicionals (v. Secció 3.5) per fer una primera selecció de 68 components químics i 3 microbiològics dels aproximadament 400 components estudiats per l'ACA (2021). Els criteris considerats per fer aquesta primera selecció van ser:

- Risc de presència als efluent d'estacions depuradores de Catalunya
- Representativitat de la diversitat de propietats fisicoquímiques (p. ex. polaritat, toxicitat, persistència i biodegradabilitat)
- Capacitat de produir efectes adversos o tòxics sobre les persones o altres organismes vius
- Possibilitat de poder-se mesurar amb mètodes estandarditzats

Per poder dissenyar protocols de monitoratge efectius, en un segon pas, es van escollir 18 indicadors químics de la llista de 68 substàncies químiques. En fer aquesta segona selecció, es va intentar conservar la representativitat de la diversitat de propietats. A la Secció 3.1.1 es presenten els indicadors químics seleccionats, i a la Secció 3.1.2 els microbiològics.

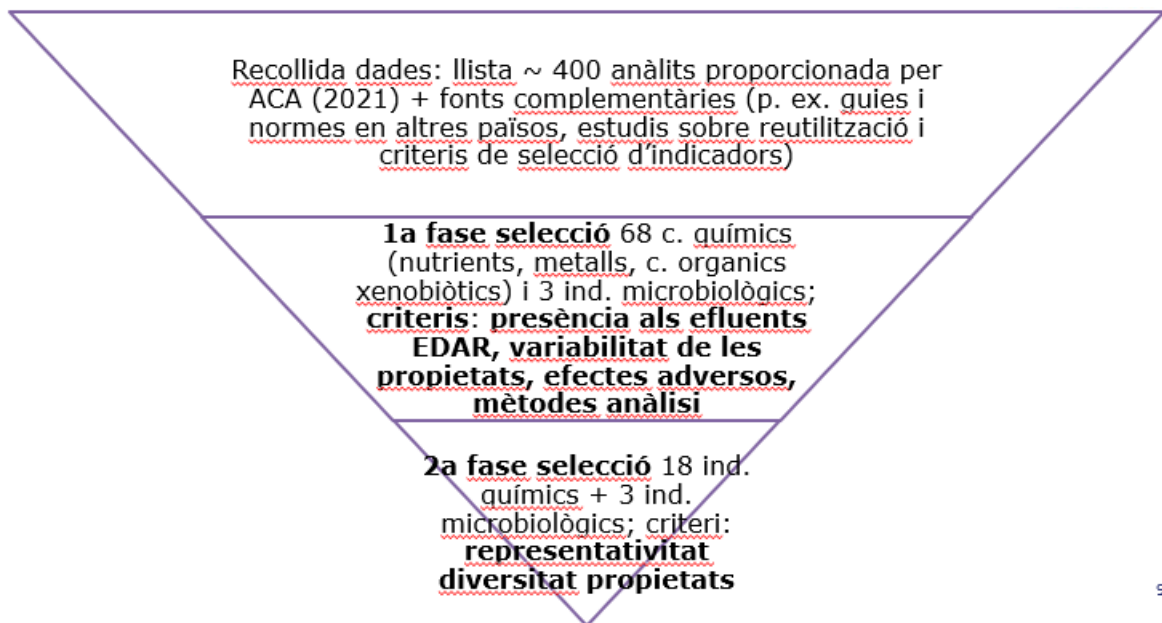


Figura 1. Esquema del procés de selecció dels indicadors considerats per a l'estudi

La Taula 2 recull els conceptes de contaminant i indicador que s'apliquen en aquest treball, així com el de paràmetre subrogat, que es descriu amb més detall a la Secció 3.2.

Taula 2. Definicions dels conceptes indicador i paràmetre subrogat

Terme	Concepte
Contaminant	Substància química o microorganisme present a les aigües residuals (urbanes en aquest treball) que pot tenir un efecte advers sobre la salut humana i/o el medi (normalment a partir d'una determinada concentració).
Indicador	Substància química o microorganisme que pot ser també un contaminant. Pot indicar la presència de contaminants i es pot utilitzar per mesurar l'eficiència d'un tractament per a un grup de compostos relacionats estructuralment.

Paràmetre subrogat	Paràmetre mesurable que és funció de nombrosos components (p. ex. carboni orgànic total (COT), absorbància de radiació UV, terbolesa, conductivitat elèctrica) i permet avaluar l'eficiència d'un tractament en continu o de manera ràpida.
--------------------	---

3.1.1 SELECCIÓ D'INDICADORS QUÍMICS

La llista de de 68 substàncies químiques seleccionades inicialment es mostra a la Taula 3. Pertanyen a les següents categories: nutrients, metalls i semimetalls, compostos orgànics i subproductes d'oxidació o desinfecció.

Taula 3. Selecció inicial de 68 substàncies químiques

Categoria	Elements i compostos químics
Nutrients	Amoni (NH ₄ ⁺), nitrat (NO ₃ ⁻), nitrogen total, fosfat (PO ₄ ³⁻)
Metalls/semimetalls	Ni, Pb, Cd, Hg, Al, Mn, Fe, Zn, Cu, As, Cr, Se, Sb, Sn
Comp. orgànics	Comp. farmacèutics: carbamazepina, salbutamol, citalopram, claritromicina, diclofenac, hidroclorotiazida, metoprolol, venlafaxina, candesartan, irbesartan, sulfametoxazol, gemfibrozil, metformina, amisulprida
	Agent contrast raigs X: iopromida
	Drogues: nicotina, metilendioximetanfetamina (MDMA)
	Additius alimentaris: cafeïna, 1,7-dimetilxantina (metabòlit de la cafeïna), sucralosa
	Biocides: N,N-dietil-m-toluamida (DEET), imidacloprid, glifosat, àcid aminometilfosfònic (AMPA, metabòlit del glifosat), diuron, terbutrin, acetamiprid, mecoprop, triclosan
	Altres comp.: 1,4-dioxà, 1H-benzotriazol, toliltriazol, àcid perfluorooctanosulfònic (PFOS), àcid perfluorooctanoic (PFOA), tris(2-cloro-1-metiletil)fosfat (TCPP), bis(2-etilhexil) ftalat (DEHP),

	èters difenílics polibromats (BDE 28, 47, 99, 153, 154), bisfenol A
Subproductes oxidació/desinfecció	BrO ₃ ⁻ , ClO ₃ ⁻ , N-nitrosodimetilamina (NDMA), trihalometans CHCl ₃ , CHBr ₃ , CHBr ₂ Cl, CHBrCl ₂

La llista de 18 indicadors químics que es va elaborar per poder fer una proposta de monitoratge efectiva es reproduïx a la Taula 4. La selecció dels indicadors es va fer a partir de la llista prèviament preparada, intentant conservar-ne la representativitat de la diversitat de propietats fisicoquímiques.

Taula 4. Selecció dels 18 indicadors químics

Categoria	Elements i compostos químics
Nutrients	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
Metalls	Ni, Zn
Comp. orgànics	Comp. farmacèutics: carbamazepina, diclofenac, venlafaxina
	Agent contrast raigs X: iopromida
	Additiu alimentari: cafeïna
	Biocida: DEET
	Altres comp.: 1,4-dioxà, PFOS, DEHP
Suproductes oxidació/desinfecció	NDMA, CHCl ₃ , BrO ₃ ⁻ , ClO ₂ ⁻ , ClO ₃ ⁻

El grup de subproductes d'oxidació o desinfecció escollits inicialment es va modificar per considerar només els principals compostos que es poden formar en els tractaments estudiats en el projecte (ozonització, cloració, desinfecció amb diòxid de clor i cloraminació). El SAD considerarà aquesta classe d'indicadors a la fase de monitoratge, advertint-ne la possible formació de forma qualitativa (Secció 3.4.2.3.3).

Les propietats avaluades dels indicadors químics es descriuen amb més detall a la Secció 3.1.3. Aquesta avaluació es va fer per estimar-ne el comportament en els diversos tractaments considerats en el projecte (Secció 3.1.4).

3.1.2 SELECCIÓ D'INDICADORS MICROBIOLÒGICS

A més dels 18 indicadors químics, la llista completa dels indicadors inclou tres indicadors microbiològics que es mostren a la Taula 5, cada un representatiu de diferents grups de patògens, tenint en compte les limitacions relacionades amb el seu ús, que es resumeixen en aquesta mateixa secció més avall.

Taula 5. Selecció dels 3 indicadors microbiològics

Indicador	Aplicació
<i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>)	Indicador de la presència i l'eficiència dels tractaments d'eliminar bacteris
Bacteriòfags (virus de bacteris): colífags somàtics i colífags ARN F específics	Indicadors de l'eficiència de determinats tractaments d'eliminar virus
Espores de <i>Clostridium perfringens</i>	Indicador de l'eficiència de determinats tractaments d'eliminar protozous paràsits ((oo)cists de <i>Cryptosporidium</i> i <i>Giardia</i>)

El nou reglament europeu sobre reutilització de l'aigua per a irrigació agrícola i la nova directiva sobre la qualitat de l'aigua potable (EP i CEU 2020 a, b) consideren aquests indicadors microbiològics i estableixen que els valors de reducció logarítmica aconseguits pels trens de tractament han de ser suficients per controlar el risc d'exposició a patògens.

Els trens de tractament es dissenyen per aconseguir uns valors de reducció logarítmica de bacteris, virus i protozous presents en l'aigua en funció de l'ús de l'aigua regenerada produïda i l'exposició de les persones a l'aigua, assignant una càrrega tolerable al risc de contreure una determinada malaltia transmesa per patògens. L'Organització Mundial de la Salut (WHO, de l'anglès) ha adoptat l'ús de l'any de vida ajustat per discapacitat (disability-adjusted life year, DALY, de l'anglès) com una mesura de la càrrega de malaltia total, expressada com el nombre d'anys perduts a causa d'una malaltia, discapacitat o mort prematura. Per al risc microbiològic en l'aigua potable i l'aigua regenerada per a irrigació agrícola, la WHO ha definit un nivell de referència de 10^{-6} DALY per persona i any (WHO 2006, 2017). Els patògens de referència usats per determinar l'eficiència mínima dels trens de tractament són, p. ex., *Campylobacter*, rotavirus o norovirus i *Cryptosporidium*, representatius de bacteris, virus i protozous respectivament (EP i CEU 2020 a; WHO 2017) (v. Secció 3.4.1.1 per a una explicació més detallada d'aquest càlcul).

Els indicadors microbiològics tenen una aplicació important en el monitoratge de validació i control del funcionament dels tractaments de l'aigua. Mesurar canvis en les concentracions de patògens pot ser difícil per les baixes

concentracions en què es troben a les aigües. En canvi, poden mesurar-se més fàcilment canvis en les concentracions d'indicadors que tenen un comportament semblant en aquell mateix tractament (s'eliminen amb una eficiència equivalent o menor) i hi són presents en concentracions més elevades (United States Environmental Protection Agency—US EPA 2005; WaterSecure 2017 a, d). Per a la validació de força tractaments, es poden utilitzar com a indicadors *E.coli*, colífags i espores de *Clostridium perfringens*.

