



II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

MasterClass 16



“Tecnologías innovadoras para afrontar la nueva normativa europea de agua regenerada para riego”

Patrocinada por:

AZUD

Pablo Ruiz

Consultor de proyectos de tratamiento de agua de AZUD

Ingeniero Industrial

Especialista en tratamiento de aguas con experiencia en desalación, depuración y reutilización

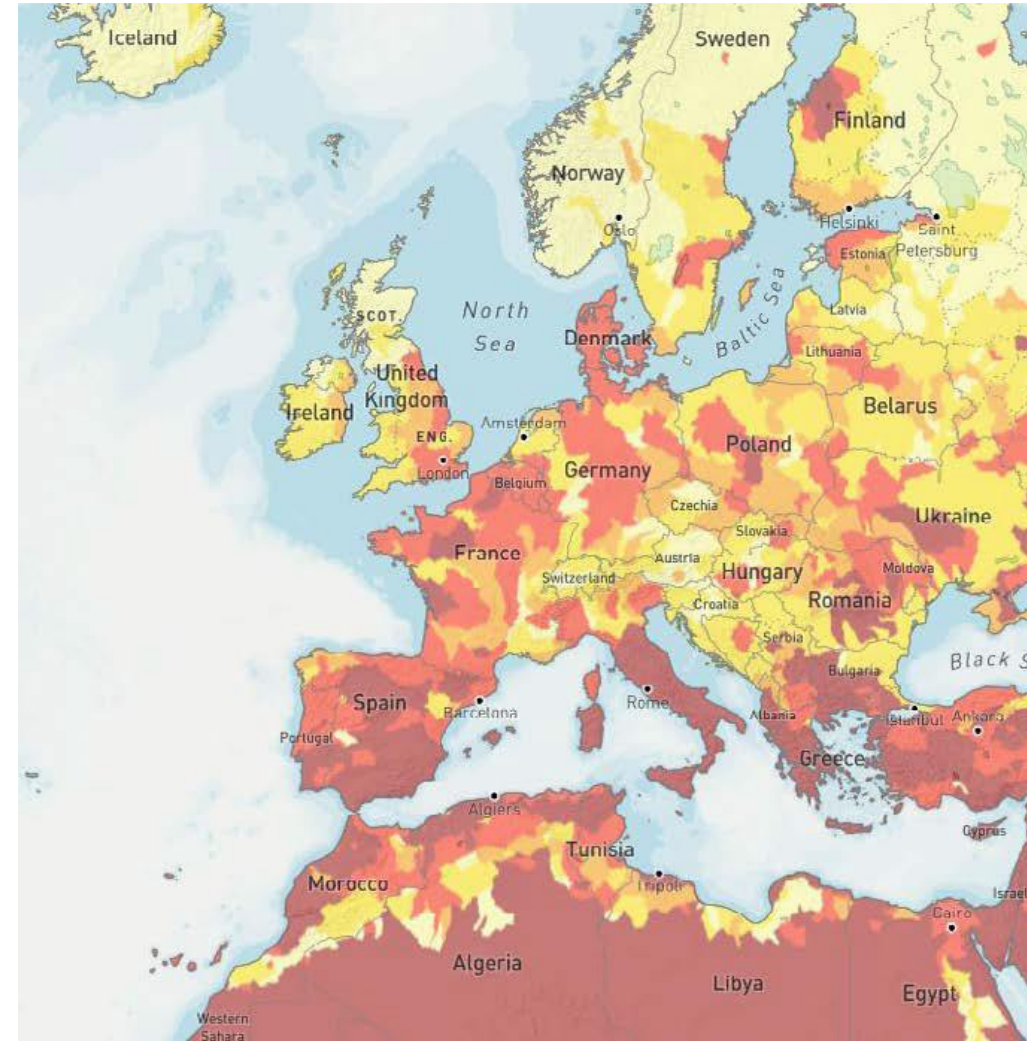


ÍNDICE

1. Motivaciones del nuevo reglamento
2. Introducción al reglamento
3. Calidad y parámetros del agua regenerada
4. Tecnologías aplicables en función de la calidad requerida
5. Tándem tratamiento + barreras
6. Conclusiones

