



Universitat
de Barcelona

FACULTAD DE FARMACIA
DEPARTAMENTO DE PRODUCTOS NATURALES, BIOLOGÍA VEGETAL Y EDAFOLOGÍA
Unidad de Edafología

EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES



Dra. Laura Alcalde Sanz

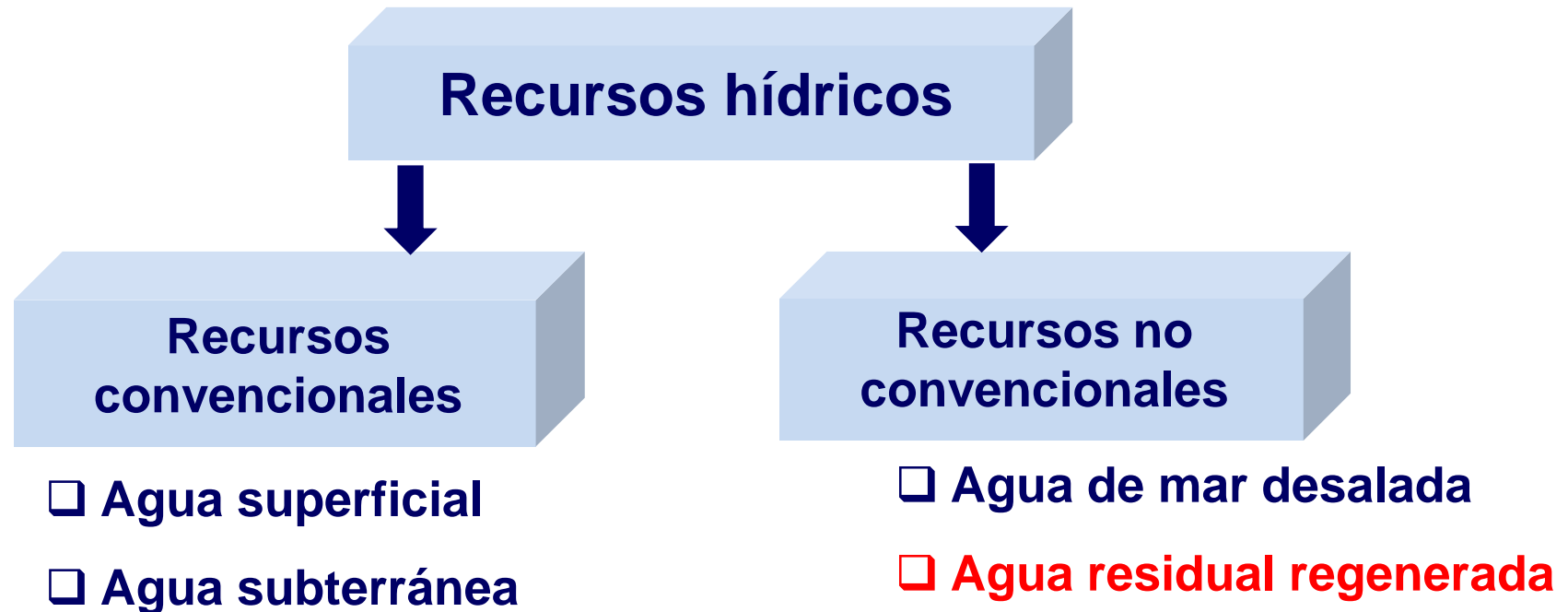
6 de noviembre de 2012

Usos de los recursos hídricos



- **Usos domésticos** (agua de bebida, cocinar,...)
- **Usos agrícolas y ganaderos** (riego de cultivos,...)
- **Usos industriales** (agua de proceso, refrigeración,...)
- **Usos urbanos** (baldeo de calles, riego de parques,...)

Recursos hídricos disponibles



Problemas

- Sequía y desertificación
- Sobreexplotación de los recursos
- Contaminación de las aguas

Soluciones

- Sustitución de **recursos convencionales** por **recursos no convencionales**
- Reutilización de aguas residuales**

Riesgo asociado a la reutilización de aguas residuales

BIOLÓGICO

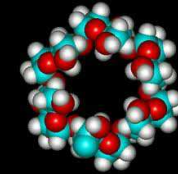
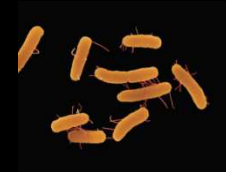
- ❑ organismos patógenos (bacterias, virus, protozoos, parásitos)

QUÍMICO

- ❑ compuestos químicos (materia orgánica, nitrógeno,...)

FÍSICO

- ❑ compuestos físicos (calor, radioactividad,...)