E. coli és un bon indicador del comportament dels bacteris en els diferents tractaments en general; i per a la validació de força tractaments, especialment els que es basen en processos de filtració i el reactor biològic de membrana (BRM), es poden utilitzar colífags i espores de *Clostridium perfringens* com a indicadors de virus i protozous respectivament (Department of Health, Victoria State 2013; US EPA 2005; WaterSecure 2017 c, d, e). També els colífags es poden emprar per validar el tractament d'osmosi inversa (OI) (WaterSecure 2017 a). Els colífags ARN F específics s'han estudiat sobretot en tractaments de filtració amb membrana perquè tenen una mida i forma semblant a les de virus entèrics (US EPA 2005; WaterSecure 2017 a, d). Les espores de *Clostridium perfringens* tenen una mida lleugerament inferior a la dels protozous, i per això, també s'han proposat com a indicadors de protozous en tractaments de filtració (Department of Health, Victoria State 2013; WaterSecure 2017 d).

D'altra banda, el comportament de les espores de *Clostridium perfringens* és diferent que el de *Cryptosporidium* en els tractaments de desinfecció química i desinfecció amb radiació UV (Gerba 2009; Lamy et al. 2020). Els colífags són més resistents que determinats grups de virus que afecten humans, però menys resistents que altres grups de virus que afecten humans (p. ex. adenovirus) (Gerba 2009). A més, la utilitat dels indicadors com a mesura de l'ocurrència de virus i protozous a les aigües és limitada (Lamy et al. 2020; Natural Resource Management Ministerial Council—NRMMC et al. 2006; Teunis i Schijven 2017; WHO 2017).

3.1.3 PROPIETATS DELS INDICADORS

Els compostos químics es van caracteritzar d'acord amb la mida (massa i volum molar), i si són iònics o ionitzables, amb la càrrega de l'espècie dominant a pH 7 i condicions oxidants (columnes C-I de la Taula A3 de l'Annex). A més, els compostos químics orgànics es van caracteritzar d'acord amb paràmetres descriptors de propietats addicionals (columnes J-O i Q de la Taula A3 de l'Annex):

- Capacitat de sorció a matèria orgànica
- Susceptibilitat a biodegradació aeròbia
- Susceptibilitat a oxidació per ozó i radicals hidroxil
- Susceptibilitat a fotòlisi directa per radiació ultraviolada

Com a aproximació a la capacitat de sorció dels compostos orgànics a matèria orgànica, es van recollir valors dels models ACD/Labs de la constant de repartiment octanol aigua (expressada com a log Kow o log P) per a

compostos neutres i del quocient de distribució octanol aigua (expressat com a log Dow o log D) per a compostos ionitzables (columnes J i K de la Taula A3 de l'Annex). Els resultats d'aquests models es van consultar al web Chemspider (2021), que és d'accés lliure. No obstant això, cal utilitzar els valors d'aquesta base de dades amb cautela, ja que tenen associats incerteses: els valors log Kow i log Dow poden ser diferents per a compostos neutres (quan teòricament haurien de tenir el mateix valor), i els valors Dow modelats per a compostos ionitzables, especialment els bàsics, tenen associats incerteses notables (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals—ECETOC 2013; Kah et al. 2017).

Com a aproximació a la susceptibilitat dels compostos orgànics a biodegradació aeròbia, es van considerar els valors dels models BIOWIN (US EPA EPISuite) —també disponibles al web Chemspider (2021)— d'acord amb el criteri general que, si els models prediuen una biodegradació lenta, aquests resultats es poden utilitzar per confirmar que un determinat compost no és fàcilment biodegradable, i si prediuen una biodegradació ràpida, cal estudiar amb altres mètodes la susceptibilitat d'aquell compost a biodegradació (ECETOC 2013; Pavan i Worth 2006). Concretament, els valors recollits a l'Annex són els resultats dels models BIOWIN3 i BIOWIN5 (columnes L i M de la Taula A3 de l'Annex). Els models prediuen una biodegradació ràpida per a un determinat compost si el resultat de BIOWIN3 és de "setmanes" o temps més curt i el valor de BIOWIN5 és major de 0,5 (Pavan i Worth 2006). Els resultats obtinguts confirmen que la majoria de compostos seleccionats no són fàcilment biodegradables.

La susceptibilitat a oxidació per ozó i radicals hidroxil (columnes N i O de la Taula A3 de l'Annex respectivament) es va estimar a partir de dades disponibles de constants de velocitat de reacció (obtingudes en condicions de temperatura i pH T i pH ambientals (T aprox. 25 °C i pH aprox. 7)).

La susceptibilitat a fotòlisi directa per radiació ultraviolada dels contaminants (columna Q de la Taula A3 de l'Annex) es va estimar de manera qualitativa (alta, mitjana, baixa, no susceptibilitat) a partir de dades disponibles de constants de velocitat de reacció determinades en funció de la fluència⁴, i per als contaminants per als quals aquestes constants no es van trobar, la susceptibilitat es va estimar a partir de les constants de velocitat de reacció determinades en funció del temps i les condicions experimentals indicades a la literatura consultada.

L'especiació dels metalls es va tenir en compte a l'hora d'assignar-los la càrrega de l'espècie dominant a pH 7 i condicions oxidants (columna I de la Taula A3 de l'Annex). Però el monitoratge es proposa per als elements (les concentracions totals), ja que els mètodes d'anàlisi disponibles permeten

⁴ La fluència es defineix com el quocient entre l'energia radiativa total que creua una petita esfera diana que conté el punt d'estudi i la secció transversal d'aquesta esfera, mesurada en J/m² (o mJ/cm²). La velocitat de fotòlisi es pot determinar en funció de la velocitat de fluència mitjana, el rendiment quàntic i el coeficient d'absorció molar a una determinada longitud d'ona (Bolton i Stefan 2002).

quantificar més fàcilment els elements que no pas les diferents espècies de cada element (p. ex. Ungureanu et al. 2015).

Per als indicadors microbiològics, es va considerar la susceptibilitat a oxidació per àcid hipoclorós (HOCl) de manera qualitativa (columna P de la Taula A3 de l'Annex). Tot i que alguns compostos químics també puguin reaccionar-hi, en general, la seva susceptibilitat a oxidació per HOCl no està gaire estudiada.

3.1.4 AVALUACIÓ DEL COMPORTAMENT DELS CONTAMINANTS I INDICADORS EN ELS TRACTAMENTS

La Taula A3 de l'Annex relaciona cada contaminant o indicador amb el seu comportament en cadascun dels tractaments considerats en el projecte. El comportament en cada tractament s'expressa de dues maneres diferents:

- Per als indicadors químics seleccionats, el comportament en cada tractament és el de l'indicador mateix, ja que se'n van recollir dades d'eficiència d'eliminació (en el PT4).
- Per a contaminants químics per als quals no es van recollir dades d'eficiència d'eliminació en el marc del PT4, el comportament en cada tractament es va associar (sempre que va ser possible) al d'un indicador que, per tenir propietats similars, pot tenir un comportament semblant en aquell determinat tractament. Es va seguir el criteri conservador d'assimilar el comportament d'un compost que s'assembla a dos indicadors de referència al comportament de l'indicador que pitjor s'elimina en un tractament determinat.
- El comportament dels 3 indicadors microbiològics en els diferents tractaments es va aproximar al dels 3 grups de patògens (bacteris, virus i protozous), per als quals es van recollir dades d'eficiència d'eliminació (en el marc del PT4).

La informació sobre el comportament de cada component en cada tractament estimat a partir de les propietats s'hauria de revisar i actualitzar. Per al SAD desenvolupat en el marc del projecte, finalment es va decidir només considerar la llista reduïda d'indicadors.

3.2 IDENTIFICACIÓ DE PARÀMETRES SUBROGATS PER AL MONITORATGE DELS TRACTAMENTS

A banda dels indicadors descrits a l'anterior secció, la proposta de monitoratge dels tractaments que farà el SAD comprèn el monitoratge de paràmetres subrogats, paràmetres que permeten avaluar l'eficiència de processos de tractament en continu o de manera ràpida, especialment necessari per al monitoratge operacional. A la Taula A5 de l'Annex, cada tractament es relaciona amb els paràmetres subrogats més rellevants (columna B de la Taula A5): p. ex., l'OI amb el COT i la conductivitat elèctrica; el carbó actiu amb l'absorbància de radiació UV, i l'ozonització amb l'anomenat "temps de contacte", és a dir, la integral de la concentració d'ozó en cada moment de l'exposició durant el temps d'exposició amb les unitats de (min·mg/L). També s'hi indiquen altres paràmetres que es recomanen de

mesurar contínuament per determinar els paràmetres subrogats principals i/o avaluar l'eficiència dels tractaments (columna D de la Taula A5).

Canvis en els paràmetres subrogats poden relacionar-se amb reduccions de les concentracions d'indicadors químics i/o microbiològics si es duen a terme els estudis de validació necessaris durant la posada en marxa. De manera orientativa, la Taula A5 de l'Annex indica si canvis en els paràmetres subrogats utilitzats per monitorar un determinat tractament poden relacionar-se amb reduccions de les concentracions dels indicadors químics (columna E de la Taula A5) i/o indicadors microbiològics o patògens (columna F de la Taula A5). A més, la Taula A5 de l'Annex (columna G) proporciona referències de protocols de validació disponibles per avaluar l'eficiència de desinfecció/oxidació de determinats tractaments mitjançant l'ús de paràmetres subrogats i indicadors microbiològics o patògens.

Per a la validació i posada en marxa de tractaments que són eficients en l'eliminació d'indicadors químics, cal fer mesures dels rendiments d'eliminació obtinguts per als paràmetres subrogats i els indicadors químics alhora perquè durant la fase d'operació es puguin relacionar els canvis dels paràmetres subrogats amb els dels indicadors químics (Drewes et al. 2008; WHO 2017).

El procés de validació dels tractaments de desinfecció és semblant al procés que se segueix per validar els tractaments d'eliminació dels indicadors químics. Mitjançant testos específics ("challenge tests") s'obtenen mesures dels rendiments d'eliminació de patògens de referència per a tractaments de desinfecció, i alhora, es mesuren els canvis que es produeixen en paràmetres subrogats amb els quals es volen relacionar els resultats dels "challenge tests" durant la fase d'operació (p. ex. US EPA 2005; WaterSecure 2017 a, d). Com s'ha comentat a la Secció 3.1 i s'indica a la Taula A5 de l'Annex, poden utilitzar-se indicadors en lloc de patògens per validar el funcionament de determinats tractaments.

3.3 MÈTODES DE MONITORATGE

En aquesta secció es descriu la informació sobre mètodes de monitoratge que el SAD proporcionarà a l'usuari en el moment de fer-li la proposta de monitoratge.