Motivaciones del nuevo reglamento

- 60% escasez en el territorio europeo
- Aceptación por parte de la sociedad
- Necesidad de definir parámetros comunes para evitar conflictos sobre libre circulación de productos agrícolas
- Agricultura = gran consumidor de agua



Países con normativa de regeneración previa:

- España: RD 1620/2007
- Francia: Decreto 2 de agosto de 2010
- Italia: Decreto 185 de 2003
- Portugal: NP 4434 2005
- Grecia: Decreto Ministerial conjunto 145116/11
- Chipre: Ley 106/2002

Países que dan un paso más:

- Suecia → Nuevo reglamento + tema PFAS
- Bélgica → Nuevo reglamento + usos industriales



Procedencia, usos y entrada en vigor

- Se contemplan aguas procedentes de depuradoras urbanas tratadas de conformidad con la Directiva 91/271/CEE.
- USO SOLO RIEGO AGRÍCOLA
- Otros usos (riego recreativo, campos de golf, usos industriales, etc.) → legislación específica de cada Estado (art. 29)

Entrada en vigor



Introducción al reglamento

CALIDAD	CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO	EJEMPLOS
A	Consumo crudo. Parte comestible en contacto con agua regenerada	Lechugas, Zanahorias, jengibre, etc.
B	Consumo crudo. Parte comestible NO en contacto con agua regenerada debido a Riego por goteo.	Manzanas, peras, aguacates, etc. con riego por goteo
C	Consumo crudo. Parte comestible PUEDE ESTAR en contacto con agua regenerada debido a Riego por aspersión	Cítricos con riego por aspersión
C	Cultivos destinados a industria y producción de energía	Chopo, eucalipto, etc.



Parámetros de control

Clase de calidad de las aguas regeneradas	Tratamiento indicativo	Requisitos de calidad			
		<i>E. coli</i> (número/100 ml)	DBO ₅ (mg/l)	STS (mg/l)	Turbidez (UNT)
A	Tratamiento secundario, filtración y desinfección	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5
B	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 100	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, cuadro 1)	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, cuadro 1)	–
C	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 1 000			–
D	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 10 000			–

- Endurecimiento de parámetros como el E.Coli
- Nuevo parámetro a controlar DBO₅
- Necesario control de validación incluyendo eliminación de virus y esporas.

Cuadro 4 — Controles de validación de las aguas regeneradas para el riego agrícola

Clase de calidad de las aguas regeneradas	Microorganismos indicadores (*)	Objetivos de rendimiento de la cadena de tratamiento (reducción de log ₁₀)
A	<i>E. coli</i>	≥ 5,0
	Colifagos totales/colifagos F-específicos/colifagos somáticos/colifagos (**)	≥ 6,0
	Esporas de <i>Clostridium perfringens</i> /bacterias formadoras de esporas reductoras de sulfato (***)	≥ 4,0 (en caso de esporas de <i>Clostridium perfringens</i>) ≥ 5,0 (en caso de bacterias formadoras de esporas reductoras de sulfato)

- Necesario control del rendimiento de eliminación de virus y protozoos en CLASE A

Parámetros de control

Cuadro 3 — Frecuencias mínimas del control rutinario de las aguas regeneradas para el riego agrícola

Clase de calidad de las aguas regeneradas	Frecuencia mínima de los controles					Nematodos intestinales (cuando sea de aplicación)
	<i>E. coli</i>	DBO ₅	STS	Turbidez	<i>Legionella</i> spp. (cuando sea de aplicación)	
A	Una vez a la semana	Una vez a la semana	Una vez a la semana	Continuo	Dos veces al mes	Dos veces al mes o como determine el operador de la estación regeneradora de aguas en función del número de huevos en las aguas residuales que entran en la estación regeneradora de aguas
B	Una vez a la semana	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, sección D)	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, sección D)	–		
C	Dos veces al mes			–		
D	Dos veces al mes			–		

- Se aumentan las frecuencias de control rutinario
- **Obligatorio → Cumplimiento en >90% muestras**