RIESGO SANITARIO
RIESGO AMBIENTAL

Tratamiento de las aguas residuales



DEPURACIÓN: Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)



↓ **Materia orgánica**
Sólidos en suspensión
Nutrientes

**Normativa de calidad para
vertido:**

**Directiva Europea
91/271/CEE**

**Tratamiento primario
+
Tratamiento secundario**



**Agua residual depurada
(efluente secundario)**

REGENERACIÓN: Estación Regeneradora de Aguas (ERA)



↓
Sólidos en suspensión
Microorganismos
Contaminantes químicos

**Normativa de calidad para
reutilización:**

**Real Decreto (RD)
1620/2007**

Tratamiento terciario:

**Tecnología de pretratamiento
+
Tecnología de desinfección**



**Agua regenerada
(efluente terciario)**

REUTILIZACIÓN: Usos del agua regenerada

Real Decreto (RD) 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas

- Usos admitidos del agua regenerada y usos prohibidos (agua de bebida).
- Criterios de calidad más o menos restrictivos según cada uso.

- Nematodos intestinales
- *E. coli*
- Sólidos en suspensión
- Turbidez
- Otros criterios (*Legionella*, CE,...)

1. Usos urbanos

- 1.1 Riego de jardines privados.
- 1.2 Riego de parques, campos deportivos.

2. Usos agrícolas

- 2.1 Riego de cultivos con contacto directo.
- 2.2 Riego de cultivos sin contacto directo.
- 2.3 Riego de cultivos leñosos.

3. Usos industriales

- 3.1a Industria no alimentaria.
- 3.1b Industria alimentaria.
- 3.2 Torres de refrigeración.

4. Usos recreativos

- 4.1 Riego de campos de golf.
- 4.2 Masas de agua sin acceso del público.

5. Usos ambientales

- 5.1 Recarga de acuíferos por percolación.
- 5.2 Recarga de acuíferos por inyección directa.
- 5.3 Riego de bosques.
- 5.4 Otros (mantenimiento de humedales).

RD 1620/2007 - Usos urbanos

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES ¹	<i>ESCHERICHIA COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ² a) Riego de jardines privados. ³ b) Descarga de aparatos sanitarios. ³	1 huevo/10 L	0 (UFC ⁴ /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ⁵	OTROS CONTAMINANTES ⁶ contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁷ deberá asegurarse el respeto de las NCAs. ⁸ <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). ⁹ b) Baldeo de calles. ⁹ c) Sistemas contra incendios. ⁹ d) Lavado industrial de vehículos. ⁹	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

¹ Considerar en todos los grupos de calidad al menos los géneros: *Ancylostoma*, *Trichuris* y *Ascaris*.

² Deben someterse a controles que aseguren el correcto mantenimiento de las instalaciones.

³ Su autorización estará condicionada a la obligatoriedad de la presencia doble circuito señalizado en todos sus tramos hasta el punto de uso

⁴ Unidades Formadoras de Colonias.

⁵ Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

⁶ ver el Anexo II del RD 849/1986, de 11 de abril.

⁷ ver Anexo IV del RD 907/2007, de 6 de julio.

⁸ Norma de calidad ambiental ver el artículo 245.5.a del RD 849/1986, de 11 de abril, modificado por el RD 606/2003 de 23 de mayo.

⁹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES



Regeneración: Tecnologías de pretratamiento

Filtro de anillas (FA)



Fisicoquímico (FQ)



Infiltración-percolación (IP)



Regeneración: Tecnologías de desinfección

Radiación ultravioleta (UV)



Dióxido de cloro (ClO_2)