3.3.1 CONTROL DE LA QUALITAT DE L'AIGUA

La Taula A4 de l'Annex relaciona cada component de la Taula A1 de l'Annex amb els mètodes d'anàlisi principals (columna G) i les matrius d'aigua per a les quals els mètodes són aplicables (columnes C-F). Els mètodes de mesura poden ser en línia o fora de línia, en un laboratori.

Els nutrients NH_4^+ , NO_3^- i PO_4^{3-} es poden mesurar mitjançant mètodes en línia o al laboratori, que es presenten resumits a la Taula 6.

Taula 6. Mètodes d'anàlisi principals d'amoni, nitrat i fosfat

Mètode	Nutrients	En línia/laboratori
Potenciometria: elèctrodes selectius de ions	NH_4^+ , NO_3^-	En línia (sensors)
Espectrofotometria de radiació UV i visible	NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}	En línia (sensors "humits") i al laboratori
Absorció radiació UV	NO_3^-	En línia (sensors)
Cromatografia iònica	Quantificació simultània d'anions (incloent NO_3^- i PO_4^{3-}) i cations (NH_4^+)	Al laboratori
Fonts: Michalski i Kurzyca 2006; Pellerin et al. 2016; Vanrolleghem i Lee 2003		

Els diferents mètodes analítics tenen avantatges i inconvenients, però el principal avantatge dels mètodes en línia en general és que permeten recollir dades amb una elevada freqüència temporal (p. ex. segons o minuts), la qual cosa permet avaluar canvis en la qualitat de l'aigua que ocorren en intervals de temps curts (Pellerin et al. 2016).

Pel que fa als metalls (i semimetalls), els mètodes més habituals per quantificar-ne concentracions totals inclouen mètodes d'espectrometria atòmica: d'absorció atòmica de flama (F-AAS), de forn de grafit (GF-AAS) o amb atomització electrotèrmica (ET-AAS), de generació d'hidrurs (HG-AAS), espectrometria d'emissió òptica de plasma acoblat inductivament (ICP-OES) i espectrometria de masses de plasma acoblat inductivament (ICP-MS) (De Vos et al. 2013; Ungureanu et al. 2015). El mercuri es determina mitjançant mètodes d'espectrometria d'absorció atòmica específics per evitar-ne pèrdues per volatilització (en la forma de metall elemental). Els mètodes més habituals per determinar concentracions de mercuri total són l'espectrometria d'absorció atòmica amb vapor fred (CV-AAS) i l'espectrometria de fluorescència atòmica amb vapor fred (CV-AFS), a banda d'ICP-MS (De Vos et al. 2013; Kallithrakas-Kontos i Foteinis 2016). El principal avantatge dels mètodes ICP-MS i ICP-OES és que permeten mesurar múltiples elements alhora en una sola anàlisi (De Vos et al. 2013; Loos et al. 2012).

Quant als mètodes d'anàlisi dels compostos orgànics, la Taula A4 de l'Annex proporciona referències de mètodes desenvolupats per mesurar-los amb una sensibilitat adequada. Dins d'aquest grup de mètodes, es distingeixen:

- Mètodes que permeten quantificar múltiples compostos alhora, principalment mitjançant cromatografia líquida-espectrometria de masses en tàndem (LC-MS-MS), cromatografia de gasos-espectrometria de masses en tàndem (GC-MS-MS) o cromatografia de gasos-espectrometria de masses (GC-MS). Un determinat mètode analític, amb el seus respectius protocols per a la preparació i anàlisi de la mostra, permet mesurar en una sola anàlisi una multitud de compostos o només uns quants, segons la similitud dels compostos. Com a exemples d'aplicacions d'aquests mètodes s'indiquen els següents:
 - LC-MS-MS per quantificar la mateixa classe de compostos químics: p. ex., grup de biocides neonicotinoids (Münze et al. 2017) o compostos farmacèutics sartans (Castro et al. 2019);
 - LC-MS-MS per determinar diferents classes de compostos: p. ex., diverses classes de compostos farmacèutics: antibiòtics, agents de contrast de rajos X, diurètics, agents bloquejadors beta, etc.) (Gros et al. 2012);
 - GC-MS per quantificar diverses classes de compostos orgànics no polars (p. ex. èsters de ftalat i difenil èters polibromats) (Bizkarguenaga et al. 2012; Erger et al. 2013).
- Mètodes que mesuren compostos individuals. Aquests mètodes es necessiten quan les propietats del compost són molt específiques, diferents de les d'altres compostos més típics. Exemples d'aplicacions d'aquests mètodes són els següents:
 - LC-MS-MS per determinar metformina (Scheurer et al. 2012; Tisler i Zwiener 2018);
 - GC-MS per quantificar 1,4-dioxà (Rüdel et al. 2020; Sun et al. 2016);
 - LC-MS-MS per quantificar glifosat i àcid aminometilfosfònic (Valle et al. 2019).

Mètodes usualment emprats per a la determinació dels productes de transformació comprenen mètodes estandarditzats que permeten quantificar múltiples compostos alhora per la semblança entre ells respecte a les propietats:

- cromatografia iònica per quantificar bromat o bromat i clorat (Michalski 2005);
- GC-MS per determinar trihalometans (Munch 1995);
- GC-MS per mesurar NDMA i altres nitrosamines (Farré et al. 2011; Munch i Bassett 2004).

Els indicadors microbiològics poden analitzar-se amb mètodes de cultiu estàndards. Pel que fa a les espores de *Clostridium perfringens*, com que el mètode d'anàlisi estàndard (International Organisation for Standardisation—ISO 2013) requereix l'ús d'un reactiu cancerigen en l'etapa de confirmació, es pot optar per referir-s'hi com a "Presumptament *C. perfringens* i espores" o utilitzar un altre mètode estàndard (ISO 1986) per enumerar els bacteris

reductors de sulfat (enumeració de totes les espècies de Clostridia) (Lamy et al. 2020).

D'altra banda, mètodes de biologia molecular, més ràpids que els tradicionals i d'elevada sensibilitat, poden complementar el monitoratge de patògens i indicadors. Específicament, convé esmentar l'assaig quantitatiu de la reacció en cadena de la polimerasa (qPCR) (p. ex. Lamy et al. 2020). No obstant això, l'enumeració amb qPCR proporciona recomptes de còpies de gens; per tant, aquesta tècnica no és capaç de distingir entre patògens infecciosos i no infecciosos.

Per a patògens que es poden cultivar, es pot utilitzar el quocient entre nombre de partícules infeccioses i nombre de còpies de gens com a mesura de la sensibilitat (Gerba et al. 2017; Teunis i Schijven 2017). Per a patògens que no es poden cultivar, p. ex. norovirus, cal fer suposicions sobre la sensibilitat de la mesura obtinguda de nombre de còpies de gens. Gerba et al. (2017) van recomanar considerar un quocient entre nombre de virus infecciosos i virions menor d'1:10 tret dels casos en què es pogués provar el contrari. WHO (2017) va utilitzar mesures disponibles de norovirus en còpies de gens com a referència per definir valors logarítmics de reducció per a virus en aigua potable. A més, per a patògens que no creixen bé en cultius, p. ex. rotavirus i *Cryptosporidium*, s'han desenvolupat mètodes integrats de cultiu-reacció en cadena de la polimerasa (ICC-PCR), que integren els avantatges dels dos mètodes per quantificar patògens infecciosos amb una major sensibilitat (Gerba et al. 1996; Haramoto et al. 2018; Li et al. 2010; Rousseau et al. 2018).

3.3.2 MONITORATGE DELS TRACTAMENTS EN TEMPS REAL

La Taula A5 de l'Annex relaciona cada tractament amb paràmetres subrogats i altres paràmetres que permeten avaluar-ne l'eficiència de tractament en continu o de manera ràpida (v. Secció 3.2). Alguns d'aquests paràmetres depenen de la qualitat de l'aigua (p. ex. COT, terbolesa i conductivitat) i els mètodes d'anàlisi corresponents es recullen a la Taula A4 de l'Annex. També es recullen a la Taula A4 els mètodes d'anàlisi habitualment utilitzats per monitorar contínuament les concentracions residuals de desinfectants (clor lliure, diòxid de clor) i ozó. Altres paràmetres depenen del disseny dels equipaments i només es recullen a la Taula A5 de l'Annex (p. ex. reactors UV i paràmetres de monitoratge per al control de la dosi de radiació UV: intensitat i transmissió UV, cabal d'aigua i estat de la làmpada). Es fa referència als mètodes de monitoratge estàndards en tots els casos en què ha estat possible, tot i que poden tenir associats alguns desavantatges; p. ex. el test de caiguda de pressió per avaluar la integritat de membranes de microfiltració (MF) i ultrafiltració (UF) cal fer-lo fora de línia, i no permet identificar orificis de la mida dels virus. Mètodes nous per avaluar la integritat de membranes encara estan en fase de recerca i desenvolupament (Hüsch i Hochstrat 2017).

3.4 METODOLOGIA PER DEFINIR ELS REQUERIMENTS DE MONITORATGE

El SAD recomanarà estratègies de monitoratge operatiu en funció de l'ús de l'aigua regenerada i els riscos microbiològics (Secció 3.4.1) i químics (Secció 3.4.2) associats.

3.4.1 MONITORATGE DE LA QUALITAT MICROBIOLÒGICA

En aquesta secció es descriuen els càlculs i les assumpcions fetes per determinar valors de reducció logarítmica de grups de patògens requerits per a un tren de tractament en funció de l'ús de l'aigua regenerada (Seccions 3.4.1.1 i 3.4.1.2), i es presenta la proposta de monitoratge de la qualitat microbiològica en funció d'aquests valors de reducció logarítmica de patògens (Secció 3.4.1.3).

3.4.1.1 DEFINICIÓ DE VALORS DE REDUCCIÓ LOGARÍTMICA REQUERITS PER A UN TREN DE TRACTAMENT

La Taula A8 de l'Annex estima valors de reducció logarítmica mínims requerits per a un tren de tractament que ha de proporcionar aigua regenerada amb un determinat ús. Aquests valors de reducció logarítmica es van estimar mitjançant la següent equació:

$$\text{Reducció log requerida} = \log \frac{C_{i,\text{aigua residual}}}{VP_{i,\text{sortida}}} \quad (1)$$

on $C_{i,\text{aigua residual}}$ és la concentració d'un patògen de referència a les aigües residuals i $VP_{i,\text{sortida}}$ és el valor protector (VP) o valor objectiu de qualitat a la sortida de la planta de producció d'aigua regenerada.