Exigencias Calidad A

Parámetro	Valor
TSS	< 10 ppm
DBO5	< 10 ppm
Turbidez	< 5 NTU
E.Coli	< 10 UFC
Virus	>6 log
Esporas	>4 log

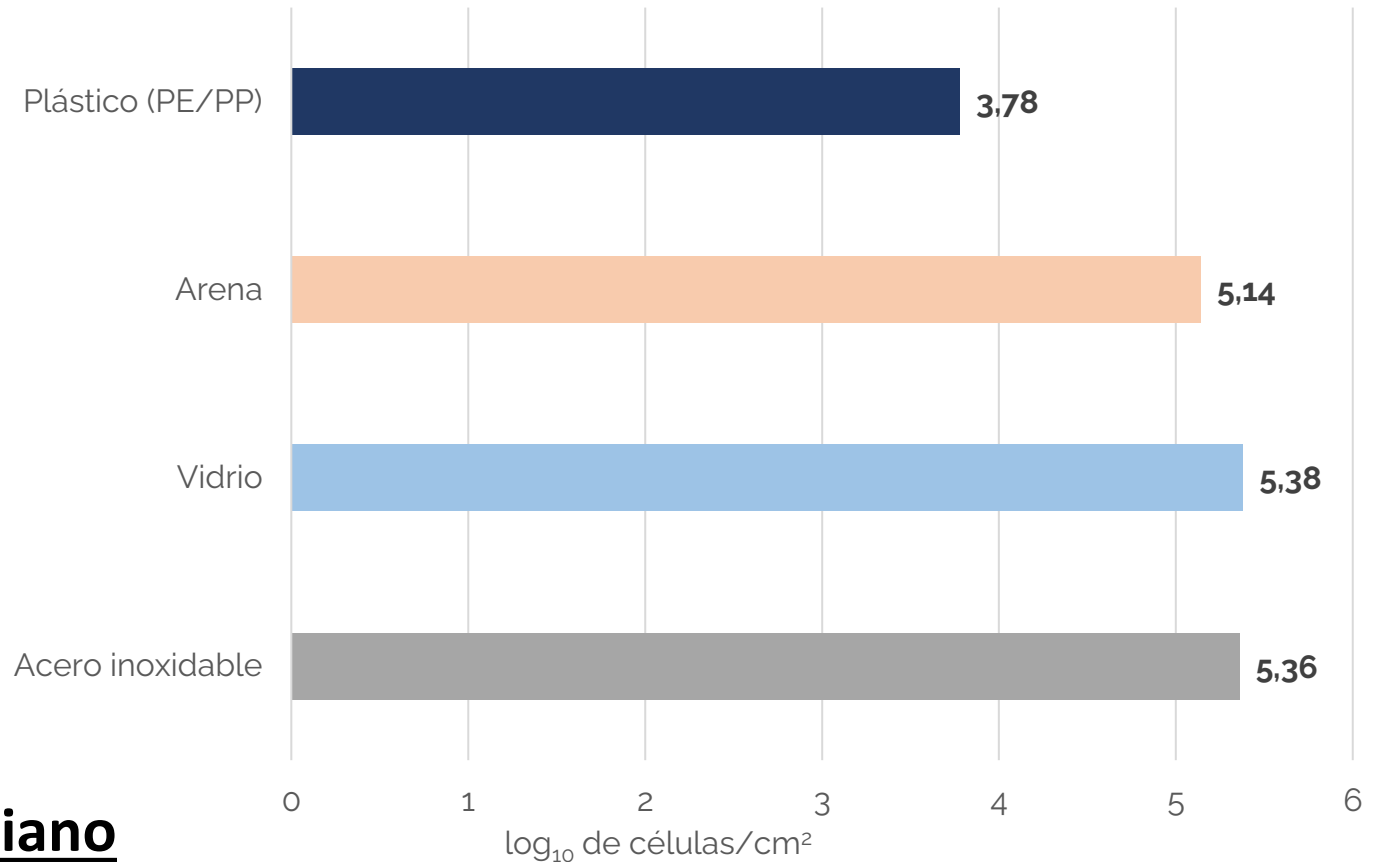
Solución:

Prefiltración → Filtración de afino → Desinfección

- Filtro de lecho
- Filtración de anillas
- Filtración de malla
- Filtros de disco rotativo

CLAVE DEL PRETRATAMIENTO:
Bajo riesgo de anidamiento bacteriano

Formación de biofilms en diferentes superficies



Prefiltración



	FILTRACIÓN DE ANILLAS	FILTRACIÓN MULTIMEDIA	FILTRACIÓN DE MALLA AUTOLIMPIANTE	DISCOS ROTATIVOS
Ventajas principales del sistema	Material en plástico Alta eliminación TSS	Filtración en profundidad (alto rendimiento reducción NTU)	Espacio ocupado mínimo	Bajo consumo de energía
Rango de filtración	5 – 400 μm	>30 μm	50 –1.000 μm	10 –500 μm
TSS admisibles	< 300 ppm	< 100 ppm	< 100 ppm	< 50 ppm
Compacidad	Alta	Baja	Muy alta	Media
Mantenimiento	Bajo. Simplicidad de extracción del medio filtrante	Medio. Desgaste del medio filtrante y dificultad para su recambio.	Medio. Partes móviles con desgaste..	Alto. Partes móviles con desgaste. Dificultad de extracción del medio filtrante.

▪ Microfiltración

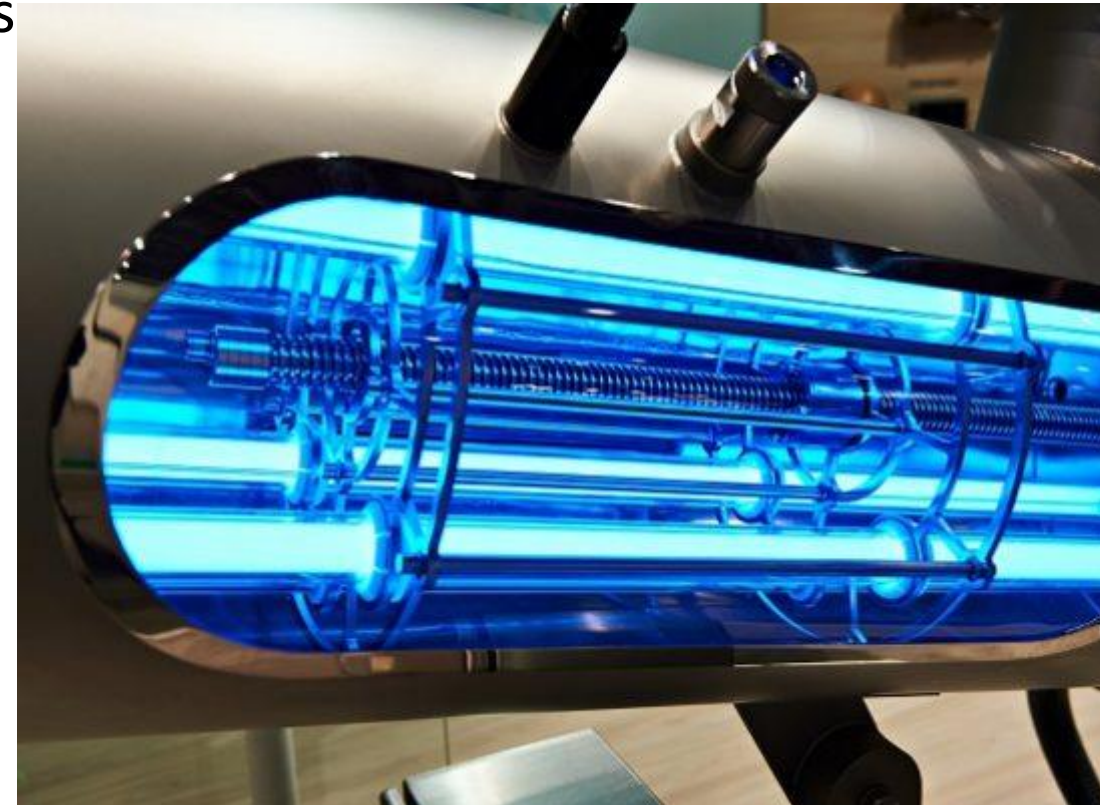
- Retención de partículas de tamaño inferior a 1 micra
- Ensayos realizados → problemas NTU