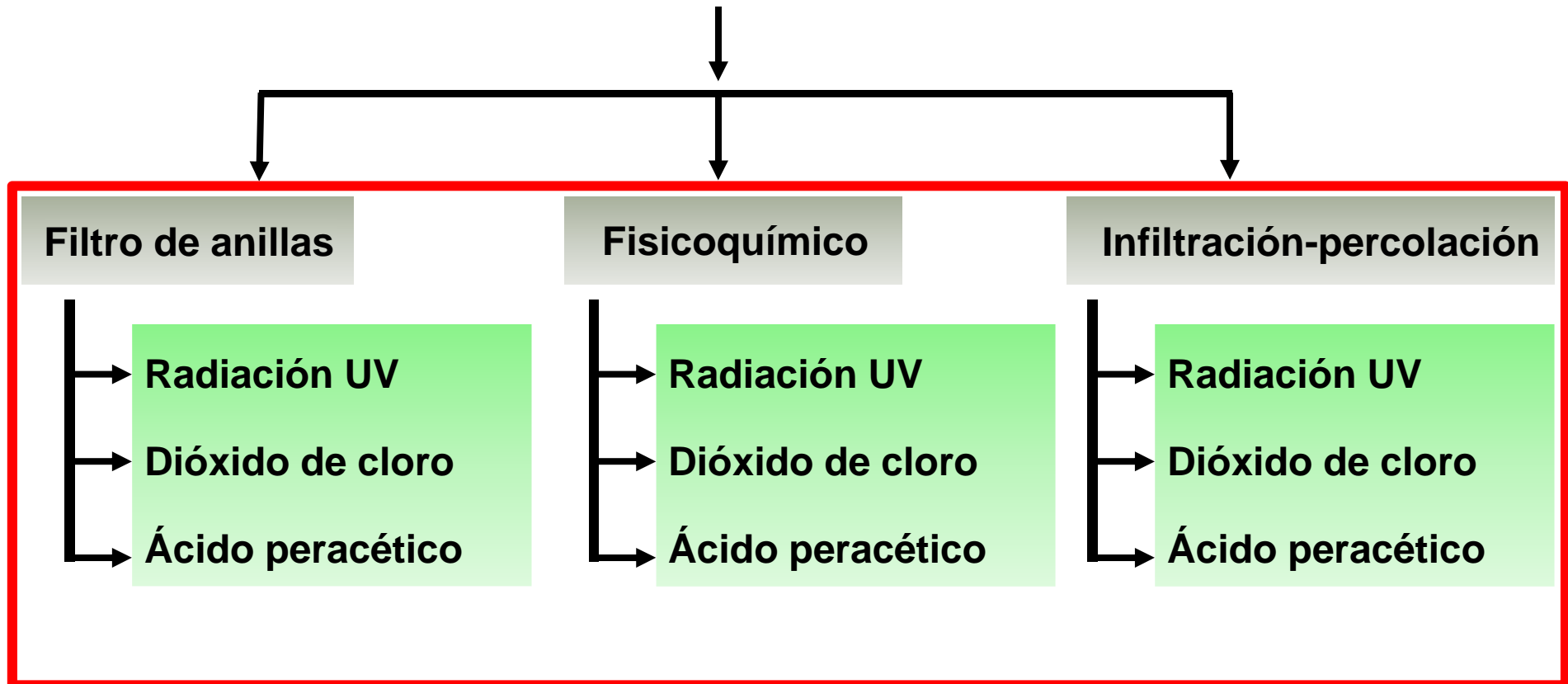


Ácido peracético (APA)



Combinación de tecnologías: líneas de tratamiento

Efluente secundario
de una EDAR municipal



**ERA (Estación Regeneradora de Aguas)
(Tratamiento de regeneración/terciario)**

Parámetros fisicoquímicos

- pH
- Temperatura
- Conductividad eléctrica (CE)
- Oxígeno disuelto
- Turbidez
- Transmitancia (254 nm)
- Sólidos en suspensión
- Nitrógeno total Kjeldahl
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Calcio
- Magnesio
- Sodio
- Potasio
- Fósforo
- Boro
- Metales pesados (Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Zinc)
- Dióxido de cloro residual
- Cloro libre residual
- Cloritos Cloratos
- Ácido peracético residual
- Peróxido de hidrógeno

Parámetros microbiológicos y parasitológicos

- *Escherichia coli*
- Bacteriófagos somáticos
- Huevos de nematodos intestinales

Análisis estadístico

- Estadísticos descriptivos
- Análisis de la varianza ($p_{\text{bilateral}} \leq 0,05$)

Líneas de tratamiento recomendadas para los usos del RD 1620/2007

Líneas de tratamiento

IP+ClO₂

IP+APA

FQ+ClO₂

FQ+APA

1. Usos urbanos

1.1 Riego de jardines privados.*

1.2 Riego de parques, campos deportivos.

2. Usos agrícolas

2.1 Riego de cultivos con contacto directo.

2.2 Riego de cultivos sin contacto directo.

2.3 Riego de cultivos leñosos.

3. Usos industriales

3.1a Industria no alimentaria.

3.1b Industria alimentaria.

3.2 Torres de refrigeración.*

4. Usos recreativos

4.1 Riego de campos de golf.

4.2 Masas de agua sin acceso del público.

5. Usos ambientales

5.1 Recarga de acuíferos por percolación.

5.2 Recarga de acuíferos por inyección directa.*

5.3 Riego de bosques.

5.4 Otros (mantenimiento de humedales).

Líneas de tratamiento recomendadas para los usos del RD 1620/2007

Líneas de tratamiento

IP+UV

FQ+UV

FA+ClO₂

FA+APA

1. Usos urbanos

1.1 Riego de jardines privados. 

1.2 Riego de parques, campos deportivos.

2. Usos agrícolas

2.1 Riego de cultivos con contacto directo.


2.2 Riego de cultivos sin contacto directo.

2.3 Riego de cultivos leñosos.

3. Usos industriales

3.1a Industria no alimentaria.