Per a usos d'aigua regenerada associats amb un VP igual a 0, procedents de la Taula 5.4 del lliurable del PT3, el valor de reducció logarítmica mínim requerit per a un tren de tractament es va estimar a partir de la següent equació (WHO 2017):

$$\text{Reducció log requerida} = \log \frac{C_{i,\text{aigua residual}}}{C_{i,\text{sortida,eq. } 10^{-6}\text{DALY pers}^{-1}\text{any}^{-1}}} \quad (2)$$

La concentració d'un determinat patògen de referència equivalent a 10^{-6} DALY per persona i any és igual a:

$$C_{i,\text{sortida,eq. } 10^{-6}\text{DALY pers}^{-1}\text{any}^{-1}} = \frac{D}{V} \quad (3)$$

on D és la dosi equivalent a la càrrega tolerable per any (org/any) i V és el volum ingerit d'aigua per any (l/any).

Es va considerar *Campylobacter* com a patògen de referència dels bacteris, *Cryptosporidium* com a patògen de referència dels protozous, i norovirus com a patògen de referència dels virus (WHO 2017). Adenovirus requereix els

valors de reducció logarítmica majors segons el càlcul, però la WHO no el recomana utilitzar com a patògen de referència per la major incertesa associada en la determinació de la càrrega de la malaltia en DALY (WHO 2017).

Els models dosi resposta utilitzades per al càlcul s'indiquen a la Taula 7.

Taula 7. Models dosi resposta utilitzats per al càlcul de valors de reducció logarítmica de patògens

Patògen	Model dosi resposta
<i>Campylobacter</i>	$P_{inf,Campylobacter} = \frac{\alpha}{\beta} D$
Norovirus	$P_{inf,Norovirus} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} D$
<i>Cryptosporidium</i>	$P_{inf,Cryptosporidium} = rD$

P_{inf} és la probabilitat d'infecció per persona i any.

Els paràmetres relatius a la càrrega de malaltia per cas i probabilitat de malaltia per infecció utilitzats per al càlcul de D s'indiquen a la Taula A9 de l'Annex i inclouen els recollits en el marc del PT3. La Taula A9 de l'Annex també recull els volums ingerits d'aigua i el nombre d'esdeveniments per any en funció de l'ús de l'aigua regenerada —els mateixos que els definits per als escenaris desenvolupats en el PT3—, així com les concentracions inicials de patògens de referència considerades per al càlcul dels valors de reducció logarítmica mínims requerit per a un tren de tractament.

Cal remarcar que aquest càlcul dels valors de reducció logarítmica és només indicatiu del procés d'avaluació quantitativa del risc microbiològic que s'utilitza habitualment per definir les bases del monitoratge de la qualitat microbiològica; els valors de reducció requerits poden variar, per exemple, en funció de les concentracions inicials de patògens de referència. També cal mencionar que el valor del denominador de l'equació (2) és funció de l'ús de l'aigua regenerada i l'exposició associada dels humans. En aquest treball, es va seguir el mateix procediment d'estimació de valors de reducció logarítmica que a EP i CEU (2020 a), que es basa en NRMCC et al. (2006) (Alcalde-Sanz i Gawlik 2017).

3.4.1.2 CRITERIS I ASSUMPCIONS ADDICIONALS PER A LA DEFINICIÓ DE VALORS DE REDUCCIÓ LOGARÍTMICA

El SAD considerarà els VP per als indicadors microbiològics definits per la normativa (recollits en el PT3), o alternativament, si no hi ha definits VP per la normativa, els valors de reducció logarítmica. El SAD permetrà modificar

els valors de reducció logarítmica si es disposa d'una avaluació més específica del risc microbiològic.

Per als usos d'irrigació, descàrrega de cisternes de vàter, neteja de carrers, neteja interna (en establiments industrials) i l'ús prepotable, els valors de reducció logarítmica es van determinar seguint el mètode descrit a la Secció 3.4.1.1.

Per als usos d'irrigació agrícola B, C i D, es va assumir que es poden aconseguir valors de reducció logarítmica addicionals als determinats per a l'ús d'irrigació A aplicant mesures de control de l'exposició que afecten la ingestió dels tres grups de patògens de la mateixa manera (Alcalde-Sanz i Gawlik 2017; EP i CEU 2020 a; NRMCC et al. 2006). Específicament, per a l'ús d'irrigació B, es va considerar 1 valor de reducció logarítmica addicional al determinat per a l'ús d'irrigació A pel fet que la part comestible creix sobre el sòl sense contacte directe amb l'aigua regenerada; per a l'ús d'irrigació C, 2 valors de reducció logarítmica addicionals pel fet que el mètode de reg és gota a gota; i per a l'ús d'irrigació D, 3 valors de reducció logarítmica addicionals pel fet que els productes cultivats es processen abans de consumir (Taula A9 de l'Annex).

Per a l'ús d'irrigació de boscos i silvicultura, p. ex. en situacions de sequera, es va considerar una exposició semblant a la considerada per a l'ús d'irrigació agrícola classe D (Ministerio de Medio Ambiente Rural y Medio Marino 2010).

Per a la recàrrega d'aqüífers per percolació, seguint un criteri conservador, el SAD considera per defecte els mateixos valors de reducció logarítmica per als colífags i espores de *Clostridium perfringens* que els necessaris per a la recàrrega d'aqüífers per injecció directa. Però l'usuari podrà modificar-los si disposa d'una avaluació específica del risc microbiològic, en què s'avaluï la capacitat d'inactivació dels patògens per processos naturals a la zona vadosa. El transport dels virus representa el major risc microbiològic, ja que, per la seva menor mida, poden recórrer distàncies més llargues que no pas els bacteris i protozoous (Betancourt et al. 2014).

Per a l'ús de l'aigua regenerada per a manteniment dels cabals ecològics dels rius, manquen valors guia definits per la normativa per als tres grups d'indicadors microbiològics. El SAD considera per defecte els mateixos valors de reducció logarítmica que els definits per a l'ús d'irrigació agrícola.

3.4.1.3 PROPOSTA DE PUNTS DE MOSTREIG I FREQUÈNCIES DE MONITORATGE

En aquesta secció s'explica la proposta de monitoratge de la qualitat microbiològica de l'aigua als punts d'entrada i sortida de la planta (Secció 3.4.1.3.1) i dels tractaments (Secció 3.4.1.3.2), i s'indiquen consideracions addicionals relacionades amb el monitoratge en situacions d'emergència (Secció 3.4.1.3.3).

3.4.1.3.1 MONITORATGE DELS PUNTS D'ENTRADA I SORTIDA DE LA PLANTA DE TRACTAMENT

La Taula 8 mostra les freqüències recomanades per monitorar els indicadors microbiològics al punt de sortida en funció de l'ús de l'aigua regenerada i els corresponents valors de reducció logarítmica requerits per a un tren de tractament. Per fer aquesta proposta, es van considerar els requeriments de les normatives sobre aigües (EP i CEU 2020 a, b; Ministerio de la Presidencia 2003, 2007), indicant un rang de freqüències en els casos en què diverses normatives afecten usos associats amb valors de reducció logarítmica similars. Per exemple, per a l'ús recàrrega d'aqüífers per injecció directa, la freqüència de monitoratge requerida per a *E. coli* és 3 cops/setmana segons la normativa actual (Ministerio de la Presidencia 2007). En canvi, per a l'ús prepotable, caldria calcular la freqüència en funció del volum d'aigua distribuïda (EP i CEU 2020 b).

Taula 8. Proposta de freqüències de monitoratge al punt de sortida de la planta en funció dels valors de reducció logarítmica de patògens requerits per a un tren de tractament

Ús aigua regenerada (exemples)	Reducció log requerida per a virus	Freqüència
12, 15	Reducció log ≥ 9.5	Determinada segons el volum d'aigua distribuïda* - 3 cops/setm.***
1, 2, 3, 4, 5, 6	$5 \leq$ Reducció log < 9.5	1** - 2 cops/setm.***
7, 8, 13	$3 \leq$ Reducció log < 5	Cada 2 setm.**
Classes d'ús de l'aigua regenerada utilitzades en el SAD: <ul style="list-style-type: none"> ¹ Urbà residencial: reg de jardins privats ² Urbà residencial: descàrrega de cisternes de vàter ³ Urbà serveis: reg de zones verdes ⁴ Urbà serveis: neteja de carrers ⁵ Agrícola A: aliments crus i aigua en contacte directe ⁶ Agrícola B: aliments crus sense contacte directe amb l'aigua, tots els mètodes de reg ⁷ Agrícola C: aliments crus sense contacte directe amb l'aigua, reg gota a gota ⁸ Agrícola D: cultius per a productes industrials, energètics i llavors ^{9, 10} Industrial: neteja interior, indústria no alimentària i alimentària ¹¹ Ambiental: recàrrega d'aqüífers per percolació; classe d'ús per a la qual el SAD considerarà, mentre no es disposin de dades procedents d'una avaluació específica del risc, els mateixos valors de reducció log que per a la recàrrega d'aqüífers per injecció directa. ¹² Ambiental: recàrrega d'aqüífers per injecció directa ¹³ Ambiental: reg de boscos i silvicultura; classe per a la qual el SAD considerarà els mateixos valors de reducció que per a l'ús d'irrigació agrícola D. ¹⁴ Ambiental: altres usos (manteniment aiguamolls, cabals mínims i similars); classe d'ús per a la qual el SAD considera valors de reducció logarítmica per defecte semblants als definits per a l'ús agrícola. ¹⁵ Prepotable 		
*EP i CEU 2020 b		
**EP i CEU 2020 a		
***Ministerio de la Presidencia 2007		

Inicialment, es podrien considerar les mateixes freqüències de la Taula 8 per monitorar els indicadors microbiològics a l'entrada de la planta, i posteriorment, si les concentracions es mantinguessin relativament estables, la freqüència de mostreig podria ser menor. Per això, és imprescindible que hi hagi una estratègia bona de monitoratge en línia que assegurí que la qualitat de l'aigua residual en tot moment no es diferencia significativament de la qualitat de referència.

3.4.1.3.2 MONITORATGE DELS TRACTAMENTS

A la Taula A6 de l'Annex es recullen freqüències recomanades per controlar periòdicament els valors de reducció aconseguits per diversos tractaments de desinfecció física, que, com el BRM, són més difícils de monitorar amb paràmetres subrogats amb una sensibilitat semblant a la dels tests "challenge" de mesura d'eliminació de patògens (WHO 2017): coagulació, floculació i decantació, filtre de sorra, filtre biològic de sorra, microfiltració o ultrafiltració i osmosi inversa. Freqüències quinzenals durant els primers mesos i trimestrals al cap d'un any es recomanen per monitorar el tractament BRM (WaterSecure 2017 d) i aquestes freqüències es van considerar com a referència per a la resta de tractaments excepte per a l'osmosi inversa. Per a l'osmosi inversa es va considerar una freqüència de monitoratge anual (Department of Health, Victoria State 2013). Aquestes freqüències són recomanables assumint que els tractaments operen correctament d'acord amb els protocols de validació i s'aconsegueix la qualitat de l'aigua desitjada. Caldria augmentar la freqüència de monitoratge d'aquests tractaments en situacions en què no es poguessin aconseguir els valors de reducció logarítmics objectiu.