▪ Ultrafiltración

- Retención de partículas coloidales y 90% eliminación de bacterias
 - Ensayos realizados → favorables
- ✓ Aumento de transmitancia del 60 al 75%
- ✓ Disminución del 40% de la energía



- Hipoclorito de sodio o peróxido de oxígeno
 - Alta eliminación en bacterias
 - Rendimiento bajo en eliminación de virus y esporas
- Desinfección de lámparas Ultravioleta
 - Alta eliminación en bacterias, virus y esporas
 - Muy condicionado por la transmitancia del agua
- Desinfección con ozono
 - Mejora la transmitancia del agua
 - Tratamiento complementario en la oxidación



▪ Procesos de oxidación avanzada (POA)

- Liberación de radicales hidroxilo (OH⁻)
- Alto rendimiento en eliminación de patógenos
- Eliminación de contaminantes orgánicos

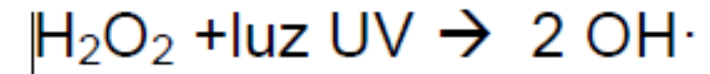
▪ Parámetros influyentes sobre los POA

- Alcalinidad
- Nitratos y nitritos
- Fosfatos y sulfatos
- Turbidez

Tabla 1. Clasificación de procesos de oxidación avanzada.

No Fotoquímicos	Fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino (O ₃ /OH ⁻)	Oxidación en agua sub- y supercrítica
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O ₃ /H ₂ O ₂)	Procesos fotoquímicos
Procesos Fenton (Fe ⁺² /H ₂ O ₂) y relacionados	Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV)
Oxidación Electroquímica	UV/Peróxido de hidrógeno
Radiólisis y y tratamiento con haces de electrones	UV/O ₃
Plasma no térmico	FotoFenton y relacionados
Descarga electrohidráulica -Ultrasonidos	Fotocatálisis Heterogénea

Ejemplo:



Ejemplo – calidad A



CAPEX	OPEX
400 – 500 €/m ³	0,08 – 0,12 €/m ³

Calidad A

- Filtros de discos + Ultrafiltración + Oxidación Avanzada.



Exigencias Calidad B y C

Parámetro	Valor
TSS	< 35 ppm
DBO5	< 25 ppm
Turbidez	NA
E.Coli	< 100 (B) < 1000(C)
Virus	NA
Esporas	NA

Solución:

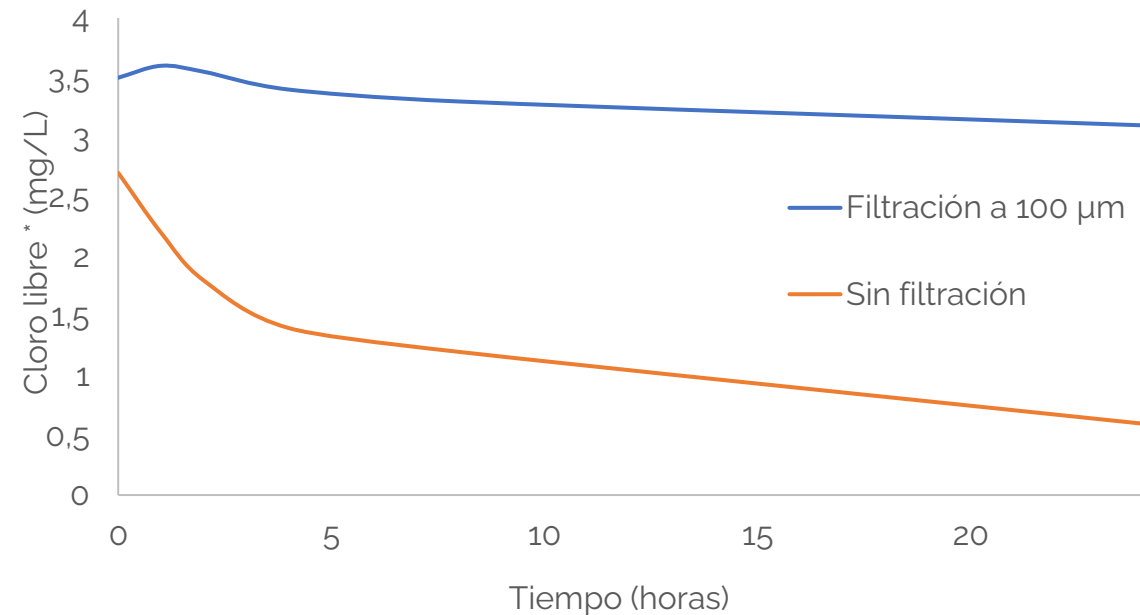
Filtración de seguridad → Desinfección

¿Por qué filtración de seguridad?



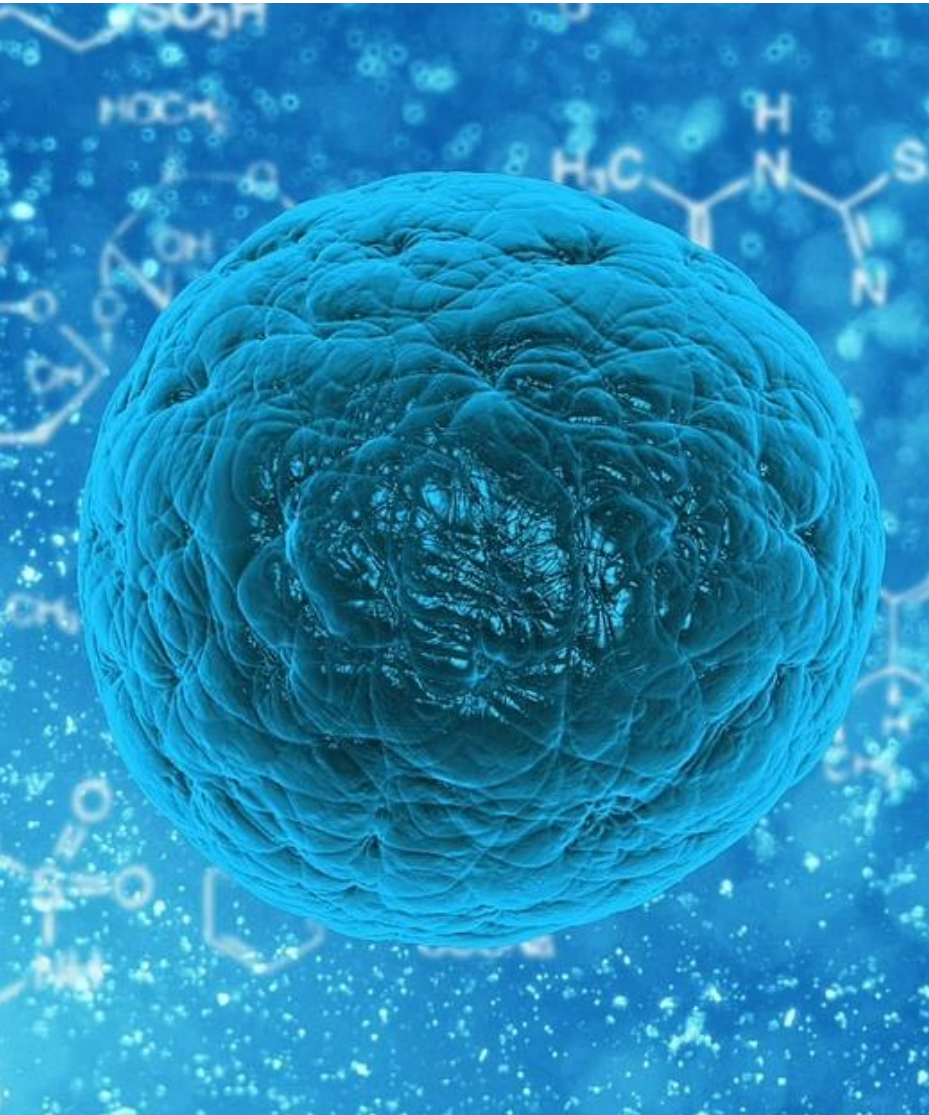
↑ Eficiencia de desinfección

La eliminación de sólidos de tamaño inferior a $100\ \mu\text{m}$ mejora el rendimiento de los sistemas de desinfección química y requiere menor dosis de desinfectante residual



*Concentración inicial de $4\ \text{mg/L}$ de hipoclorito sódico

¿Por qué filtración de seguridad?