3.1b Industria alimentaria.

3.2 Torres de refrigeración. 

4. Usos recreativos

4.1 Riego de campos de golf.

4.2 Masas de agua sin acceso del público.

5. Usos ambientales

5.1 Recarga de acuíferos por percolación.

5.2 Recarga de acuíferos por inyección directa. 

5.3 Riego de bosques.

5.4 Otros (mantenimiento de humedales).


Líneas de tratamiento recomendadas para los usos del RD 1620/2007

Líneas de tratamiento

FA+UV

1. Usos urbanos

1.1 Riego de jardines privados. 

1.2 Riego de parques, campos deportivos. 

2. Usos agrícolas

2.1 Riego de cultivos con contacto directo. 

2.2 Riego de cultivos sin contacto directo.

2.3 Riego de cultivos leñosos.

3. Usos industriales

3.1a Industria no alimentaria.

3.1b Industria alimentaria.

3.2 Torres de refrigeración. 

4. Usos recreativos

4.1 Riego de campos de golf. 

4.2 Masas de agua sin acceso del público.

5. Usos ambientales

5.1 Recarga de acuíferos por percolación. 

5.2 Recarga de acuíferos por inyección directa. 

5.3 Riego de bosques.

5.4 Otros (mantenimiento de humedales).

EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

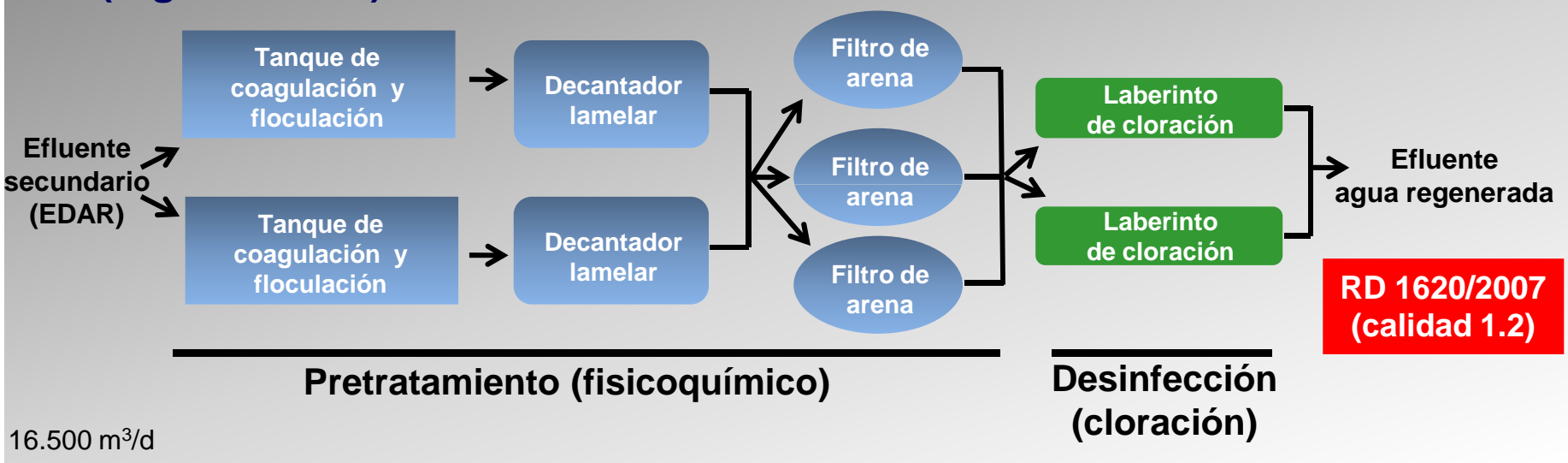


Aplicación de la evaluación de riesgo y el protocolo APPCC

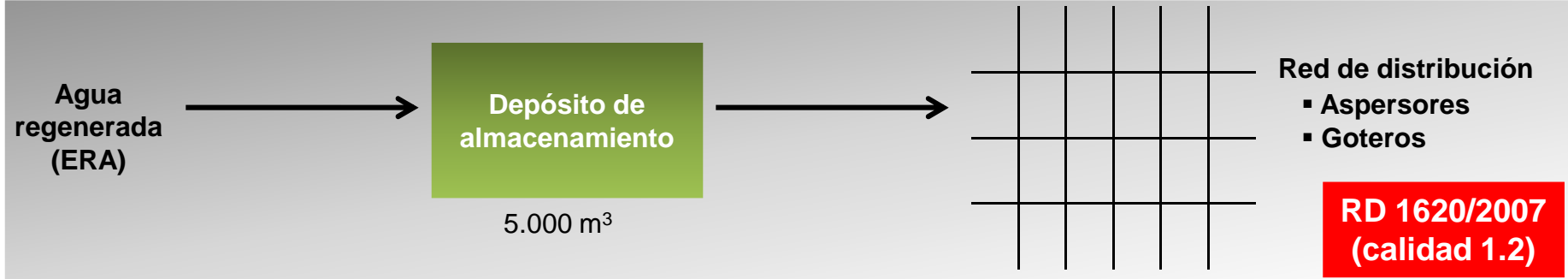
EDAR (depuración)



ERA (regeneración)



Lugar de uso del agua regenerada, riego de un parque (reutilización)



Parámetros fisicoquímicos

- Conductividad eléctrica (CE)
- Turbidez
- Sólidos en suspensión
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Calcio
- Magnesio
- Sodio
- Boro
- Metales pesados (Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Zinc, Hierro, Manganeso, Selenio, Molibdeno, Mercurio)
- Cloro libre residual

Parámetros microbiológicos y parasitológicos

- *Escherichia coli*
- Enterococos