3.4.1.3.3 CONSIDERACIONS ADDICIONALS

El SAD vincularà la proposta de monitoratge amb informació de plantes de producció d'aigua regenerada amb trens de tractament semblants, que pot contenir informació exemplar sobre procediments de gestió, p. ex. en situacions d'emergència. Els procediments de gestió en situacions d'emergència són especialment necessaris en plantes que produeixen aigua regenerada per a usos associats amb una exposició de les persones elevada. En situacions en què els valors de reducció logarítmica objectiu no es poguessin assolir, possibles mesures que caldria aplicar serien:

- Notificar-ho a les administracions públiques competents i als usuaris afectats.
- Investigar l'origen del focus de contaminació microbiològica.
- Monitorar i prendre mostres a l'entrada i sortida de cadascun dels tractaments que formen el tren de tractament.
- Prendre mesures per reduir-ne l'impacte aigües avall. Aquestes mesures podrien incloure la suspensió del subministrament d'aigua regenerada als usuaris amb una major exposició.

3.4.2 MONITORATGE DE LA QUALITAT QUÍMICA

En aquesta secció es descriu el càlcul del quocient de risc (Secció 3.4.2.1), els criteris utilitzats per determinar-lo (Secció 3.4.2.2), i la proposta de monitoratge de la qualitat química de l'aigua en funció del valor d'aquest quocient (Secció 3.4.2.3).

3.4.2.1 DEFINICIÓ DEL QUOCIENT DE RISC

El quocient de risc (QR) el SAD l'utilitzarà per avaluar el nivell de risc associat a una determinada concentració d'un indicador químic a les aigües i suggerir una freqüència de monitoratge de l'indicador químic. El QR es defineix com:

$$QR_{i,j} = \frac{C_{i,sortida}}{VP_{i,sortida}} \quad (4)$$

on $C_{i,sortida}$ és la concentració d'un determinat indicador i a la sortida de la planta de producció d'aigua regenerada; i $VP_{i,sortida}$ és el valor protector definit en el PT3 per a aquell indicador al punt de sortida de la planta en funció de l'ús de l'aigua regenerada.

3.4.2.2 CRITERIS DE SELECCIÓ DELS VP DE QUALITAT QUÍMICA

El càlcul del QR (equació (4)) requereix la selecció d'un determinat VP. La Taula A7 de l'Annex recull els VP per als indicadors químics, obtinguts de la Taula 5.4 del lliurable del PT3. Els VP es van organitzar a la Taula A7 en tres tipus segons els principals organismes exposats: VP de qualitat ambiental, VP de salut humana i VP de plantes. Així, per als usos d'irrigació i ambientals, es consideren els VP de qualitat ambiental i els VP de salut humana. Per a l'ús prepotable, com que l'aigua s'infiltra pel sòl o circula pel riu abans d'arribar a la planta de tractament, també es consideren els VP de qualitat ambiental.

Els VP de qualitat ambiental per als metalls i els compostos orgànics són els definits per a l'escenari ambiental en el marc del PT3. Com a VP de qualitat ambiental per als nutrients per als usos d'irrigació agrícola, es consideren els VP definits en el PT3 per a l'escenari d'irrigació.

Per defecte, el SAD considerarà els VP més baixos (dels aplicables) per a cada un dels indicadors, seguint un criteri conservador. Si l'usuari desitja utilitzar l'aigua per a més d'un ús alhora, el SAD mostrarà els VP menors dels assignats als dos usos. L'usuari, però, podrà modificar els VP. A més, el SAD identificarà els VP regulats per la normativa sobre reutilització de l'aigua respecte dels VP que són orientatius o recomanables.

3.4.2.3 PROPOSTA DE PUNTS DE MOSTREIG I FREQUÈNCIES DE MONITORATGE

En aquesta secció es descriu la proposta de monitoratge de la qualitat química de l'aigua als punts d'entrada i sortida de la planta (Secció 3.4.2.3.1) i dels tractaments (Secció 3.4.2.3.2), i es recullen consideracions addicionals relacionades amb el monitoratge dels indicadors de productes de

transformació i amb el monitoratge en situacions d'emergència (Secció 3.4.2.3.3).

3.4.2.3.1 MONITORATGE DELS PUNTS D'ENTRADA I SORTIDA DE LA PLANTA

La Taula 9 recull les freqüències que el SAD recomanarà per monitorar els indicadors químics al punt de sortida en funció dels valors del $QR_{i,sortida}$ i el tipus de VP. Per elaborar aquesta proposta, es van considerar els requeriments de les normatives sobre aigües (Council of the European Communities—CEC 1991; EP i CEU 2008, 2020 b; Ministerio de la Presidencia 2003, 2007; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2015).

En el cas que un mateix indicador químic (p. ex. els nutrients) estigui regulat per més d'una normativa, el SAD indicarà el rang de freqüències de monitoratge requerides per les diferents normatives d'acord amb el tipus de VP elegit per al càlcul del QR.

La freqüència de monitoratge suggerida en situacions en què $QR_{i,sortida}$ sigui inferior a 0,6 es basa en el criteri establert per la normativa sobre aigua potable, segons el qual es pot disminuir la freqüència de monitoratge d'un determinat paràmetre químic sempre que els resultats del monitoratge durant un període d'almenys tres anys indiquin que la seva concentració és inferior al 60 % del valor paramètric (EP i CEU 2020 b: Annex II, Part C). D'altra banda, la normativa sobre aigua potable determina que no caldria monitorar un paràmetre químic si els resultats del monitoratge durant un període d'almenys tres anys demostren que la seva concentració és inferior al 30 % del valor paramètric (EP i CEU 2020 b: Annex II, Part C).

Taula 9. Proposta de rangs del quocient de risc (RQ) al punt de sortida i freqüències de monitoratge associades

Rang QR _{i,sortida}	Tipus VP	Freqüència	
QR > 1	1, 3	Diària - setmanal	Freqüència de monitoratge major que la requerida per les normatives* fins que QR ≤ 1: setmanal, diària o major freqüència.
	2	Diària - determinada segons volum d'aigua distribuïda	Freqüència de monitoratge major que la determinada segons el volum d'aigua produïda**.
0,6 ≤ QR ≤ 1	1, 3	Mensual per a la majoria d'indicadors	Freqüència determinada per les normatives* mentre QR ≤ 1: mensual per a la majoria d'indicadors, setmanal-cada 2 setmanes per a nutrients.
	2	Determinada segons el volum d'aigua distribuïda	Freqüència determinada segons el volum d'aigua produïda** mentre QR ≤ 1.
0,3 ≤ QR ≤ 0,6	1, 2, 3	Trimestral	Freqüència menor que la determinada per les normatives.
QR < 0,3	1, 2, 3	nd	No caldria monitorar un paràmetre químic si els resultats del monitoratge durant un període d'almenys 3 anys mostren que la seva concentració és inferior al 30 % del VP.

*CEC 1991; Ministerio de la Presidencia 2007; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2015

**EP i CEU 2020 b, Ministerio de la Presidencia 2003

Les freqüències de monitoratge al punt d'entrada de la planta podrien ser les mateixes que a la sortida, i podrien disminuir si el monitoratge en línia al punt d'entrada també indiqués que la qualitat de l'aigua es manté relativament estable.

3.4.2.3.2 MONITORATGE DELS TRACTAMENTS

El SAD recomanarà el monitoratge periòdic dels indicadors químics que un determinat tractament elimina amb una eficiència elevada. La Taula 10 mostra els llindars d'eficiència d'eliminació considerats per fer aquesta selecció.

Taula 10. Llindars d'eficiència d'eliminació d'indicadors químics considerats per a la proposta de monitoratge al llarg d'un determinat tractament

Tractament	Eficiència eliminació (%)		
	Nutrient	Metall	Comp. org.
Existent	Sempre	Sempre detecta (si es aigües)	(Opcional)
Avançat	≥ 70	≥ 5	≥ 70
Tractaments existents: decantació primària, llots actius convencionals, reactor biològic de membrana			

Per als metalls, el llindar és menor ja que durant el desenvolupament de la base de dades es van trobar pocs estudis detallats sobre la seva quantificació en plantes de tractament.

Les freqüències recomanades per controlar periòdicament les eficiències de reducció aconseguides pels diversos tractaments s'indiquen a la Taula A6 de l'Annex. Fer mesures cada 6 mesos seria recomanable assumint que els tractaments operen correctament d'acord amb els protocols de validació i s'aconsegueix la qualitat de l'aigua desitjada (Carere et al. 2017; Drewes et al. 2008). Caldria augmentar la freqüència de monitoratge dels tractaments en els casos en què no es poguessin assolir els VP objectiu.

3.4.2.3.3 CONSIDERACIONS ADDICIONALS

Quant als productes de transformació, el SAD advertirà de la seva possible formació de forma qualitativa (Taula A6 de l'Annex), ja que és molt difícil estimar la quantitat que se'n pot produir: depèn fortament de les condicions dels tractaments de desinfecció i tant de les concentracions dels reactius aplicats com de les dels precursors presents.

Les estratègies de monitoratge s'haurien de relacionar amb els procediments de gestió en situacions d'alerta o emergència, situacions que es produirien, per exemple, si s'identifiquessin indicadors difícils de tractar —p. ex., 1,4-dioxà— amb concentracions molt elevades per sobre dels VP suggerits pel

SAD. Caldria aplicar mesures com les suggerides a la Secció 3.4.1, tenint en compte l'ús de l'aigua i els riscos potencials associats.

3.4.3. EXEMPLE DE SISTEMA DE MONITORATGE PER A UN TREN DE TRACTAMENT

Un exemple de sistema de monitoratge per a un tren de tractament es mostra a la Taula 11. El tren consisteix en (1) un reactor biològic de membrana (BRM), (2) un tractament amb carbó actiu granular (CAG) i (3) una desinfecció amb UV. Se suposa que produeix aigua regenerada per a irrigació. Cadascun dels tractaments que formen el tren es poden monitorar de manera contínua, mesurant paràmetres subrogats i altres paràmetres en temps real (Taula A5 de l'Annex).

Els tractaments BRM i UV permeten reduir les concentracions de patògens. Els valors de reducció aconseguits aplicant UV es poden monitorar directament amb la dosi UV transmesa en funció de la validació prèvia i la definició dels rangs d'operació validats per al reactor UV, procés que pot tenir lloc a la fàbrica o *in situ*. En canvi, els valors de reducció que aconsegueix el BRM no es poden monitorar directament amb paràmetres subrogats específics. Per això, es recomana mesurar periòdicament les concentracions dels indicadors microbiològics a l'entrada i al permeat del BRM per verificar que els valors de reducció validats se segueixen complint (WaterSecure 2017 d). D'altra banda, al punt de sortida de la planta, passat el tractament UV, cal comprovar periòdicament que s'assoleixen els VP per a l'aigua regenerada d'acord amb el seu ús. I al punt d'entrada i/o a la sortida del tractament secundari, és recomanable controlar periòdicament la qualitat de l'aigua inicial i verificar que les concentracions dels patògens de referència i indicadors es troben dins dels rangs de concentracions utilitzades per al disseny del tren de tractament. Així mateix, cal assegurar que l'aigua d'entrada compleix els requeriments dels rangs definits en el procés de validació per assegurar que l'aigua residual es pot tractar de manera adequada.

En l'exemple de la Taula 11, els tractaments BRM i CAG permeten reduir les concentracions de determinats indicadors químics. Per verificar que els tractaments segueixen aconseguint les eficiències d'eliminació d'aquests indicadors, es recomana mesurar periòdicament les concentracions dels indicadors a l'entrada i a la sortida (dels tractaments respectius). Es poden utilitzar valors validats d'eficiència d'eliminació de COT i/o absorbància UV per monitorar de manera contínua l'eficiència dels tractaments BRM i CAG (Taula A5 de l'Annex). També, com s'ha comentat per a la qualitat microbiològica, convé monitorar la qualitat química de l'aigua al punt de sortida del tractament secundari i al punt de sortida de la planta.

Taula 11. Exemple: proposta de requeriments per al monitoratge d'un tren de tractament per a la producció d'aigua regenerada per a irrigació

Punt	Paràmetre/Indicador	Freqüència
Punt entrada al tren avançat (ind. químics), punt entrada a la planta (ind. microbiològics)	pH, terbolesa, conductivitat elèctrica (NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻)	Continu
	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Zn, Ni, carbamazepina, diclofenac, DEET, iopromida, cafeïna, PFOS, DEHP, venlafaxina	Taula 9
	<i>E. coli</i> , colífags i espores <i>Clostridium perfringens</i>	Taula 8
BRM	Reactor biològic: temps de retenció hidràulic, concentració de sòlids en suspensió, COT, absorbància UV, concentració d'O ₂ dissolt, pH; membrana: permeabilitat per a l'aigua, T, terbolesa, flux d'aigua a través de la membrana	Continu
	Cafeïna (entrada i permeat)	Cada 6 mesos
	<i>E. coli</i> , colífags i espores <i>Clostridium perfringens</i> (entrada i permeat)	Cada 15 dies durant els primers mesos, cada 3 mesos al cap d'1 any
CAG	Absorbància UV i/o COT (entrada i sortida)	Continu
	Carbamazepina, diclofenac, DEET, iopromida, cafeïna, PFOS, DEHP, Ni, Zn (entrada i sortida)	Cada 6 mesos
UV	Dosi UV: intensitat UV, UV transmitància, cabal i estat de la làmpada	Continu

Taula 11 (continuació). Exemple: proposta de requeriments per al monitoratge d'un tren de tractament per a la producció d'aigua regenerada per a irrigació

Punt	Paràmetre/Indicador	Freqüència
Punt sortida	pH, conductivitat elèctrica, terbolesa (NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻)	Continu
	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Zn, Ni, carbamazepina, diclofenac, DEET, iopromida, cafeïna, PFOS, DEHP, venlafaxina	Taula 9
	<i>E. coli</i> , colífags i espores <i>Clostridium perfringens</i>	Taula 8

3.5 REVISIÓ DE MÈTODES DE PRIORITZACIÓ I SELECCIÓ DE CONTAMINANTS I INDICADORS

La necessitat de prioritzar i seleccionar un conjunt de compostos químics i microorganismes per avaluar la qualitat de l'aigua i l'eficiència dels trens de tractament es planteja atesa la dificultat de mesurar tots els contaminants i l'ocurrència de contaminants desconeguts o en concentracions difícilment mesurables fins i tot amb mètodes analítics avançats (WHO 2017). A la Secció 3.5.1 es resumeix la informació més rellevant que es va consultar per definir els criteris de selecció dels contaminants i indicadors que es mostren a la Secció 3.1; i a la Secció 3.5.2 es resumeix la informació que es va consultar sobre mètodes de monitoratge implementats en plantes que operen en altres països.

3.5.1 MÈTODES PROPOSATS EN GUIES, NORMATIVES I PROJECTES

La Taula 12 mostra les principals guies, normatives i projectes consultats que incorporen criteris de selecció de contaminants i indicadors per al monitoratge de la qualitat de l'aigua i l'eficiència de trens de tractament per a la producció d'aigua regenerada a partir d'aigua residual urbana. La major part de fonts consultades coincideixen a aplicar criteris semblants a l'hora de fer recomanacions per a la selecció de contaminants i indicadors, i per això, la descripció dels criteris es fa de manera resumida incorporant una breu descripció dels principals criteris considerats al final de la taula i indicant a la taula de manera visual les fonts que els recomanen.

Taula 12. Principals criteris proposats en guies, normatives i projectes per a la selecció de contaminants i indicadors per al monitoratge de la qualitat de l'aigua i l'eficiència de trens de tractament per a la producció d'aigua regenerada a partir d'aigua residual urbana

Referència	Cont./Ind. químics				Cont. microbio- lògics	
	1	2	3	4	5	6
WHO 2017	X	X	X	X	X	X
WHO 2006	X	X			X	
EP i CEU 2020 a	X	X			X	
NRMMC et al. 2006, 2008, 2009	X	X	X	X	X	X
US EPA i CDM Smith 2018	X	X	X	X	X	X
NORMAN i Water Europe 2019	X	X	X	X		
McArdell et al. 2015; McArdell i Meier 2019 (Swiss Water Protection Act)	X		X	X		
Polesello et al. 2018 (FRAME project)	X	X	X	X	X	
Carere et al. 2017 (NEREUS COST Action ES 1403)	X	X	X	X		
Descripció dels criteris: ¹ Ocurrència a les aigües en concentracions mesurables ² Toxicitat per a les persones i el medi ³ Representativitat de la diversitat de propietats fisicoquímiques ⁴ Anàlisi amb mètodes estandarditzats o amb sensibilitat adequada ⁵ Definició de valors de reducció logarítmica per a bacteris, virus i protozous patogènics de referència per a usos d'aigua regenerada com el potable i la irrigació de productes agrícoles. Aquests valors de reducció logarítmica es calculen mitjançant una avaluació quantitativa del risc microbiològic, i s'apliquen per identificar trens de tractament que permeten assolir-los (WHO 2017). ⁶ Anàlisi amb mètodes estandarditzats o amb sensibilitat adequada						

3.5.2 EXEMPLES IMPLEMENTATS PER LA INDÚSTRIA EN ALTRES PAÏSOS

La Taula 13 mostra informació bàsica relativa al monitoratge operacional de 4 plantes existents a escala industrial de producció d'aigua regenerada per a ús prepotable. Aquest és l'ús per al qual es va trobar informació de monitoratge de més detall i fàcilment accessible. Les plantes seleccionades es troben a 4 països diferents: Estats Units (Orange County), Singapur (NEWater), Austràlia (Beenyup) i Bèlgica (Torreele). En general, s'observa que totes les plantes monitoren contínuament cada un dels tractaments mitjançant combinacions semblants de paràmetres subrogats, i inclouen en el monitoratge operacional indicadors químics representatius de les categories també considerades en el present treball. D'altra banda, la informació sobre indicadors microbiològics i patògens utilitzats durant el monitoratge és més escassa i difereix més entre els casos.

Taula 13. Informació bàsica sobre el monitoratge operacional en 4 plantes de producció d'aigua regenerada per a ús prepotable

Projecte	P. subrogats i indicadors	Freqüència	Referència
Orange County, Califòrnia, EUA	1 MF: terbolesa, test de caiguda de pressió; OI: COT, conductivitat, terbolesa; tractament amb UV i peròxid d'hidrogen dosi UV (transmitància UV, intensitat UV)	Continu	State Water Resources Control Board 2018; Dadakis 2015; WHO 2017
	2 Comp. orgànics (p. ex. comp. farmacèutics, biocides, 1,4-dioxà, retardants de flama), productes transformació (p. ex. NDMA, trihalometans), metalls	Cada 3 mesos	
	3 Validació del tren per eliminar valors definits de reducció logarítmica per a virus i protozous; monitoratge continu dels paràmetres subrogats	nd	
NEWater, Singapur	1 MF_UF: terbolesa; OI: COT, conductivitat; UV: dosi UV	Continu	WHO 2017
	2 Comp. orgànics (p. ex. comp. farmacèutics, èters alifàtics, 1,4-dioxà, hormones, bifenils policlorinats), productes transformació (p. ex. NDMA)	nd	
	3 nd	nd	

Taula 13 (continuació)

Projecte	P. subrogats i indicadors	Freqüència	Referència
Beenyup Advanced Water Recycling Plant, Perth, Austràlia	1 UF: test de caiguda de pressió, terbolesa; OI: COT, conductivitat; UV: dosi UV (UV transmitància, cabal)	Continu	WHO 2017
	2 17 indicadors: compostos orgànics (hidrocarburs aromàtics policíclics, clorobenzens, comp. farmacèutics, biocides, compostos radioactius, fenols halogenats, 1,4-dioxà), productes transformació, nutrients, bor	Freqüència major per a la selecció de 17 indicadors que per a una selecció més extensa de paràmetres (292)	
	3 Colífags (colífag MS2)	Mateixa freqüència que per a la resta de 17 indicadors químics	
Torreele, Bèlgica	1 UF: terbolesa; OI: conductivitat; UV: dosi UV	Continu	Böckelmann et al. 2009; Onyango et al. 2014
	2 Nutrients, metalls, productes transformació, hidrocarburs aromàtics policíclics	nd	
	3 Indicadors (p. ex. <i>Escherichia coli</i> , <i>Clostridium perfringens</i>) i patògens (<i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i>)	nd	

¹ Exemples de paràmetres subrogats; ² exemples d'indicadors químics; ³ exemples de patògens/indicadors microbiològics; nd: informació no disponible

4. CONCLUSIONS

La metodologia d'identificació i monitoratge de contaminants que es presenta en aquest treball permet fer una proposta de monitoratge de paràmetres subrogats i indicadors químics i microbiològics a l'entrada i a la sortida d'una planta de producció d'aigua regenerada i al llarg d'un tren de tractament. Els paràmetres subrogats permeten avaluar l'eficiència dels tractaments de manera contínua o ràpida; els indicadors permeten avaluar la qualitat de l'aigua; i es poden establir relacions entre canvis en paràmetres subrogats i canvis en indicadors. Així, és possible fer una proposta de requeriments de monitoratge en funció dels usos d'aigua regenerada, i de l'eficiència dels tractaments en temps real per controlar els riscos que poden afectar la qualitat de l'aigua.

La metodologia integra part dels resultats obtinguts en els altres paquets de treball PT3 i PT4. Específicament, considera els VP definits en el PT3 per determinar les freqüències de monitoratge, i els tractaments i trens de tractament definits en el PT4.

La metodologia es va desenvolupar per etapes. Durant la primera etapa, es va fer una prioritització i selecció de contaminants, escollint contaminants que es troben en efluentes de plantes de tractament d'aigües residuals urbanes i que són representatius de la diversitat de propietats fisicoquímiques. Es va obtenir una llista de 71 contaminants potencialment rellevants. A partir d'aquesta llista, es va elaborar una llista més reduïda de 18 indicadors (15 químics i 3 microbiològics), intentant conservar-ne la representativitat de la diversitat de propietats fisicoquímiques i de comportament en diferents tractaments.