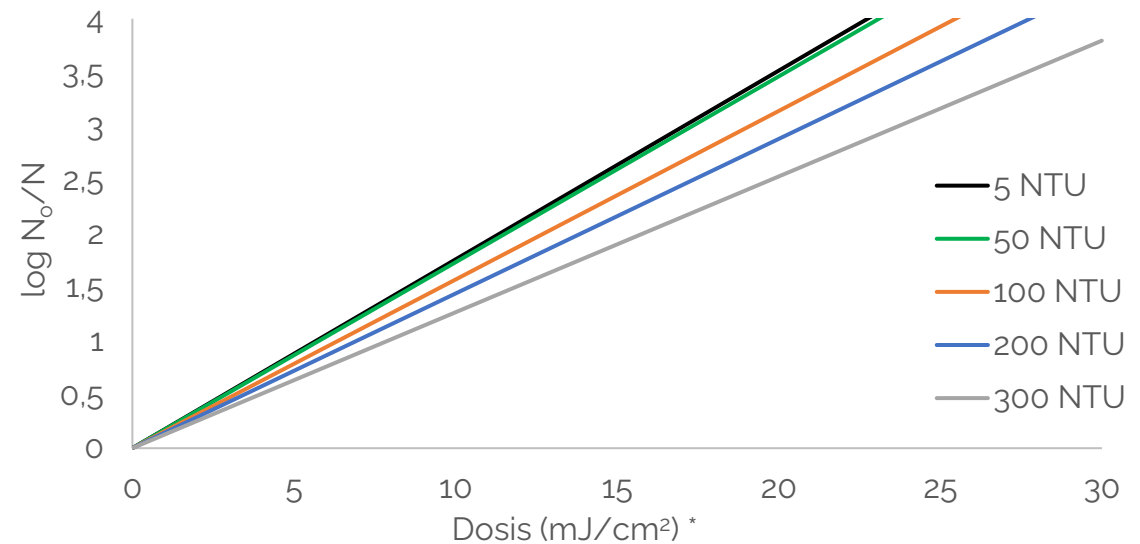


↑ Eficiencia energética

Eliminación de partículas pequeñas que provocan un efecto sombra a la radiación ultravioleta, mejorando la transmitancia y reduciendo la dosis UV necesaria para asegurar la desinfección del agua.

Esto supone menor exigencia en el dimensionamiento del sistema de desinfección y un menor consumo energético de la instalación.

Dosis UV necesaria para eliminación de bacterias heterótrofas según turbidez



** Effect of turbidity on ultraviolet disinfection of domestic wastewater for agricultural reuse*

Dosis validada por terceros.

	[UV dose mJ/cm ²]	1 log	2 log	3 log	4 log	5 log	6 log
E. Coli		5	10	20	25	30	40
Total Coliphages (MS2)		20	40	60	90	120	150
Clostridium perfringens spores		45	95	145	220	-	-
<u>Campylobacter</u>		2	4	6	8	10	20
<u>Rotavirus</u>		15	25		35		60
Cryptosporidium		2,5	5,8	12	22	45	85

References:

- W.A.M. Hijnen et al.; Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) Research 40 (2006), p. 3 – 22.
- A. H. Malayeri et al.; Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae; IUVA News Fall 2016.
- US EPA UVDGM validation report
- University of Bonn