- Esporas de clostridios sulfito reductores
- Bacteriófagos somáticos
- *Legionella* spp.
- Huevos de nematodos intestinales
- *Giardia* spp.
- *Cryptosporidium* spp.

Análisis estadístico

- Estadísticos descriptivos
- Análisis de la varianza ($p_{\text{bilateral}} \leq 0,05$)
- Correlaciones de Spearman

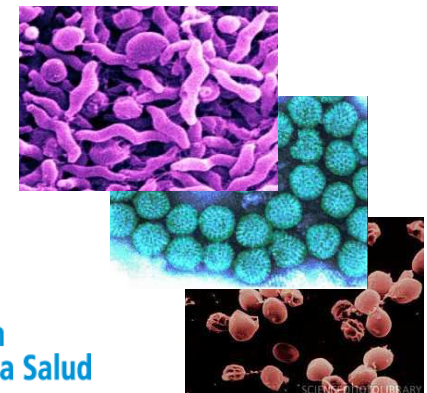
Etapas de una evaluación de riesgo

1. Identificación del peligro
2. Evaluación de la relación dosis-respuesta
3. Evaluación de la exposición
4. Caracterización del riesgo

1. Identificación del peligro

Patógenos de referencia:

- Campylobacter* (bacterias patógenas)
- Rotavirus* (virus patógenos)
- Cryptosporidium* (protozoos patógenos)



2. Evaluación de la relación dosis-respuesta

Patógeno	Modelo	
<i>Campylobacter</i>	Beta - Poisson	$P_{inf} = 1 - \left(1 + \frac{D}{\beta}\right)^{-\alpha}$
Rotavirus	Beta - Poisson	$P_{inf} = 1 - \left(1 + \frac{D}{\beta}\right)^{-\alpha}$
<i>Cryptosporidium</i>	Exponencial	$P_{inf} = 1 - e^{-rD}$

3. Evaluación de la exposición (escenarios de exposición)

Ingestión accidental de aerosoles debido a un fallo en el mecanismo de riego de los aspersores del parque.

Riesgo para los trabajadores

Riesgo para el público

4. Caracterización del riesgo

Probabilidad de infección por persona y año

Riesgo aceptable (USEPA) : $\leq 10^{-4}$ probabilidad de infección por persona y año



DALYs (Disability Adjusted Life Years) por persona y año

Riesgo aceptable (OMS): $\leq 10^{-6}$ DALYs por persona y año



Evaluación cuantitativa

- Modelo probabilístico utilizando simulaciones de Monte Carlo de funciones de distribución de probabilidad.
- Programa informático: @ Risk Industrial versión 5.5

Etapas del protocolo de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC)

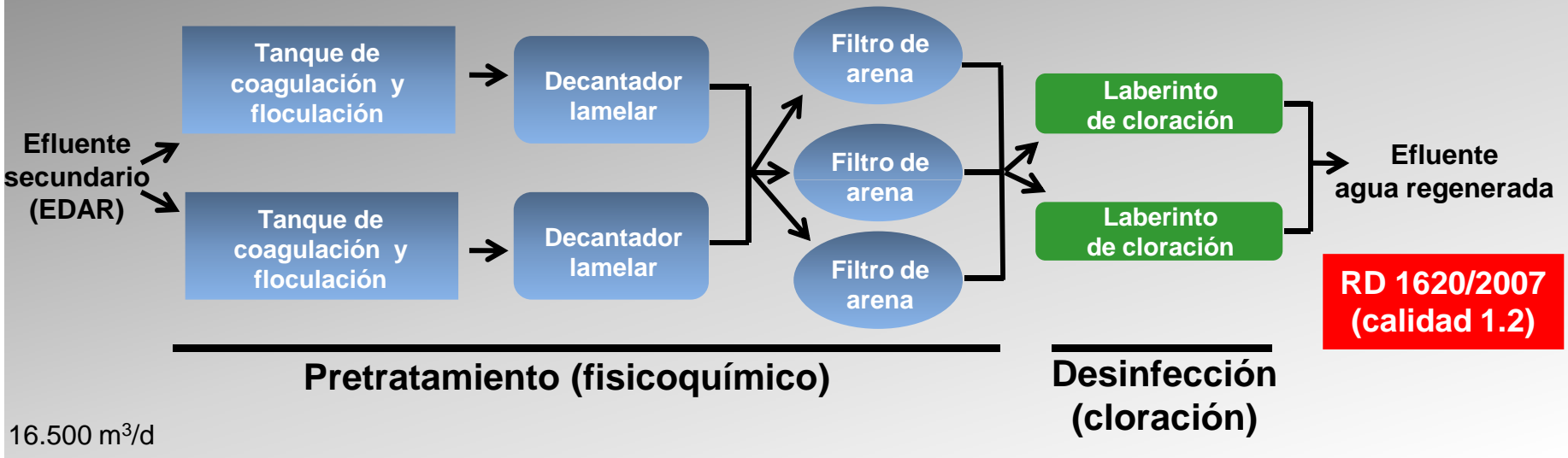
- 1. Análisis de peligros y establecimiento de medidas preventivas**
- 2. Determinación de los Puntos de Control Críticos (PCC)**
- 3. Establecimiento de los límites críticos**
- 4. Establecimiento de un sistema de vigilancia**
- 5. Establecimiento de medidas correctoras**
- 6. Establecimiento de procedimientos de verificación**
- 7. Implantación de un sistema de registro y documentación**

Aplicación de la evaluación de riesgo y el protocolo APPCC

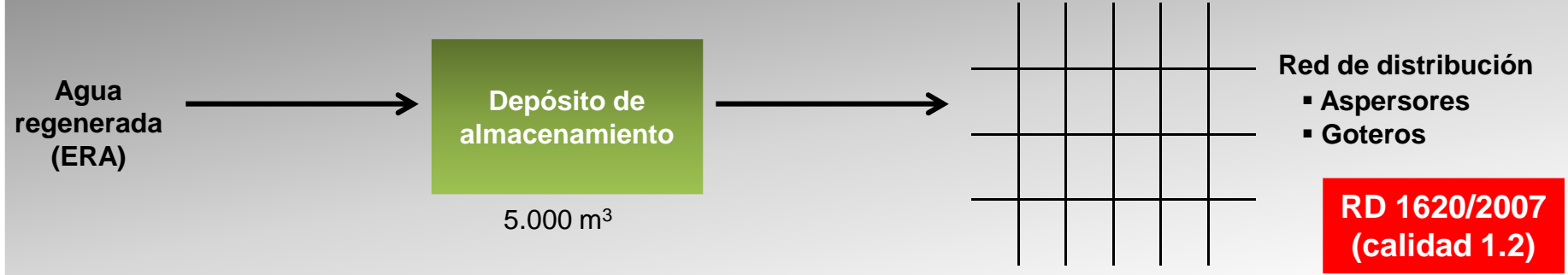
EDAR (depuración)



ERA (regeneración)



Lugar de uso del agua regenerada, riego de un parque (reutilización)



1. Análisis de peligros y establecimiento de medidas preventivas

PELIGROS

Peligros microbiológicos

Campylobacter

Rotavirus

Cryptosporidium

...

Peligros químicos

Compuestos orgánicos

Compuestos inorgánicos

...

MEDIDAS PREVENTIVAS DEL SISTEMA

Operación y mantenimiento

Control descargas de origen industrial en la EDAR

Control rebosamiento de fangos en decantador secundario

Optimización dosis coagulante en el sistema fisicoquímico

Lavado de filtros de arena

Optimización dosis y tiempo de contacto del desinfectante

Utilizar un depósito cerrado

Limpieza del depósito (2/año)

Implementar red de distribución mallada y con sobrepresión

Purgar correctamente todos los elementos de la red (1/año)

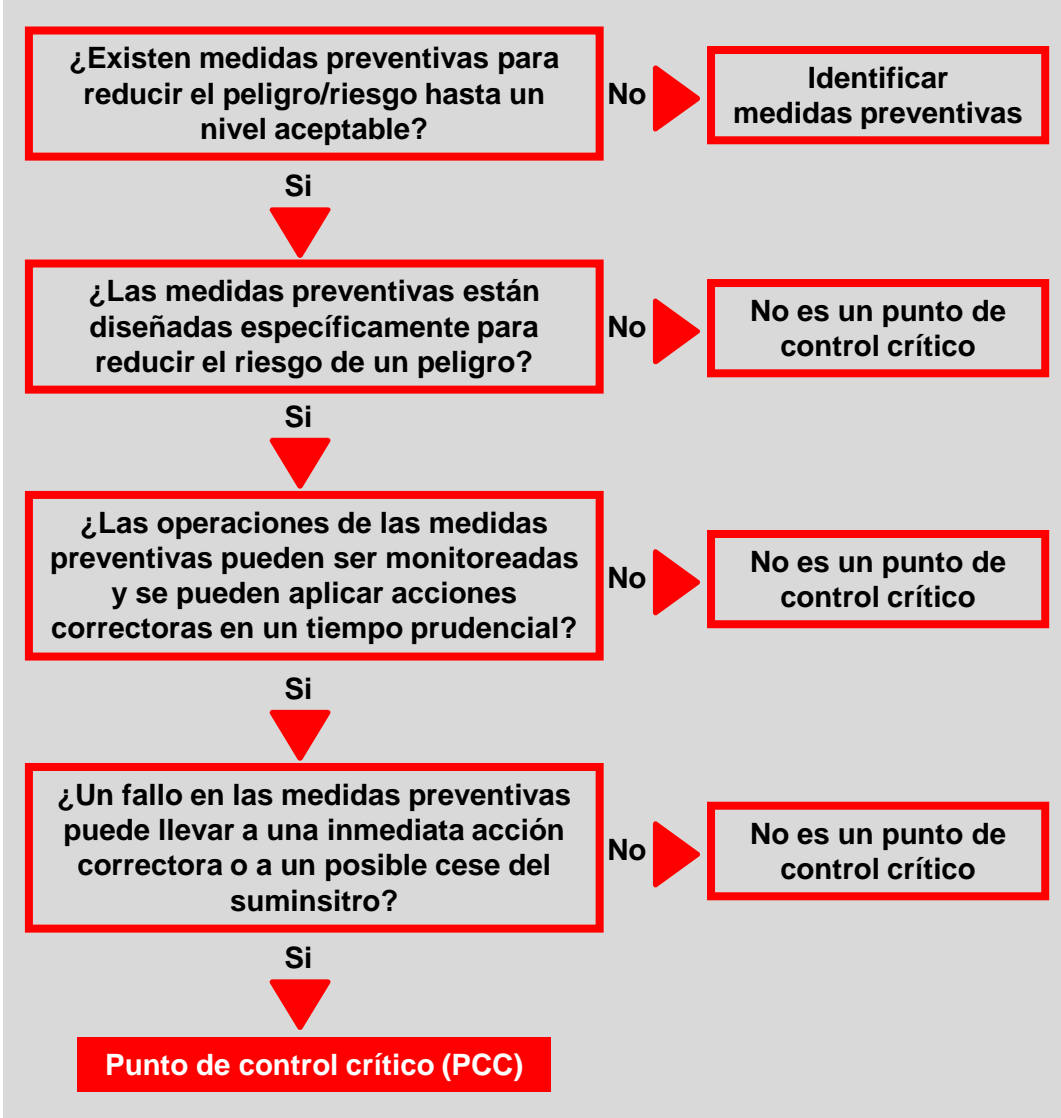
2. Determinación de los Puntos de Control Críticos (PCC)

Peligros microbiológicos

Campylobacter
 Rotavirus
Cryptosporidium
 ...

Peligros químicos

Compuestos orgánicos
 Compuestos inorgánicos
 ...



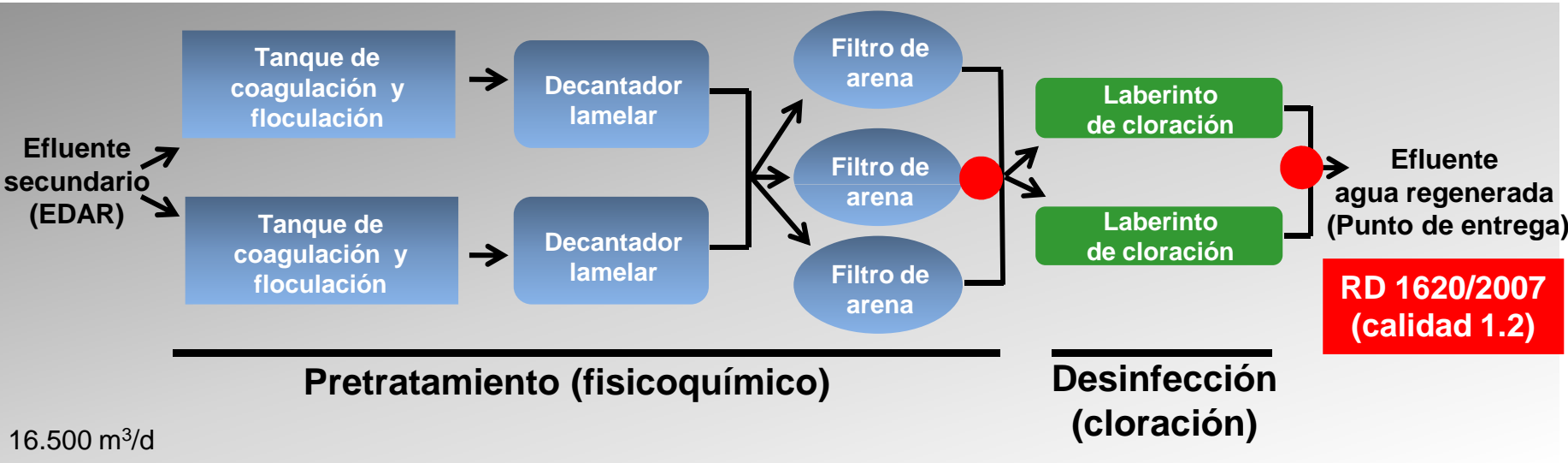
- PCC**
- EDAR (efluente secundario)
 - Pretratamiento
 - Desinfección
 - Almacenamiento
 - Distribución

Puntos de muestreo recomendados para el control de los PCC

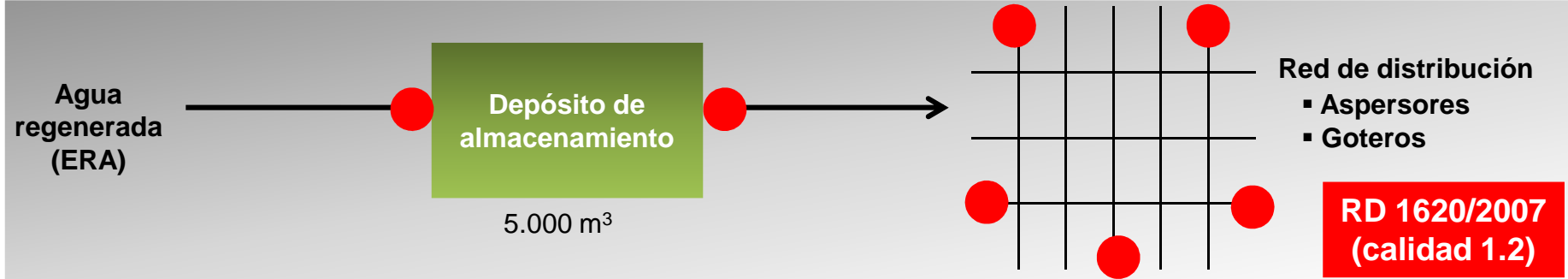
EDAR



ERA



Lugar de uso del agua regenerada (parque)



Establecimiento de límites críticos (3.), medidas de vigilancia (4.) y acciones correctoras (5.)

	EDAR (efluente secundario)	Pretratamiento (fisicoquímico)	Desinfección (cloración)	Almacenamiento	Distribución
Límites críticos	91/271/CEE	RD 1620/2007 (calidad 1.2)	Turbidez ≤ 10 mg/L SS ≤ 20 mg/L	<i>E. coli</i> ≤ 200 UFC/100 mL Nematodos intestinales ≤ 1 huevo/10 L	
		DBO ₅ ≤ 20 mg/L pH y presión de filtro arena	Cloro libre residual 1 ppm DBO ₅ ≤ 20 mg/L CE $\leq 2,5$ dS/m	Cloro libre residual 1 ppm CE ≤ 3 dS/m	Cloro libre residual 1 ppm CE ≤ 3 dS/m Presión en red
Medidas de vigilancia	Monitoreo en continuo de parámetros normativos y recomendados (pH, CE, cloro libre residual, turbidez, presión)				
	Bacteriófagos somáticos Esporas de clostridios sulfito reductores <i>Giardia</i> spp. <i>Cryptosporidium</i> spp.				
Acciones correctoras	Aumentar efectividad EDAR Interrumpir suministro a ERA	Cambiar dosis de coagulante Retrolavado de filtros	Cambiar dosis y tiempo de contacto Interrumpir suministro al parque	Recloración Limpieza de depósito	Aislar parte de la red Purgar la red