Durant la segona etapa, es va preparar una proposta de paràmetres subrogats per monitorar cadascun dels tractaments considerats en el projecte, una descripció de possibles relacions entre canvis en paràmetres subrogats i canvis en indicadors.

Durant la tercera etapa, es van identificar els mètodes d'anàlisi més habituals per quantificar els indicadors seleccionats.

Durant la quarta etapa, es va desenvolupar una metodologia per fer una proposta de monitoratge de cada tractament i dels punts d'entrada i de sortida de la planta en funció dels valors de qualitat de l'aigua i dels usos de l'aigua regenerada.

La metodologia es va concebre considerant les etapes principals del procés d'avaluació de riscos, però els requeriments de monitoratge determinats segons aquesta metodologia són orientatius. Queda fora de l'abast fer una proposta de requeriments de monitoratge per a una planta de producció d'aigua regenerada amb el nivell de detall que caldria d'acord amb el marc del procés d'avaluació de riscos. No obstant això, la metodologia proposada també hauria de servir com a guia perquè, en el cas d'identificar contaminants difícils de tractar, se'n puguin investigar les fonts i s'hi estableixin mesures

per prevenir-ne l'emissió, p. ex., promovent canvis en processos productius, comercials, en pràctiques agrícoles o en pautes de consum. La base de coneixement que s'ha creat al llarg d'aquest treball es pot anar ampliant a mesura que es recopilin noves dades sobre l'ocurrència, mètodes d'anàlisi i comportament de contaminants en processos de tractament i ecosistemes aquàtics i terrestres; així com informació sobre noves mesures de prevenció i gestió de la contaminació.

5. REFERÈNCIES

Agència Catalana de l'Aigua—ACA (2019 a) Pla de Gestió 2022-2027: Document EPTI 2019: Esquema provisional dels temes importants al Districte de conca fluvial de Catalunya per a la revisió del Pla de gestió del Districte de conca fluvial de Catalunya i del seu Programa de mesures per al període 2022-2027. Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya

Agència Catalana de l'Aigua—ACA (2019 b) Pla de Gestió 2022-2027: Document IMPRESS 2019: Memòria: Estudi general de la demarcació, anàlisi d'impactes i pressions de l'activitat humana, i anàlisi econòmica de l'ús de l'aigua a les masses d'aigua al Districte de conca fluvial de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya

Agència Catalana de l'Aigua—ACA (2021) Reutilització ERA del Prat de Llobregat. Prova demostrativa: Informe tècnic: Resultats de l'anàlisi de compostos químics, indicadors microbiològics analitzats i toxicitat ambiental, durant la prova demostrativa d'aigua regenerada de l'ERA del Prat de Llobregat realitzada a l'estiu de 2019. Document de treball per al Panell d'Experts

Alcalde-Sanz, L., Gawlik, B. M. (2017) Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge: Towards a legal instrument on water reuse at EU level. Joint Research Centre, EUR 28962 EN, Publications Office of the European Union; doi: 10.2760/887727

Betancourt, W. Q., Kitajima, M., Wing, A. D., Regnery, J., Drewes, J., Pepper, I. L., Gerba, C. P. (2014) Assessment of virus removal by managed aquifer recharge at three full-scale operations. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 49, pp. 1685-1692; doi: 10.1080/10934529.2014.951233

Bizkarguenaga, E., Ros, O., Iparraguirre, A., Navarro, P., Vallejo, A., Usobiaga, A., Zuloaga, O. (2012) Solid-phase extraction combined with large volume injection-programmable temperature vaporization-gas chromatography-mass spectrometry for the multiresidue determination of priority and emerging organic pollutants in wastewater. *Journal of Chromatography A*, 1247, pp. 104-117; doi: 10.1016/j.chroma.2012.05.022

Böckelmann, U., Dörries, H. H., Ayuso-Gabella, M. N., Salgot de Marc, M., Tandoi, V., Levantesi, C., Masciopinto, C., Van Houtte, E., Szewzyk, U., Wintgens, T., Grohmann, E. (2009) Quantitative PCR monitoring of antibiotic resistance genes and bacterial pathogens in three European artificial groundwater recharge systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(1), pp. 154-163; doi:10.1128/AEM.01649-08

Bolton, J. R. i Stefan, M. I. (2002) Fundamental photochemical approach to the concepts of fluence (UV dose) and electrical energy efficiency in photochemical degradation reactions. *Research on chemical intermediates*, volume 28(7-9), pp. 857-870

Bourgin, M., von Gunten, U., McArde, C. S., Hollender, J., Hofman-Caris, R. (2015) Deliverable D32.1: Compilation of kinetics and mechanisms for the oxidative transformation of organic substances: Project "Demonstration of promising technologies to address emerging pollutants in water and waste water" (DEMEAU), funded within the European Union Seventh Framework Programme, grant agreement no. 308339; <https://www.demeau-fp7.eu>

Carere, M., Lundy, L., Manaia, C., Fatta-Kassinos, D., Vazquez, M., Koenemann, S., Weinberg, D., Rodríguez, S., Michael-Kordatou, I., Schaar, H. P., European Chemicals Bureau—ECB Members (2017): Deliverable 19: List of quality criteria concerning ARB&ARGs and biological risks related to contaminants of emerging concern: NEREUS Cost Action ES1403: New and emerging challenges and opportunities in wastewater reuse (NEREUS), supported by COST (European Cooperation in Science and Technology); <http://www.nereus-cost.eu/working-groups/deliverables/>

Castro G., Rodríguez, I., Ramil, M., Cela, R. (2019) Selective determination of sartan drugs in environmental water samples by mixed-mode solid-phase extraction and liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Chemosphere*, 224, pp. 562-571; doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.137

Chemspider (2021) <http://www.chemspider.com/>

Council of the European Communities—CEC (1991) Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC)

Dadakis, J. S. (2015) Orange County's Groundwater Replenishment System; https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/documents/recharge/rw_swa_dpexpertpanel/item04-dadakis.pdf

De Vos, E., Charoud-Got, J., de Vos, P., Oostra, A., Bacquart, T., Held, A. (2013) Certification report: The certification of the mass concentration of arsenic, cadmium, chromium, copper, iron, manganese, mercury, lead, nickel and selenium in wastewater: ERM®-CA713. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Reference Materials and Measurements, EUR 25839 EN, Publications Office of the European Union; doi: 10.2787/76888

Department of Health, Victoria State (2013) Guidelines for validating treatment processes for pathogen reduction: Supporting Class A recycled water schemes in Victoria. State Government of Victoria, Australia; <https://www2.health.vic.gov.au/about/publications/policiesandguidelines/Guidelines-for-validating-treatment-processes-for-pathogen-reduction-Supporting-Class-A-recycled-water-schemes-in-Victoria>

Drewes, J. E., Sedlak, D., Snyder, S., Dickenson, E. (2008) Development of indicators and surrogates for chemical contaminant removal during wastewater treatment and reclamation. WateReuse Foundation, Alexandria, US; <https://watereuse.org/>

Erger, C., Balsaa, P., Werres, F., Schmidt, T. C. (2013) Determination of organic priority pollutants in the low nanogram-per-litre range in water by

solid-phase extraction disk combined with large-volume injection/gas chromatography–mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405, pp. 5215-5223; doi: 10.1007/s00216-013-6918-x

European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals—ECETOC (2013) Environmental exposure assessment of ionisable organic compounds. Technical report no. 123; <https://www.ecetoc.org/>

European Commission—EC (2009) Commission Directive 2009/90/EC of 31 July 2009 laying down, pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, technical specifications for chemical analysis and monitoring of water status

European Parliament—EP, Council of the European Union—CEU (2006) Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration

European Parliament—EP, Council of the European Union—CEU (2008) Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council

European Parliament—EP, Council of the European Union—CEU (2020 a) Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse

European Parliament—EP, Council of the European Union—CEU (2020 b) Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption

Farré, M. J., Reungoat, J., Argaud, F. X., Rattier, M., Keller, J., Gernjak, W. (2011) Fate of N-nitrosodimethylamine, trihalomethane and haloacetic acid precursors in tertiary treatment including biofiltration. *Water Research*, 45(17), pp. 5695-5704; doi: 10.1016/j.watres.2011.08.033

Gerba, C. P. (2009) Disinfection. In: Maier, R. M., Pepper, I. L., Gerba, C. P. (eds.) *Environmental Microbiology*. Second edition, Academic Press, Elsevier

Gerba, C. P., Betancourt, W. Q., Kitajima, M. (2017) How much reduction of virus is needed for recycled water: A continuous changing need for assessment? *Water Research*, 108, pp. 25-31; doi: 10.1016/j.watres.2016.11.020

Gerba, C. P., Rose, J. B., Haas, C. N., Crabtree, K. D. (1996) Waterborne rotavirus: A risk assessment. *Water Research*, 30(12), pp. 2929-2940; doi: 10.1016/S0043-1354(96)00187-X

Gros, M., Rodríguez-Mozaz, S., Barceló, D. (2012) Fast and comprehensive multi-residue analysis of a broad range of human and veterinary

pharmaceuticals and some of their metabolites in surface and treated waters by ultra-high-performance liquid chromatography coupled to quadrupole-linear ion trap tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1248, pp. 104-121; doi: 10.1016/j.chroma.2012.05.084

Haramoto, E., Kitajima, M., Hata, A., Torrey, J. R., Masago, Y., Sano, D., Katayama, H. (2018) A review on recent progress in the detection methods and prevalence of human enteric viruses in water. *Water Research*, 135, pp. 168-186; doi: 10.1016/j.watres.2018.02.004

Hüsch, R., Hochstrat, R. (2017) Deliverable D2.1: Best practice and trends in membrane integrity monitoring: Literature Review: Project "Innovation Demonstration for a Competitive and Innovative European Water Reuse Sector" (DEMOWARE), funded within the European Union Seventh Framework Programme, grant agreement no. 619040; <http://demoware.ctm.com.es/>

International Organisation for Standardisation—ISO (1986) ISO 6461: Water quality: Detection and enumeration of the spores of sulfite-reducing anaerobes (clostridia)

International Organisation for Standardisation—ISO (2013) ISO 14189: Water quality: Enumeration of *Clostridium perfringens*: Method using membrane filtration

Kah, M., Sigmund, G., Xiao, F., Hofmann, T. (2017) Sorption of ionizable and ionic organic compounds to biochar, activated carbon and other carbonaceous materials. *Water Research*, 124, pp. 673-692; doi: 10.1016/j.watres.2017.07.070

Kallithrakas-Kontos, N., Foteinis, S. (2016) Recent advances in the analysis of mercury in water: A review. *Current Analytical Chemistry*, 12(1), pp. 22-36; doi: 10.2174/157341101201151007120324

Kim, I., Tanaka, H. (2009) Photodegradation characteristics of PPCPs in water with UV treatment. *Environment International*, 35(5), pp. 793-802; doi: 10.1016/j.envint.2009.01.003

Kruithof, J. C., Kamp, P. C., Martijn, B. J. (2007) UV/H₂O₂ treatment: A practical solution for organic contaminant control and primary disinfection. *Ozone: Science and Engineering*, 29, pp. 273-280; doi: 10.1080/01919510701459311

Lamy, M. C., Sanseverino, I., Niegowska, M., Lettieri, T. (2020) Microbiological parameters under the Drinking Water Directive: Current state of art on somatic coliphages and *Clostridium perfringens* and spores. EUR 29932 EN, Publications Office of the European Union; doi: 10.2760/005492

Li, D., Gu, A. Z., Yang, W., He, M., Hu, X. H., Shi, H. C. (2010) An integrated cell culture and reverse transcription quantitative PCR assay for detection of infectious rotaviruses in environmental waters. *Journal of Microbiological Methods*, 82(1), pp. 59-63; doi: 10.1016/j.mimet.2010.04.003

Loos, R., Carvalho, R., Comero, S., Antonio, D. C., Ghiani, M., Lettieri, T., Locoro, G., Paracchini, B., Tavazzi, S., Gawlik, B. M., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Schwesig, D., Haglund, P., Fick, J., Gans, O. (2012) EU-wide monitoring survey on wastewater treatment plant effluents. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR 25563 EN, Publications Office of the European Union; doi: 10.2788/60663

McArdell, C. S., Bourgin, M., von Gunten, U., Hollender, J., Kienle, C., Hofman-Caris, R. (2015) Deliverable D32.3: Decision basis for implementation of oxidation technologies: Project "Demonstration of promising technologies to address emerging pollutants in water and waste water" (DEMEAU), funded within the European Union Seventh Framework Programme, grant agreement no. 308339; <https://www.demeau-fp7.eu>

McArdell, C. S., Meier, A. (2019) The Swiss approach in reducing micropollutants in wastewater. STOWA Workshop: Beating micropollutants in WWTPs, Aquatech Expo RAI, Amsterdam, The Netherlands; <https://www.stowa.nl/>

Merel, S., Anumol, T., Park, M., Shane A. Snyder, S. A. (2015) Application of surrogates, indicators, and high-resolution mass spectrometry to evaluate the efficacy of UV processes for attenuation of emerging contaminants in water. *Journal of Hazardous Materials*, 282, pp. 75-85; doi: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.09.008

Michalski, R. (2005) Inorganic oxyhalide byproducts in drinking water and ion chromatographic determination methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(3), pp. 257-268

Michalski, R., Kurzyca, I. (2006) Determination of nitrogen species (nitrate, nitrite and ammonia ions) in environmental samples by ion chromatography. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(1), pp. 5-18

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015) Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Gobierno de España

Ministerio de la Presidencia (2003) Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Gobierno de España

Ministerio de la Presidencia (2007) Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Gobierno de España

Ministerio de Medio Ambiente Rural y Medio Marino (2010) Guía para la aplicación del Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Gobierno de España

Munch, J. W. (1995) Method 524.2: Measurement of purgeable organic compounds in water by capillary column gas chromatography/mass spectrometry. US EPA

Munch, J. W., Bassett, M. V. (2004) Method 521: Method development for the analysis of N-nitrosodimethylamine and other N-nitrosamines in drinking water at low nanogram/liter concentrations using solid-phase extraction and gas chromatography with chemical ionization tandem mass spectrometry. US EPA/600/R-05/054

Münze, R., Hannemann, C., Orlinskiy, P., Gunold, R., Paschke, A., Foit, K., Becker, J., Kaske, O., Paulsson, E., Peterson, M., Jernstedt, H., Kreuger, J., Schüürmann, G., Liess, M. (2017) Pesticides from wastewater treatment plant effluents affect invertebrate communities. *Science of The Total Environment*, 599-600, pp. 387-399; doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.008

Natural Resource Management Ministerial Council—NRMMC, Environment Protection and Heritage Council—EPHC, Australian Health Ministers' Conference—AHMC (2006) National guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks (phase 1): National Water Quality Management Strategy. Commonwealth of Australia; <https://www.waterquality.gov.au/guidelines>

Natural Resource Management Ministerial Council—NRMMC, Environment Protection and Heritage Council—EPHC, National Health and Medical Research Council (2008) National guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks (phase 2): Augmentation of drinking water supplies: National Water Quality Management Strategy. Commonwealth of Australia; <https://www.waterquality.gov.au/guidelines>

Natural Resource Management Ministerial Council—NRMMC, Environment Protection and Heritage Council—EPHC, National Health and Medical Research Council—NHMRC (2009) National guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks (phase 2): Managed aquifer recharge: National Water Quality Management Strategy. Commonwealth of Australia; <https://www.waterquality.gov.au/guidelines>

NORMAN, Water Europe (2019) Contaminants of emerging concern in urban wastewater: Joint NORMAN and Water Europe Position Paper; <http://www.norman-network.net>

Onyango, L., Leslie, G., Wood, J.G. (2014) Global Potable Reuse Case Study 5: Torreele/St. Andre, Koksijde Belgium. Australian Water Recycling Centre of Excellence, Brisbane, Australia; <https://legacy.water360.com.au/wp-content/uploads/2015/07/WQ-Case-Study-5-Koksijde-Belgium-100815.pdf>

Pavan, M., Worth, P. A. (2006) Review of QSAR models for ready biodegradation. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, EUR 22355 EN, Publications Office of the European Union

Pellerin, B. A., Stauffer, B. A., Young, D. A., Sullivan, D. J., Bricker, S. B., Walbridge, M. R., Clyde, G. A., Shaw, D. M (2016) Emerging tools for continuous nutrient monitoring networks: Sensors advancing science and water resources protection. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 52(4), pp. 993-1008; doi: 10.1111/1752-1688.12386

Polesello, S., Samanipour, S., Petersen, K., Aurouet, A., Hertout, A., Pettenati, M., Picot-Colbeaux, G., Blanc, P., Devau, N., Mazzoni, M., Valsecchi, S., Mascolo, G., Carere, M., Drewes, J.E., Hübner, U., Hellauer, K., Herzog, B., Hermes, N., Müller, J., Jewell, K., Ternes, T.A. (2018) Handbook for end-users: Project "A novel framework to assess and manage contaminants of emerging concern in indirect potable reuse" (FRAME), supported by the European research initiative "Water JPI (Joint Programming Initiative "Water Challenges for a Changing World")"; <http://www.frame-project.eu/index.html>

Rousseau, A., La Carbona, S., Dumètre, A., Robertson, L. J., Gargala, G., Escotte-Binet, S., Favennec, L., Villena, I., Gérard, C., and Auber, D. (2018) Assessing viability and infectivity of foodborne and waterborne stages (cysts/oocysts) of *Giardia duodenalis*, *Cryptosporidium* spp., and *Toxoplasma gondii*: a review of methods. *Parasite* 25(14), pp. 1-21; doi: 10.1051/parasite/2018009

Rüdel, H., Körner, W., Letzel, T., Neumann, M., Nödler, K., Reemtsma, T. (2020) Persistent, mobile and toxic substances in the environment: a spotlight on current research and regulatory activities. *Environmental Sciences Europe*, 32(5), pp. 1-11; doi: 10.1186/s12302-019-0286-x

Scheurer, M., Michel, A., Brauch, H. J., Ruck, R., Sacher, F. (2012) Occurrence and fate of the antidiabetic drug metformin and its metabolite guanilurea in the environment and during drinking water treatment. *Water Research*, 46(15), pp. 4790-4802; doi: 10.1016/j.watres.2012.06.019

State Water Resources Control Board (2018) Title 17 and 22 California Code of Regulations: Regulations related to recycled water. Division of Drinking Water, California Water Boards, State of California

Sun, M., Lopez-Velandia, C., Knappe, D. R. U. (2016) Determination of 1,4-dioxane in the Cape Fear River Watershed by heated purge-and-trap preconcentration and gas chromatography–mass spectrometry. *Environmental Science and Technology*, 50, pp. 2246-2254; doi: 10.1021/acs.est.5b05875

Teunis, P., Schijven, J. F. (2017) Generic guidance to quantitative microbial risk assessment for food and water. WHO Collaborating Centre Risk Assessment of Pathogens in Food and Water, National Institute for Public Health and the Environment—RIVM report no. 2017-0188, The Netherlands; doi: 10.21945/RIVM-2017-0188

Tisler, S., Zwiener, C. (2018) Formation and occurrence of transformation products of metformin in wastewater and surface water. *Science of The*

Total Environment, 628-629, pp. 1121-1129; doi:
10.1016/j.scitotenv.2018.02.105

Ungureanu, G., Santos, S., Boaventura, R., Botelho, C. (2015) Arsenic and antimony in water and wastewater: Overview of removal techniques with special reference to latest advances in adsorption. *Journal of Environmental Management*, 151, pp. 326-342; doi: 10.1016/j.jenvman.2014.12.051

United States Environmental Protection Agency—US EPA (2005) Membrane filtration guidance manual

United States Environmental Protection Agency—US EPA, CDM Smith (2018) Potable reuse compendium;
https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf

Valle, A. L., Mello, F. C. C., Alves-Balvedi, R. P., Rodrigues, L. P., Goulart, L. R. (2019) Glyphosate detection: methods, needs and challenges; *Environmental Chemistry Letters*, 17, pp. 291-317; doi: 10.1007/s10311-018-0789-5

Vanrolleghem, P. A., Lee, D. S. (2003) On-line monitoring equipment for wastewater treatment processes: state of the art. *Water Science and Technology*, 47(2), pp. 1-34; doi: 10.2166/wst.2003.0074

WaterSecure (2017 a) Reverse osmosis and nanofiltration. WaterVal validation protocol, Australian WaterSecure Innovations Ltd, Brisbane, Australia

WaterSecure (2017 b) Ultraviolet disinfection. WaterVal validation protocol, Australian WaterSecure Innovations Ltd, Brisbane, Australia

WaterSecure (2017 c) Chlorine disinfection. WaterVal validation protocol, Australian WaterSecure Innovations Ltd, Brisbane, Australia

WaterSecure (2017 d) Membrane bioreactor. WaterVal validation protocol, Australian WaterSecure Innovations Ltd, Brisbane, Australia

WaterSecure (2017 e) Ozone disinfection. WaterVal validation protocol, Australian WaterSecure Innovations Ltd, Brisbane, Australia

World Health Organisation—WHO (2006) WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II: Wastewater use in agriculture

World Health Organisation—WHO (2009) Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers;
<http://apps.who.int/iris/handle/10665/75141>

World Health Organisation—WHO (2017) Potable reuse: Guidance for producing safe drinking water;
<http://apps.who.int/iris/handle/10665/258715>