Dosis UV (kWh/m³) = Potencia de la lámpara kWh/ caudal m³/hr

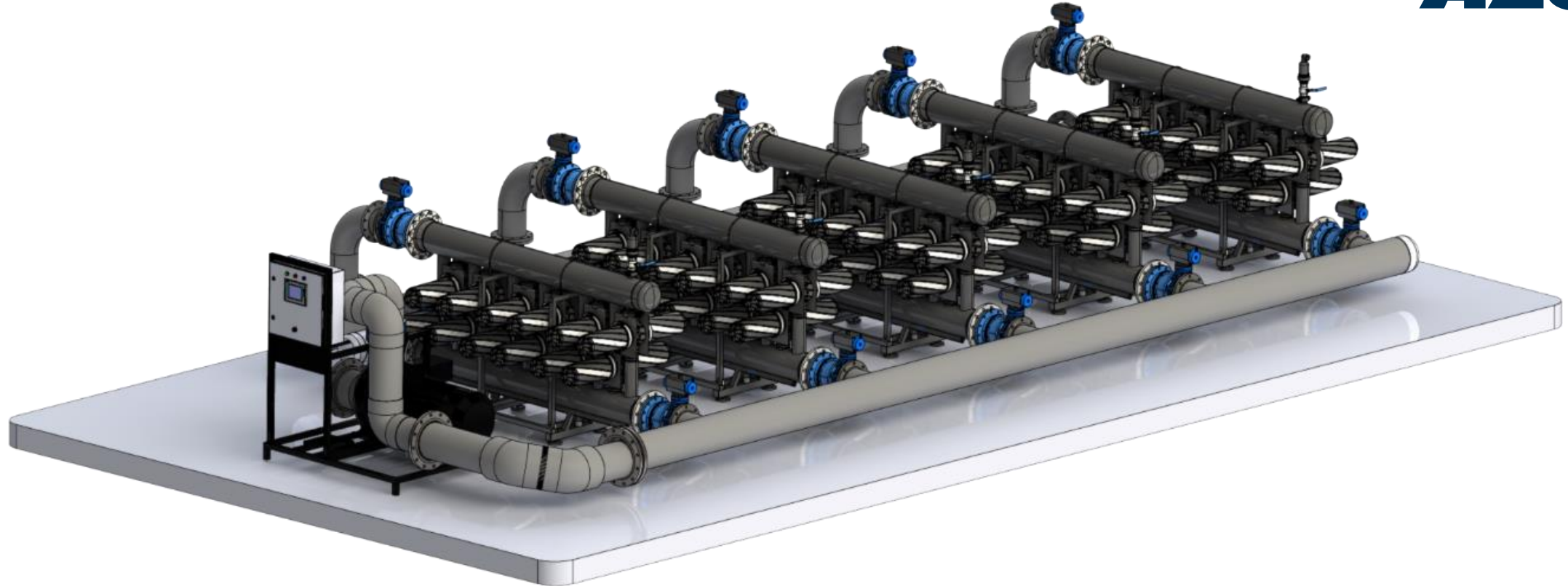
Calidad B

- Filtros de discos + Desinfección UV.



CAPEX	OPEX
250 – 300 €/m ³	0,12 – 0,16 €/m ³

Ejemplo – calidad C



CAPEX

150 – 200 €/m³

OPEX

0,14 – 0,18 €/m³

Calidad C

- Filtros de discos + Desinfección química.

Tándem tratamiento + barreras



Calidad A

CALIDAD B

- Calidad A = Calidad B + barrera

Barreras

- Permiten aumentar la seguridad
- Disminuir costes de instalación
- Permite combinar 2 cultivos con un mismo agua

Ejemplo de barrera

- Riego subterráneo
- Acolchado de la zona
- Interrupción del riego 1 día antes de la recolección

Conclusiones

- El plan de validación arroja ciertas dudas y dificultades
- Existen tecnologías disponibles para cumplir con el reglamento
- Membranas de Ultrafiltración y lámparas ultravioleta como tecnologías más destacadas
- Prefiltración para proteger membranas y sistemas de desinfección es fundamental
- Oxidación avanzada ha demostrado altos rendimientos
- Es importante estudiar el CAPEX y el OPEX previo a la inversión
- Un buen plan de mantenimiento de las plantas de regeneración se hace indispensable
- Las barreras puede ser un buen aliado en algunos casos

Gracias por vuestra atención.



[linkedin.com/in/pabloruizmolina](https://www.linkedin.com/in/pabloruizmolina)



II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO