

Actuación A-4

REDACCIÓN DEL “PLAN PARA EL FOMENTO DEL USO DE AGUA REGENERADA”

EPE 377/25

AGUA DE VALLADOLID EPE - AQUAVALL

INDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	10
2. ANTECEDENTES	11
3. INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS Y DEMANDAS	16
3.1 SITUACIÓN ACTUAL DE RECURSOS DISPONIBLES	16
3.2 PREVISIÓN FUTURA DE DEMANDAS	18
3.3 AFECCIONES SOBRE MASAS DE AGUA Y CAUDALES ECOLÓGICOS	19
3.4 RIESGO DERIVADO DEL CAMBIO CLIMÁTICO	21
4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	24
4.1 AHORRO DE AGUA	24
4.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA Y PRINCIPALES CONSUMOS	24
4.1.2 EVOLUCIÓN DE DOTACIONES REGISTRADAS POR TIPO DE PUNTO DE SUMINISTRO	25
4.1.3 OBJETIVOS DE REDUCCIÓN POR ESCENARIOS Y ELASTICIDAD DE LA DEMANDA	25
4.1.4 SISTEMA DE INDICADORES DE AHORRO Y EFICIENCIA (KPIA) PARA EL PFRAR	25
4.2 EFICIENCIA EN EL USO	27
4.2.1 RENDIMIENTO HIDRÁULICO Y PÉRDIDAS EN TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN	27
4.2.2 GESTIÓN DE PRESIONES Y SECTORIZACIÓN DE LA RED	28
4.2.3 DOTACIONES UNITARIAS Y MARCO DE REFERENCIA OPERATIVO	28
4.2.4 MODERNIZACIÓN OPERATIVA, TELECONTROL Y ENFOQUE DE OPTIMIZACIÓN CONJUNTA AGUA-ENERGÍA	28
4.3 REUTILIZACIÓN	29
4.3.1 VOLUMENES DISPONIBLES EN LA EDAR DE VALLADOLID	29
4.3.2 INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES Y LIMITACIONES ACTUALES	31
4.3.3 USOS POTENCIALES CONFORME AL RD 1085/2024	32
4.3.4 VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y ESTRATÉGICA DE LA REUTILIZACIÓN	33
5. IDENTIFICACIÓN DE OBJETIVOS	35
5.1 APROVECHAMIENTO Y REUTILIZACIÓN	35
5.2 SUSTITUCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	36
5.3 SITUACIÓN DE PARTIDA DEL AGUA DEPURADA (EDAR DE VALLADOLID)	42
5.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	42
5.3.2 CAUDALES Y ESTABILIDAD OPERATIVA (2020-2025)	46
5.4 REUTILIZACIÓN DE AGUA DEPURADA ANTES DE SU DEVOLUCIÓN AL DPH	48
5.5 USO Y REGENERACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE	49
6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	51
6.1 ALTERNATIVAS TÉCNICAS	52
6.1.1 CRITERIOS GENERALES DE ANÁLISIS: CALIDADES Y CAUDALES	52
6.1.1.A USOS Y CALIDADES DE REFERENCIA	52
6.1.1.B CRITERIOS DE CAUDAL	54
6.1.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE REGENERACIÓN	56
6.1.2.A ALTERNATIVA A: TRATAMIENTO DE REGENERACIÓN CONVENCIONAL CON DESINFECCIÓN	57
6.1.2.B ALTERNATIVA B: SISTEMAS CON MEMBRANAS (ULTRAFILTRACIÓN)	58
6.1.3 ALTERNATIVAS DE DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA	58
6.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	61
6.2.1 CAPACIDAD DE GARANTIZAR LAS CALIDADES REQUERIDAS	61
6.2.2 PLANTEAMIENTO DE LOS ESQUEMAS MULTIBARRERA	64
6.2.3 FIABILIDAD OPERATIVA Y GRADO DE AUTOMATIZACIÓN	66
6.2.3.A FIABILIDAD DE LOS TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN CONVENCIONALES	66
6.2.3.B FIABILIDAD DE LOS TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN CON MEMBRANAS	66
6.2.3.C GRADO DE AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN EN LOS SISTEMAS EXISTENTES	67
6.2.4 COMPATIBILIDAD CON EL EFLUENTE Y CON LA EDAR EXISTENTE	67
6.2.5 FLEXIBILIDAD Y ESCALABILIDAD	69
6.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	70
6.3.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE COSTE	71
6.3.2 COSTES DE INVERSIÓN (CAPEX)	72

6.3.2.A	ESTACIÓN REGENERADORA DE AGUA (ERA).....	73
6.3.2.B	INFRAESTRUCTURAS AUXILIARES.....	74
6.3.3	COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OPEX).....	76
6.3.3.A	CONSUMO ENERGÉTICO.....	76
6.3.3.B	PRODUCTOS QUÍMICOS.....	77
6.3.3.C	PERSONAL.....	77
6.3.3.D	MANTENIMIENTO Y REPOSICIÓN DE EQUIPOS.....	77
6.3.3.E	CONTROL ANALÍTICO Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	78
6.3.3.F	6. COSTES INDIRECTOS.....	78
6.3.3.G	SÍNTESIS DE COSTES OPERATIVOS POR GRUPO DE EXIGENCIA.....	78
6.3.4	BENEFICIOS ECONÓMICOS INDIRECTOS.....	80
6.3.5	ENFOQUE ECONÓMICO ADOPTADO POR EL PFUAR.....	81
7.	PROPUESTAS DE MEDIDAS ANALIZADAS.....	83
7.1	MEJORA DE LOS TRATAMIENTOS DE AGUA RESIDUAL URBANA.....	83
7.2	EJEMPLO DE SISTEMAS DE REGENERACIÓN E INSTALACIONES AUXILIARES.....	83
7.2.1	FASE 1. DESTINO AMBIENTAL CLASE C.....	83
7.2.1.A	CAUDAL DE TRATAMIENTO DE REFERENCIA Y MODULARIDAD.....	84
7.2.1.B	EMPLAZAMIENTO PROPUESTO PARA LA ERA.....	84
7.2.1.C	CALIDAD DE PARTIDA DEL EFLUENTE Y CRITERIO DE DISEÑO DE BARRERAS.....	85
7.2.1.D	TREN DE REGENERACIÓN PROPUESTO (CLASE C – DESTINO AMBIENTAL).....	86
7.2.1.E	ESQUEMA HIDRÁULICO DEL DESTINO AMBIENTAL (BALSA/LAGUNA IMPERMEABILIZADA + DESCARGA REGULADA).....	90
7.2.1.F	PUNTOS DE CONTROL, MONITORIZACIÓN Y CONSIGNAS OPERATIVAS.....	92
7.2.1.G	GESTIÓN DEL RIESGO Y AUTORIZACIÓN.....	93
7.2.2	FASE 2. USO URBANO CLASE B. BALDEO DE CALLES.....	93
7.2.2.A	CAUDALES Y VOLUMENES NECESARIOS. ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE LIMPIEZA VIARIA.....	94
7.2.2.B	NECESIDAD DE ALMACENAMIENTO.....	94
7.2.2.C	CALIDAD DE AGUA EXIGIDA. CLASE B.....	96
7.2.2.D	PUNTOS DE CONTROL, MONITORIZACIÓN Y CONSIGNAS OPERATIVAS (FASE 2 – U.B BALDEO).....	98
7.2.2.E	GESTIÓN DEL RIESGO Y AUTORIZACIÓN (FASE 2 – U.B BALDEO).....	99
7.2.3	FASE 3. USO URBANO CLASE B. RIEGO DE PARQUES Y JARDINES.....	100
7.2.3.A	ÁMBITO DE ACTUACIÓN Y SUPERFICIES.....	101
7.2.3.B	CÁLCULO DE CAUDALES.....	103
7.2.3.C	NECESIDAD DE AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD: DUPLICACIÓN DEL TREN (+6.000 M³/D).....	105
7.2.3.D	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE SUMINISTRO. CONDUCCIONES HACIA LOS PARQUES.....	105
7.2.3.E	CALIDAD DE AGUA EXIGIDA (U.B) Y TREN DE TRATAMIENTO.....	107
7.2.3.F	ALCANCE DE LA FASE 3.....	108
7.2.4	USO INDUSTRIAL CLASE A/A+.....	109
7.2.4.A	ALCANCE.....	109
7.2.4.B	ENFOQUE DE DISEÑO.....	110
7.2.4.C	TECNOLOGÍAS Y TRENES TIPO PARA A/A+.....	110
7.2.4.D	DISTRIBUCIÓN Y ENTREGA: PRIORIDAD A SOLUCIONES “SIN RED MORADA” EN ARRANQUE INDUSTRIAL.....	111
7.2.4.E	GESTIÓN DEL RIESGO, CONTROL Y RESPONSABILIDADES.....	111
7.2.4.F	CONDICIONES DE ACTIVACIÓN.....	111
7.3	ORDENANZAS Y NORMAS TÉCNICAS PARA EL USO DE AR.....	112
7.3.1	FINALIDAD Y PRINCIPIO DE INTEGRACIÓN NORMATIVA.....	112
7.3.2	ALCANCE DE LA MODIFICACIÓN NORMATIVA.....	112
7.3.3	CONTENIDOS MÍNIMOS DEL MARCO REGULATORIO MUNICIPAL.....	113
7.3.4	INSTRUMENTO NORMATIVO PROPUESTO Y DOCUMENTACIÓN ASOCIADA.....	118
7.3.5	CONDICIÓN DE ACTIVACIÓN Y COHERENCIA CON LAS ACTUACIONES DEL PLAN.....	119
7.4	COORDINACIÓN CON PIGSS Y PLANES DE SEQUÍA.....	120
7.4.1	COHERENCIA CON EL PIGSS Y APROVECHAMIENTO DE MEJORAS EN DEPURACIÓN Y CONTROL DE VERTIDOS.....	120
7.4.2	INTEGRACIÓN FUNCIONAL CON EL PLAN DE SEQUÍA: REUTILIZACIÓN COMO MEDIDA DE DIVERSIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LA DEMANDA.....	121
7.4.3	COHERENCIA CON EL PLAN HIDROLÓGICO DEL DUERO: PROTECCIÓN DEL RECEPTOR Y SUSTITUCIÓN EFECTIVA DE RECURSOS.....	121
7.4.4	GOBERNANZA, PROTOCOLOS Y SEGUIMIENTO INTERPLAN.....	122

7.5	CAMPAÑAS DE CONCIENCIACIÓN	122
7.5.1	OBJETIVOS OPERATIVOS	122
7.5.2	PÚBLICOS OBJETIVO Y SEGMENTACIÓN	123
7.5.3	MENSAJES TÉCNICOS CLAVE A TRASLADAR	123
7.5.4	LÍNEAS DE ACTUACIÓN Y FORMATOS	124
7.5.5	ACTIVACIÓN POR FASES DEL PFUAR	124
7.5.6	SEGUIMIENTO, EVALUACIÓN Y MEJORA CONTINUA	125
7.6	ESTIMACIÓN DE COSTES (CAPEX Y OPEX) PARA PROPUESTAS REALIZADAS	126
7.6.1	ALCANCE Y CRITERIOS DE ESTIMACIÓN	126
7.6.2	FUENTES DE COSTES Y RANGOS ADOPTADOS	126
7.6.3	ESTIMACIÓN DE COSTES POR FASE DE IMPLANTACIÓN	127
7.6.3.A	FASE 1. DESTINO AMBIENTAL	127
7.6.3.B	FASE 2. USO URBANO PARA BALDEO Y LIMPIEZA VIARIA (CALIDAD TIPO B)	128
7.6.3.C	FASE 3. USO URBANO PARA RIEGO DE PARQUES Y ZONAS VERDES (CALIDAD TIPO B)	128
7.6.4	INVERSIONES Y EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA	130
7.6.4.A	EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA FASE 1.	131
7.6.4.B	EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA FASE 2.	133
7.6.4.C	EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA FASE 3.	135
7.7	PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Y CRONOGRAMA DE ACTUACIONES	137
8.	PROPUESTA DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	140
8.1	SISTEMAS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA REGENERADA	140
8.1.1	INSTRUMENTACIÓN Y MONITORIZACIÓN EN CONTINUO	140
8.1.2	CONTROL ANALÍTICO MEDIANTE MUESTREOS PERIÓDICOS	141
8.1.3	TRAZABILIDAD DOCUMENTAL Y GESTIÓN DE DATOS	142
8.2	CONSUMO DE AGUA REGENERADA	142
8.2.1	SISTEMAS DE AFORO Y TELELECTURA	142
8.2.2	BALANCE HÍDRICO DEL AGUA REGENERADA	143
8.2.3	INCORPORACIÓN A LOS BALANCES HÍDRICOS MUNICIPALES	143
8.2.4	REPORTE ANUAL DE CONSUMOS	144
8.3	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL	144
8.3.1	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	144
8.3.2	EVALUACIÓN DE IMPACTO SOCIAL Y ACEPTACIÓN CIUDADANA	145
8.3.3	INTEGRACIÓN DE RESULTADOS Y RETROALIMENTACIÓN	146
8.4	REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN CADA 10 AÑOS	146
8.4.1	ALCANCE DE LA REVISIÓN DECENAL	147
8.4.2	PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN	147
8.4.3	COHERENCIA CON LOS CICLOS DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA	147
8.5	DEFINICIÓN DE INDICADORES DE DESEMPEÑO (KPI)	148
8.5.1	KPI DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE AGUA REGENERADA	148
8.5.2	KPI DE SUSTITUCIÓN DE RECURSOS CONVENCIONALES	148
8.5.3	KPI DE IMPLANTACIÓN Y ACTIVACIÓN DEL SERVICIO	148
8.5.4	KPI DE IMPACTO AMBIENTAL (PRESIONES Y VERTIDOS)	148
8.5.5	KPI DE CALIDAD, SEGURIDAD Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO	148
8.5.6	KPI DE SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA Y EFICIENCIA OPERATIVA	149
8.5.7	KPI DE CONCIENCIACIÓN Y ACEPTACIÓN SOCIAL	149
8.5.8	CUADRO DE REVISIÓN, REPORTE Y USO DE KPI	149
9.	RESUMEN EJECUTIVO	151
9.1	MARCO Y JUSTIFICACIÓN	151
9.2	SITUACIÓN DE PARTIDA Y OPORTUNIDAD	151
9.3	ENFOQUE TÉCNICO ADOPTADO	152
9.4	FASES PROPUESTAS Y CONTENIDO DE INFRAESTRUCTURAS	152
9.5	ÓRDENES DE MAGNITUD DE INVERSIÓN Y EXPLOTACIÓN (CAPEX/OPEX) Y LÓGICA FINANCIERA	153
9.6	CONDICIONES DE ACTIVACIÓN, GOBERNANZA Y RECALIBRACIÓN	153
9.7	IMPLEMENTACIÓN: ETAPAS Y PLAZOS TÍPICOS	154
9.8	SEGUIMIENTO, TRANSPARENCIA Y MEJORA CONTINUA	154
10.	BIBLIOGRAFÍA	155

GRAFICAS:

Gráfica 1 Relación caudal efluente/influente – media mensual (2020–2025)	30
Gráfica 2 Relación caudal efluente/influente media por mes (año tipo, periodo 2020–2025)	30
Gráfica 3 Evolución del tejido industrial de Valladolid.	40
Gráfica 4 DBO5 y DQO en efluente – medias mensuales (2020–2025)	46
Gráfica 5 N y P totales en efluente – medias mensuales (2020–2025).....	47
Gráfica 6 Eficiencia media mensual de eliminación de DBO ₅ , DQO, N y P total	47
Gráfica 7 Necesidades de riego.	104

TABLAS:

Tabla 1 Recursos hídricos convencionales utilizados para el abastecimiento.	16
Tabla 2 Infraestructuras de regulación para abastecimiento.	16
Tabla 3 Infraestructuras de producción y tratamiento.....	17
Tabla 4 Dotaciones, consumos y eficiencia del sistema.....	18
Tabla 5 Evolución demográfica estimada de Valladolid y su alfoz	18
Tabla 6 Proyección de demanda urbana a 10–15 años.	19
Tabla 7 Masas de aguas superficiales vinculadas al abastecimiento de Valladolid.....	19
Tabla 8 Caudales ecológicos mínimos (PHD)	20
Tabla 9 Abastecimiento vs Umbrales ambientales.	20
Tabla 10 Riesgos ambientales identificados.....	21
Tabla 11 Reducción estimada de los recursos hídricos en el Duero por efecto del cambio climático.	21
Tabla 12 Reducción estacional de aportaciones en las zonas de sequía vinculadas al sistema Valladolid.....	22
Tabla 13 Distribución del consumo por actividades.....	24
Tabla 14 Superficie estimada por GIS de Parques y Jardines	37
Tabla 15 Evaluación de km de calles (según tipos).....	39
Tabla 16 Valor máximo admisible para el uso urbano	53
Tabla 17 Valor máximo admisible para el uso industrial (no alimentaria)	53
Tabla 18 Valor máximo admisible para el destino ambiental.....	53
Tabla 19 Calidades establecidas según grupo de exigencia.....	61
Tabla 20 N° acreditado de barreras necesarias para obtener el nivel requerido equivalente a la clase superior.....	65
Tabla 21 Tipos de barreras, aplicación y reducción logarítmica de patógenos.....	65
Tabla 22 Distribución de costes CAPEX en ERA.	74
Tabla 23 Estimación costes de implantación de equipos de proceso exclusivamente. CAPEX.	74
Tabla 24 Estimación de costes mínimos para operación y mantenimiento (OPEX)	78
Tabla 25 Características de partida (valores medios).....	85
Tabla 26 CAPEX vs Grupos.....	126
Tabla 27 OPEX vs Grupos	126
Tabla 28 CAPEX Fase 1 (orientativo)	127
Tabla 29 CAPEX Fase 2	128
Tabla 30 CAPEX redes de parques	129
Tabla 31 CAPEX Fase 3	129
Tabla 32 Resumen de inversiones.....	130
Tabla 33 Parámetros fase 1.....	131
Tabla 34 Parámetros para la EE Fase 2.....	133
Tabla 35 Escenarios recomendados para evaluación de Fase 2 (matriz de sensibilidad).....	134
Tabla 36 Coste-eficacia Fase 3.....	136
Tabla 37 Escenarios recomendados para evaluación de Fase 3.....	136
Tabla 38 Actuaciones propuestas como ejemplo	138
Tabla 39 Ejemplos utilizados anteriormente sobre un diagrama de GANTT anualizado	139
Tabla 40 Propuesta de puntos de control (PC).....	141
Tabla 41 Propuesta de Control Analítico	141
Tabla 42 Propuesta de arquitectura de medición y telelectura.....	143
Tabla 43 Balance hídrico mensual (estructura de reporte).....	143
Tabla 44 KPI, indicadores, unidades, definición y Periodicidad.	149

FIGURAS:

Figura 1 Red de distribución de agua de Valladolid.....	27
Figura 2 EDAR de Valladolid.....	31
Figura 3 Distribución de zonas verdes según PGOU	38
Figura 4 Parque cercano a la EDAR de Valladolid	38
Figura 5 Polígono Industrial San Cristóbal.....	41
Figura 6 Entrada a la EDAR de Valladolid.	42
Figura 7 Planta General de la EDAR de Valladolid.....	43
Figura 8 Detalle planta EDAR Valladolid.	43
Figura 9 Tanque de tormenta.....	44
Figura 10 Tratamiento biológico.....	45
Figura 11 Decantación secundaria.	45
Figura 12 Superficie disponible para tren de regeneración.	56
Figura 13 Ubicación del tren de regeneración.	85
Figura 14 Ubicación de humedal artificial destino ambiental	91
Figura 15 Ubicación depósitos de almacenamiento.	95
Figura 16 Ubicación de las zonas verdes.	101
Figura 17 Parque 1. Suma de Parque de Argales y Parque de Ariza.	102
Figura 18 Parque 2. Área Dotacional Santa Ana I.....	103
Figura 19 Conducción hacia Parque 1.....	105
Figura 20 Conducción hacia Parque 2.....	106
Figura 21 Tren de regeneración clase B. Fase 3.....	107
Figura 22 El agua es vida. Programa de concienciación Gobierno autónomo de Islas Baleares.	123
Figura 23 Ejemplo de fomento de reutilización. ESAMUR. Jornadas técnicas.	124

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

AMORTIZACIÓN	reconocimiento contable del consumo del inmovilizado a lo largo de su vida útil mediante cargos periódicos (normalmente anuales).
ANUALIDAD EQUIVALENTE	coste anual que representa una inversión inicial, calculado mediante el factor de recuperación de capital (FRC).
BALANCE HÍDRICO	cuantificación periódica de entradas, salidas y variaciones de almacenamiento de agua para verificar coherencia entre producción, distribución y consumos.
BALSA/LAGUNA IMPERMEABILIZADA	infraestructura hidráulica de regulación y/o destino ambiental, con control de entradas/salidas e impermeabilización para evitar pérdidas no deseadas.
BARRERAS MÚLTIPLES	enfoque de gestión del riesgo que combina tratamiento, desinfección, control operacional y medidas de uso para reducir riesgos sanitarios y ambientales.
BY-PASS	derivación del caudal fuera de una etapa de proceso o del sistema de reutilización, por operación, mantenimiento o no conformidad.
CANON DE VERTIDO	gravamen asociado al vertido al dominio público hidráulico, calculado según la normativa aplicable y la autorización de vertido.
CLASE DE CALIDAD	categoría de calidad del agua regenerada (a+, a, b, c) asociada a usos permitidos y requisitos de control según RD 1085/2024.
CONSIGNAS DE REPARTO	reglas de operación que asignan fracciones del caudal regenerado a diferentes destinos y/o usos (ambiental, baldeo, riego) en función de demanda y prioridades.
COSTE ANUAL EQUIVALENTE	suma del CAPEX anualizado (anualidad equivalente de una inversión) y el OPEX (coste operativo) anual para comparar alternativas en base anual.
COSTE-EFICACIA	evaluación de eficiencia inversora basada en el coste por unidad de resultado (por ejemplo €/m³ suministrado), útil cuando el beneficio no se monetiza plenamente.
COSTE UNITARIO (€/M³)	coste medio de producir y suministrar agua regenerada, incluyendo OPEX y, cuando proceda, CAPEX, anualizados para un análisis evolutivo por ejercicios, o acumulados.
DEMANDA ESTACIONAL	variación del consumo, característica de determinadas épocas del año (p. ej., riego urbano), que condiciona almacenamiento, bombeo y operación.
DESTINO AMBIENTAL	uso del agua regenerada orientado a objetivos ambientales (regulación, apoyo a láminas de agua o aportes controlados), conforme a autorización y gestión del riesgo.
ECONOMÍA CIRCULAR	modelo de gestión que prioriza la reutilización y valorización de recursos (agua, energía, nutrientes) minimizando vertidos y consumos de recursos convencionales.
ESCENARIO BASE	situación de referencia sin reutilización, utilizada para el análisis incremental de costes y beneficios.
FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (FRC)	indicador financiero para calcular las anualidades que permiten recuperar una inversión inicial considerando de una tasa de descuento r y un horizonte temporal n.
FIT FOR PURPOSE	(adecuación al propósito) características de diseño asignan la calidad estrictamente necesaria para el uso final, evitando sobretratamiento y sobredimensionamientos.
GESTIÓN DEL RIESGO	proceso sistemático para identificar peligros, evaluar riesgos, definir barreras y establecer verificación y respuesta ante desviaciones en reutilización.
INDICADORES (KPI)	conjunto de métricas cuantificables para seguimiento de producción, consumo, sustitución, calidad, costes y aceptación social.
INMOVILIZADO	activos físicos capitalizables (instalaciones de tratamiento, depósitos, redes, bombeos) registrados en balance y sujetos a amortización.
INTEGRACIÓN EN SCADA	incorporación de señales, alarmas, históricos y lógicas de control de la reutilización en el sistema central de supervisión y control.
INSTRUMENTACIÓN EN	equipos que miden variables operativas de forma permanente (turbidez, UVT, cloro

CONTINUO	residual, caudal, pH) para control y alarmas.
MODULARIDAD	diseño por módulos (capacidad y proceso) que permite ampliar o adaptar el sistema por etapas, reduciendo riesgo de sobredimensionamiento.
NO CONFORMIDAD	incumplimiento de un requisito de calidad o de operación que exige acciones correctoras (p. ej., parada, derivación, reprocesado).
PUNTO DE ENTREGA	elemento hidráulico donde se transfiere el agua regenerada al usuario/destino, con medición, señalización y condiciones de seguridad.
REGENERACIÓN	tratamiento adicional al final de la línea de agua de una EDAR para adecuar el efluente permitiendo su reutilización.
RESILIENCIA HÍDRICA	capacidad del sistema para mantener servicios esenciales frente a sequía o restricciones, apoyándose en recursos alternativos como el agua regenerada.
TELELECTURA	captura remota y automatizada de consumos/volúmenes en puntos de entrega para facturación y control operativo (balances, trazabilidad y detección de anomalías).
TRAZABILIDAD	capacidad de reconstruir el historial de volúmenes tratados, calidad obtenida y destino del agua mediante registros de producción, almacenamiento y entrega.
TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO	Etapas de tratamiento basadas en procesos de coagulación-floculación y separación (decantación/filtración) para reducir sólidos y turbidez.

ACRÓNIMOS.

A2O	PROCESO BIOLÓGICO ANAEROBIO–ANÓXICO–ÓXICO PARA ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES.
AQUAVALL	NOMBRE COMERCIAL DE AGUA DE VALLADOLID EPE RESPONSABLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN VALLADOLID (ABASTECIMIENTO, SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN).
AR	AGUA REGENERADA (EFLUENTE DEPURADO SOMETIDO A REGENERACIÓN ADICIONAL PARA SU REUTILIZACIÓN).
B/C	RELACIÓN BENEFICIO/COSTE DE UNA ALTERNATIVA O INVERSIÓN.
BOE	BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO.
CAPEX	INVERSIÓN (COSTES DE CAPITAL) ASOCIADA A CONSTRUCCIÓN, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACTIVOS.
CHD	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO.
COT	CARBONO ORGÁNICO TOTAL.
CRF	CAPITAL RECOVERY FACTOR; FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL PARA ANUALIZAR CAPEX (EQUIVALENTE A FRC).
DBO5	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO A 5 DÍAS.
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.
DMA	DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DIRECTIVA 2000/60/CE).
EDAR	ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.
ERA	ESTACIÓN REGENERADORA DE AGUA (INSTALACIÓN DE AFINO Y DESINFECCIÓN PARA PRODUCIR AGUA REGENERADA).
ETAP	ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.
FRC	FACTOR DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (PARA ANUALIZAR UNA INVERSIÓN).
GIS	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.
KPI	INDICADOR CLAVE DE DESEMPEÑO (KEY PERFORMANCE INDICATOR).
KPIR	CÓDIGO INTERNO DE UN KPI DE REGENERACIÓN DEL PFRAR/PFUAR (P. EJ., KPIR01–KPIR10).
MBR	BIORREACTOR DE MEMBRANAS (MEMBRANE BIOREACTOR).
NTU	UNIDAD NEFELOMÉTRICA DE TURBIDEZ (NEPHELOMETRIC TURBIDITY UNIT).
OPEX	COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (ENERGÍA, REACTIVOS, PERSONAL, ANALÍTICA, MANTENIMIENTO).
PERTE	PROYECTO ESTRATÉGICO PARA LA RECUPERACIÓN Y TRANSFORMACIÓN ECONÓMICA (PROGRAMAS DE FINANCIACIÓN PÚBLICA).
PFRAR	PLAN DE FOMENTO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS REGENERADAS (DENOMINACIÓN EMPLEADA EN EL DOCUMENTO).
PFUAR	PLAN DE FOMENTO DEL USO DE AGUA REGENERADA (DENOMINACIÓN DEL PLAN PARA VALLADOLID).

PHD	PLAN HIDROLÓGICO DEL DUERO.
PIGSS	PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO (VALLADOLID–ALFOZ).
PRI	PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PAYBACK).
RD	REAL DECRETO.
RO	ÓSMOSIS INVERSA (REVERSE OSMOSIS).
SCADA	SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.
SS	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.
SST	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES.
TRH	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.
TIR	TASA INTERNA DE RETORNO.
UE	UNIÓN EUROPEA.
UF	ULTRAFILTRACIÓN.
UNE	NORMA ESPAÑOLA (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN).
UV	ULTRAVIOLETA (DESINFECCIÓN POR RADIACIÓN UV).
UVT	TRANSMITANCIA UV (PORCENTAJE), INDICADOR DE LA CALIDAD ÓPTICA DEL AGUA PARA DESINFECCIÓN UV.
VAN	VALOR ACTUAL NETO.

1. INTRODUCCIÓN

En primer lugar, se debe indicar que esta planificación forma parte de las actuaciones propuestas en la segunda convocatoria del PERTE digitalización del ciclo del agua en el marco de la Orden TED 919/2023, dentro de la solicitud presentada por Agua de Valladolid EPE (Aguavall), con nº de expediente PCAUII00010 del MITECO.

Información del subproyecto subvencionado:

Política palanca	2 – Infraestructuras y ecosistemas resilientes
Componente	5 – Preservación del litoral y recursos hídricos
Inversión	3- Transición digital en el sector del agua
Submedida	d - Digital transition in the water sector. PERTE digitalising the water cycle.
Proyecto	6 - PERTE de digitalización del ciclo del agua. Convocatorias del ciclo urbano del agua, regadíos y segundo reparto a las CCAA: Objetivo B.
Subproyecto instrumental	03 – Proyecto para la digitalización de la Entidad Pública Agua de Valladolid.
Hitos / Objetivos	430 - Digital transition in the water sector. PERTE digitalising the water cycle.

Al resultar esta solicitud seleccionada como beneficiaria de las ayudas, y de acuerdo con el contenido la propuesta presentada, se ha asumido el compromiso de llevarla a cabo en los términos establecidos en la propuesta, que se recogen de manera literal a continuación:

*Agua de Valladolid EPE como entidad pública encargada del servicio de aguas por el ayuntamiento de la ciudad, en quien residen las competencias, debe redactar, de acuerdo con la **disposición transitoria única del RD 4/2023**, el plan que fomente la reutilización de aguas asociadas a los usos urbanos, previsto en el art 109.2 del texto refundido de la Ley de Aguas, antes finalizar el año 2028.*

Aprovechando la inclusión de este tipo de actuaciones en la convocatoria a la que se presenta este proyecto, se propone su redacción en el marco del mismo, anticipándonos al plazo máximo legal, con el siguiente contenido:

- *Análisis del contexto: marco legal, situación actual, identificación y caracterización de la demanda potencial, retos técnicos, económicos y medioambientales.*
- *Objetivos e indicadores de seguimiento de la planificación.*
- *Actuaciones para activar la satisfacción de la demanda potencial, definición de infraestructuras necesarias para regenerar el recurso, incluyendo estudio de alternativas y análisis coste-impacto ambiental – beneficio.*
- *Cronograma valorado de actuaciones.*

La ejecución de esta actuación será a partir del segundo semestre de 2024, con finalización en junio de 2026. Su sostenibilidad está garantizada por tratarse de un requerimiento legal en 2028

2. Antecedentes

El presente Plan de Fomento del Uso del Agua Regenerada corresponde legalmente y en primer lugar, a la aglomeración urbana de Valladolid y su alfoz conectada la EDAR de Valladolid. Esta aglomeración se identifica por la Confederación Hidrográfica del Duero como órgano competente para incluirla en el inventario de acuerdo con la Disposición adicional segunda del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH), mediante resolución al efecto de 19 de septiembre de 2024.

Denominación y Código aglomeración urbana	Titular autorización de vertidos asociados	Municipios asociados	Nº hab-equiv.	Ref. Exp. CNV	Denominación y Código Masas de agua afectadas
Valladolid y su alfoz (ES747 1860005010)	AYUNTAMIENTO DE VALLADOLID	• Valladolid • Arroyo de la Encomienda • Laguna de Duero • La Cistérniga • Simancas • Zaratán	510.318	0001-VA	Río Pisuerga 16 (30400375) Río Pisuerga 15 (30400668) Río Esgueva 4 (30400311)

Además, en tanto el fomento del uso de agua regenerada reduce la presión sobre los recursos hídricos, este Plan repercutirá positivamente también en otros municipios conectados al sistema de abastecimiento de Aguavall, como son actualmente Fuensaldaña, Mucientes y Villanubla, al igual que a las masas de agua de las que tanto unos como otros se alimentan, incluido el río Duero.

El contenido de esta planificación está regulado por el apartado 5 de la disposición transitoria única del Real Decreto 4/2023. Su tenor literal dicta:

5. Las Administraciones públicas competentes en materia de abastecimiento, saneamiento y depuración de aglomeraciones urbanas de más de 50.000 habitantes deberán presentar ante el organismo de cuenca los planes que fomenten la reutilización de aguas asociados a los usos urbanos, previstos en el apartado 2 del artículo 109 del texto refundido de la Ley de Aguas, antes del 31 de diciembre de 2028.

De acuerdo con la Ley de Aguas, la reutilización de aguas

Artículo 109. La reutilización de las aguas.

1. Se entiende por reutilización de las aguas depuradas a la utilización para un nuevo uso privativo, antes de su devolución al dominio público hidráulico o marítimo-terrestre, de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido a un tratamiento que permite adecuar su calidad al uso al que se van a destinar. Las aguas sometidas a este tratamiento se denominan aguas regeneradas.

No tendrá la condición de vertido la reutilización efectiva de las aguas regeneradas.

En usos industriales no tendrá consideración de reutilización de aguas la recirculación de estas dentro de los procesos industriales de la propia actividad.

2. Las Administraciones públicas, como un medio para promover la economía circular y reforzar la adaptación al cambio climático, deberán impulsar la reutilización de aguas, previendo para ello los instrumentos económicos que consideren adecuados.

Las Administraciones públicas podrán conceder ayudas al concesionario de aguas regeneradas, que podrán alcanzar la totalidad de los costes adicionales asociados a la reutilización de aguas, en las situaciones que se establecen en el apartado 1 del artículo 109 quinquies.

Las Administraciones públicas competentes en materia de abastecimiento, saneamiento y depuración de aglomeraciones urbanas de más de 50.000 habitantes deberán elaborar planes que fomenten la reutilización de aguas asociados a los usos urbanos.

3. Las aguas regeneradas podrán utilizarse para aquellos usos que resulten compatibles con las previsiones contenidas en la planificación hidrológica, y siempre que se asegure un elevado nivel de protección de la salud humana, la sanidad animal y el medio ambiente.

Reglamentariamente se establecerán las condiciones básicas para la reutilización de las aguas y la calidad exigible a las aguas regeneradas para los usos autorizados.

Queda prohibida la reutilización de aguas para el consumo humano directo, salvo situaciones de declaración de catástrofe, en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos.

4. El plan hidrológico de cada demarcación hidrográfica establecerá las asignaciones y reservas de los volúmenes de agua regenerada necesarios para atender los distintos usos.

Artículo 109 bis. Régimen jurídico del uso de las aguas regeneradas.

1. El uso de las aguas regeneradas requerirá concesión administrativa o la modificación de características de una concesión existente, de acuerdo con el régimen general establecido en esta ley para el uso privativo del dominio público hidráulico.

Dentro del trámite de competencia de proyectos se notificará al primer usuario y al titular de la autorización de vertido.

El organismo de cuenca resolverá motivadamente las solicitudes presentadas, previo informe preceptivo y vinculante de las autoridades sanitarias.

2. Cuando el interesado en el uso de las aguas regeneradas sea el primer usuario y el uso al que se vaya a destinar esté reconocido en el marco de su concesión original, quedará exento de la necesidad de disponer de una nueva concesión. En tal caso, el interesado solicitará al organismo de cuenca la modificación de la concesión existente para incluir el uso de las aguas regeneradas solicitadas. El organismo de cuenca modificará la concesión original para reflejar este aspecto siempre y cuando sea compatible con el plan hidrológico y con los derechos de aprovechamiento de terceros, quedando exento del trámite de competencia de proyectos. En todo caso, el concesionario estará sometido al régimen de autorizaciones y controles previstos en los artículos 109 ter y 109 quater.

De igual forma se procederá cuando el concesionario para la primera utilización de las aguas sea una asociación de municipios o una entidad pública que los represente, y la solicitud de concesión la formule, a través de dicha entidad titular de la concesión, al menos uno de los municipios asociados o representados.

3. El concesionario será responsable del uso del agua regenerada que se le suministre, en los términos previstos en esta ley y en el Plan de gestión del riesgo de las aguas regeneradas definido en el apartado 3 del artículo 109 ter.

Artículo 109 ter. Régimen jurídico de la producción y suministro de aguas regeneradas.

1. La producción y suministro de aguas regeneradas estarán sometidas a autorización.

Las autorizaciones serán otorgadas por el organismo de cuenca, previo informe preceptivo y vinculante de las autoridades sanitarias.

Las autorizaciones incluirán un condicionado basado en el Plan de gestión del riesgo de las aguas regeneradas definido en el apartado 3 y se revisarán periódicamente.

2. La autorización no exime a sus titulares de obtener otras licencias o autorizaciones preceptivas para el ejercicio de la actividad, en particular las establecidas en el artículo 84 de la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local, y en el artículo 5 del texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre.

En el caso de que el solicitante no sea el titular de la autorización de vertido, se notificará a este, que tendrá preferencia para el otorgamiento de la autorización de producción o suministro de aguas regeneradas.

3. Con el fin de garantizar que las aguas regeneradas se usan y gestionan de forma segura, las partes responsables y los usuarios finales elaborarán un Plan de gestión del riesgo de las aguas regeneradas, mediante el que se coordinará el conjunto de funciones dentro del sistema de reutilización de aguas.

El Plan de gestión del riesgo de las aguas regeneradas definirá el sistema de reutilización e identificará los riesgos asociados a las funciones relacionadas con la producción, suministro y uso de las aguas regeneradas, los elementos clave para la gestión de tales riesgos y las medidas y actuaciones necesarias para mantenerlo en niveles aceptables para el medio ambiente, la salud humana y la sanidad animal. Igualmente, identificará las partes responsables y delimitará la responsabilidad que incumbe a cada una de ellas y al usuario final en el sistema de reutilización de aguas, en relación con el cumplimiento de dicho Plan.

El Plan será presentado junto a la solicitud de otorgamiento, renovación o modificación de la autorización de producción o suministro de aguas regeneradas para su valoración por el organismo de cuenca.

Artículo 109 quater. Control del cumplimiento de la autorización otorgada.

1. Las partes responsables identificadas en el sistema de reutilización y los usuarios de las aguas regeneradas deben asegurar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la autorización o concesión otorgada y en la parte del Plan de gestión del riesgo de las aguas regeneradas que les corresponda.

2. Corresponderá al organismo de cuenca y a las autoridades sanitarias la vigilancia del control del cumplimiento de las condiciones establecidas en el Plan de gestión del riesgo de las aguas regeneradas y en las autorizaciones de producción y suministro de aguas regeneradas.

Las partes responsables deberán acreditar periódicamente el cumplimiento de las condiciones establecidas en el Plan de gestión del riesgo de las aguas regeneradas, que podrá realizarse a través de un certificado emitido por una entidad colaboradora de la Administración hidráulica, todo ello, sin perjuicio de las facultades de inspección que corresponden a los organismos de cuenca y a las autoridades sanitarias.

Artículo 109 quinquies. Costes asociados a la reutilización de aguas.

1. Los organismos de cuenca, en el marco de la planificación hidrológica, determinarán aquellas situaciones donde la sustitución, total o parcial, de una concesión de aguas de captación superficial o subterránea por aguas regeneradas contribuya a alcanzar los objetivos medioambientales de las masas de agua o a la optimización de la gestión de los recursos hídricos. En esas situaciones podrán concederse al usuario las ayudas previstas en el artículo 109.2 o la exención establecida en el artículo 114.2.

Los costes adicionales asociados a la reutilización de aguas en esas situaciones podrán ser asumidos por las Administraciones u otras entidades que resulten beneficiadas por la sustitución.

2. De acuerdo con lo establecido en el artículo 113.1, el volumen de agua que se reutilice estará exento del canon de control de vertido.

Además, debe considerarse la exposición inicial del RD 1085/2024, Reglamento de reutilización del agua, que evaluando la experiencia del anterior RD 1620/2007 como instrumento de regulación y de fomento de la utilización del agua regenerada, entre otros aspectos ya reseñados considera un “**aspecto crucial el fomento de la reutilización de las aguas mediante el establecimiento de objetivos más rigurosos en los vertidos**”. No obstante, no llega a abundar en este tema, toda vez que su artículo 24 remite de nuevo al citado artículo 109 quinquies de la Ley de Aguas, es decir, lo deja a criterio de cada autoridad de cuenca en su planificación hidrológica. A pesar de ello, resulta obvio que independientemente de esta futura planificación, es esencial controlar los vertidos que se realicen a las redes de alcantarillado para que tanto la depuradora de aguas residuales como su restitución al medio receptor, como cualquier aprovechamiento posterior que se pretenda de esas aguas, resulte posible. Aguavall cuenta desde inicios del presente siglo (2001) con un

departamento de control de vertidos dedicado a vigilar el cumplimiento de la actual normativa, que en cualquier caso deberá ser revisada periódicamente para asegurar su adecuación a los contaminantes detectados, y especialmente para facilitar el tratamiento y posterior uso de las aguas regeneradas.

Finalmente, el contenido de esta planificación se determina en el artículo 26 del nuevo Reglamento de reutilización del agua RD 1085/2024, que dicta:

Artículo 26. Planes de fomento de reutilización del agua asociados a usos urbanos.

1. De conformidad con el artículo 109.2 del TRLA, las Administraciones con competencia en materia de abastecimiento, saneamiento y depuración de aglomeraciones urbanas de más de 50.000 habitantes deberán elaborar planes que fomenten la reutilización de aguas asociados a los usos urbanos.

2. El Plan de fomento contendrá como mínimo:

a) Evaluación de los recursos hídricos disponibles y demandas asociadas, previsiones futuras, afecciones sobre las masas de agua y sobre los caudales ecológicos, así como los riesgos derivados de los impactos del cambio climático.

b) Diagnóstico de la situación actual en materia de ahorro y eficiencia en la gestión del agua y de la reutilización en la aglomeración urbana.

c) Identificación, entre otros, de los objetivos relativos a:

1.º Reducción de intrusión salina en el sistema de saneamiento.

2.º Aprovechamiento, recirculación y reutilización del agua antes de su incorporación al sistema de saneamiento.

3.º Sustitución de recursos hídricos de otro origen en usos ya existentes.

4.º Reutilización del agua depurada, antes de su devolución al DPH o DPMT, para usos urbano.

5.º Uso y generación de fuentes de energía renovable.

d) Análisis de alternativas y justificación de las soluciones adoptadas.

e) Medidas y soluciones adoptadas, entre ellas, las siguientes:

1.º Mejora de los tratamientos de agua residual urbana, y mejora o implantación, en su caso, de estaciones de agua regenerada, así como desarrollo de redes de distribución de la misma.

2.º Medidas vinculadas al desarrollo de ordenanzas y normas técnicas para el uso del agua regenerada en los sistemas urbanos.

3.º Medidas de coordinación con el plan integral de gestión del sistema de saneamiento en la misma aglomeración, al que se refiere el artículo 259.quinques del RDPH y el plan de emergencia ante situaciones de sequía en sistemas de abastecimiento establecido en el artículo 27.3 de la Ley 10/2001, de 5 de julio.

4.º Medidas del control de la contaminación dentro de la red de alcantarillado, y en especial seguimiento de las sustancias que puedan afectar al tratamiento secundario, sustancias prioritarias y emergentes.

5.º Campañas y fomento en la mejora del uso del agua tanto por la ciudadanía como por las empresas e instalaciones existentes en el entorno urbano.

f) Estimación de costes y cronograma de ejecución de las actuaciones.

g) Seguimiento y evaluación de los resultados.

3. Estos planes recogerán la obligatoriedad de, al menos, la sustitución progresiva del empleo de aguas de consumo humano para el baldeo de calles, en estanques y caudales ornamentales o el riego de grandes zonas verdes urbanas, por la utilización de agua regenerada o de otras fuentes de suministro, todo ello en función de los requisitos que se detallen para cada ámbito territorial en la planificación hidrológica.

4. En aquellos ámbitos en los que se produzca un vertido de aguas residuales directo al mar a través de emisarios submarinos, los planes de fomento recogerán expresamente como prioritaria la progresiva eliminación de los vertidos para el uso del agua regenerada, así como la recarga artificial de los acuíferos asociados.

5. Las Administraciones con competencia en materia de abastecimiento, saneamiento y depuración de aglomeraciones urbanas de menos de 50.000 habitantes podrán elaborar planes simplificados de fomento de la reutilización de aguas asociados a los usos urbanos. Estos planes simplificados tendrán el siguiente contenido mínimo:

- a) Descripción sucinta de los recursos hídricos disponibles y demandas asociadas y los riesgos derivados de los impactos del cambio climático.*
- b) Diagnóstico de la situación actual en materia de ahorro y eficiencia en la gestión del agua y de la reutilización en la aglomeración urbana.*
- c) Medidas relativas a la mejora de los tratamientos de agua residual urbana, y mejora o implantación, en su caso, de estaciones de agua regenerada, así como desarrollo de redes de distribución de la misma.*

En el presente documento se desarrollan ampliamente todos estos apartados salvo aquellos que no son aplicables (por ejemplo, los relativos a intrusión salina), o los que, por depender del cuarto ciclo de planificación hidrológica de la cuenca hidrológica (2028-2031) no pueden desplegarse en su totalidad.

El procedimiento de aprobación se recoge en el artículo 27 de ese mismo RD 1085/2024:

Artículo 27. Procedimiento de aprobación de los Planes de fomento de reutilización del agua asociados a usos urbanos.

1. Una vez elaborado el Plan de fomento de reutilización del agua asociado a usos urbanos, la administración responsable de elaborar el Plan lo someterá a información pública durante el plazo de un mes, transcurrido el cual, una vez revisado el contenido de este, conforme a las aportaciones recibidas durante la información pública, lo remitirá a las autoridades competentes y a las autoridades sanitarias.

Dichas autoridades dispondrán de un plazo de tres meses para emitir un informe que tendrá el carácter de preceptivo y vinculante y versará, según sus competencias, sobre algunos de los siguientes aspectos:

- a) disponibilidad de recursos hídricos y demandas asociadas;*
- b) afecciones sobre las masas de agua y sobre los caudales ecológicos, así como riesgos derivados de los impactos del cambio climático;*
- c) ahorro y eficiencia en la gestión del agua;*
- d) calidad del agua;*
- e) coordinación con otros planes;*
- f) afecciones sobre salud humana y la sanidad ambiental.*

2. La administración responsable de la elaboración del Plan, a la vista de los informes recibidos, procederá a aprobar el Plan, publicarlo en sus portales de internet y proceder a su implantación, todo ello sin perjuicio de la tramitación de las autorizaciones y concesiones que sea necesario conforme a lo establecido en este reglamento.

3. Los planes simplificados regulados en el artículo 26.5 seguirán esta misma tramitación.

4. Los Planes de fomento de la reutilización se revisarán y actualizarán cada diez años siguiendo el mismo procedimiento establecido en este artículo.

3. Inventario de recursos hídricos y demandas.

3.1 Situación actual de recursos disponibles

El alfoz de Valladolid actualmente presenta la particularidad de no incluir los mismos municipios para los servicios compartidos de abastecimiento y depuración de aguas. Así, si bien tener un plan para el fomento del uso de las aguas regeneradas es una obligación normativa para los sistemas de depuración de cierta entidad como esta, al considerar la presión sobre los recursos hídricos se debe considerar el destino de esas aguas regeneradas, que no es otro que el abastecimiento, lógicamente orientado a los usos alternativos. Por ello, en esta planificación se incluyen todos los municipios del alfoz que compartan uno u otro tipo de servicios en alta con Agua de Valladolid EPE: Arroyo de la Encomienda, Fuensaldaña, La Cistérniga, Laguna de Duero, Mucientes, Simancas, Villanubla y Zaratán.

La demanda del sistema de abastecimiento urbano de Valladolid y su alfoz se caracteriza por una elevada diversificación de recursos superficialmente regulados, lo que constituye uno de los principales factores de resiliencia del municipio frente a sequías, tal y como recoge el Plan de Emergencia ante Situaciones de Sequía de Aguavall. Las captaciones principales proceden del Canal de Castilla y del Canal del Duero, mientras que los ríos Pisuerga y Duero proporcionan apoyo en situaciones de emergencia operativa o calidad comprometida del agua bruta. Igualmente, Laguna de Duero cuenta con una captación propia del Canal del Duero, y algunos municipios de menor tamaño tienen pequeñas captaciones de aguas subterráneas generalmente sin uso.

Tabla 1 Recursos hídricos convencionales utilizados para el abastecimiento.

Recurso hídrico	Tipo	Descripción y uso actual	Información clave
Canal de Castilla	Superficial regulado	Captación ordinaria hacia ETAP Las Eras	Constituye la principal fuente de abastecimiento ($\approx 2/3$ del total suministrado).
Canal del Duero	Superficial regulado	Captación ordinaria hacia ETAP San Isidro	Aporta aproximadamente $1/3$ del suministro total.
Río Pisuerga	Superficial	Captación de emergencia o apoyo	Actúa como toma alternativa en episodios de sequía o fallos de calidad.
Río Duero	Superficial	Captación de emergencia	Apoyo puntual al sistema, especialmente en condiciones de restricciones.

Tabla 2 Infraestructuras de regulación para abastecimiento.

Embalse	Río regulado	Función	Capacidad (hm ³) *
Aguilar de Campoo	Pisuerga	Regula aportaciones del Pisuerga, influye en la disponibilidad en Canal de Castilla	247
Cuerda del Pozo	Duero	Regula régimen del río Duero, soporte a las tomas alternativas	249
Compuerto	Carrión	Regulación general de aportaciones	95
Camporredondo	Carrión	Regulación complementaria	70

* Capacidades incluidas según el inventario oficial de embalses del PHDuero

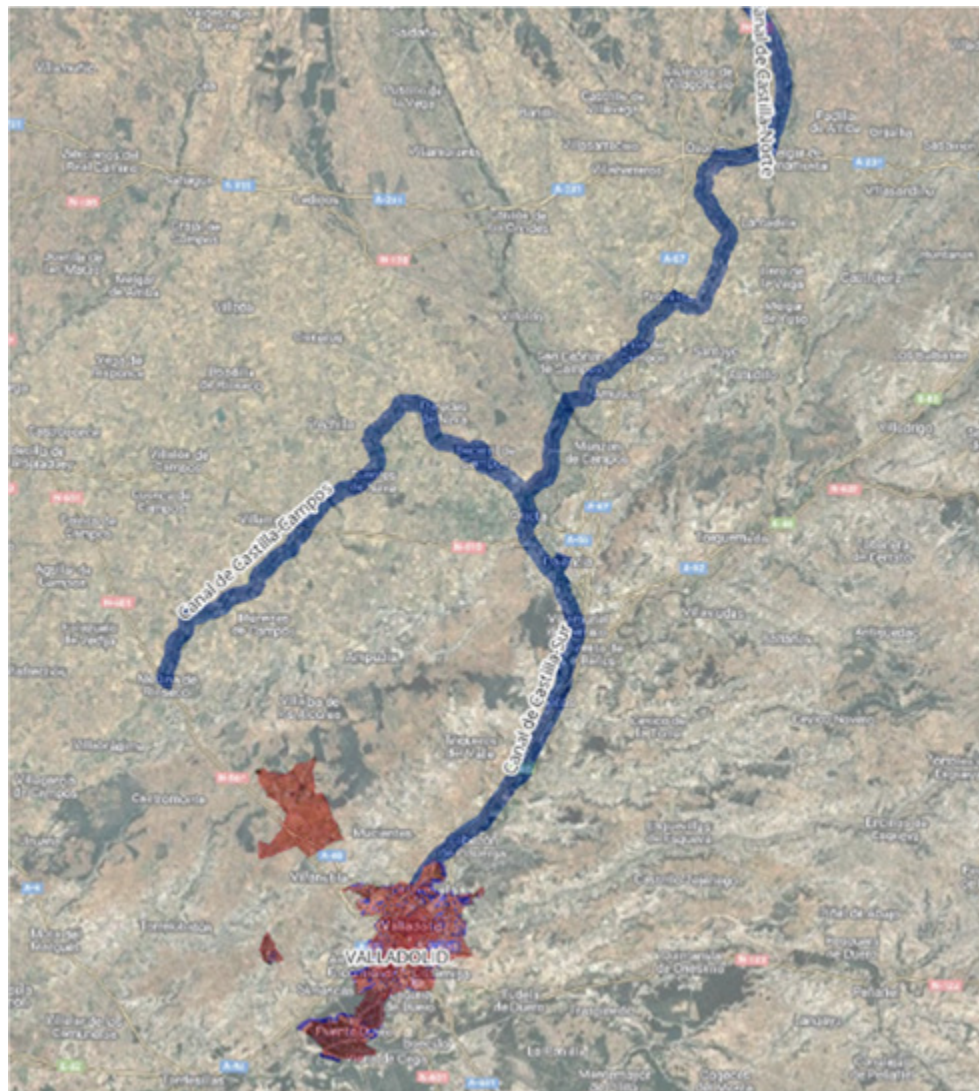


Ilustración 1 Distribución del Canal de Castilla

La ciudad dispone de dos Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) que permiten, cada una de ellas de manera independiente, potabilizar prácticamente el 100 % del agua suministrada: ETAP Las Eras (alimentada desde el Canal de Castilla), y ETAP San Isidro (alimentada desde el Canal del Duero). En conjunto, garantizan tanto la producción diaria necesaria como la capacidad de respuesta ante episodios críticos.

Tabla 3 Infraestructuras de producción y tratamiento.

Infraestructura	Función	Fuente de suministro	Observaciones
ETAP Las Eras	Potabilización	Canal de Castilla	Principal planta de tratamiento habitualmente aporta $\approx 2/3$ del agua suministrada al municipio.
ETAP San Isidro	Potabilización	Canal del Duero	Aporta $\approx 1/3$ del caudal tratado; permite redundancia en caso de problemas en Las Eras.
Depósitos reguladores	Almacenamiento y regulación diaria		Garantizan presión y autonomía operativa en toda la red de distribución.
Red de distribución (>600 km)	Transporte y distribución		Red sectorizada que mejora la eficiencia y reduce fugas.

Además, las captaciones están respaldadas por un sistema de grandes embalses situados aguas arriba en la cuenca del Duero, entre ellos Aguilar de Campoo, Cuerda del Pozo, Compuerto y Camporredondo, inventariados en el Plan Hidrológico del Duero, cuya función es proporcionar estabilidad hídrica interanual, permitiendo atender la demanda incluso en periodos prolongados de baja aportación natural.

Tabla 4 Dotaciones, consumos y eficiencia del sistema.

Variable	Valor disponible	Observaciones
Dotación doméstica actual	~225 L/hab·día	Dotación ajustada a grandes ciudades; tendencia descendente.
Población abastecida	~348.000 habitantes equivalentes	Incluye Valladolid y municipios del alfoz conectados.
Producción anual de agua	30–32 hm ³ /año (media)	Volumen habitual tratado por ambas ETAP.
Longitud de la red	>600 km	Permite el abastecimiento de todo el municipio y su alfoz.
Estado de eficiencia	Mejora progresiva por sectorización y detección de fugas	Contribuye a la reducción de demanda real

El conjunto del sistema se completa con depósitos reguladores y una red de distribución ampliamente sectorizada que reduce las pérdidas y facilita la gestión eficiente de los recursos. Valladolid y su alfoz disponen actualmente de un sistema de abastecimiento altamente garantizado, sustentado por recursos superficiales robustos, un marco de regulación eficiente y un sistema de tratamiento y distribución modernizado. La combinación de captaciones diversificadas, grandes embalses reguladores y una operación basada en la eficiencia y la sectorización posiciona al municipio en una situación sólida ante sequías, aunque el cambio climático exige reforzar la diversificación mediante recursos no convencionales como el agua regenerada, objetivo central del PFRAR.

3.2 Previsión futura de demandas

La evolución prevista de la demanda urbana de Valladolid y su alfoz muestra una tendencia a la estabilización, influida por la dinámica demográfica y por las mejoras continuas en eficiencia hidráulica. Tal como indica el Plan de Sequía de Aguavall, la dotación media actual se sitúa en torno a 225 L/hab·día, con un descenso sostenido derivado de la sectorización de redes, la reducción de fugas, la renovación de conducciones y las campañas de concienciación ciudadana. En paralelo, los municipios del alfoz experimentan un crecimiento moderado o nulo, mientras que la ciudad de Valladolid presenta tendencia al estancamiento. El resultado agregado es una población abastecida cercana a los 348.000 habitantes equivalentes.

Tabla 5 Evolución demográfica estimada de Valladolid y su alfoz

Área	Tendencia demográfica	Observaciones
Valladolid (capital)	Ligera regresión / estancamiento	Tendencia a la estabilización
Alfoz (Arroyo, La Cistérniga, Zaratán, Simancas, etc.)	Crecimiento moderado o nulo	Incrementos significativos en Arroyo de la Encomienda
Total población abastecida	≈ 348.000 hab	Incluye municipios conectados a Aguavall

Tabla 6 Proyección de demanda urbana a 10–15 años.

Escenario	Dotación estimada (L/hab·día)	Población abastecida	Demanda prevista (hm ³ /año)	Justificación
Escenario de eficiencia alta	210	345.000	≈ 28 hm ³ /año	Reducción adicional de fugas y consumos
Escenario conservador	225	348.000	≈ 30 hm ³ /año	Mantiene dotaciones y población actual
Escenario de crecimiento del alfoz	230	360.000	≈ 32 hm ³ /año	Aumento moderado de población periférica

La combinación de estos factores, junto con la moderación de los consumos industriales y comerciales, permite proyectar una demanda global entre 28 y 32 hm³/año para el horizonte 2035, valores prácticamente idénticos a los registrados en la última década. Esta estabilidad constituye un elemento clave para el establecimiento de herramientas vinculadas al fomento de la reutilización, incluidas dentro de este PFUAR, al permitir anticipar qué fracción de esa demanda, en caso de crecimiento o pérdida de la eficiencia, podría ser sustituida por agua regenerada, especialmente en usos no potables.

3.3 Afecciones sobre masas de agua y caudales ecológicos

El abastecimiento de Valladolid depende directamente de un conjunto de masas de agua superficiales pertenecientes al sistema Duero–Pisuerga, cuya identificación se resume en la Tabla 7. Estas masas incluyen los tramos medios del río Pisuerga y del río Duero, ambos regulados aguas arriba por grandes embalses (Aguilar de Campoo, Cuerda del Pozo), así como las masas artificiales asociadas a los canales de Castilla y del Duero, que funcionan como soportes principales de captación hacia las ETAP de Las Eras y San Isidro. Tal y como recoge el Plan Hidrológico del Duero (PHDuero 2022–2027), el estado ecológico de los ríos asociados al abastecimiento es mayoritariamente Moderado, especialmente en el Pisuerga Medio, con condicionantes relevantes en cuanto a su capacidad de dilución.

Tabla 7 Masas de aguas superficiales vinculadas al abastecimiento de Valladolid.

Masa de agua	Código	Tipo	Estado ecológico	Papel en el abastecimiento
Río Pisuerga – tramo medio	ES030_	Río	Moderado	Captación de emergencia
Río Duero – tramo medio	ES030_	Río	Bueno / Moderado	Captación de emergencia
Canal de Castilla	ES030_MA	Artificial		Captación principal
Canal del Duero	ES030_MA	Artificial		Captación principal

El mantenimiento del **régimen de caudales ecológicos** es un requisito legal imprescindible que condiciona cualquier extracción en estas masas, que por otra parte se encuentran totalmente reguladas mediante embalses. La **Tabla 8** presenta los valores aproximados de caudal ecológico establecidos en *PHDuero*, diferenciados por estaciones (invierno, primavera, verano y otoño). En conjunto, estos valores evidencian que el **Duero Medio**, con caudales ecológicos en verano del orden de 6–7 m³/s, presenta una restricción estructural significativa para cualquier captación directa durante estiaje. En el caso del **Pisuerga**, sus caudales ecológicos mínimos, del orden de 8,86–9 m³/s en verano, limitan igualmente la disponibilidad de sus tomas de emergencia en episodios de sequía prolongada.

Tabla 8 Caudales ecológicos mínimos (PHD)

Masa	Invierno (EFM) m³/s	Primavera (AMJ) m³/s	Verano (JAS) m³/s	Otoño (OND) m³/s	Observaciones
Río Pisuerga (tramo regulado)	13,5–14	13–14	8,86–9	9–14	Dependiente de Aguilar de Campoo, Camporedo y Compuerto
Río Duero (tramo medio)	6,7–6,8	6,7–8	6–7	6–6,6	Dependiente de Cuerda del Pozo.

Adicionalmente, el régimen de caudales ecológicos mínimos establece valores adicionales para la masa 30400344 del Duero en Quintanilla de Onésimo, donde se inicia el Canal del Duero, para épocas de sequía,

Masa	Invierno (EFM) m³/s	Primavera (AMJ) m³/s	Verano (JAS) m³/s	Otoño (OND) m³/s	Observaciones
Río Duero de (Quintanilla de Onésimo)	4,01–4,36	4,4–5,28	3,92	3,92-4,37	Caudal ecológico en sequía.

La interacción entre el abastecimiento y estos umbrales ambientales se observa que las dos captaciones principales (Canal de Castilla y Canal del Duero) ofrecen un nivel de seguridad superior por no depender directamente del caudal circulante en los ríos, mientras que las captaciones alternativas en los ríos Pisuerga y Duero solo pueden operar si se mantiene el caudal ecológico aguas abajo. El *Plan de Emergencia ante Sequías* elaborado por Aquavall alerta precisamente de que, en situaciones de sequía severa, la capacidad de dilución del Pisuerga y del Duero disminuye notablemente, llegando incluso a comprometer la operación de estas tomas alternativas.

Tabla 9 Abastecimiento vs Umbrales ambientales.

Captación	Tipo	Dependencia del caudal ecológico	Implicaciones operativas
Canal de Castilla	Ordinaria	Baja (no depende del caudal instantáneo del Pisuerga)	Alta seguridad
Canal del Duero	Ordinaria	Baja	Alta seguridad
Río Pisuerga	Emergencia	Alta	Solo utilizable si la captación permanece operativa y la calidad del agua bruta permite el tratamiento
Río Duero	Emergencia	Muy alta	Igual que la anterior

Por su parte, la Tabla 10 sintetiza los riesgos ambientales más relevantes identificados en los documentos de planificación: reducción del caudal circulante, aumento de la concentración de contaminantes por menor dilución, y mayor probabilidad de incumplimiento de los caudales ecológicos. Estos riesgos se ven reforzados por los efectos del cambio climático, que según el *PHDuero* está reduciendo las aportaciones medias de la cuenca entre un 10 % y un 16 %, incremento que hace más frecuentes los episodios de caudales próximos al umbral ecológico calculado teniendo en cuenta la necesidad de satisfacer los usos prioritarios como el abastecimiento humano.

Tabla 10 Riesgos ambientales identificados.

Riesgo	Descripción	Efecto
Reducción del caudal	Menores aportaciones durante sequías	Riesgo de incumplir Q ecológico
Menor capacidad de dilución	Menos caudal circulante	Afecciones a calidad
Competencia usos ambientales	Caudal ecológico no prioritario frente a abastecimiento humano (Ley de Aguas)	Limitación de tomas directas
Cambio climático	Reducción 10–16 % recursos, aunque la orografía y mayor capacidad de regulación de la cuenca del Duero ha mantenido una mayor estabilidad que otras.	Episodios críticos más frecuentes

Por tanto, el PFRAR debe considerar que los recursos convencionales asociados a masas de agua naturales se encuentran sometidos a limitaciones ambientales estrictas y que su disponibilidad en escenarios de sequía severa puede verse limitada. Este marco justifica la necesidad de estudiar el uso de recursos no convencionales, como el agua regenerada, con el objetivo de minimizar la presión sobre las masas naturales y reforzar la seguridad hídrica del sistema Valladolid–Alfoz.

3.4 Riesgo derivado del cambio climático

En el entorno que nos ocupa, históricamente, los caudales mínimos se definían por criterios de abastecimiento humano. Sin embargo, en los últimos 20 años, la implantación del caudal ecológico en los Planes Hidrológicos del Duero ha forzado un aumento artificial de los mínimos en ciertos tramos para proteger la biodiversidad. No obstante, incluso en años de sequía extrema (como 1975-76, 1991-92 o 2022-23), los caudales mínimos solo han rozado los niveles críticos establecidos, por lo que, aunque se activaron los protocolos de emergencia por sequía para usos no prioritarios, no fue necesario recurrir a recursos no convencionales para el abastecimiento humano.

No obstante, los efectos del cambio climático en la Demarcación Hidrográfica del Duero constituyen un factor crítico para la planificación del abastecimiento urbano de Valladolid. Según el *Resumen Ejecutivo del PHDuero 2022–2027*, la serie hidrológica extendida hasta 2017/18 indica una reducción de los recursos naturales del orden del 10 % al 16 %, dependiendo del periodo analizado, lo que confirmaría una tendencia estadística a la disminución sistemática de aportaciones en los ríos de la cuenca según la muestra tomada.

Tabla 11 Reducción estimada de los recursos hídricos en el Duero por efecto del cambio climático.

Serie hidrológica analizada	Reducción promedio de recursos	Interpretación
Serie larga (1940–2018)	≈ 10 %	Declive sostenido en aportaciones naturales
Serie corta (1980–2018)	≈ 16 %	Aumento de la intensidad de los periodos secos
Conclusión global	Reducción entre 10–16 %	Afecta a las aportaciones a Pisuegra y Duero, esenciales para Valladolid

Este descenso afecta de forma directa a los sistemas de explotación de la demarcación hidrográfica que alimentan al Canal de Castilla (régimen regulado del río Pisuerga) y al Canal del Duero, así como a las tomas de emergencia situadas en los tramos medios del Pisuerga y el Duero, ya identificadas en los apartados anteriores. La vulnerabilidad de estos tramos se acentúa durante el estiaje, cuando la reducción de aportaciones naturales puede situar los caudales circulantes muy próximos a los caudales ecológicos mínimos, que han sido calculados compatibilizando los usos prioritarios como el abastecimiento humano, si bien en situaciones extremas, los riesgos descritos en la *Tabla 10 podrían llegar a comprometer la operatividad de las captaciones de emergencia.*

La Tabla 10, incluida en el apartado anterior, ya mostraba los principales riesgos ambientales derivados de esta situación: menor capacidad de dilución, mayor probabilidad de incumplimiento de los objetivos ambientales y tensiones adicionales sobre los recursos superficiales en periodos extremos de sequía prolongada. Estos riesgos se ven reforzados por los escenarios climáticos de reducción estacional de aportaciones, que se detallan ahora de forma específica para las zonas de sequía donde se integran los recursos de Valladolid, en la Tabla 12.

Tabla 12 Reducción estacional de aportaciones en las zonas de sequía vinculadas al sistema Valladolid.

Zona de sequía del Duero	OND (%)	EFM (%)	AMJ (%)	JAS (%)	Observaciones
ES017_01	-14 %	-8 %	-13 %	-13 %	Reducción significativa en otoño y primavera
ES017_02	-10 %	-6 %	-11 %	-13 %	Afecta directamente al sistema Pisuerga–Carrión
ES017_03	-7 %	-5 %	-9 %	-12 %	Reducción moderada pero persistente
ES018_06	-15 %	-8 %	-14 %	-18 %	Impacto más intenso; tendencia a veranos críticos

(Valores orientativos basados en el análisis del PHDuero por unidades territoriales: OND = otoño; EFM = invierno; AMJ = primavera; JAS = verano.)

En el *Plan de Sequía de Valladolid* se advierte además que, en situaciones de prolongada escasez, la presión sobre el tramo medio del Pisuerga y del Duero se puede incrementar notablemente, reduciendo el margen de operación de las tomas alternativas, lo que obliga a depender casi exclusivamente de los aportes regulados a los canales, procedentes de las cabeceras del Carrión y el Pisuerga, y del tramo medio del Duero. Esta dependencia, unida a la tendencia descendente de los recursos naturales, refuerza la necesidad de incrementar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos, y cuando sea viable incluso fomentar la incorporación de fuentes no convencionales, especialmente agua regenerada, como elemento estratégico de resiliencia dentro del PFRAR.

Los efectos del cambio climático sobre la cuenca del Duero estimados parecen relevantes para la planificación del abastecimiento urbano de Valladolid. La reducción estimada del 10–16 % en las aportaciones naturales se traduce, en una mayor frecuencia de episodios en los que los ríos Pisuerga y Duero circulan próximos a unos caudales ecológicos calculados en función de su régimen natural en el periodo de estudio. Aunque para su determinación se ha considerado la satisfacción de los usos prioritarios como el abastecimiento humano, en caso de desviación por situaciones extremas, esto podría limitar la operatividad de las captaciones de emergencia, cuyo uso puede volverse restrictivo o incluso inviable durante estiajes severos según el *Plan de Sequía*. No obstante, desde que existen esas captaciones, únicamente se han utilizado durante obras en las tomas ordinarias y jamás en situaciones de sequía.

De forma paralela, los canales de Castilla y del Duero, aunque constituyen las fuentes de abastecimiento más estables, dependen de un sistema de regulación sometido a tensiones crecientes en periodos prolongados de sequía. La reducción estacional de aportaciones en las zonas de sequía asociadas al sistema Valladolid (Tabla 12) apunta a que en el futuro podrían producirse ajustes en las dotaciones asignadas, especialmente en escenarios de prioridad ambiental elevada.

Además, la menor capacidad de dilución identificada para las masas de agua incrementa el riesgo de deterioro del estado ecológico, reforzando la obligación de cumplir de manera estricta los objetivos ambientales del PHDuero. Este marco, no tanto reduce el margen operativo para incrementar o incluso mantener ciertos volúmenes de extracción en periodos críticos, como impone la necesidad de asegurar la devolución del caudal tratado por la EDAR de manera que puedan mantenerse los usos autorizados aguas debajo de la zona de abastecimiento.

En conjunto, la previsión de que puedan producirse estos impactos obligaría a reorientar la planificación. Bajo esta premisa, la disminución de garantía de los recursos convencionales haría imprescindible incorporar recursos complementarios, y entre ellos el agua regenerada se posiciona como el más adecuado para usos no potables urbanos. Si bien su incorporación podría reducir la presión sobre las masas de agua naturales, no contribuiría a garantizar los caudales ecológicos aguas abajo, y desplazaría los riesgos que afectan a la resiliencia del sistema Valladolid–Alfoz frente a un escenario climático más restrictivo y/o variable, haciéndoles depender en vez de una restricción sobre el uso, de unos procesos y unas infraestructuras actualmente inexistentes a nivel municipal, aunque podrían ser mucho más viables a escala reducida en las instalaciones interiores de los abonados.

4. Diagnóstico de la situación actual.

4.1 Ahorro de agua

El municipio de Valladolid y su alfoz cuentan con una trayectoria consolidada en gestión de la demanda y ahorro de agua, sustentada en tres líneas de actuación complementarias: (i) la mejora continua de la eficiencia hidráulica de la red, actualmente potenciada con la digitalización del servicio a través del proyecto Aguavall 2.0 cofinanciado con fondos Next Generation EU dentro del PERTE del ciclo urbano del agua (actuaciones de sectorización, automatización de plantas de tratamiento, sensorización de fugas y redes, telelectura), (ii) la racionalización de consumos municipales y no esenciales (especialmente riegos, baldeos y usos recreativos), y (iii) campañas de información pública, educación y adecuación de ordenanzas y tarifas orientadas al uso responsable.

De acuerdo con el Plan de Emergencias ante Situaciones de Sequía, en el término municipal de Valladolid los recursos captados han satisfecho una **dotación global media de 225 l/hab·día**, con **mínimos de 201 l/hab·día** y **máximos de 267 l/hab·día**, lo que representa una **presión sobre los recursos inferior a 30 hm³/año**. Esta reducción y estabilización de dotaciones se vincula, en el propio Plan, a la mejora de la gestión del agua y a la racionalización progresiva de usos.

4.1.1 Caracterización de la demanda y principales consumos

El Plan de Sequía realiza una caracterización explícita de la demanda por **actividades** y cuantifica los **consumos registrados diarios** (año 2016), incorporando además estacionalidad, incertidumbre y elasticidad de reducción. Esta caracterización pone de manifiesto que el consumo estructural del sistema se concentra en pocos grandes bloques y que existe un volumen relevante asociado a consumos no controlados, por lo que el potencial de ahorro no se limita al “consumo doméstico”, sino que depende de la gestión integral de la red y de determinados usos estacionales.

Tabla 13 Distribución del consumo por actividades.

Actividad	hm³/año	(%)
Doméstica	11,21	40,1
Industrial	1,25	4,5
Comercial	3,06	10,9
Recreativos	0,13	0,5
Riego	1,36	4,9
Otros	0,01	0,0
Agua en alta	2,67	9,6
Ilegal (uso no controlado)	6,61	23,6
Propio servicio	1,66	5,9
TOTAL	27,96	100

Adicionalmente, para el último periodo de control considerado en el Plan, se indica una segregación general de volúmenes del servicio de abastecimiento de agua potable en tres grupos: consumos registrados en usuarios (77%), consumos registrados en operación del sistema (3%) y volúmenes de ineficiencia (20%), incluyendo el fraude. Este marco confirma que, aun con una gestión avanzada, la mejora del ahorro exige actuar tanto sobre los hábitos y usos de la población, como sobre pérdidas aparentes/consumos no controlados y en menor medida, sobre la operación del sistema.

4.1.2 Evolución de dotaciones registradas por tipo de punto de suministro

El Plan de Sequía complementa la caracterización por actividades con la evolución de dotaciones medias diarias registradas en contadores por tipo de punto de suministro (PS), distinguiendo lecturas trimestrales y mensuales. En el periodo 2012–2016 se aprecia: (i) un comportamiento contenido y relativamente estable del consumo doméstico en viviendas, (ii) una reducción clara de dotaciones en comunidades de propietarios (indicativa de mejora de control/contaje), y (iii) una fuerte influencia de usos estacionales (riego/baldeo, piscinas, obras) sobre la variabilidad interanual, si bien desde aquellas fechas muchos riegos y baldeos se han diversificado y la mayoría se han sometido a mayor control.

Asimismo, destacan por su magnitud los consumos asociados a agua en alta (suministro al alfoz) y a determinados caudales no potables recogidos por el sistema (p. ej., freáticos bombeados desde las fincas al sistema de alcantarillado y que podrían utilizarse en origen), que refuerzan la necesidad de analizar la demanda desde un enfoque global de sistema y no únicamente desde el consumo doméstico.

4.1.3 Objetivos de reducción por escenarios y elasticidad de la demanda

Este Plan de Emergencias ante situaciones de Sequía cuantificaba la reducción potencial por actividad en escenarios de sequía (Fase 1 Severa, Fase 2 Grave, Fase 3 Muy grave) a partir de elasticidades de reducción. Las reducciones indicadas para los diferentes usos son:

- Doméstica: reducciones del 4% / 12% / 18% (severa/grave/muy grave).
- Riego: 14% / 43% / 65%.
- Recreativos: 22% / 67% / 100%.
- Industrial: 9% / 26% / 40%.
- Comercial: 11% / 33% / 49%.

El Plan indica que la aplicación combinada de reducciones puede alcanzar una rebaja total del consumo medio del 31%, y vincula esta estrategia a la necesidad de reducir la dotación general hasta valores máximos por escenario: 270 l/hab·día (normal de partida), 250 (prealerta), 210 (severa), 180 (grave) y 160 (muy grave). El propio Plan advierte expresamente que la dotación general no debe confundirse con el consumo medio doméstico de los hogares, que es inferior (referencia INE 2016 en Castilla y León: 166 l/persona·día).

4.1.4 Sistema de indicadores de ahorro y eficiencia (KPIA) para el PFRAR

En este contexto, este PFRAR adopta como punto de partida un sistema estructurado de indicadores de ahorro y eficiencia, diseñado para caracterizar la situación actual del sistema de abastecimiento y permitir el seguimiento de su evolución. Este sistema se apoya en métricas operativas ya contempladas en el Plan de Sequía (consumos por actividad, dotaciones globales y por escenario, y medidas de control de demanda), y se completa con indicadores específicos orientados a reutilización y eficiencia energética.

Los indicadores considerados son:

- **KPIA01** Consumo medio doméstico (L/hab·día)
- **KPIA02** Rendimiento de la red (%)

- **KPIA03** Pérdidas reales en red (%)
- **KPIA04** Pérdidas aparentes en red (%)
- **KPIA05** Dotación en usos no esenciales ($\text{m}^3/\text{hab}\cdot\text{año}$)
- **KPIA06** Ahorro en consumos municipales (%)
- **KPIA07** Grado de implantación de dispositivos de bajo consumo (%)
- **KPIA08** Porcentaje de agua reutilizada en usos urbanos no potables (%)
- **KPIA09** Huella hídrica municipal ($\text{m}^3/\text{hab}\cdot\text{año}$)
- **KPIA10** Eficiencia energética en la distribución (kWh/m^3)

A efectos de diagnóstico, el Plan sustenta de forma directa:

1. **Eficiencia del sistema de abastecimiento (KPIA02–KPIA04, KPIA10):** por la identificación de consumos no controlados (bloque “llegal”) y por el paquete de medidas de mejora continua (sectorización, control nocturno, búsqueda de fugas, renovación de contadores y telelectura, control de presiones).
2. **Gestión de demanda y usos no esenciales (KPIA01, KPIA05, KPIA06, KPIA07):** por la explicitación de elasticidades y objetivos por escenarios, destacando el elevado potencial de reducción de riego y recreativos frente a la menor elasticidad del bloque doméstico.
3. **Reutilización y huella hídrica (KPIA08, KPIA09):** al introducir el **estudio del uso de aguas regeneradas** especialmente en proximidad a los puntos de consumo de recursos primarios como medida específica en el escenario de **sequía muy grave**.

A la luz de los datos del Plan de Sequía, Valladolid parte de una situación en la que el ahorro y la eficiencia ya están muy integrados en la gestión ordinaria, con una dotación media contenida y con tendencia a la baja, de 225 l/hab·día y una presión inferior a 30 hm³/año. No obstante, existen márgenes de mejora focalizados en tres frentes principales. En primer lugar, los consumos no controlados e ineficiencias presentaban un peso elevado del bloque “llegal” según la caracterización de 2016. En segundo lugar, los usos no esenciales y estacionales, especialmente riego y recreativos, constituían en la fecha del estudio áreas prioritarias, dado que el Plan establece para ellos las mayores elasticidades de reducción: hasta un 65% en escenario muy grave para riego y hasta un 100% para usos recreativos. En tercer lugar, resulta necesario mantener el refuerzo de medidas estructurales que permitan alcanzar las dotaciones máximas establecidas por escenario (270/250/210/180/160 l/hab·día), estudiando el fomento del uso de la reutilización entre los ciudadanos como medida de apoyo en condiciones de máxima severidad.

Como resultado del diagnóstico, el PFRAR se alinea a las recomendaciones de refuerzo hacia cuatro líneas estratégicas. La primera consiste en consolidar el seguimiento del consumo doméstico (KPIA01) dentro de reducciones realistas por escenario reforzando la concienciación ciudadana. La segunda se centra en mantener y profundizar el control de rendimiento, pérdidas reales y aparentes (KPIA02–KPIA04) a través de la digitalización del servicio. La tercera prioriza la optimización de la gestión de usos no esenciales y municipales (KPIA05–KPIA06), focalizando medidas con alta elasticidad. Finalmente, la cuarta línea estudia fomentar una reutilización eficiente como herramienta de resiliencia (KPIA08–KPIA09) ante situaciones extremas que pudieran producirse, respetando la coherencia con el propio Plan de Sequía.

4.2 Eficiencia en el uso

La eficiencia en el uso del agua en el sistema de abastecimiento de Valladolid y su alfoz se evalúa a partir de tres ejes operativos: (i) el rendimiento hidráulico del sistema y el balance entre volúmenes registrados, operación y agua no registrada; (ii) la gestión de pérdidas y presiones mediante sectorización, control y explotación de datos; y (iii) el grado de modernización de la operación, orientada a adaptar consignas y patrones de funcionamiento a la demanda real, minimizando simultáneamente fugas y consumo energético.

Este enfoque permite valorar la capacidad de respuesta ante escenarios de escasez, coherentemente con la lógica del Plan de Sequía (reducciones por escenarios y disponibilidad de medidas previas) y con el planteamiento del PFRAR de reforzar la resiliencia del sistema.

4.2.1 Rendimiento hidráulico y pérdidas en transporte y distribución

El Plan de Sequía propone analizar la eficiencia del servicio segregando el volumen total utilizado en tres grandes grupos: (i) consumo de usuarios y clientes, (ii) consumo propio de operación del sistema, y (iii) volúmenes de ineficiencia de las infraestructuras, incluido el fraude. En el último periodo de control recogido, la segregación general para el servicio de agua potable se resume en: 77% consumos registrados en usuarios, 3% consumos de operación, y 20% volúmenes de ineficiencia. Por tanto, el reparto requiere mantener líneas de trabajo específicas sobre agua no registrada, control antifraude, precisión de medición y calidad del dato, dado que el propio Plan advierte que la exactitud de cada grupo depende del rigor de medida y de la diferenciación entre valores medidos y estimados.

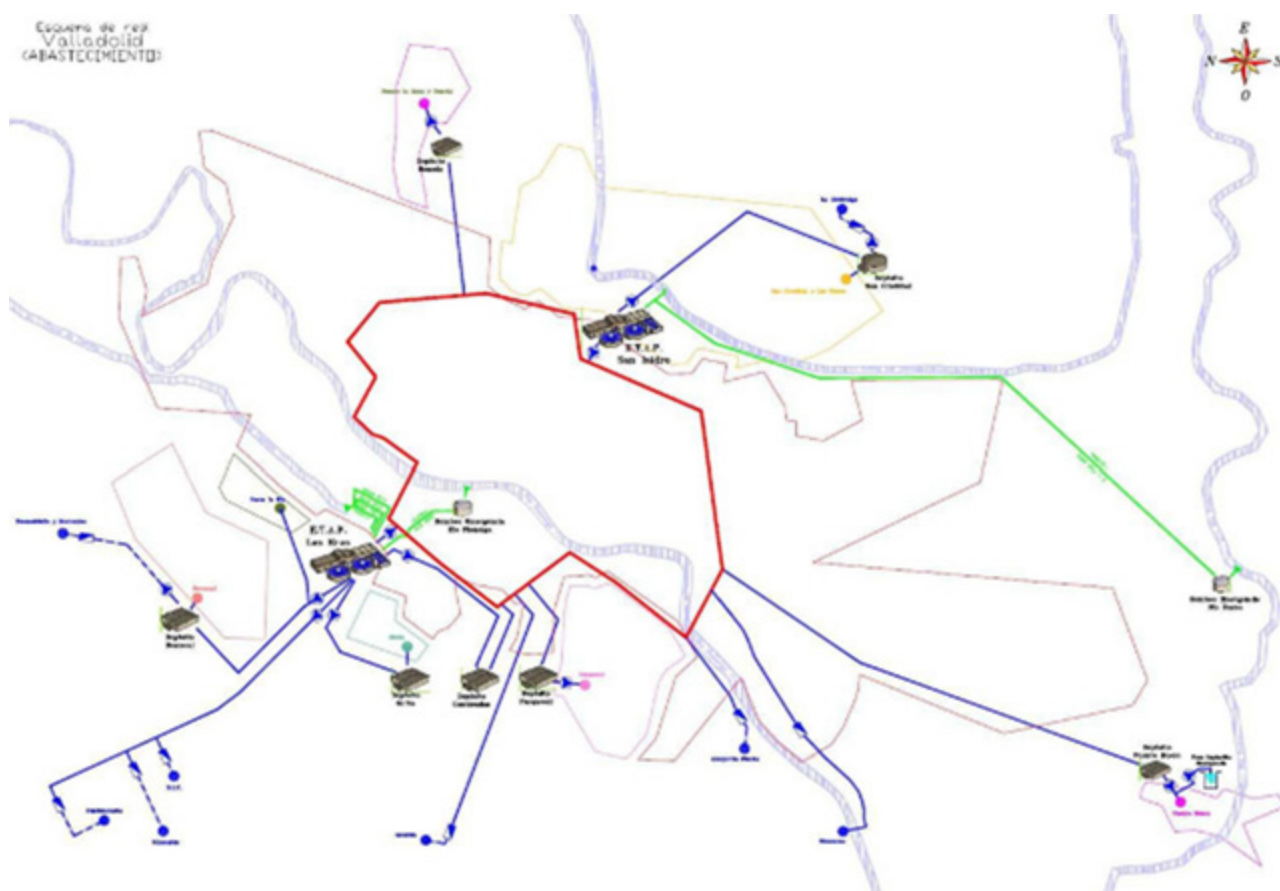


Figura 1 Red de distribución de agua de Valladolid

4.2.2 Gestión de presiones y sectorización de la red

El Plan de Sequía identifica la sectorización como herramienta estructural para mejorar la gestión: dividir y aislar zonas hidráulicas permite controlar con mayor precisión volúmenes y, en particular, analizar mínimos nocturnos, lo que facilita la detección temprana de fugas o consumos incontrolados. Además, señala explícitamente que explotar esta cantidad de datos requiere telecontrol y herramientas específicas de análisis, y que la sectorización debe acometerse en situación de normalidad (por la necesidad de modelización/simulación y análisis de cierres de malla), quedando en sequía la explotación de los resultados previamente implantados.

En paralelo, el Plan desarrolla el control y la regulación de presiones como medidas clave para mejorar la eficacia en el uso del agua: adecuar la presión a las necesidades y limitar sus variaciones evita presiones excesivas que inducen mayor consumo, incrementan pérdidas por fugas existentes y alteraciones que elevan el riesgo de averías. Como referencia ilustrativa, el Plan estima que una reducción de presión de 100 a 50 psi ($\approx 8,4$ a $4,2$ atm) en los grifos del consumidor, mayoritariamente alimentados en la ciudad por grupos de presión, reduce en aproximadamente un tercio el flujo de un grifo corriente, lo que contribuye al ahorro en usos temporales. No obstante, esta reducción no depende directamente del servicio, que mantiene una presión operativa en la red en torno a $2 - 2,2 \text{ Kg/cm}^2$ de manera prácticamente constante.

4.2.3 Dotaciones unitarias y marco de referencia operativo

En términos de dotación global, el Plan de Sequía sitúa a Valladolid en valores medios del orden de 225 l/hab·día, con un rango histórico entre 201 y 267 l/hab·día, y destaca que ello supone una presión sobre recursos inferior a $30 \text{ hm}^3/\text{año}$ en el término municipal. Adicionalmente, el Plan fija un marco de dotaciones máximas por escenario (de 270 l/hab·día en normalidad de partida hasta 160 l/hab·día en sequía muy grave), subrayando que estas dotaciones son agregadas e incluyen todos los usos, por lo que no deben confundirse con el consumo doméstico de los hogares.

Desde el punto de vista de eficiencia en el uso, este marco es útil porque “traduce” el rendimiento y la gestión operativa en objetivos cuantificables por escenario; y porque alinea las medidas de eficiencia (sectorización, reducción de presión, control antifraude, telelectura, etc.) con una reducción progresiva de dotación que debe estar disponible cuando se active cada grado de sequía.

4.2.4 Modernización operativa, telecontrol y enfoque de optimización conjunta agua-energía

El Plan describe la evolución desde una operación clásica de la red hacia una operación basada en adaptar capacidad y patrones de funcionamiento a la demanda real, programando consignas e indicadores para mantener la operación dentro de márgenes de estabilidad, con mínimo consumo de energía, mínimo caudal de fugas y mínimo deterioro de instalaciones. Este enfoque refuerza el papel de la digitalización (automatización y operación basada en el análisis de datos) como palanca para mejorar simultáneamente eficiencia hidráulica y eficiencia operativa.

En cuanto a la infraestructura, el Plan indica que la red de Valladolid es mallada, con una arteria principal de 1.000 mm que conecta ambas ETAP y configura una sola zona de abastecimiento con diversas zonas de presión alimentadas desde depósitos periféricos, permitiendo aún ciertas mejoras para la sectorización funcional y sensorización de redes, control de consumos y detección de anomalías de forma eficaz. Todas estas medidas se encuentran en desarrollo dentro del proyecto Aguavall 2.0 presentado al PERTE del ciclo del agua urbana, que incluye la redacción de este plan como una de sus actuaciones.

En el marco del PFRAR, conocer el funcionamiento de esta base técnica del abastecimiento permite plantear el fomento de la reutilización como una capa adicional de resiliencia y economía circular, especialmente cuando se produzca en proximidad a los puntos de consumo, para no

perder de vista que el desempeño del sistema en eficiencia depende, en primer término, de mantener bajo control los volúmenes de ineficiencia y los consumos no controlados identificados por el propio Plan.

4.3 Reutilización

La reutilización de aguas regeneradas constituye uno de los ejes estratégicos del presente **Plan de Fomento de la Reutilización del Agua Regenerada (PFRAR)**, a pesar de que no sea una alternativa económica inmediata a los recursos convencionales actualmente disponibles si se plantea a escala general, sino más bien planteada a escala limitada como **herramienta estructural de refuerzo de la resiliencia del sistema urbano**, dentro de un marco que busca la reducción de presiones sobre el medio hídrico y la adaptación a posibles escenarios de pertinaz sequía.

El análisis de la situación actual pone de manifiesto que el sistema de saneamiento y depuración de Valladolid y su alfoz dispone de una **capacidad técnica y operativa elevada**, con volúmenes de efluente depurado estables (en parte por el drenaje de freáticos a través del alcantarillado urbano) y calidades adecuadas, mientras que el grado real de aprovechamiento del recurso mediante reutilización es, en la práctica, **muy reducido o inexistente**. Esta disociación entre potencial disponible y uso efectivo del agua regenerada justifica la necesidad de un plan específico, coherente con el Plan de Sequía, el Plan Hidrológico del Duero y el marco normativo vigente.

Desde esta perspectiva, la reutilización se concibe en el PFRAR como un **recurso estratégico complementario**, orientado prioritariamente al fomento de la concienciación ciudadana y la reutilización en proximidad, los destinos ambientales y de gestión del riesgo hídrico, y de forma secundaria a determinados usos urbanos no potables, siempre que se demuestre su viabilidad técnica, económica y operativa.

4.3.1 Volúmenes disponibles en la EDAR de Valladolid

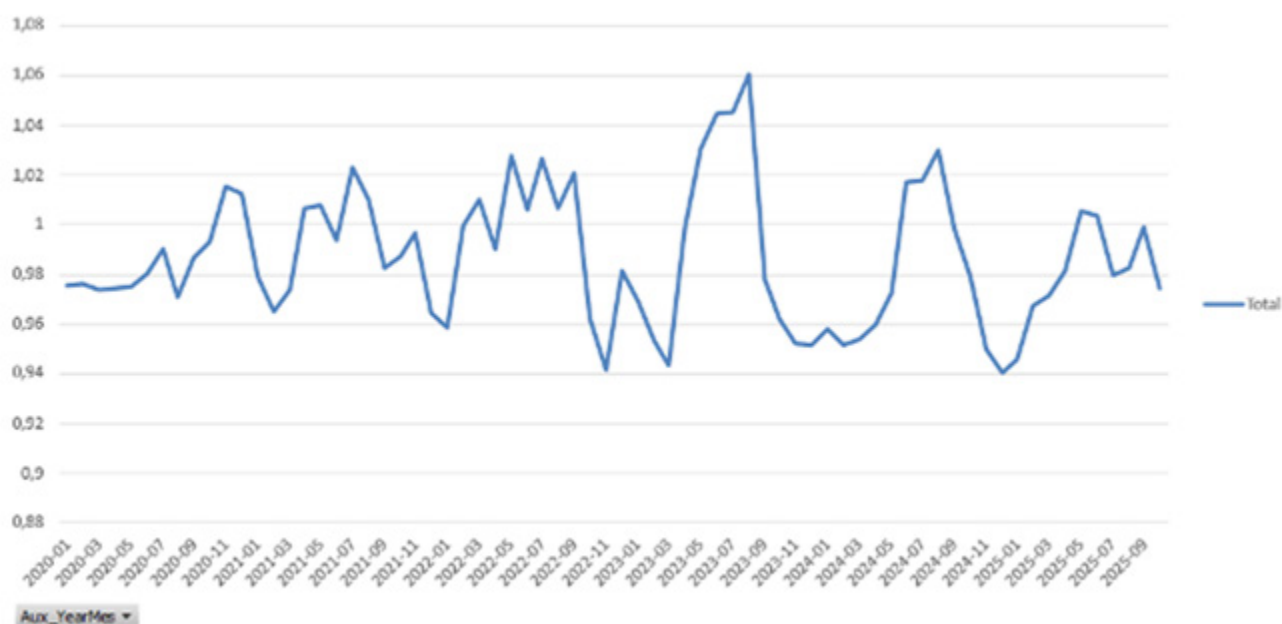
La EDAR de Valladolid actualmente trata las aguas residuales procedentes del núcleo urbano y de varios municipios del alfoz (Arroyo de la Encomienda, Laguna de Duero, Zaratán, Simancas y La Cistérniga, entre otros), alcanzando una carga contaminante autorizada de 518.318 habitantes equivalentes y un volumen anual autorizado de vertido de 51,18 hm³/año al río Pisuegra, conforme a la Resolución de revisión de la autorización de vertido de junio de 2024.

Los datos de operación de la EDAR en el periodo 2020–2024 muestran volúmenes efluentes anuales comprendidos entre 41 y 45 hm³/año, con rendimientos de eliminación superiores al 95 % en DQO y DBO₅, y una eliminación de nutrientes acorde con los límites más exigentes del Plan Hidrológico del Duero. Esta estabilidad operacional constituye una base sólida para plantear la regeneración del efluente tratado con garantías técnicas.

En la situación actual, la práctica totalidad del efluente depurado se restituye al medio receptor, que por otra parte depende en gran medida de este aporte para mantener cierto caudal mínimo, especialmente durante el estiaje y en situaciones de sequía; sin que exista una reutilización sistemática ni redes específicas de distribución de agua regenerada.

Con objeto de caracterizar de forma más precisa el comportamiento hidráulico de la EDAR de Valladolid y posibilitar la evaluación de los volúmenes efectivamente restituidos al cauce natural del Pisuegra, y los que podrían resultar disponibles para su potencial regeneración, se ha analizado la relación entre los caudales afluentes efluentes a partir de series mensuales correspondientes al periodo 2020–2025.

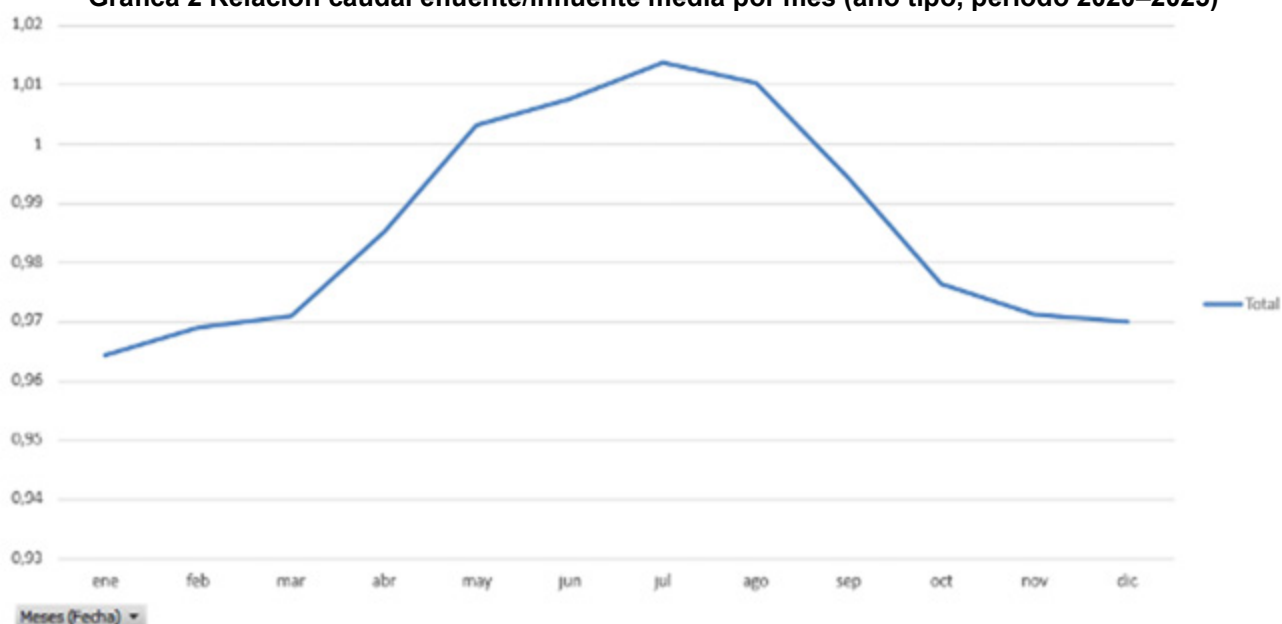
Gráfica 1 Relación caudal efluente/influente – media mensual (2020–2025)



La evolución temporal de la relación entre el caudal efluente y el caudal influente medio mensual en la EDAR de Valladolid. Los valores se sitúan mayoritariamente en un entorno próximo a la unidad, con oscilaciones moderadas a lo largo del periodo analizado.

Este comportamiento indica una estabilidad hidráulica global del sistema, caracterizada por el aporte constante de freáticos, compatible con una explotación regular de la planta y con la ausencia de pérdidas significativas de volumen en el proceso de tratamiento. Las desviaciones puntuales observadas, tanto por encima como por debajo de la unidad, responden previsiblemente a efectos estacionales, variaciones en aportes externos (bombeos de freáticos, infiltraciones, aguas de lluvia) y a la gestión operativa de la línea de tratamiento, sin que se aprecien tendencias estructurales anómalas.

Gráfica 2 Relación caudal efluente/influente media por mes (año tipo, periodo 2020–2025)



La Gráfica 02 muestra la relación caudal efluente/influente media agregada por meses, construyendo un año tipo a partir del periodo 2020–2025. Se observa un patrón estacional definido, con valores mínimos en los meses de invierno y máximos en los meses de verano.

Este comportamiento es coherente con la dinámica esperable del sistema de saneamiento urbano, en la que los meses estivales presentan una menor dilución por aportes pluviales y una mayor estabilidad del caudal tratado, mientras que en los meses invernales la relación se ve influida por incrementos de caudal afluente asociados a bombeo de freáticos, algunas infiltraciones y episodios de lluvia.

Desde el punto de vista del PFRAR, esta estacionalidad no constituye una limitación, sino un elemento de caracterización operativa, que refuerza la necesidad de considerar no solo la reutilización del efluente depurado en la EDAR, sino el aprovechamiento directo de freáticos bombeados desde las parcelas, o incluso la reutilización en origen, considerando los volúmenes disponibles sobre bases medias anuales y con criterios de flexibilidad en el estudio técnico económico para el dimensionamiento de los tratamientos de regeneración.

4.3.2 Infraestructuras existentes y limitaciones actuales

La EDAR de Valladolid dispone de una línea de tratamiento biológico avanzada tipo A2O, complementada con procesos de eliminación de nitrógeno y fósforo y con sistemas de control continuo de parámetros operativos (caudal, amonio, fósforo). Esta configuración cumple los requisitos de vertido y constituye una base técnica adecuada para la futura incorporación de tratamientos de regeneración.



Figura 2 EDAR de Valladolid

No obstante, el análisis de la situación actual pone de manifiesto limitaciones estructurales claras para el desarrollo de la reutilización a escala general:

- No existe una línea específica de regeneración, entendida como tratamiento terciario orientado al cumplimiento de las calidades exigidas por el RD 1085/2024 para usos urbanos, ambientales o industriales.
- No existe una red de distribución de agua regenerada, ni a escala municipal ni supramunicipal.
- No se dispone de títulos habilitantes para la producción y suministro de agua regenerada conforme al marco normativo vigente, ni dadas las necesidades de restitución del volumen

depurado al cauce receptor es posible asegurar la disponibilidad de ese caudal para su regeneración.

Estas limitaciones no responden a una incapacidad técnica, sino a la ausencia histórica de planificación específica para la reutilización, motivada por razones de eficiencia y eficacia, así como consideraciones económicas y ecológicas, circunstancias que con una visión holística e integradora el PFRAR deberá abordar de manera explícita.

4.3.3 Usos potenciales conforme al RD 1085/2024

De acuerdo con el marco normativo vigente, el Plan de Sequía de Valladolid y las guías técnicas estatales de planificación de la reutilización, el PFRAR establece una jerarquización de posibles usos y destinos del agua regenerada, atendiendo a criterios de viabilidad técnico-económica, interés ambiental, resiliencia frente a la sequía extrema y encaje territorial.

En este contexto, y de forma coherente con las orientaciones del Plan Hidrológico del Duero y del Plan DSEAR, la reutilización debe entenderse en Valladolid como un recurso excepcional, estratégico de carácter ambiental respetando la necesidad de restitución del volumen derivado al cauce receptor, orientado fundamentalmente más a garantizar la demanda mínima en caso de emergencia extrema que a reducir presiones sobre el medio hídrico y a reforzar la resiliencia del sistema frente a escenarios de sequía y cambio climático.

Destino ambiental.

Se consideran destinos prioritarios aquellos contemplados en el RD 1085/2024 como destinos ambientales, orientados a la protección del dominio público hidráulico y a la mejora del estado de las masas de agua. En el contexto de Valladolid y su alfoz, se incluyen:

- Recarga gestionada de acuíferos, especialmente en masas de agua subterránea que puedan desempeñar un papel de apoyo al sistema de suministro alternativo o de regulación hidrológica local.
- Restitución del efluente al cauce receptor para asegurar el mantenimiento de caudales ecológicos y caudales de soporte, en tramos fluviales sensibles del entorno del río Pisuerga y del sistema Duero situados aguas abajo.
- Soluciones basadas en la naturaleza, tales como humedales artificiales, zonas de infiltración, corredores verdes o sistemas de retención e infiltración, integrados en estrategias con ayudas de financiación europea para entidades municipales para su adaptación al cambio climático.

Estos destinos permiten maximizar el valor ambiental del agua regenerada, reducir presiones sobre recursos convencionales y minimizar conflictos con los retornos necesarios al medio receptor, en coherencia con los objetivos ambientales del Plan Hidrológico del Duero.

Usos complementarios.

De forma **complementaria y no prioritaria**, el marco normativo permite considerar otros usos, cuya implantación deberá evaluarse caso a caso desde un punto de vista técnico, económico y operativo:

- **Usos urbanos no potables**, como el riego de parques y jardines, el baldeo de calles o el riego de zonas verdes viarias, especialmente en ámbitos donde ya existan redes separativas o se propongan proyectos piloto financiables dentro de convocatorias de ayudas para actuaciones demostrativas que permitan una implantación progresiva y controlada.
- **Usos recreativos sin contacto directo**, siempre que se garantice la calidad exigida y la aceptación social, previa campañas de fomento del uso de estos recursos.

- **Usos industriales auxiliares**, limitados a procesos de limpieza, refrigeración o servicios generales, sin afectar a la seguridad sanitaria ni al funcionamiento del sistema de saneamiento, promoviendo la difusión del conocimiento para su implantación en origen.

Por el contrario, los **usos agrícolas**, aunque plenamente admisibles conforme al RD 1085/2024, presentan en el ámbito urbano de Valladolid una relevancia limitada y quedarían circunscritos, en su caso, a actuaciones puntuales en el alfoz o a proyectos específicos vinculados a usos ambientales indirectos.

El Plan de Fomento de la Reutilización del Agua Regenerada de Valladolid se orienta a **facilitar las futuras posibilidades de reutilización con fines ambientales y de resiliencia**, dejando abierta la posibilidad de incorporar usos urbanos no potables de manera gradual, siempre que se demuestre su viabilidad técnica, económica y social, aprovechando siempre las líneas de financiación previstas en el artículo 109 de la Ley de Aguas, especialmente mediante posibles convocatorias europeas habilitadas específicamente para ello, y sin comprometer los retornos necesarios al medio ni la sostenibilidad global del sistema.

4.3.4 Viabilidad técnica, económica y estratégica de la reutilización

Desde el punto de vista un técnico competente, la reutilización de aguas depuradas siempre es posible, aunque no siempre sea razonable. En Valladolid dado que la EDAR dispone de una línea de tratamiento biológico avanzada y de una operación estable en términos de caudal y calidad del efluente, esta situación permite plantear la regeneración del agua tratada sin necesidad de modificaciones estructurales profundas en la planta. No obstante, requiere crear una nueva línea de tratamiento terciario y desinfección, dimensionada en función de los usos previstos y de los requisitos de calidad establecidos en el RD 1085/2024.

La viabilidad técnica de la reutilización nunca se debe plantear de forma genérica, sino directamente vinculada a unos destinos concretos, para los que exista una demanda asegurada. En el ámbito de Valladolid estos serán estudiados en el presente PFUAR, contemplando, cuando se determinen, su desarrollo progresivo por fases. En este sentido, el Plan adopta para las demandas identificadas un enfoque modular y escalonado, en el que los tratamientos de regeneración se diseñan para dar respuesta, desde el inicio, a los destinos urbanos no potables más sencillos y continuos, y se aprovechan y adaptan posteriormente para nuevos destinos, incluido el destino ambiental, concebidas como actuaciones para el fomento del uso del agua regenerada.

Desde un sistema o tren de regeneración base, que puede dimensionarse para cubrir los requisitos de calidad para los usos más sencillos (tipo baldeo y limpieza viaria), conforme al RD 1085/2024, garantizando una barrera microbiológica robusta y una estabilidad hidráulica y operativa elevada. Uno de los planteamientos seguidos, desde el punto de vista técnico, es que esta base de tren de regeneración pueda ser modular y ampliable en diferentes fases de implementación de caudales para reutilización.

Por ejemplo, en el caso del destino ambiental mediante lagunaje o balsa reguladora, se puede establecer una adaptación del esquema de regeneración para asegurar la compatibilidad con ecosistemas acuáticos y con el medio receptor, evitando la presencia de desinfectantes residuales y reforzando el control microbiológico y de sólidos finos antes de la entrada en la lámina de agua, necesarios en caso de endurecimiento de la normativa de vertidos. De este modo, la reutilización con destino ambiental se integraría como una extensión funcional del sistema de regeneración ya implantado, sin necesidad de tratamientos radicalmente distintos ni de infraestructuras independientes.

El objetivo es claro, realizar un planteamiento que permita maximizar la eficiencia técnica y económica del sistema, reduciendo la complejidad operativa y facilitar la tramitación administrativa y la gestión del riesgo, al apoyarse en un esquema de tratamiento conocido, probado y

progresivamente ampliable, plenamente coherente con los principios del RD 1085/2024 y con la planificación de la reutilización a medio y largo plazo en la ciudad de Valladolid. De esta manera se respetan las prescripciones del Reglamento de Reutilización del Agua a nivel general, a la vez que se actúa para fomentar esa reutilización en el ámbito de gestión municipal, como son las instalaciones interiores y el aprovechamiento en origen, donde la norma general no entra.

Es importante indicar, que, desde el punto de vista económico, la reutilización no se presenta en el contexto de Valladolid como una alternativa competitiva directa frente a los recursos convencionales disponibles, en particular frente a las captaciones superficiales. Mucho menos es la regeneración viable económicamente frente a extracciones de aguas subterráneas, que se producen mayoritariamente como achique de sótanos debido a un elevado nivel freático y evacúan sus aguas directamente al alcantarillado, representando casi un tercio del influente que llega a la EDAR, a la que llegan mezcladas con las aguas residuales encareciendo el tratamiento. Tampoco es viable la regeneración frente a captaciones específicas de aguas subterráneas situadas en las proximidades de los puntos de consumo, cuyo coste unitario de extracción resulta, en la actualidad, inferior al asociado a un tren completo de regeneración, distribución y control del agua regenerada. Por tanto, la evaluación económica de la reutilización debe realizarse desde una perspectiva multicriterio, incorporando no solo los costes directos de inversión y explotación, sino también los beneficios ambientales, estratégicos y de resiliencia asociados, que no obstante deben evaluarse desde un enfoque integrador, incluyendo la necesidad de restitución al medio receptor del caudal derivado al consumo al inicio del término municipal. En este marco, la reutilización solo permite valorizar un recurso ya existente en condiciones extremas, que precisen reducir presiones sobre las masas de agua superficiales y subterráneas, siempre bajo la premisa de contribuir al cumplimiento de los objetivos ambientales del Plan Hidrológico del Duero que incluyen la restitución del caudal al medio receptor, aunque su coste unitario sea muy superior al de otras fuentes en condiciones normales de explotación.

Desde una perspectiva estratégica, la reutilización de aguas regeneradas adquiere un papel relevante como herramienta de gestión del riesgo hídrico. En el ámbito del servicio municipal de abastecimiento, saneamiento y depuración de Valladolid y su alfoz, la reutilización solo tiene cabida de manera limitada y en situaciones excepcionales, especialmente en escenarios de sequía grave y prolongada y de mayor variabilidad climática. En particular, su implantación puede contribuir a:

- reducir la dependencia del sistema respecto a los recursos convencionales, especialmente en situaciones de estrés hídrico y a nivel de instalaciones interiores, cuando no sea posible mejorar en la eficiencia en el consumo, como mejor medida preventiva para reducir la presión sobre los recursos hídricos a la que responde la Ley de Aguas.
- aportar flexibilidad operativa al sistema de abastecimiento, al disponer de un recurso adicional gestionable y desacoplado, en parte, de la hidrología natural, aunque excesivamente dependiente de recursos energéticos y de suministros químicos no ajenos a un mucho mayor impacto ambiental.

En este contexto, el Plan de Fomento del Uso del Agua Regenerada de Valladolid no plantea la reutilización como una solución universal ni como un sustituto de los recursos actuales, sino como un ámbito más del aprovechamiento de los recursos hídricos y su utilización eficiente por los ciudadanos, sin constituir un eje estructural de la planificación hídrica municipal, que se debe orientar prioritariamente a fines ambientales y de resiliencia, complementando la actual estrategia de Aquavall que promueve la eficiencia, el ahorro y la protección de los recursos hídricos convencionales.

5. Identificación de objetivos

5.1 Aprovechamiento y reutilización

El Plan de Fomento del Uso del Agua Regenerada de Valladolid tiene una visión holística e integradora, y por ello establece como objetivo prioritario el aprovechamiento planificado y eficiente de los recursos hídricos, tanto en origen, como depurados en la EDAR de Valladolid, instalación que trata actualmente en torno a 45 hm³ anuales, con una capacidad máxima de tratamiento del orden de 213.000 m³/día, y que constituye un elemento central del ciclo integral del agua en el ámbito urbano y periurbano de Valladolid.

Este Plan asume desde su formulación que dicho aprovechamiento, en el caso de la EDAR, no puede plantearse como un uso total ni indiscriminado del efluente depurado, sino como una gestión selectiva, flexible y estratégicamente orientada, condicionada por los requisitos técnicos, económicos, ambientales y normativos del sistema. En particular, se reconoce que una parte significativa de los caudales tratados debe seguir retornando al medio receptor para garantizar:

- el cumplimiento de los caudales ecológicos obligatorios,
- la conservación del estado de las masas de agua superficiales,
- y los objetivos ambientales establecidos en la Directiva Marco del Agua y en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Duero.

El Plan de Fomento del Uso del Agua Regenerada del municipio de Valladolid y su alfoz se enmarca plenamente en el tercer ciclo de planificación hidrológica (2022–2027) de la Demarcación Hidrográfica del Duero y resulta coherente con las orientaciones estratégicas que ya se anticipan para el cuarto ciclo, actualmente en fase de elaboración. Este marco de planificación refuerza un enfoque basado en la gestión del riesgo hídrico, la protección del estado ecológico de las masas de agua y la adaptación al cambio climático, sin imponer la reutilización como una obligación generalizada, sino como una herramienta ambiental y de resiliencia del sistema, aplicable allí donde resulte viable desde el punto de vista técnico-económico y esté ambientalmente justificada. Los recursos hídricos no convencionales, entre ellos la reutilización directa de aguas residuales depuradas, no tienen actualmente un peso significativo en el balance global de la demarcación.

Este reconocimiento es clave desde el punto de vista del Plan, aunque que no existe una cuantificación detallada de volúmenes reutilizados por sistemas urbanos concretos, ni objetivos volumétricos específicos de reutilización asociados a grandes aglomeraciones como Valladolid dentro del Plan Hidrológico. En consecuencia:

- No se fijan asignaciones explícitas de agua regenerada en los balances hídricos de los sistemas de explotación.
- No se establecen objetivos cuantitativos obligatorios de reutilización.
- La reutilización se integra de forma transversal como medida potencial dentro del Programa de Medidas, pero sin desagregación territorial ni sectorial detallada.

Esta ausencia de cifras cerradas no debe interpretarse como una falta de interés estratégico, sino como reflejo de una demarcación basada en recursos superficiales y subterráneos convencionales, donde la reutilización se concibe como un recurso complementario y selectivo, especialmente vinculado a la reducción de presiones ambientales en casos excepcionales por su elevado impacto ambiental.

El Plan Hidrológico del Duero integra la reutilización de aguas de manera coherente con los criterios del Plan DSEAR y la Directiva Marco del Agua, priorizando aquellas situaciones en las que esta práctica contribuye a reducir las presiones cuantitativas sobre masas de agua subterránea en mal

estado, permite la sustitución de recursos convencionales procedentes de masas en riesgo de no alcanzar el buen estado, y evita vertidos que puedan agravar problemas de calidad o afectar a ecosistemas sensibles. En este contexto, el PHD identifica como líneas de actuación prioritarias el estudio de la viabilidad de reutilizar aguas residuales depuradas como suministro alternativo a los bombeos, especialmente en masas de agua subterránea con mal estado cuantitativo, así como la integración de estas medidas en estrategias más amplias para la protección de ecosistemas dependientes del agua y el cumplimiento de objetivos ambientales.

El PFUAR reconoce expresamente que la reutilización no resulta económicamente viable desde una comparación directa de costes unitarios frente a los recursos convencionales actualmente disponibles, tanto superficiales como frente a captaciones subterráneas, sino que debe integrarse en una visión de planificación hidrológica a medio y largo plazo, coherente con:

- una pésima evolución de las aportaciones naturales en la cuenca del Duero,
- los escenarios más extremistas de reducción de recursos asociados al cambio climático,
- y la necesidad de reforzar la resiliencia del sistema urbano frente a episodios excepcionales de sequía prolongada.

El objetivo del PFUAR en materia de aprovechamiento, recirculación y reutilización se formula en términos de flexibilidad, sostenibilidad y resiliencia, incorporando la reutilización como un recurso estratégico de apoyo, prioritariamente orientado a fines ambientales y de gestión del riesgo, que permita:

- reducir presiones sobre los recursos hídricos convencionales en momentos críticos,
- mejorar el cumplimiento de los objetivos ambientales del dominio público hidráulico, siempre que se asegure el caudal del medio receptor aguas debajo de la EDAR
- y avanzar hacia un modelo de gestión más circular del agua urbana, sin comprometer la seguridad del abastecimiento ni la protección de las masas de agua.

5.2 Sustitución de recursos hídricos

El Plan de Fomento de la Reutilización del Agua Regenerada de Valladolid (PFRAR) establece como uno de sus objetivos principales la sustitución progresiva y selectiva de recursos hídricos convencionales por agua regenerada, limitada exclusivamente a aquellos destinos en los que dicha sustitución resulte viable desde un punto de vista técnico- económico, ambientalmente adecuada y estratégicamente justificada, evitando planteamientos generalistas o no adaptados a la realidad específica del sistema Valladolid–Alfoz.

De acuerdo con el Plan Especial de Emergencia ante Situaciones de Sequía y con la información disponible, el sistema de abastecimiento urbano de Valladolid presenta en la actualidad un consumo anual siempre inferior a los 30 hm³/año, frente a un margen concesional superior a 39 hm³/año (calculado respetando ya los caudales ecológicos por el Organismo de Cuenca), lo que garantiza una elevada seguridad de suministro en condiciones normales y excepcionales de explotación. En este contexto, el PFUAR asume explícitamente que la reutilización no debe orientarse a sustituir recursos destinados al abastecimiento urbano de agua potable, sino a liberar agua potable de usos no prioritarios, en coherencia con el principio de jerarquía de usos establecido en la planificación hidrológica vigente.

En consecuencia, el objetivo de sustitución de recursos se centra de forma preferente en aquellos consumos que cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:

- no requieren calidad de agua potable, ni su diversificación aprovechando aguas regeneradas presente un riesgo sanitario para la población tras el cambio,
- presentan una elevada flexibilidad operativa y estacional,
- y generan presiones significativas sobre los recursos convencionales, especialmente durante periodos de estiaje o de mayor estrés hídrico.

A partir de los criterios establecidos en el presente Plan —viabilidad técnico-económica, adecuación ambiental, encaje normativo y valor estratégico—, el PFUAR define la sustitución de recursos hídricos convencionales por agua regenerada mediante un modelo progresivo, escalonado y modulable, alineado con un horizonte de planificación a 10 años.

Los destinos prioritarios no se plantean como un listado cerrado de usos, sino como líneas de estudio para posibles actuaciones jerarquizadas en el tiempo, que permiten avanzar desde soluciones sencillas y de bajo riesgo hacia escenarios más complejos, únicamente cuando exista apoyo financiero estatal o europeo específico para este tipo de iniciativas, una demanda real, conocimiento operativo suficiente y plena justificación ambiental y económica. Y por supuesto, siempre sometidas a la autorización de una concesión de la autoridad de cuenca para el aprovechamiento de estos recursos que se detraerán del efluente evacuado al medio receptor.

- Fomento del conocimiento para la reutilización de aguas en origen, en las instalaciones interiores de los ciudadanos.
- Baldeo de calles y limpieza viaria en zonas de fácil acceso al recurso, por tratarse de un uso continuo, no potable y plenamente compatible con esquemas de producción y distribución simples (puntos de carga en origen, cisternas municipales o redes muy cortas).
- Riego de zonas verdes urbanas, priorizando parques situados en el entorno inmediato de la EDAR, donde la proximidad permita, minimizar infraestructuras de transporte, reducir costes de inversión, y limitar los riesgos operativos.
- Destino ambiental mediante balsa o laguna reguladora, asociada a la EDAR, con descarga controlada al medio receptor, que permita amortiguar variaciones hidráulicas, reforzar caudales de soporte en periodos críticos, y reducir presiones sobre recursos convencionales en situaciones de sequía. Este destino no se concibe como un tratamiento independiente, sino como una extensión funcional del sistema de regeneración que sea implantado y adaptando la gestión de la desinfección y el control de calidad a los requisitos que establezca la Confederación Hidrográfica del Duero.
- Determinados usos industriales auxiliares no alimentarios, tales como limpieza, refrigeración o servicios generales, dirigidos a usuarios concretos que manifiesten esa necesidad y no puedan disponer de ellos en origen. Esta línea queda condicionada a la existencia de usuarios interesados (“usuarios ancla”), con demandas excepcionales que no puedan ser satisfechas de otra manera, existiendo compatibilidad de los procesos industriales con la calidad del agua regenerada, y la viabilidad técnico-económica del transporte y suministro. Por su carácter específico y dependiente de acuerdos individuales, este destino no se incorpora como actuación estructural del Plan, sino como opción modulable y adaptable, alineada con el Plan de Gestión de la Sequía y orientada a reforzar la robustez del sistema productivo frente a escenarios de escasez.

En relación con los usos urbanos no potables, el ámbito de Valladolid presenta una escala territorial significativa, que refuerza el interés estratégico de la sustitución de recursos, en las diferentes opciones indicadas anteriormente.

Así, por ejemplo, en cuanto a la superficie total de zonas verdes urbanas asciende a 6.094.579 m², equivalentes a 609,46 ha, distribuidas entre parques, jardines, espacios libres urbanos y superficies singulares.

Tabla 14 Superficie estimada por GIS de Parques y Jardines

Tipo de Zona Verde	m ²	ha
ELUP	942.108	94,2107582
JD	143.459	14,345931
P	5.003.054	500,305385
SS+P	5.958	0,59583699
Total general	6.094.579	609,457912



Figura 3 Distribución de zonas verdes según PGOU

El ámbito seleccionado corresponde al parque situado junto a la EDAR y al cauce del río Pisuerga, con una superficie aproximada de **301.500 m² (~30 ha)**. La proximidad a la instalación depuradora permite plantear una solución de riego con **red de distribución muy limitada**, lo que convierte este uso en especialmente adecuado desde el punto de vista técnico y económico.

No obstante, dado que esta zona ya dispone para su riego de una captación directa desde el propio cauce, y que el volumen diversificado debe ser detráído del vertido para ser enviado al tratamiento de regeneración, se debe considerar que únicamente se produciría un incremento del caudal circulante por el cauce receptor a lo largo de unas pocas decenas de metros.



Figura 4 Parque cercano a la EDAR de Valladolid

Respecto a la red viaria urbana alcanza una longitud total de 747,06 km, incluyendo avenidas, calles, caminos, plazas y otros viarios urbanos.

Tabla 15 Evaluación de km de calles (según tipos)

Tipo	VALLADOLID (km)
AVDA	41.338
CALLE	410.150
CLLON	1.371
CMNO	177.895
CÑADA	13.521
CRTA	44.534
CUSTA	203
GRUPO	933
GTA	537
LUGAR	2.309
PASEO	29.379
PLAZA	20.872
PLZLA	63
PQUE	2.365
PSAJE	518
SBIDA	996
TRVA	72
Total general	747.058

Estas magnitudes no se traducen directamente en volúmenes de agua a sustituir, que deberán evaluarse en fases posteriores, pero sí permiten dimensionar el potencial teórico de sustitución en usos claramente identificados como no prioritarios desde el punto de vista del abastecimiento.

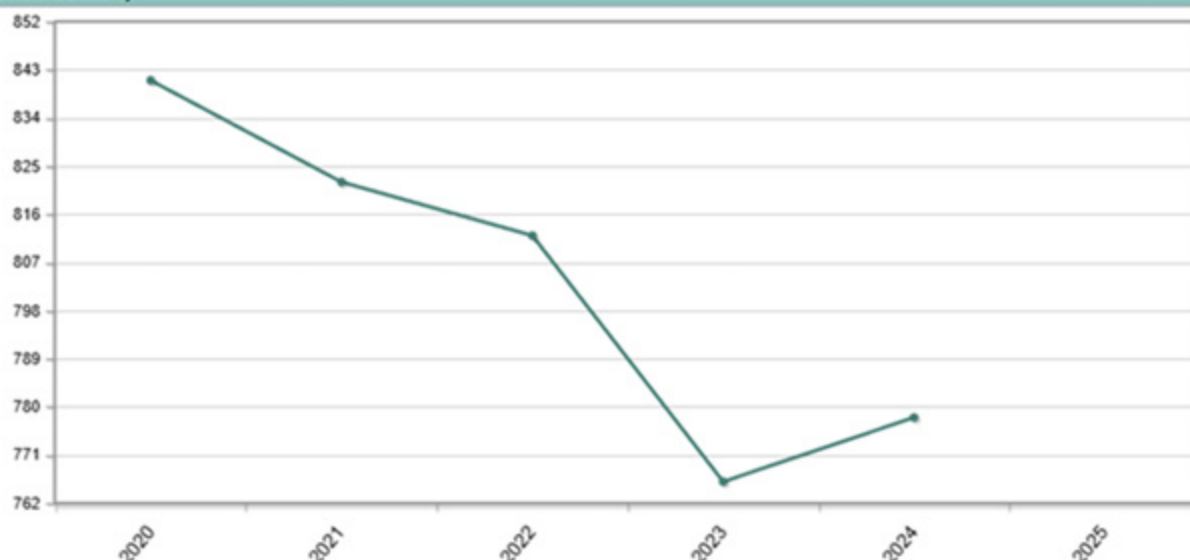
La Explotación Estadística del Directorio Central de Empresas (DIRCE) para el municipio de Valladolid muestra una evolución descendente del número de industrias extractivas (excepto construcción) en el periodo 2020–2023, seguida de una ligera recuperación en 2024, con una previsión de estabilización en 2025. En términos cuantitativos, el número de establecimientos industriales pasa de 841 en 2020 a 766 en 2023, lo que supone una reducción acumulada cercana al 9 % en tres años. En 2024 se observa un repunte hasta 778 establecimientos, rompiendo la tendencia descendente, aunque sin alcanzar todavía los niveles previos a 2021.

Gráfica 3 Evolución del tejido industrial de Valladolid.

Tabla Gráfico Mapa

	B_E Industria					
	2025	2024	2023	2022	2021	2020
47186 Valladolid		778	766	812	822	841

Explotación Estadística del Directorio Central de Empresas, Valladolid, Industrias extractivas (excepto construcción)



Esta evolución refleja un tejido industrial relativamente estable, pero sometido a procesos de ajuste y concentración, coherentes con la dinámica reciente del sector industrial en entornos urbanos consolidados. La ausencia de crecimientos bruscos indica que no se están produciendo procesos de industrialización extensiva que impliquen incrementos significativos de demanda hídrica estructural, sino más bien una reconfiguración del tejido existente.

Desde el punto de vista del PFUAR, este comportamiento tiene varias implicaciones relevantes:

- No se identifica una demanda industrial creciente que justifique el desarrollo de grandes infraestructuras de suministro de agua regenerada orientadas de forma generalizada al sector industrial.
- La reutilización con destino industrial debe plantearse, por tanto, de manera selectiva y oportunista, centrada en usos auxiliares no críticos (limpieza, refrigeración, servicios generales) y en usuarios concretos que presenten interés y necesidad además de compatibilidad técnica.
- Este contexto refuerza el enfoque del PFUAR de considerar el uso industrial del agua regenerada como una línea complementaria y no prioritaria, subordinada a la existencia de “usuarios ancla” y a condiciones claras de viabilidad técnica y económica.

Cabe destacar que cerca de la EDAR de Valladolid se encuentra el Polígono Industrial de San Cristóbal, uno de los nodos logístico-industriales más relevantes de Castilla y León. Con una superficie aproximada de 2,8 millones de m², cerca de 800 empresas instaladas y un flujo diario estimado de 15.000 trabajadores, concentra más del 50 % del suelo industrial del municipio, lo que lo convierte en un ámbito de especial interés desde el punto de vista del análisis de potenciales usos industriales del agua. Su localización estratégica, a unos 2 km del casco urbano, entre la N-122 (Soria) y la CL-601 (Segovia), y su conexión directa con la Ronda Interior Sur y Este, lo sitúan además en una posición privilegiada en términos de accesibilidad logística y proximidad a las principales infraestructuras urbanas, entre ellas la EDAR de Valladolid. Esta cercanía física

constituye un elemento clave para evaluar, desde una perspectiva técnica preliminar, la viabilidad de eventuales esquemas de suministro de agua regenerada con destino industrial.

Desde el punto de vista funcional, el polígono presenta una gran diversidad de actividades, con predominio de almacenes y servicios, y algunas industrias y talleres (metal, mecánica, mantenimiento, robótica, engranajes), pero mayor presencia de logística y transporte, comercio mayorista vinculado a automoción, ferretería, materiales de construcción y alimentación y servicios auxiliares a la actividad industrial.



Figura 5 Polígono Industrial San Cristóbal

Este perfil productivo es relevante para el PFUAR, ya que una parte significativa de estas actividades no requiere agua de calidad potable en todos sus usos, especialmente en procesos auxiliares como limpieza de instalaciones, refrigeración, servicios generales o determinados usos no críticos. No obstante, los consumos de la mayoría de estas actividades se pueden asimilar a usos comerciales más que industriales, y el propio análisis del tejido industrial de Valladolid pone de manifiesto que no existe una expansión industrial intensiva, sino más bien una estabilización del número de establecimientos, lo que desaconseja planteamientos de reutilización de carácter masivo o indiscriminado.

En cuanto a infraestructuras, el polígono dispone de:

- red de abastecimiento de agua potable con depósito de gran capacidad,
- red de saneamiento conectada al colector general de Valladolid, sin depuración propia,
- suministro eléctrico en baja, media y alta tensión,
- red de gas natural,
- hidrantes contra incendios distribuidos por todo el ámbito.

Esta configuración implica que cualquier esquema de reutilización externa de agua regenerada requeriría el desarrollo de infraestructuras específicas, tanto en la EDAR como en distribución mediante redes diferenciadas, puntos de entrega, control de usos, etc., lo que refuerza la necesidad de un enfoque selectivo y basado en oportunidades concretas, y no de una implantación generalizada. Por tanto, el fomento del uso del agua regenerada propuesto en la Ley de Aguas

debe priorizar las iniciativas en origen, aunque no sea de aplicación el Reglamento RD 1085/2024 destinado a la regeneración tras el vertido y la depuración general, ya que en estas instalaciones interiores, se producen las condiciones de seguridad, disponibilidad y sencillez del aprovechamiento, mejor permiten difundir el conocimiento para, por ejemplo, la reutilización de las aguas grises o los volúmenes achicados del nivel freático.

Desde la perspectiva del PFUAR, los polígonos industriales se identifican, por tanto, no como un destino prioritario inmediato, sino como un ámbito de oportunidad a medio plazo. Este planteamiento es coherente con la evolución reciente del tejido empresarial y con las orientaciones de la planificación hidrológica, que recomiendan evitar inversiones sobredimensionadas en reutilización industrial cuando no existe una demanda estable y claramente identificada.

5.3 Situación de partida del agua depurada (EDAR de Valladolid)

5.3.1 Descripción de la instalación.

La Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Valladolid se localiza en el sector suroeste del término municipal, en la margen derecha del río Pisuerga, aguas abajo del núcleo urbano consolidado. Su emplazamiento responde a criterios hidráulicos y ambientales, al situarse en una cota que permite la llegada mayoritariamente por gravedad de los principales colectores de saneamiento hasta los pozos de elevación, garantizando al mismo tiempo un vertido controlado al medio receptor.



Figura 6 Entrada a la EDAR de Valladolid.

La instalación se integra en un entorno periurbano con predominio de suelos agrícolas y espacios abiertos, manteniendo una separación efectiva respecto a las áreas residenciales, lo que minimiza afecciones por olores, ruidos u otras externalidades propias de la explotación. A su vez, su proximidad a la ronda exterior facilita las labores de operación, mantenimiento y transporte de subproductos, reforzando su papel como infraestructura estratégica del sistema de saneamiento metropolitano.



Figura 7 Planta General de la EDAR de Valladolid

La EDAR de Valladolid dispone de un esquema de tratamiento completo y avanzado, diseñado para cumplir holgadamente los requisitos de vertido establecidos en el Plan Hidrológico del Duero y en su autorización ambiental.



Figura 8 Detalle planta EDAR Valladolid.

La EDAR de Valladolid está diseñada para dar servicio al núcleo urbano y a varios municipios del alfoz, alcanzando una capacidad de diseño equivalente a 570.000 habitantes equivalentes, en línea con la autorización vigente de vertido.

Desde el punto de vista hidráulico, la instalación presenta las siguientes capacidades:

- Caudal máximo de diseño: 3,0 m³/s (≈ 259.200 m³/día).
- Volumen anual autorizado de vertido: 51,18 hm³/año.
- Tanque de tormentas: Capacidad de 7.500 m³, que entra en servicio cuando el caudal supera los 3,05 m³/s, evitando vertidos directos al medio receptor.



Figura 9 Tanque de tormenta.

Este dimensionamiento permite a la EDAR absorber episodios de lluvia intensa y picos de caudal, manteniendo la continuidad del tratamiento y la protección del río Pisuerga.

De forma sintética, el tratamiento se estructura en las siguientes líneas principales:

Línea de agua

- Pozo principal de llegada y bombeo.
- Tanque de tormentas.
- Pretratamiento completo:
 - Desbaste de gruesos y finos.
 - Desarenado–desengrasado.
- Tratamiento primario mediante decantación.
- Tratamiento secundario biológico mediante fangos activados con configuración A2O, que permite:
 - Eliminación de materia orgánica.
 - Eliminación biológica de nitrógeno.
 - Eliminación biológica de fósforo.

El tratamiento biológico se organiza en cuatro reactores en paralelo de 18.000 m³ cada uno, con compartimentación en:

- Zona anaerobia: 1.500 m³.
- Zona anóxica: 4.600 m³.
- Zona óxica: 12.272 m³.

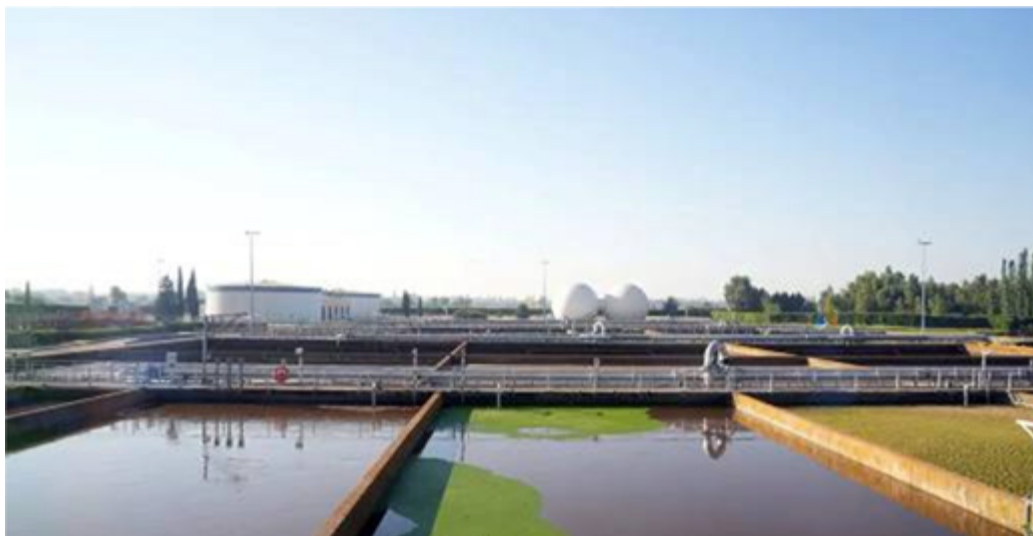


Figura 10 Tratamiento biológico.

- Decantación secundaria. La decantación secundaria se realiza mediante ocho decantadores circulares de 45 m de diámetro, asegurando una separación sólido-líquido eficaz incluso en condiciones de carga variable.



Figura 11 Decantación secundaria.

- Obra de salida al medio receptor.

La EDAR dispone de una **línea de fangos** completa, que incluye:

- Tamizado de fangos primarios.
- Espesamiento de fangos mixtos mediante centrífugas.
- Digestión anaerobia, con tres digestores primarios de 6.584 m³ cada uno, operando a 35–38 °C y dos digestores secundarios utilizados como tampón.
- Deshidratación mecánica mediante centrífugas.

La producción media de fangos alcanza 27.725 kg de materia seca al día, coherente con la carga tratada.

En el ámbito energético, la planta cuenta con:

- Sistema de recogida y almacenamiento de biogás.
- Dos gasómetros esféricos con una capacidad total de 4.300 m³.
- Sistema de cogeneración con una potencia eléctrica instalada de 4.074 kWe, incluyendo un motor principal de 1.560 kWe, con eficiencias:
 - Eléctrica: 40–45 %.

- Térmica: 45–50 %.

Este esquema permite una valorización energética significativa de los subproductos, reduciendo el consumo energético externo y reforzando el enfoque de economía circular.

5.3.2 Caudales y estabilidad operativa (2020–2025)

El análisis de los datos operativos del periodo 2020–2025 pone de manifiesto un funcionamiento estable y predecible, con los siguientes valores medios:

- Caudal influente medio: 121.560 m³/día (frente a un suministro en torno a los 76.500m³).
- Caudal efluente medio: 119.352 m³/día.
- Relación efluente/influente media: 0,987, lo que indica que aproximadamente el 98,7 % del volumen tratado se devuelve al cauce tras el proceso de depuración.
- Relación influente / suministro: 1,59, lo que indica la gran cantidad de freáticos que al ser drenados por el sistema de alcantarillado se mezclan con las aguas residuales.

El volumen total de agua depurada y vertida al río Pisuerga en el periodo analizado asciende a 254,34 hm³, con valores anuales comprendidos entre:

- 41,2 hm³/año (mínimos).
- 45,4 hm³/año (máximos recientes).

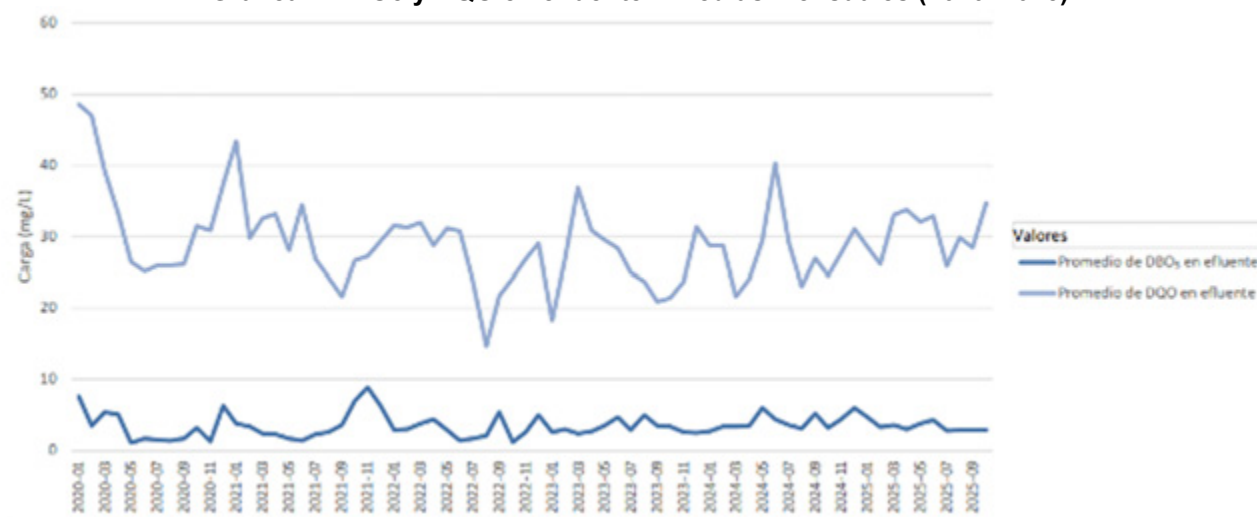
El análisis mensual revela un patrón estacional claro:

- Máximos de caudal en primavera (abril–mayo).
- Mínimos en verano, especialmente en agosto, asociados a menor actividad urbana y ausencia de precipitaciones.

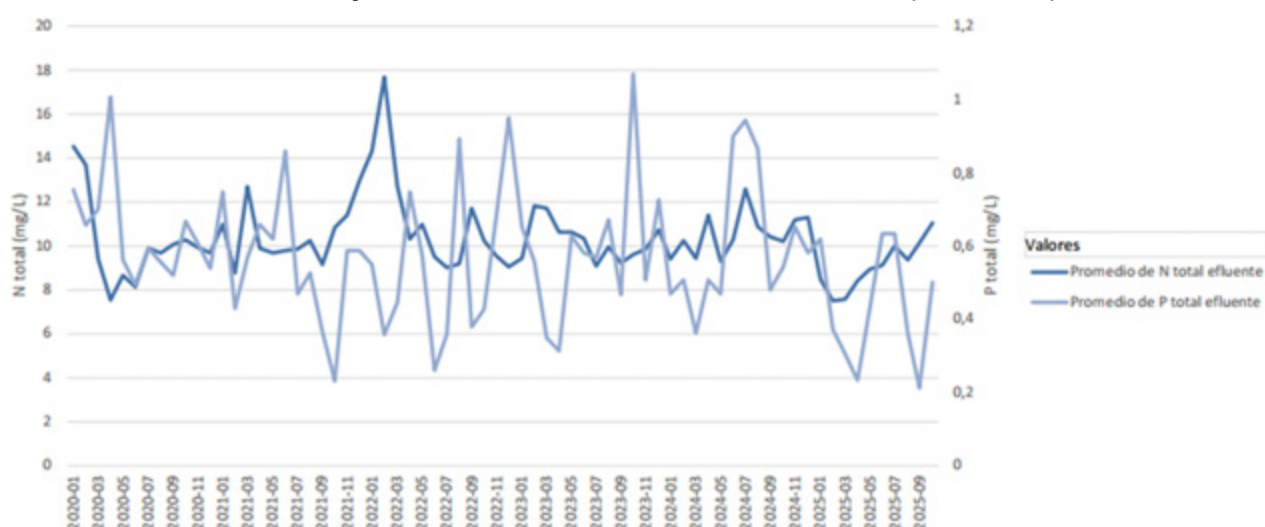
La EDAR está diseñada para tratar aguas con concentraciones máximas de entrada de:

- DBO₅: 300 mg/L.
- Sólidos en suspensión: 200 mg/L.
- Nitrógeno total: 40 mg/L.
- Fósforo total: 10 mg/L.

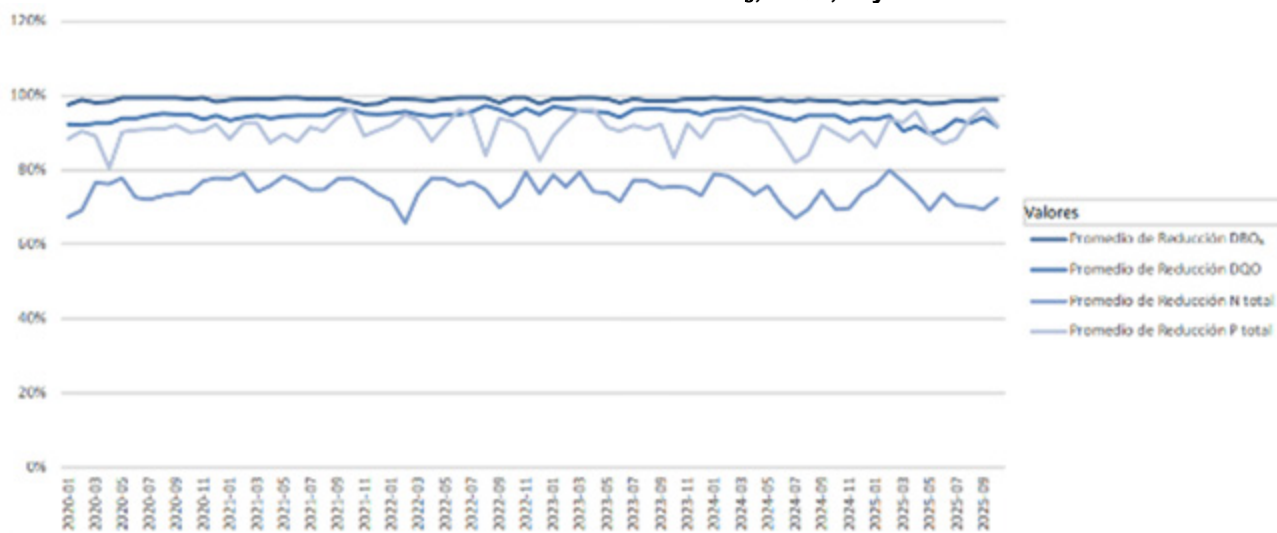
Gráfica 4 DBO5 y DQO en efluente – medias mensuales (2020–2025)



Gráfica 5 N y P totales en efluente – medias mensuales (2020–2025)



Gráfica 6 Eficiencia media mensual de eliminación de DBO₅, DQO, N y P total



Este esquema A2O permite una eliminación eficaz de DBO₅, DQO, nitrógeno y fósforo, configurando una calidad de efluente adecuada para el vertido a un medio receptor sensible como el río Pisuerga y, desde el punto de vista técnico, una base sólida para su posterior regeneración. En su configuración actual, la EDAR de Valladolid no dispone de una línea específica de regeneración orientada a la producción de agua regenerada conforme a los requisitos del RD 1085/2024. Los tratamientos existentes están diseñados para garantizar el cumplimiento de los objetivos de vertido, pero no incluyen ni requieren, por ejemplo, filtración avanzada ni desinfección reforzada específicamente orientada a usos de reutilización dada la inexistente demanda.

En consecuencia, aunque la calidad del efluente depurado es elevada y estable, la reutilización sistemática del agua tratada requeriría la implantación de tratamientos de regeneración, así como infraestructuras complementarias de regulación, control y distribución, aspectos cuyo estudio se debe abordar específicamente en el marco del PFUAR.

5.4 Reutilización de agua depurada antes de su devolución al DPH

El Plan de Fomento del Uso del Agua Regenerada de Valladolid (PFUAR) analiza las posibilidades de gestión del agua depurada de la EDAR de Valladolid desde un enfoque **gradual, funcional y adaptado al contexto real del sistema**, diferenciando claramente entre **reaprovechamientos internos, reutilización urbana no potable y reutilización estructural**, y evitando planteamientos genéricos que puedan comprometer los equilibrios ambientales del medio receptor.

La ciudad de Valladolid capta actualmente un volumen de entre 27 y 28 hm³ anuales de los tramos finales de los canales del Duero y de Castilla que constituyen sus fuentes primarias de abastecimiento, retornando sus caudales excedentarios al río Pisuerga antes o a su paso por la ciudad. Por otra parte, la EDAR de Valladolid trata actualmente del orden de **40–45 hm³ anuales**, procedentes de las aguas residuales y del freático, volumen que tras depurarse se devuelve al río Pisuerga tras el cumplimiento de los límites establecidos en la autorización de vertido vigente. Este retorno al dominio público hidráulico (DPH) desempeña una **función ambiental esencial**, contribuyendo al mantenimiento de caudales, a la capacidad de dilución y al equilibrio ecológico del sistema fluvial. En consecuencia, el PFUAR **no plantea una reducción indiscriminada de los caudales vertidos**, sino una **gestión selectiva y técnicamente justificada tanto de los recursos hídricos en origen como del efluente**, orientada a maximizar su valor operativo, ambiental y estratégico, y contribuir a la protección y mejora del dominio público hidráulico.

Como **primer nivel de actuación**, el PFUAR identifica el **reaprovechamiento interno del agua utilizada** para usos propios tanto en las instalaciones de los consumidores, como depurada en la propia EDAR como una medida prioritaria, inmediata y de bajo impacto ambiental.

Estos usos incluyen fundamentalmente:

- limpieza y baldeo de viales internos,
- limpieza de edificios de proceso (en el caso de la EDAR pretratamiento, deshidratación de fangos, galerías técnicas),
- limpieza de paramentos, pasarelas (en el caso de la EDAR de vertederos de decantadores),
- operaciones de mantenimiento (para la EDAR en reactores biológicos, digestores y línea de fangos).

Desde el punto de vista técnico, estos consumos **no requieren calidad de agua potable**, ni suponen una extracción neta del recurso, ya que el agua empleada **retorna posteriormente al sistema de saneamiento y a la cabecera de la EDAR**. En consecuencia, estas actuaciones **no constituyen reutilización en sentido estricto**, sino **recirculación o reaprovechamiento operativo**, plenamente compatible con el marco normativo y sin afección al balance de retornos al DPH.

A partir del análisis de la configuración física de la EDAR de Valladolid, se estima que:

- la superficie de viales y zonas de maniobra susceptibles de baldeo asciende a varios miles de metros cuadrados,
- existen **entre 5 y 7 edificios** con necesidades periódicas de limpieza técnica,
- la instalación cuenta con **8 decantadores secundarios circulares**, múltiples reactores biológicos y una línea de fangos con tanques abiertos que requieren limpieza frecuente de seguridad.

En términos de orden de magnitud, el volumen de agua necesario para estas operaciones internas se sitúa en el rango de **decenas a algunos cientos de metros cúbicos diarios**, con caudales instantáneos moderados (del orden de **10–25 L/s**), perfectamente asumibles mediante un sistema de afino sencillo del efluente secundario (filtración básica y desinfección), sin necesidad de infraestructuras complejas. De hecho, la EDAR se diseñó y aún dispone de un pequeño sistema de aprovechamiento para usos internos que no obstante resulta inviable no solo desde un punto de vista económico sino por ser identificado como un foco de riesgo sanitario.

Este enfoque está alineado con experiencias recientes en otras EDAR urbanas españolas, donde el uso interno de agua depurada constituye el **primer escalón efectivo de reducción del consumo de agua potable**, de carácter excepcional en contextos de sequía.

No obstante, tanto la necesidad de tratamiento para adecuación de estos recursos como el riesgo sanitario serían mínimos en el caso de aprovechamiento de los freáticos achicados en origen, antes de su mezcla con el resto de las aguas residuales en la instalación interior del abonado, como incluso de sus aguas grises, algo que no es posible en la EDAR donde todas llegan mezcladas.

De forma complementaria, el PFUAR contempla la posibilidad de destinar una parte del efluente depurado, tras tratamiento de regeneración adecuado, a **usos urbanos no potables** tales como:

- baldeo de calles,
- limpieza viaria,
- riego de zonas verdes municipales.

Estas actuaciones se plantean de forma **progresiva y localizada**, priorizando soluciones **modulares o de pequeña escala**, y siempre que exista una demanda real y concentrada que justifique la inversión. Este enfoque es coherente con experiencias contrastadas en otras ciudades, donde la reutilización urbana se ha implantado inicialmente mediante sistemas flexibles y escalables, antes de acometer redes estructurales de gran extensión.

En cualquier caso, la implantación de estos usos deberá garantizar el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos en el RD 1085/2024, la compatibilidad con los retornos ambientales al medio receptor, y la viabilidad técnica y económica del sistema.

5.5 Uso y regeneración de fuentes de energía renovable

El Plan de Fomento de la Reutilización del Agua Regenerada de Valladolid (PFUAR) incorpora como objetivo transversal el análisis de la posible integración entre los eventuales procesos de regeneración del agua depurada y los sistemas de producción de energía renovable existentes o en desarrollo en la EDAR de Valladolid, con el fin de minimizar el impacto energético asociado a dichos procesos y preservar la viabilidad técnica y económica del sistema en su conjunto.

Este enfoque resulta especialmente relevante en el contexto de la reutilización de aguas depuradas, dado que los tratamientos de regeneración a nivel general, especialmente aquellos orientados a usos urbanos no potables o industriales, presentan mucho mayores consumos energéticos que los tratamientos actuales de depuración. En consecuencia, el PFUAR plantea que la evaluación de cualquier solución de regeneración más allá del fomento de la reutilización en origen que ya se establecía en el Plan de Emergencia por Sequía, deberá abordarse de forma integrada con la disponibilidad energética del sistema y con los costes operativos asociados, evitando planteamientos desconectados de la realidad y de las posibilidades de la instalación.

El Plan parte de una situación de partida favorable, al disponer la EDAR de Valladolid de infraestructuras consolidadas de valorización energética, entre las que destaca el aprovechamiento del biogás generado en los procesos de digestión anaerobia de fangos, mediante sistemas de cogeneración eléctrica y térmica. Este esquema permite valorizar un subproducto del proceso de depuración, reducir el consumo de energía procedente de la red y disminuir la huella de carbono asociada a la explotación de la instalación.

De forma complementaria, se han impulsado actuaciones de autoconsumo eléctrico mediante energías renovables en el ámbito de la EDAR, destacando la implantación de una instalación fotovoltaica de aproximadamente 1,18 MW de potencia instalada, destinada al autoconsumo directo de la energía generada. Esta infraestructura contribuye a cubrir una parte significativa del consumo

eléctrico anual de la planta, estimado en torno a 15.000 MWh, reforzando la estabilidad energética del sistema y reduciendo su exposición a la volatilidad de los precios de la energía.

A pesar de estas iniciativas aún no ha sido posible alcanzar la autosuficiencia energética de la depuración de aguas residuales, lo que se contempla dentro de la estrategia del servicio.

En este contexto, el PFUAR establece que la eventual implantación de trenes de regeneración de agua depurada deberá supeditarse a un análisis previo de compatibilidad energética, en el que se valoren, entre otros aspectos:

- la correspondencia entre la demanda energética adicional y la producción renovable disponible,
- la capacidad del sistema de autoconsumo para absorber nuevos consumos sin necesidad de incrementos significativos de potencia contratada,
- y la contribución global de la actuación a los objetivos de eficiencia energética, reducción de emisiones del sistema y búsqueda de la autosuficiencia energética.

Asimismo, el Plan debe considerar que la existencia de infraestructuras de generación renovable en la EDAR prioriza esta estrategia de autosuficiencia, y que cualquier solución de regeneración debe estar no solo alineada con los criterios de sostenibilidad, economía circular y descarbonización, sino también evitar comprometer la autosuficiencia energética de las instalaciones y especialmente el equilibrio económico del servicio.

En coherencia con su naturaleza como instrumento de planificación estratégica, el PFUAR no define compromisos de inversión ni calendarios cerrados en materia energética asociados a la reutilización, planteando las posibles actuaciones como líneas de análisis y evaluación progresiva, cuya eventual materialización deberá quedar condicionada a la evolución del contexto hídrico, energético y económico, así como a los resultados de los correspondientes análisis de coste-eficiencia.

De este modo, el Plan mantiene un enfoque integrado agua–energía, en el que la reutilización del agua regenerada, en caso de desarrollarse, deberá respetar las estrategias del servicio establecidas, apoyarse en la optimización de los recursos energéticos existentes y en la incorporación progresiva de fuentes renovables, alineándose cuando sea preciso con las políticas de transición energética y manteniendo en todo momento la flexibilidad necesaria para una gestión racional, eficiente y sostenible del ciclo integral del agua.

6. Análisis de alternativas

El presente apartado tiene por objeto identificar, describir y ordenar las distintas alternativas técnicas potenciales para la regeneración y eventual reutilización del agua depurada en la EDAR de Valladolid, sin que ello suponga, en ningún caso, la adopción de compromisos de ejecución, inversión o calendario, sino la definición de un marco técnico de referencia que permita evaluar opciones de forma objetiva cuando concurren las condiciones adecuadas.

El análisis de alternativas se concibe como un ejercicio prospectivo y no prescriptivo, orientado a disponer de un abanico de soluciones técnicamente viables que puedan ser activadas de manera progresiva, modulable y condicionada, en función de la evolución de la demanda, del contexto hidrológico, de la viabilidad económica y de las prioridades estratégicas del sistema Valladolid–Alfoz, además de servir como catálogo que permita aprovechar oportunidades ante la aparición de posibles líneas de ayudas procedentes de convocatorias europeas para la financiación de este tipo de actuaciones, sin perjuicio de las que pueda habilitar la administración beneficiada por la sustitución de estos recursos hídricos de acuerdo con el art. 109 quinquies de la Ley de Aguas.

Las alternativas técnicas se analizan teniendo en cuenta los siguientes condicionantes de partida:

- Las características reales del efluente secundario de la EDAR de Valladolid, con un volumen medio tratado en el periodo 2020–2025 del orden de 40–45 hm³/año y una calidad muy elevada en términos de eliminación de materia orgánica y nutrientes.
- Los usos prioritarios definidos en el PFUAR, centrados en usos urbanos no potables y destinos ambientales, conforme a lo establecido en el Real Decreto 1085/2024.
- La necesidad de dimensionar los caudales regenerados de forma proporcionada, partiendo de porcentajes reducidos del caudal total tratado y evitando planteamientos sobredimensionados.
- La conveniencia de adoptar soluciones técnicas modulares, escalables y reversibles, que permitan ampliar o adaptar las instalaciones sin comprometer la operación ordinaria de la EDAR.
- La compatibilidad hidráulica, operativa y espacial con las infraestructuras existentes, valorando la disponibilidad de espacio para una eventual Estación Regeneradora de Agua (ERA) dentro del recinto de la EDAR o en su entorno inmediato.
- La exigencia de que cualquier alternativa sea desarrollada, en su caso, mediante proyectos específicos, con su correspondiente justificación técnica, económica y administrativa, y sometida a los procesos de aprobación presupuestaria y de planificación de infraestructuras que correspondan.

Desde este enfoque, el apartado no pretende seleccionar una solución única, sino establecer un marco comparativo que permita:

- Analizar diferentes trenes de tratamiento de regeneración, desde soluciones sencillas de afino del efluente secundario hasta configuraciones más avanzadas, en función del uso previsto.
- Evaluar distintas opciones de distribución y entrega del agua regenerada, priorizando esquemas simples y de baja complejidad logística.
- Integrar la reutilización dentro de una estrategia por fases, coherente con los horizontes temporales del PFUAR (0–5, 5–8 y 8–10 años).

Las alternativas aquí descritas deben entenderse, por tanto, como posibles líneas de actuación, cuya materialización efectiva quedará supeditada a la demostración de su viabilidad técnica, económica y ambiental en cada momento, así como a su encaje dentro de la planificación general del ciclo integral del agua de Valladolid.

6.1 Alternativas técnicas

Dentro de las alternativas técnicas, es necesario identificar y analizar la potencialidad de algunas de estas tecnologías para la regeneración y reutilización del agua depurada en la EDAR de Valladolid, considerando exclusivamente aquellas opciones que resultan **compatibles con los usos urbanos no potables y los destinos ambientales**, de acuerdo con el Real Decreto 1085/2024 y con el contexto hidráulico, operativo y ambiental del sistema Valladolid–Alfoz.

Las alternativas que se describen a son **escenarios técnicos de referencia** que permiten evaluar, de forma ordenada y comparativa, las distintas soluciones disponibles en el estado actual de la tecnología. Su eventual desarrollo quedaría condicionado, en todo caso, a la elaboración de los correspondientes estudios técnicos y económicos de detalle, a la constatación de la existencia de una demanda real y a su inclusión en la planificación de infraestructuras municipales.

El análisis se orienta a soluciones:

- técnicamente viables sobre el efluente actual de la EDAR de Valladolid ($\approx 40\text{--}45 \text{ hm}^3/\text{año}$),
- modulables y escalables por fases, teniendo en cuenta que los planes de fomento del uso del agua regenerada tienen una aplicabilidad limitada.
- compatibles con la continuidad del vertido al dominio público hidráulico, y con el cuarto ciclo de planificación de la Confederación Hidrográfica del Duero.

6.1.1 Criterios generales de análisis: calidades y caudales

La definición de alternativas técnicas parte de dos criterios fundamentales: la calidad del agua regenerada requerida según el uso final y el volumen de agua susceptible de ser regenerado, siempre como una fracción del caudal total tratado en la EDAR. Además, se debe realizar el estudio de la selección de los usos, calidades y caudales teniendo en cuenta un análisis multicriterio de los siguientes parámetros:

1. Nivel de calidad del agua requerido según el uso o destino previsto, de acuerdo con los valores máximos admisibles establecidos en el RD 1085/2024.
2. Compatibilidad del tratamiento de regeneración con la línea de depuración existente en la EDAR, evitando interferencias operativas y manteniendo la estabilidad del proceso principal.
3. Complejidad operativa y energética de las soluciones propuestas, incluyendo su impacto en la explotación y en los costes asociados.
4. Posibilidad de implantación por fases, mediante soluciones modulares, escalables y adaptables a la evolución de la demanda.
5. Necesidades de inversión y mantenimiento, valoradas de forma proporcional a los beneficios esperables y al contexto económico del sistema Valladolid–Alfoz.

Este marco permite analizar alternativas técnicas de forma coherente, evitando planteamientos sobredimensionados y garantizando que cualquier propuesta pueda ser evaluada, en su caso, mediante estudios técnicos y económicos de mayor detalle.

6.1.1.a Usos y calidades de referencia

De acuerdo con el RD 1085/2024 y con los usos considerados razonables en el ámbito de Valladolid, el análisis se centra en los siguientes escenarios:

Usos urbanos no potables

- Baldeo de calles y limpieza viaria.
- Riego de zonas verdes urbanas (parques, jardines y espacios similares).

- Estanques ornamentales y caudales circulantes **no accesibles al público** (por ejemplo, la lámina de agua existente junto a la EDAR).

Estos usos se asocian principalmente a **calidades urbanas A, B o C**, en función del grado de exposición y del riesgo sanitario.

Tabla 16 Valor máximo admisible para el uso urbano

Clase de calidad/Usos urbanos	E. coli (UFC/100 mL)	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)	Nematodos intestinales (huevo/10L)	Bacteriófagos (UFP/100mL)	Legionella spp. (UFC/L)	Contaminantes
Calidad U. A+. – Riego de jardines privados. – Descarga de aparatos sanitarios.	Ausencia	5	10	1	100 cuando existe riesgo de aerosolización	Ver observaciones	Ver observaciones
Calidad U. A. – Estanques y caudales circulantes ornamentales accesibles al público.	10	5	10	1	100 cuando existe riesgo de aerosolización	Ver observaciones	Ver observaciones
Calidad U. B. – Baldeo de calles. – Riego de zonas verdes urbanas (parques y similares). – Sistemas contra incendios. – Lavado industrial de vehículos.	100	–	Conforme DARU	–	–	Ver observaciones	Ver observaciones
Calidad U. C. – Estanques y caudales circulantes ornamentales no accesibles al público.	1.000	–	Conforme DARU	–	–	–	Ver observaciones

Usos industriales (no alimentarios)

- Usos auxiliares de proceso, limpieza, refrigeración o servicios generales.
- Se consideran, a efectos de planificación estratégica, dos niveles de calidad:
 - **Calidad A+**, como escenario de máximo requisito, vinculada a posibles desarrollos industriales futuros de alto valor añadido.
 - **Calidad C**, para usos industriales menos exigentes y con menor contacto humano.

Tabla 17 Valor máximo admisible para el uso industrial (no alimentaria)

Uso industrial, excepto en la empresa alimentaria	E. coli (UFC/100 mL)	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)	Legionella spp. (UFC/L)	Contaminantes
Calidad I. A+. – Torres de refrigeración y condensadores evaporativos en agua de aporte a la torre.	Ausencia	5	10	Ver observaciones	Ver observaciones
Calidad I. C. – Aguas de proceso: aquellas que están en contacto directo en algún momento con materias primas, materiales, productos intermedios o productos finales de un proceso industrial. – Aguas de limpieza: aguas destinadas a la limpieza de equipos, objetos, materiales, tuberías y superficies en áreas industriales, excepto en la empresa alimentaria. – Otros usos industriales.	1.000	–	Conforme DARU	Ver observaciones	Ver observaciones

Destino ambiental

- Recarga del acuífero subsuperficial por percolación localizada a través del terreno.
- Aporte de recursos hídricos a humedales u otros sistemas acuáticos.

Para estos destinos, el RD 1085/2024 no establece una clase de calidad cerrada, sino que indica que los requisitos deberán definirse **caso a caso**, en función del tipo de actuación, de la masa de agua afectada y de la normativa sectorial aplicable, con especial atención a la protección de las aguas subterráneas y superficiales.

Tabla 18 Valor máximo admisible para el destino ambiental.

Destino ambiental	E. coli (UFC/100 mL)	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)	Nematodos intestinales (huevo/10L)	Bacteriófagos (UFP/100mL)	Contaminantes
Calidad R. A+. – Recarga artificial de acuíferos por inyección directa.	Ausencia	5	10	1	100 Solo cuando el acuífero sea para abastecimiento	Ver observaciones
Calidad R. C. – Recarga artificial de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.	1.000	–	Conforme DARU	–	–	Ver observaciones
Calidad por definir. – Aporte de recursos hídricos a humedales y otros ecosistemas acuáticos.	Se estudiará caso por caso					

6.1.1.b Criterios de caudal

El PFUAR no plantea la regeneración indiscriminada del efluente depurado, sino la posible reserva de fracciones limitadas y modulables del caudal tratado, compatibles con el mantenimiento de los retornos ambientales y con la planificación hidrológica vigente.

La EDAR de Valladolid dispone de una autorización de vertido revisada en junio de 2024 que establece un volumen anual máximo autorizado de 51,18 hm³/año, correspondiente a una carga contaminante de 518.318 habitantes equivalentes. Este volumen no constituye el marco de referencia máximo, ya que jamás se alcanzó tal volumen, y por tanto no representa el disponible para regeneración. Por tanto, se debe adecuar la disponibilidad al efluente vertido (40-45 hm³) y estimar la demanda en base al caudal realmente suministrado en la actualidad (27-28 hm³), ambos muy inferiores.

En este sentido, cualquier planteamiento de reutilización debe garantizar:

- El mantenimiento de los caudales de retorno al río Pisuerga, necesarios para el cumplimiento de los objetivos ambientales de la masa de agua DU-375. Garantizando el mantenimiento de los caudales de retorno al río Pisuerga, en el tramo correspondiente a la masa de agua DU-375 (río Pisuerga desde Valladolid hasta la confluencia con el río Duero), asegurando que dichos retornos contribuyen al cumplimiento de los objetivos ambientales y al no deterioro del estado ecológico y químico establecidos en el Plan Hidrológico del Duero para el periodo 2022-2027.
- La coherencia con los caudales ecológicos y balances hídricos definidos en el Plan Hidrológico del Duero (2022-2027) y con las orientaciones del cuarto ciclo de planificación. La explotación del sistema y el uso de agua regenerada se ajustarán a los caudales ecológicos de referencia y a los balances hídricos definidos en el Plan Hidrológico del Duero 2022-2027, incluyendo los caudales mínimos, tasas de cambio y, en su caso, caudales de máximos generadores, así como a las orientaciones del cuarto ciclo de planificación hidrológica en materia de adaptación al cambio climático.
- La sustitución efectiva de extracciones de recursos convencionales, de modo que el uso de agua regenerada contribuya a reducir presiones sobre masas de agua superficiales o subterráneas, y no a incrementar la demanda global. El uso de agua regenerada tiene un carácter sustitutivo de recursos convencionales, de manera que las concesiones o autorizaciones de reutilización se vinculen explícitamente a la reducción o sustitución de extracciones desde masas de agua superficiales o subterráneas, en línea con los criterios del Plan Hidrológico del Duero y con las directrices del Plan Nacional de Reutilización de Agua. Así mismo, se considera que la extracción de freáticos por achique de sótanos y las infiltraciones al alcantarillado, no constituyen presiones sobre el acuífero superficial, sino más bien de este sobre las infraestructuras de alcantarillado y depuración, que, al mezclarse con las aguas residuales, incrementan su volumen y dificultan su tratamiento.

Los usos internos de la EDAR de Valladolid (limpieza, baldeo y mantenimiento) y los usos urbanos no potables de proximidad se asocian, de manera consistente con la experiencia en las propias instalaciones entre 1995 y 2012, así como en instalaciones similares, a caudales reducidos, del orden de decenas o, como máximo, algunos cientos de metros cúbicos diarios, con una marcada intermitencia y estacionalidad.

El análisis de la configuración física de la EDAR, a partir de la imagen aérea y de su esquema funcional, permite identificar los principales focos de consumo potencial de agua no potable:

- Viales internos y zonas de maniobra, incluyendo el vial perimetral y los accesos a decantadores, reactores y edificios de proceso.
- Edificios técnicos, entre los que destacan el pretratamiento, la deshidratación de fangos, las galerías técnicas y los edificios de soplantes y bombeos.
- Unidades abiertas de proceso, especialmente:

- los ocho decantadores secundarios circulares, con necesidades periódicas de limpieza de vertederos y pasarelas,
- los reactores biológicos, durante operaciones de vaciado y mantenimiento,
- y los tanques de la línea de fangos, por razones de seguridad e higiene industrial.
- Canales de pretratamiento, donde la acumulación de grasas y arenas exige limpiezas frecuentes.

Este conjunto de usos configura una demanda distribuida, no simultánea y operativamente flexible, que puede ser atendida mediante un sistema de afino sencillo del efluente secundario como el diseñado y construido con la planta, actualmente fuera de servicio, sin afección apreciable al balance hídrico global ni a los retornos al dominio público hidráulico. Además, el agua utilizada en estos procesos retorna posteriormente al sistema de saneamiento, por lo que no constituye una detracción neta del recurso, si bien se identifica como un riesgo sanitario y una complicación operativa fuera de los periodos de excepcional escasez de recursos convencionales.

En términos de caudal instantáneo, los requerimientos se sitúan en valores moderados, compatibles con redes interiores de agua industrial dimensionadas para dos o tres puntos de uso simultáneos, o para la recarga puntual de equipos de limpieza, sin necesidad de infraestructuras de gran capacidad.

Los **usos industriales** y los **destinos ambientales** se consideran en el PFUAR exclusivamente como escenarios a evaluar, no como actuaciones programadas. Su eventual desarrollo queda condicionado a la concurrencia simultánea de varios factores:

- existencia de una demanda estable, concentrada y técnicamente definida,
- disponibilidad de infraestructuras de regeneración y distribución compatibles,
- y plena coherencia con la planificación hidrológica de la cuenca.

En el ámbito industrial, se contempla de forma indiciaria la posibilidad de atender usos auxiliares no alimentarios (más por normativa y por racionalidad que por capacidad técnica), con distintos niveles de exigencia de calidad, en el marco de desarrollos industriales futuros. En este sentido, la planificación urbanística y económica de Valladolid contempla la puesta a disposición de superficies significativas de suelo industrial, con una extensión del orden de 100–125 hectáreas, localizadas en el entorno sur y suroeste del término municipal, en ámbitos próximos a infraestructuras estratégicas de transporte y servicios básicos, si bien la demanda no está asegurada.

Estos desarrollos futuros están idealmente orientados a actividades industriales de alto valor añadido, intensivas en energía y con procesos productivos complejos, entre las que se incluyen, a nivel estratégico, industrias vinculadas a la movilidad eléctrica y a la fabricación de componentes electroquímicos, caracterizadas por:

- consumos de agua continuos y relativamente estables,
- requerimientos elevados de seguridad de suministro,
- y una especial sensibilidad a la resiliencia del sistema hídrico en escenarios de estrés o restricción.

Desde el punto de vista de la planificación del PFUAR, estos ámbitos industriales se consideran potenciales receptores teóricos de agua regenerada para usos auxiliares no alimentarios (limpieza, refrigeración, servicios generales), siempre que esos usuarios manifiesten el interés y su demanda no pueda ser satisfecha de otra manera.

No obstante, cualquier hipótesis de suministro de agua regenerada a usos industriales deberá analizarse caso a caso, verificando que el volumen regenerado permita una sustitución efectiva de recursos convencionales, y que no se produzca una reducción incompatible de los retornos al río Pisuerga ni un incremento neto de la demanda global.

De manera análoga, los destinos ambientales, como aportes controlados a humedales o recargas por infiltración a través del terreno, se consideran únicamente como opciones estratégicas de apoyo, cuya viabilidad dependerá de estudios hidrogeológicos y ambientales específicos, así como de su encaje en los balances hídricos definidos por la Confederación Hidrográfica del Duero.

6.1.2 Alternativas de tratamiento de regeneración

El análisis de alternativas técnicas para la regeneración del agua depurada en la EDAR de Valladolid debe realizarse teniendo en cuenta, de forma previa, la disponibilidad real de espacio dentro de la parcela de la instalación, como condicionante esencial de viabilidad técnica.

La parcela inicial que alberga la EDAR de Valladolid dispone de una superficie total aproximada de 126.000 m², en la que se integran las distintas líneas de proceso (agua, fangos y energía), los viales internos, las edificaciones auxiliares y las áreas de servicio necesarias para la explotación ordinaria de la planta. Esta parcela se ha incrementado recientemente hacia el sur, para la instalación de una planta de energía solar fotovoltaica que permita avanzar en la estrategia de autosuficiencia energética de los actuales procesos de depuración, aunque sin resultar suficiente para ello.

Dentro de la superficie original de la parcela, y una vez analizada la ocupación actual de las instalaciones y las necesidades operativas futuras, se ha identificado una zona específica con una superficie disponible del orden de 3.500 m², susceptible de albergar, en caso de ser necesario, infraestructuras asociadas a una Estación Regeneradora de Aguas (ERA) o a trenes de tratamiento de regeneración complementarios al proceso existente, sin ocupar el espacio de la nueva parcela anexa con la planta de energía solar.



Figura 12 Superficie disponible para tren de regeneración.

Esta superficie presenta las siguientes características relevantes desde el punto de vista técnico:

- se localiza dentro del recinto de la EDAR, evitando afecciones externas y simplificando la integración operativa,
- permite una implantación **compacta y modular** de los sistemas de regeneración,
- resulta compatible con soluciones de **tratamiento terciario convencional** y con **configuraciones avanzadas de escala limitada**, siempre que se adopten criterios de diseño optimizados,
- facilita una eventual ejecución por fases, sin interferir de forma significativa con la operación normal de la depuradora.

La disponibilidad de este espacio **habilita técnicamente la posibilidad** de analizar alternativas de regeneración dentro del propio recinto de la EDAR, evitando la necesidad de emplazamientos externos o de infraestructuras desconectadas del sistema existente.

El espacio disponible se ha tenido en cuenta a la hora de establecer las alternativas de tratamiento que se describen a continuación, priorizando soluciones compactas, escalables y adaptables a una superficie del orden de algunos miles de metros cuadrados, y descartando de partida configuraciones sobredimensionadas o incompatibles con la implantación en parcela.

Las alternativas analizadas se conciben siempre como **posibles trenes de tratamiento**, susceptibles de implantación modular y progresiva, y cuya selección definitiva deberá basarse en estudios específicos de viabilidad técnica, económica y de encaje normativo conforme al RD 1085/2024.

6.1.2.a Alternativa A: Tratamiento de regeneración convencional con desinfección

Esta alternativa se fundamenta en el afino del efluente secundario mediante procesos ampliamente contrastados en reutilización urbana, con un nivel de complejidad bajo y una elevada robustez operativa. El esquema de tratamiento incluiría, de forma general:

- Tratamiento físico-químico de acondicionamiento, orientado a la reducción de sólidos residuales y mejora de la calidad del agua de entrada a filtración (coagulación–floculación, cuando sea necesario).
- Filtración en lecho granular (arena, arena-antracita u otros medios), con velocidades de filtración típicas del orden de 5–10 m/h.
- Desinfección final, mediante radiación ultravioleta y/o cloración, dimensionada conforme al nivel de riesgo sanitario del uso previsto.

Desde el punto de vista de calidad, esta alternativa permite alcanzar de forma fiable los requisitos exigidos para usos urbanos no potables de bajo riesgo sanitario, tales como:

- baldeo de calles y limpieza viaria,
- riego de zonas verdes urbanas,
- usos municipales sin contacto directo con la población.

Entre sus principales características técnicas destacan:

- bajo consumo energético específico,
- simplicidad de operación y mantenimiento,
- elevada compatibilidad con la explotación actual de la EDAR,
- facilidad de implantación modular para caudales reducidos (decenas a centenares de m³/día).

Por estas razones, esta alternativa se considera una opción de referencia inicial dentro del PFUAR, especialmente adecuada para fases tempranas de implantación o para usos internos y urbanos, siempre que la calidad del efluente de depuración sea totalmente estable, sin comprometer el régimen de vertido al DPH.

6.1.2.b Alternativa B: Sistemas con membranas (Ultrafiltración)

Esta alternativa incorpora un proceso de **ultrafiltración (UF)** como etapa principal de regeneración, proporcionando una barrera física adicional frente a sólidos finos, patógenos y microorganismos, y aumentando de forma significativa la estabilidad de la calidad del agua regenerada.

El esquema tipo estaría constituido por:

- pretratamiento adecuado (tamizado fino, acondicionamiento físico-químico),
- módulos de ultrafiltración con porosidad típica de 0,01–0,04 μm ,
- desinfección final complementaria, cuando proceda.

Desde el punto de vista técnico, la ultrafiltración permite:

- concentraciones de sólidos en suspensión prácticamente nulas,
- una elevada eliminación de bacterias y protozoos,
- mayor seguridad sanitaria frente a variaciones del efluente secundario.

Esta alternativa amplía el abanico de usos potenciales, permitiendo abordar:

- usos urbanos no potables con mayores exigencias de seguridad,
- usos industriales (no alimentarios),
- escenarios futuros con requisitos de calidad más estrictos.

No obstante, presenta condicionantes relevantes:

- incremento del consumo energético y del OPEX,
- mayor complejidad operativa (limpiezas químicas, control de ensuciamiento),
- mayor CAPEX asociado a los módulos y sistemas auxiliares.

En consecuencia, esta alternativa se considera técnicamente viable, pero condicionada a unas estrictas condiciones operativas de todo tratamiento anterior y a la autosuficiencia energética de la planta. Su implantación queda supeditada a la existencia de una demanda estable, localizada y suficientemente justificada desde el punto de vista económico y estratégico.

6.1.3 Alternativas de distribución y entrega

De forma complementaria a las alternativas de tratamiento, el análisis técnico del PFUAR aborda las posibles soluciones de distribución, almacenamiento y entrega del agua regenerada, considerando que este subsistema constituye uno de los elementos más determinantes de la viabilidad técnica, económica y operativa de la reutilización.

El diseño de las alternativas de distribución se apoya en los siguientes criterios generales:

- separación estricta y permanente respecto a la red de abastecimiento de agua potable, conforme a la normativa vigente,
- adecuación a caudales reducidos y demandas localizadas, coherentes con el enfoque progresivo del Plan,
- minimización de bombeos, pérdidas de carga y consumo energético asociado,
- compatibilidad con una implantación modular y por fases, evitando soluciones rígidas o sobredimensionadas,
- integración con la operativa real de los servicios municipales y de la propia EDAR.

Bajo estos criterios, se consideran las siguientes tipologías de soluciones, que deberán evaluarse caso a caso mediante estudios y proyectos específicos:

a) Redes específicas de agua regenerada

Se contempla la posibilidad de estudiar la instalación de redes independientes de agua regenerada, de trazado limitado y ámbito claramente definido, orientadas a instalaciones municipales concretas, zonas verdes urbanas con demandas concentradas, y ámbitos industriales localizados y con consumo estable, que no pueda ser satisfecho de otra manera.

En coherencia con el enfoque del PFRAR, este tipo de redes se analizarían priorizando siempre los entornos próximos a la EDAR, de forma que durante su estudio se reduzcan las longitudes de conducción, los costes de inversión y el consumo energético, y se facilite una implantación inicial en zonas técnicamente sencillas y fácilmente controlables.

b) Sistemas de almacenamiento intermedio y regulación

El uso de depósitos reguladores se considera un elemento clave para desacoplar la producción de agua regenerada de la demanda real, gestionar la marcada estacionalidad de ciertos usos (riego y baldeo) y mejorar la flexibilidad operativa del sistema, si bien el almacenamiento de este tipo de recursos una vez producidos supone por sí mismo un riesgo de alteración de su calidad sanitaria.

Estos sistemas podrán situarse tanto dentro del recinto de la EDAR como, eventualmente, en puntos estratégicos del ámbito urbano, siempre que exista justificación técnica y logística suficiente.

c) Puntos de entrega y sistemas de carga

Para determinados usos urbanos, en particular el baldeo de calles y la limpieza viaria, el PFRAR considera prioritario analizar soluciones de entrega sencillas y flexibles, como bocas de carga específicas para camiones de baldeo, hidrantes diferenciados de la red potable, o puntos de recarga estratégicamente ubicados. No obstante, deberá respetarse la estrategia europea de movilidad sostenible y minimizar la necesidad de desplazamientos en el municipio.

En este caso, los estudios posteriores deberán tener en cuenta aspectos operativos como son el número de camiones de baldeo existentes, los patrones temporales de uso (frecuencia, estacionalidad, horarios), los tiempos de desplazamiento y recarga, la posible necesidad de depósitos urbanos intermedios que optimicen la logística del servicio.

d) Entrega para destinos ambientales

En el caso de destinos ambientales, se estudiará la creación de humedales artificiales mediante lagunas de almacenamiento de agua depurada en el propio entorno cercano a la EDAR, que puedan actuar como espacios para aves acuáticas a la vez de como depósitos tampón del sistema de depuración-regeneración. La restitución al medio receptor debe considerarse integrado dentro de este destino ambiental.

En el caso de actuaciones de infiltración o percolación controlada con agua regenerada de calidad adecuada (por ejemplo, calidad C conforme al RD 1085/2024), las alternativas a estudiar para la distribución deberán diseñarse de forma específica, considerando una localización precisa de las zonas receptoras, la capacidad de infiltración del terreno, la protección de las masas de agua subterráneas y la coherencia con los balances hídricos y caudales ecológicos definidos en la planificación hidrológica.

Estas soluciones requerirán necesariamente estudios hidrogeológicos y ambientales de detalle, y su implantación quedará supeditada a la correspondiente autorización administrativa.

En todos los casos, las alternativas de distribución deberán analizarse de forma integrada con las alternativas de tratamiento, dado que el binomio calidad – distancia – energía – operación resulta

determinante para la viabilidad global del sistema. La definición final de las soluciones de distribución quedará supeditada al desarrollo de proyectos técnicos específicos y a su correspondiente evaluación técnica y económica dentro de la planificación de inversiones de AQUAVALL.

6.2 Justificación técnica

La justificación técnica de las alternativas analizadas se fundamenta en la capacidad real de cada solución para cumplir de forma estable y verificable las calidades exigidas por el Real Decreto 1085/2024, su compatibilidad con el efluente secundario actual de la EDAR de Valladolid, su robustez operativa en régimen continuo y su adaptabilidad a escenarios futuros, tanto en términos de demanda como de evolución normativa.

El análisis se realiza tomando como punto de partida el efluente secundario actual de la EDAR de Valladolid, caracterizado por un caudal medio anual del orden de 45 hm³/año, con elevada estabilidad hidráulica y de eliminación de la contaminación, con un tratamiento biológico avanzado que cumple holgadamente los límites de vertido establecidos en la autorización vigente.

Este contexto permite abordar la reutilización sin necesidad de redefinir la línea principal de depuración, incorporando la regeneración como un sistema complementario y modular.

6.2.1 Capacidad de garantizar las calidades requeridas

La capacidad de las alternativas analizadas para garantizar las calidades exigidas constituye el primer criterio de justificación técnica del Plan. Este análisis se realiza tomando como referencia los usos finales identificados en el PFUAR, las clases de calidad definidas en el Real Decreto 1085/2024 y las características del efluente secundario actual de la EDAR de Valladolid, el cual presenta una elevada estabilidad operativa y cumple los valores límite de vertido establecidos en la autorización vigente ($SST \leq 35$ mg/L, $DBO_5 \leq 25$ mg O₂/L y $DQO \leq 125$ mg O₂/L).

Las distintas alternativas de tratamiento de regeneración permiten alcanzar niveles de calidad diferenciados en función de la combinación de barreras físicas, microbiológicas y sanitarias incorporadas, siendo clave adoptar un enfoque proporcionado que evite soluciones sobredimensionadas para demandas inexistentes o usos que no lo requieren, siempre que dichas barreras queden adecuadamente definidas y justificadas en los correspondientes Planes de Gestión del Riesgo, asociados a las autorizaciones de producción y suministro de agua regenerada.

Dado que diferentes usos pueden compartir niveles de exigencia equivalentes, el análisis se estructura en función de grupos de exigencia, definidos a partir de los límites microbiológicos (*E. coli*) y de los parámetros fisicoquímicos relevantes, de acuerdo con el RD 1085/2024 y con la calidad del efluente secundario autorizado de la EDAR de Valladolid, tal y como se resume en la Tabla 19.

Tabla 19 Calidades establecidas según grupo de exigencia.

Nº	Grupo de exigencia	Usos incluidos (RD 1085/2024)	Clase	<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)
1	Muy Alta	Industrial: torres de refrigeración y condensadores evaporativos	I A+	Ausencia	5	10	—	—
2	Alta	Urbano: estanques y caudales ornamentales accesibles al público	U A	10	5	10	—	—

3	media	Urbano: baldeo; riego de zonas verdes;	U B	100	–	≤ 35	≤ 25	≤ 125
		Industrial: PCI; lavado industrial de vehículos						
4	baja	Urbano: estanques ornamentales no accesibles al público	U C	1.000	–	≤ 35	≤ 25	≤ 125
		Industrial: aguas de proceso, limpieza y otros usos industriales (no alimentaria)	I C					
		Ambiental: Aporte de recursos hídricos a humedales y otros ecosistemas acuáticos. Otros destinos ambientales, cuando proceda	R C					

Grupo 1. Muy alta exigencia (Clase I A+)

Este grupo corresponde a los usos industriales más críticos, en particular las torres de refrigeración y condensadores evaporativos, caracterizados por un riesgo elevado de aerosolización y, por tanto, por una elevada exigencia sanitaria. Se analiza este tipo de calidad de agua más exigente, por la posible implantación de industria que requiera esta calidad y establecer una guía sobre posibles tecnologías necesarias en este caso.

Desde el punto de vista microbiológico, la normativa exige la ausencia de *E. coli* y un control estricto del riesgo asociado a *Legionella spp.*, conforme a la normativa sanitaria específica. Desde el punto de vista fisicoquímico, se establecen límites estrictos de turbidez (≤ 5 UNT) y sólidos en suspensión (≤ 10 mg/L), sensiblemente más exigentes que los valores de la autorización de vertido de la EDAR de Valladolid, lo requerirá de un tratamiento más intensivo en la propia EDAR o mejorar las condiciones de explotación.

Para garantizar de forma estable esta calidad resulta necesario un tren de tratamiento de regeneración de alta exigencia, basado en el principio de barreras múltiples, que permita desacoplar la calidad final de posibles variaciones del efluente secundario. De forma orientativa, este tipo de usos requiere:

- Obligatorio un tratamiento físico químico previo para mejorar la calidad del efluente del secundario, mediante el paso por una predesinfección u oxidación previa, incluso avanzada, coagulación, floculación, decantación y posterior filtración, que sirva como pretratamiento para proteger los equipos posteriores de mejora y afino.
- Pretratamientos específicos (tamizado fino y/o filtración previa) destinados a proteger las etapas posteriores y asegurar su fiabilidad operativa.
- Una barrera física avanzada, típicamente mediante ultrafiltración (UF), que permita una reducción eficaz y estable de sólidos finos y carga microbiológica.
- Sistemas de desinfección avanzados, combinando radiación ultravioleta y desinfección química, de forma redundante, para asegurar el cumplimiento microbiológico incluso en escenarios desfavorables.

- Tratamientos adicionales de pulido (por ejemplo, carbón activo o procesos de separación por membranas de mayor rechazo) únicamente cuando el uso industrial concreto lo requiera, no por exigencia directa de la clase de calidad.

Grupo 2. Alta exigencia

Este grupo incluye los usos urbanos con contacto potencial directo de la población, como los estanques y caudales ornamentales accesibles al público.

Aunque el riesgo sanitario es inferior al del grupo anterior, los requisitos siguen siendo elevados (*E. coli* ≤ 10 UFC/100 mL, turbidez ≤ 5 UNT y SS ≤ 10 mg/L), lo que obliga a garantizar una calidad microbiológica y con calidades en cuanto a sólidos y turbidez bastante exigentes y siendo necesaria la estabilidad. Para estos usos resulta necesario un tren de tratamiento de regeneración exigente, que incorpore:

- Es obligatorio un tratamiento físico químico previo para mejorar la calidad del efluente del secundario, mediante el paso por una coagulación, floculación, decantación y posterior filtración con arena.
- Filtración avanzada para asegurar el control de sólidos y turbidez. Desinfección antes de la segunda filtración con arena, con telas, o con anillas, etc.
- Barreras microbiológicas robustas, siendo especialmente adecuada la ultrafiltración como elemento estabilizador de la calidad.
- Desinfección eficaz, preferentemente mediante radiación UV, complementada con desinfección química cuando exista almacenamiento o riesgo de recontaminación.

Grupo 3. Exigencia media

Este grupo engloba los usos urbanos no potables más habituales, como el baldeo de calles y el riego de zonas verdes, así como determinados usos industriales de baja exposición (sistemas contra incendios o incluso para el lavado industrial de vehículos).

En este caso, el requisito microbiológico se relaja (*E. coli* ≤ 100 UFC/100 mL) y el RD 1085/2024 no fija límites específicos de turbidez o sólidos, remitiendo a la calidad del efluente de depuración urbana. En el caso de Valladolid, ello se traduce en los valores de la autorización de vertido vigente (SS ≤ 35 mg/L, DBO₅ ≤ 25 mg O₂/L y DQO ≤ 125 mg O₂/L).

Para este grupo resulta suficiente un tren de tratamiento de regeneración de exigencia media, centrado en:

- Puede ser recomendable un tratamiento físico químico previo para mejorar la calidad del efluente del secundario, mediante el paso por una coagulación, floculación, decantación y posterior filtración, seguida de desinfección para proteger las siguientes etapas.
- Filtración convencional (arena, discos o sistemas equivalentes) como protección frente a sólidos y garantía de estabilidad. Sobre todo, buscando bajar la carga de sólidos para ser más eficientes en el proceso de desinfección.
- Desinfección eficaz, mediante cloración, radiación UV o combinación de ambas, en función del esquema de distribución y almacenamiento.
- Instrumentación básica de control que permita verificar de forma continua el correcto funcionamiento del sistema.

Grupo 4. Baja exigencia

Este grupo incluye los usos de menor riesgo sanitario, tales como los estanques ornamentales no accesibles al público, los usos industriales no alimentarios de proceso y limpieza, y determinados destinos ambientales, que se evalúan caso a caso.

Los requisitos microbiológicos (*E. coli* $\leq$ 1.000 UFC/100 mL) y fisicoquímicos se apoyan fundamentalmente en el cumplimiento de los valores de la autorización de vertido de la EDAR de Valladolid.

Para estos usos es suficiente un tren de tratamiento de regeneración de baja exigencia, que puede consistir en:

- Protección física básica (filtración simple o malla) cuando exista red de distribución o riesgo de obturación.
- Desinfección, cuando proceda, para garantizar un nivel mínimo de seguridad sanitaria. Principalmente mediante el uso de cloración, ya que, debido al menor nivel de exigencia en cuanto a sólidos y turbidez, los procesos de desinfección con UV suelen ser menos efectivos.
- Ajustes específicos en función del destino ambiental concreto, especialmente en lo relativo a nutrientes y protección del medio receptor.

El análisis realizado pone de manifiesto que la capacidad de garantizar las calidades requeridas no depende de una única solución tecnológica, sino de la adecuada selección del tren de tratamiento de regeneración en función del grupo de exigencia y de la estabilidad de los procesos de depuración anteriores. Solo de esta manera se consigue garantizar el cumplimiento del RD 1085/2024 de forma robusta, agrupando soluciones de tratamientos para diferentes usos, lo que optimiza la complejidad, los costes de inversión, pero sobre todo los costes de explotación. De esta manera, se puede plantear, una implantación progresiva y modular de estos trenes de regeneración en la EDAR de Valladolid, que cumplan los principios técnicos y económicos planteados por la entidad.

6.2.2 Planteamiento de los esquemas multibarrera.

El planteamiento de los esquemas multibarrera para la regeneración de agua en la EDAR de Valladolid se fundamenta en lo establecido en el Anexo III del Real Decreto 1085/2024, donde se desarrolla el concepto de barreras para la reducción o atenuación de riesgos, en coherencia con el Reglamento (UE) 2020/741 y con las directrices de la norma UNE-EN ISO 16075 para riego urbano y recreativo.

De acuerdo con este marco normativo, la obtención de una determinada clase de calidad no depende exclusivamente del nivel de tratamiento aplicado, sino del conjunto de barreras acreditadas que actúan de forma complementaria para reducir el riesgo sanitario, entendiendo como barreras tanto las estructurales (asociadas al tratamiento del agua) como las operativas y de gestión del uso.

Este enfoque resulta especialmente adecuado en el caso de Valladolid, donde se parte de un efluente secundario estable y de alta calidad, y permite obtener usos de mayor exigencia a partir de calidades de partida menos restrictivas, siempre que se incorporen las barreras adicionales exigidas y se justifique adecuadamente los riesgos derivados, con la aprobación del organismo de cuenca y el informe vinculante de la autoridad sanitaria.

El RD 1085/2024 introduce el concepto de “número acreditado de barreras” como indicador de la reducción global del riesgo sanitario. Estas barreras pueden consistir, entre otras, en:

- Tratamientos físicos y microbiológicos del agua.
- Condiciones de operación del riego o del uso urbano.
- Restricciones de acceso del público.
- Condiciones espaciales o temporales del uso (distancias, horarios).

- Medidas organizativas y de señalización.

Cada barrera contribuye a una reducción logarítmica del riesgo, de modo que la combinación adecuada de barreras permite alcanzar un nivel de seguridad equivalente al exigido para una clase de calidad superior.

Para los usos urbanos, el RD 1085/2024 establece explícitamente, en la Tabla III-4, el número de barreras acreditadas necesarias para alcanzar el nivel de calidad exigido, en función del tipo de uso y de las condiciones de acceso.

Tabla 20 N° acreditado de barreras necesarias para obtener el nivel requerido equivalente a la clase superior

Clase de calidad requerida	Riego de zonas verdes urbanas, jardines privados, campos del golf y otros campos deportivos	
	Sin acceso restringido	Con acceso restringido
A+	0	0
A	1	0
B	1	0
C	prohibido	1

De forma sintética:

- Para riego de zonas verdes urbanas y usos recreativos sin acceso restringido, se requiere:
 - 1 barrera adicional para calidad A o B.
- Para usos con acceso restringido, el número de barreras exigidas se reduce.
- Determinados usos con calidad C quedan directamente prohibidos sin barreras adicionales.

Estas barreras no tienen por qué ser exclusivamente tecnológicas. El propio RD reconoce como barreras válidas, entre otras:

- Control de acceso, como el riego nocturno cuando no hay presencia de personas.
- Control del tipo de riego, por ejemplo, limitando o condicionando el riego por aspersión.
- Distancias mínimas entre puntos de riego y zonas de acceso público.

Tabla 21 Tipos de barreras, aplicación y reducción logarítmica de patógenos

Tipo de barrera	Aplicación	Reducción logarítmica de patógeno	Número de barreras
Control de acceso.	Riego por la noche cuando las personas no pueden acceder a los parques, campos deportivos y jardines públicos regados.	Entre 0,5 y 1	1
Control del riego por aspersión.	Riego por aspersión a una distancia mayor de 70 metros a las áreas residenciales o lugares de acceso público.	1	1

En este contexto, los tratamientos de regeneración se entienden como una barrera estructural más, que puede combinarse con barreras operativas para alcanzar el nivel de seguridad requerido.

Así, por ejemplo, un agua regenerada de calidad B, obtenida mediante filtración y desinfección, puede destinarse a riego urbano con acceso no restringido si se incorpora una barrera adicional, como el control horario del riego o la restricción de acceso durante la operación. De igual modo, la incorporación de ultrafiltración puede considerarse una barrera tecnológica de alto nivel, que permite reducir la necesidad de barreras operativas adicionales en usos de mayor exposición.

Este planteamiento permite flexibilizar el diseño de los trenes de tratamiento, adaptándolos a los usos reales previstos en Valladolid, sin imponer de inicio soluciones tecnológicas de máxima exigencia cuando el riesgo puede gestionarse eficazmente mediante otras barreras reconocidas normativamente.

De acuerdo con el RD 1085/2024, será en el Plan de Gestión del Riesgo donde se definan y justifiquen, para cada uso concreto, el número y tipo de barreras aplicadas, la reducción de riesgo asociada a cada barrera, la equivalencia entre la calidad del agua producida y la clase de calidad exigida y las medidas de control, seguimiento y verificación.

Estos riesgos inherentes a las aguas regeneradas deben darse a conocer de forma transparente a la población como parte del plan de fomento de su uso, y como parte de las acciones de concienciación para alcanzar la máxima eficiencia de los recursos hídricos en situaciones extremas de sequía. El presente PFUAR se limita, por tanto, a identificar y justificar técnicamente los posibles esquemas multibarrera, dejando el detalle final de su validación a los procedimientos administrativos y sanitarios correspondientes.

6.2.3 Fiabilidad operativa y grado de automatización

La fiabilidad operativa y el grado de automatización constituyen un criterio clave en la justificación técnica de las alternativas analizadas, especialmente en un sistema como el de Valladolid, donde la reutilización del agua debe integrarse de forma progresiva sin comprometer la estabilidad del servicio de depuración ni incrementar de manera significativa la complejidad de la explotación.

El análisis se realiza considerando la experiencia operativa de AQUAVALL, las características actuales de la EDAR y la necesidad de que los tratamientos de regeneración puedan operar de forma robusta, continua y predecible, con una dependencia limitada de intervención manual.

6.2.3.a Fiabilidad de los tratamientos de regeneración convencionales

Los tratamientos de regeneración basados en prefiltración, filtración convencional y desinfección presentan un elevado grado de fiabilidad operativa, sustentado en:

- Tecnologías ampliamente implantadas y contrastadas en entornos urbanos.
- Baja sensibilidad a variaciones puntuales del efluente secundario.
- Operación sencilla y fácilmente integrable en la rutina de explotación de la EDAR.
- Mantenimiento correctivo y preventivo bien conocido, con repuestos y consumibles de disponibilidad inmediata.

Estas soluciones presentan una alta tolerancia a regímenes de operación variables, como los asociados a demandas intermitentes (baldeo de calles, riego estacional), y permiten una gestión flexible sin necesidad de personal altamente especializado.

Desde el punto de vista de la automatización, estos tratamientos pueden integrarse de forma directa en los sistemas de automatización que están siendo desplegados dentro de otras actuaciones del proyecto Aquavall 2.0 cofinanciado con fondos Next Generation EU al que pertenece la redacción de este plan; incrementados con instrumentación básica de control (turbidez, caudal, cloro residual) a la salida de los nuevos tratamientos de regeneración que se propongan, lo que facilita su supervisión remota y su operación segura.

6.2.3.b Fiabilidad de los tratamientos de regeneración con membranas

Los tratamientos de regeneración basados en prefiltración, filtración convencional y desinfección presentan un elevado grado de fiabilidad operativa, sustentado en:

- Tecnologías ampliamente implantadas y contrastadas en entornos urbanos.
- Baja sensibilidad a variaciones puntuales del efluente secundario.
- Operación sencilla y fácilmente integrable en la rutina de explotación de la EDAR.

- Mantenimiento correctivo y preventivo bien conocido, con repuestos y consumibles de disponibilidad inmediata.

Estas soluciones presentan una alta tolerancia a regímenes de operación variables, como los asociados a demandas intermitentes (baldeo de calles, riego estacional), y permiten una gestión flexible sin necesidad de personal altamente especializado.

Desde el punto de vista de la automatización, estos tratamientos pueden integrarse de forma directa en los sistemas SCADA existentes, con instrumentación básica de control (turbidez, caudal, cloro residual), lo que facilita su supervisión remota y su operación segura.

Los tratamientos de regeneración que incorporan ultrafiltración (UF) proporcionan mayores garantías de calidad, pero introducen una mayor complejidad operativa tanto aguas arriba como en el propio proceso de regeneración que debe ser considerada en la justificación técnico-económica.

Desde el punto de vista de la fiabilidad, la UF ofrece una calidad de agua muy estable, reduciendo la dependencia de la desinfección química y actuando como una barrera física robusta frente a patógenos.

No obstante, estos sistemas requieren de un control continuo del ensuciamiento de las membranas, con necesidad de programación adecuada de limpiezas físicas y químicas. Entre sus mayores desventajas requieren también de un mayor consumo energético, que deberá ir alineada con una mucho mayor producción de mayor cantidad de energía renovable de manera autosuficiente. También deben considerarse los requisitos del personal, cuyo nivel de especialización debe ser mucho mayor. Por ello, aunque técnicamente solventes, los tratamientos de regeneración con membranas pueden presentar mayor riesgo operativo inasumible, especialmente si se implantan de forma generalizada y sin una demanda bien cuantificada y garantizada que lo justifique.

6.2.3.c Grado de automatización e integración en los sistemas existentes

Un aspecto central de la justificación técnica es la capacidad de integración de los tratamientos de regeneración en los sistemas de control y telemando existentes de AQUAVALL, sin generar compartimentos operativos aislados.

En este sentido, los tratamientos de regeneración convencionales permiten un alto grado de automatización con bajo coste, mediante la incorporación de simples controles de caudal, turbidez y control de desinfección con alarmas de calidad para una buena trazabilidad.

Los tratamientos con UF requieren una automatización más compleja, incluyendo aspectos como el control de presión transmembrana, la gestión automática de retrolavados y limpiezas, y la supervisión continua del rendimiento de las membranas.

Esta diferencia refuerza la conveniencia de reservar las soluciones más complejas para usos que realmente lo requieran, evitando una sobrecarga operativa innecesaria, ni en las fases iniciales del despliegue del sistema de reutilización ni posteriormente.

6.2.4 Compatibilidad con el efluente y con la EDAR existente

Las alternativas de regeneración analizadas resultan, en términos generales, compatibles con el efluente secundario actual de la EDAR de Valladolid y con su esquema de explotación, al plantearse como sistemas complementarios a la línea principal de depuración y no como modificaciones estructurales del proceso biológico.

No obstante, la compatibilidad debe justificarse desde tres perspectivas: hidráulica, operativa y de implantación en parcela, dado que son los factores que determinan la viabilidad real de integración en una EDAR en funcionamiento continuo.

El efluente secundario de la EDAR presenta un comportamiento estable y una calidad elevada, cumpliendo holgadamente los valores límite de vertido autorizados. Este punto de partida favorece el diseño de trenes de regeneración proporcionados al uso y minimiza la necesidad de pretratamientos intensivos en las alternativas orientadas a usos urbanos no potables (baldeo, riego y usos municipales).

La integración hidráulica se planteará mediante tomas derivadas del efluente secundario, de manera que el agua destinada a regeneración constituya una fracción limitada del caudal total tratado. Este esquema permite mantener el régimen ordinario de vertido al DPH como salida principal del sistema, según marque el organismo de cuenca, y a la vez dimensionar la regeneración para demandas locales y modulables, evitando interferencias con la estabilidad hidráulica y biológica del tratamiento principal.

En términos de explotación, la regeneración se deberá concebir en todo caso como un subsistema con capacidad de operación intermitente o estacional, compatible con demandas variables (baldeo/riego), y con la posibilidad de disponer de un bypass operativo que garantice la continuidad del servicio ante paradas o mantenimientos del tren de regeneración (ERA).

La compatibilidad con la explotación existente se evalúa considerando el impacto en:

- cargas de operación y mantenimiento (consumibles, reactivos, limpiezas, gestión de residuos del terciario),
- instrumentación y control (SCADA, alarmas de calidad, trazabilidad),
- seguridad y operación interna (suministro para usos internos, puntos de carga, protocolos de segregación respecto a la red potable).

Las alternativas convencionales presentan una integración operativa más directa y una mayor tolerancia a regímenes de funcionamiento variables. Por su parte, sistemas más intensivos de regeneración tipo membranas, como puede ser la UF proporciona mayor estabilidad de calidad, pero exige procedimientos más especializados, especialmente en la gestión de limpiezas químicas, control de presiones y mantenimiento preventivo. Estas peculiaridades también hacen prácticamente inviable este tipo de tecnología con regímenes de operación discontinua ya que el deterioro de las instalaciones fuera de funcionamiento reduce enormemente su vida útil. Es por tanto crucial asegurar una demanda sostenida y no solo estacional ni mucho menos para situaciones de extrema excepcionalidad.

Por otra parte, la viabilidad de integración queda condicionada por la disponibilidad real de espacio para la implantación de una ERA y sus auxiliares. En el análisis preliminar de implantación se ha identificado una superficie disponible del orden de 3.500 m² dentro del recinto de la EDAR, compatible con soluciones compactas y modulares de regeneración.

Este marco espacial en la EDAR favorece alternativas de tren de regeneración más convencional y configuraciones con membranas de escala limitada, permite una ejecución por fases sin interferir significativamente con la operación ordinaria, y descarta, de partida, soluciones sobredimensionadas o que requieran superficies e infraestructuras auxiliares no disponibles en parcela.

Por lo tanto, la compatibilidad con la EDAR existente se considera técnicamente favorable, siempre que la selección final del tren de regeneración se ajuste al binomio uso–calidad y se desarrollen los proyectos específicos con detalle hidráulico, operativo, energético y de implantación.

6.2.5 Flexibilidad y escalabilidad

La flexibilidad y la escalabilidad constituyen criterios esenciales en la justificación técnica de las alternativas analizadas, al tratarse de un Plan de Fomento con un horizonte temporal amplio y basado en un enfoque progresivo, activable y condicionado a la existencia de demanda real. En el caso de Valladolid, estos criterios adquieren especial relevancia por la previsión de usos inicialmente limitados y estacionales, principalmente asociados al baldeo y al riego urbano, por la necesidad de mantener el vertido al dominio público hidráulico como salida principal del sistema, y por la posible evolución futura hacia usos de mayor entidad o mayor nivel de exigencia.

El planteamiento propuesto para futuros estudios se basa en la implantación de trenes de regeneración modulares, concebidos para ser ejecutados por fases y dimensionados inicialmente para caudales reducidos, compatibles con los usos urbanos no potables prioritarios y con la operativa actual de la EDAR. En una fase inicial, los trenes de regeneración se deben orientar a configuraciones sencillas, viables desde el punto de vista técnico y económico, apoyadas en la elevada estabilidad del efluente secundario, que permitan atender usos internos y urbanos de proximidad mediante filtración y desinfección, con un impacto limitado en la explotación y sin comprometer la continuidad del vertido. Este enfoque permite poner en servicio la reutilización de forma gradual, con inversiones contenidas y fácilmente ajustables.

La escalabilidad del sistema se plantea tanto desde el punto de vista hidráulico como funcional. Desde el punto de vista hidráulico, las alternativas permiten incrementar progresivamente el caudal regenerado mediante la incorporación de nuevas unidades en paralelo, manteniendo siempre la derivación desde el efluente secundario como una fracción ajustable del caudal total tratado. Desde el punto de vista funcional, la escalabilidad se traduce en la posibilidad de aumentar el nivel de garantía sanitaria y la estabilidad de la calidad del agua regenerada mediante la incorporación de barreras adicionales, en coherencia con el enfoque multibarrera establecido en el RD 1085/2024 y con los requisitos que se definan en los correspondientes Planes de Gestión del Riesgo.

Este planteamiento de flexibilidad y escalabilidad permite, además, **mantener una evaluación integrada de las alternativas de tratamiento y de las soluciones de distribución**, evitando analizar ambos elementos de forma aislada. En este sentido, la posibilidad de modular tanto la calidad como el caudal regenerado facilita ajustar cada alternativa al binomio calidad–distancia–energía–operación, que resulta determinante para la viabilidad global del sistema. De este modo, las soluciones de regeneración pueden adaptarse más fácilmente a ámbitos de proximidad con esquemas sencillos y de bajo consumo energético, cuyo máximo exponente es la reutilización en origen en las instalaciones interiores de los abonados. En el otro extremo, los usos más alejados o exigentes solo se deben considerar cuando el equilibrio técnico y económico entre tratamiento, transporte y explotación resulte claramente favorable.

Un aspecto clave del enfoque adoptado es la reversibilidad de las actuaciones. Las soluciones propuestas permiten que la EDAR opere sin regeneración en escenarios de ausencia de demanda, manteniendo intacta la línea principal de depuración, tal y como se viene realizando actualmente con su instalación de reutilización interior. Asimismo, los módulos implantados en fases iniciales pueden seguir prestando servicio para usos internos o urbanos próximos, aunque no se desarrollen fases posteriores, evitando inversiones que queden infrautilizadas y reduciendo el riesgo de costes asociados a infraestructuras sobredimensionadas.

La flexibilidad y escalabilidad del sistema deben evaluarse también en relación con los consumos energéticos, los costes de explotación y las necesidades de personal. A medida que se incorporan trenes de regeneración más complejos, aumentan los requerimientos energéticos y operativos, lo que refuerza la conveniencia de reservar estas soluciones para escenarios con demanda estable, concentrada y técnicamente justificada. De cualquier forma, esta flexibilidad y escalabilidad se alinea con el enfoque de la necesidad de concretar las soluciones propuestas en este estudio de alternativas que se concrete mediante proyectos técnicos específicos y su correspondiente evaluación técnica y económica dentro de la planificación de inversiones de AQUAVALL en el ámbito de Valladolid–Alfoz,

6.3 Justificación económica

Para aquellas propuestas de ámbito municipal, más allá del fomento del uso del agua regenerada en las propias instalaciones interiores de los abonados, se planteará una justificación económica de las alternativas analizadas, como un ejercicio de evaluación comparativa y estratégica, orientado a identificar órdenes de magnitud, factores de coste y condicionantes económicos relevantes, sin que ello suponga la definición de presupuestos cerrados ni compromisos de inversión por parte de AQUAVALL. En coherencia con el carácter no prescriptivo del PFUAR, este apartado tiene como objetivo establecer un marco económico de referencia que permita valorar, en cada momento, la conveniencia relativa de las distintas alternativas técnicas cuando concurran las condiciones adecuadas para su eventual desarrollo.

El análisis económico se aborda de forma coherente con el enfoque técnico previamente desarrollado, teniendo en cuenta que la regeneración del agua en la EDAR de Valladolid se concibe como un sistema modular, escalable y condicionado a la demanda real, y no como una infraestructura dimensionada para la totalidad del caudal tratado. En este sentido, los costes asociados a la regeneración deben evaluarse siempre en relación con los usos concretos, los caudales efectivamente regenerados, el nivel de calidad exigido y el alcance de las infraestructuras de distribución necesarias.

Desde esta perspectiva, la justificación económica se estructura en torno a los siguientes principios:

- Evaluación diferenciada de costes de inversión (CAPEX) y costes de explotación (OPEX) asociados a los distintos trenes de regeneración y esquemas de distribución.
- Análisis proporcional de los costes en función del grupo de exigencia y del nivel de tratamiento requerido, evitando generalizaciones que conduzcan a sobredimensionamientos.
- Consideración del binomio calidad – distancia – energía – operación como elemento central de la viabilidad económica, en coherencia con el análisis técnico.
- Identificación de beneficios económicos indirectos y costes evitados, tales como la sustitución de recursos convencionales, la reducción de presiones sobre masas de agua, el refuerzo de la resiliencia del sistema y la mejora de la seguridad de suministro en escenarios de sequía.
- Reconocimiento explícito de que cualquier alternativa deberá desarrollarse, en su caso, mediante proyectos técnicos y estudios económicos específicos, que permitan afinar costes, calendarios y fuentes de financiación.

Este análisis se apoya en rangos de costes habituales en instalaciones de regeneración de características similares, en experiencias de referencia a nivel nacional y en el conocimiento operativo del sistema Valladolid–Alfoz, sin perjuicio de que los valores aquí considerados deban ser actualizados y ajustados en fases posteriores de planificación o proyecto.

Igualmente, se realizará un análisis de viabilidad financiera, en el que los ingresos esperados se ajustarán de manera que las tarifas en ningún caso superen las de los recursos convencionales reemplazados, respetando siempre el principio de recuperación de costes y salvo en aquellos casos que no sea posible satisfacer la demanda con las infraestructuras existentes.

Por tanto, la justificación económica no persigue determinar la viabilidad financiera de la reutilización, sino valorar su viabilidad económica relativa, su coherencia con los objetivos estratégicos del PFUAR y su capacidad para integrarse de forma eficiente en la planificación de inversiones de AQUAVALL, especialmente en un contexto de creciente presión sobre los recursos hídricos y de adaptación al cambio climático.

La diferencia entre los estudios de viabilidad económica y financiera determinarán la necesidad de las ayudas finalistas al establecimiento de cada actuación, y los costes que deberán ser repercutidos a lo largo de su ciclo de vida para garantizar la sostenibilidad de cada propuesta, de

manera transparente para todos los involucrados y especialmente para los demandantes del recurso, ciudadanos en general.

6.3.1 Consideraciones generales de coste

La evaluación económica de la reutilización de agua regenerada requiere un análisis específico y diferenciado respecto a los recursos hídricos convencionales, ya que su estructura de costes responde a lógicas técnicas y operativas sustancialmente distintas, más debido a que la utilización de recursos superficiales o subterráneos suele aprovechar infraestructuras históricas ya amortizadas para considerar solo costes marginales relativamente bajos omitiendo la necesidad de su renovación, la regeneración del agua tratada implica la incorporación de nuevos procesos, instalaciones y exigencias operativas que deben ser ineludiblemente analizados de forma explícita. No es el caso de Valladolid, donde los márgenes operativos del servicio se reinvierten anualmente en la renovación de sus infraestructuras.

En este contexto, el análisis de costes de la reutilización debe abordarse de forma estructurada y coherente con la clasificación de calidades de agua y grupos de exigencia definidos en el presente Plan. Desde el punto de vista económico, resulta imprescindible diferenciar, en primer lugar, los costes asociados a un tren de regeneración implantado en la EDAR, y, en segundo término, los costes derivados de las infraestructuras necesarias para el uso final del agua regenerada.

Los costes del tren de regeneración se componen fundamentalmente de los costes de inversión (CAPEX), ligados a la ejecución de obra civil, adquisición de equipos, automatización e instrumentación, y de los costes de operación y mantenimiento (OPEX), asociados al consumo energético, productos químicos, personal, mantenimiento y control analítico. Ambos tipos de costes están directamente condicionados por el nivel de calidad exigido al agua regenerada, que determina la complejidad del tratamiento requerido, el número de barreras necesarias y el grado de estabilidad y control que debe garantizarse en la explotación.

Así, las calidades más exigentes, asociadas a usos con mayor riesgo sanitario o mayor sensibilidad del proceso receptor, requieren trenes de regeneración más complejos, con tratamientos de afino y barreras múltiples, lo que se traduce en mayores inversiones iniciales y en costes operativos más elevados, especialmente por consumo energético, reposición de equipos críticos y exigencias de control continuo. Por el contrario, las calidades de exigencia media o baja permiten soluciones de tratamiento más sencillas, con menores necesidades de inversión y una explotación más contenida desde el punto de vista económico.

Un elemento clave en este análisis es la economía de escala, especialmente relevante en los trenes de regeneración. El coste unitario por metro cúbico de agua regenerada disminuye de forma significativa a medida que aumenta la capacidad de tratamiento, debido a la dilución de los costes fijos de obra civil, equipos, automatización y gestión sobre mayores volúmenes de producción. Este efecto es especialmente acusado cuando la regeneración se integra en una EDAR de gran tamaño, permitiendo optimizar tanto el CAPEX como el OPEX mediante el aprovechamiento de infraestructuras existentes, personal técnico ya operativo, sistemas de control centralizados y, en su caso, recursos energéticos propios. Por este motivo, el PFUAR considera prioritario evitar esta trampa, evaluando soluciones modulares y escalables, evitando sobredimensionamientos desconectados de la demanda real, supeditada a un valor marginal del agua regenerada o productividad económica para el usuario, mayor que otras alternativas a su alcance o al del servicio municipal.

De forma complementaria al coste del tratamiento, la evaluación económico-financiera de la reutilización debe incorporar de manera expresa los costes asociados a las infraestructuras auxiliares necesarias para el uso efectivo del agua regenerada, ya que, en numerosos casos, estos pueden constituir el factor determinante de la viabilidad global del sistema. A diferencia del tren de

regeneración, cuya implantación se concentra en la EDAR, estas infraestructuras están directamente condicionadas por el tipo de uso final, la localización de la demanda real y el grado de dispersión territorial de los usuarios.

En función del destino del agua regenerada, pueden identificarse los siguientes ámbitos de coste:

- Usos urbanos de riego (parques, jardines y zonas verdes): Requieren la implantación de redes específicas de distribución de agua regenerada, diferenciadas de la red de abastecimiento, así como la adaptación o ejecución de los sistemas de riego. Deben considerarse los costes asociados a tuberías, válvulas, hidrantes, sistemas de control y telemando, así como los propios elementos de aplicación (aspersores, difusores, programadores), especialmente cuando se trate de superficies extensas o de riegos automatizados.
- Usos urbanos operativos (baldeo de calles, limpieza viaria, etc.): Requieren infraestructuras logísticas específicas, tales como sistemas de carga de camiones cisterna, bocas de llenado dedicadas, señalización diferenciada y elementos de seguridad sanitaria y operativa. En estos casos, el coste del tratamiento puede ser relativamente reducido frente al coste de implantación de los sistemas de suministro y gestión del recurso.
- Usos industriales no alimentarios: Implican la necesidad de conducciones específicas de transporte desde la EDAR hasta los centros de consumo, con puntos de entrega diseñados conforme a los requisitos de los procesos productivos. En función de la distancia, el caudal demandado y el régimen de suministro, estos costes pueden incluir estaciones de bombeo, sistemas de medición y control, y elementos de seguridad hidráulica, adquiriendo un peso relevante en el coste total del recurso.
- Destinos ambientales y usos urbanos paisajísticos: En el caso de balsas de percolación, humedales artificiales o láminas de agua, deben incorporarse los costes de construcción de las propias infraestructuras, incluyendo movimientos de tierras, impermeabilización, obras de regulación, acondicionamiento del entorno y sistemas de control hidráulico. Estos costes son altamente dependientes del emplazamiento y del diseño adoptado, y deben evaluarse de forma específica para cada actuación.

Por lo tanto, la evaluación económica de la reutilización no puede limitarse al análisis del coste del agua regenerada a la salida del tratamiento, sino que debe contemplar el conjunto del sistema tratamiento–distribución–uso, identificando para cada alternativa los elementos de infraestructura necesarios y su peso relativo en el coste global. Este enfoque permite valorar con mayor precisión la idoneidad de cada uso, priorizar aquellos con menor requerimiento de infraestructuras adicionales y evitar soluciones que, aun siendo técnicamente viables, resulten desproporcionadas desde el punto de vista económico.

6.3.2 Costes de inversión (CAPEX)

La inversión asociada a la reutilización no se concentra únicamente en disponer de un tren de regeneración, sino que se materializa en un **sistema completo** que debe asegurar, con el nivel de robustez requerido, las **calidades objetivo** definidas en el análisis técnico (grupos de exigencia) y su entrega en condiciones operativas y sanitarias adecuadas. En consecuencia, el CAPEX debe evaluarse de forma diferenciada en dos grandes bloques:

- **Estación Regeneradora de Agua (ERA)**, como ampliación funcional de la EDAR mediante la incorporación de uno o varios trenes de regeneración (convencional, reforzado o de mayor exigencia), cuyo coste se ve condicionado por el grupo de calidad, la redundancia necesaria para garantizar cumplimiento estable y el caudal efectivamente regenerado (economías de escala).
- **Infraestructuras auxiliares**, imprescindibles para convertir la producción en un recurso utilizable: redes “agua morada”, impulsiones, almacenamiento, puntos de entrega y

elementos finales de uso (riego, baldeo, usos industriales o ambientales), cuyo peso puede ser comparable o incluso superior al de la propia ERA cuando la demanda es dispersa o distante.

En el caso de AQUAVALL, este análisis debe conectarse con su programación de inversiones y fuentes de financiación (presupuesto anual, programa financiero plurianual, planificación directora), de forma que la reutilización se integre, según proceda, como una línea inversora planificable, elegible y escalable, a través de oportunidades de financiación mediante ayudas específicas, sin comprometer la sostenibilidad del ciclo integral del agua.

6.3.2.a Estación Regeneradora de Agua (ERA)

Los costes de inversión asociados a las alternativas de regeneración se concentran, en primer lugar, en la ejecución de la Estación Regeneradora de Agua (ERA), entendida como la ampliación o complemento de la EDAR mediante la incorporación de trenes de tratamiento de regeneración para su posterior reutilización. El CAPEX de la ERA depende fundamentalmente de la calidad de agua objetivo y del caudal de diseño, siendo ambos factores determinantes en la configuración tecnológica, el número de etapas y el grado de robustez del sistema.

De acuerdo con experiencias reales en España, los principales componentes del CAPEX de una ERA son los siguientes:

1. **Obra civil y edificación:** Incluye estructuras, edificios, cubetos, canales, cimentaciones y adaptación a la EDAR existente. Representa habitualmente entre 25 y 40 % del CAPEX total, con valores más bajos cuando se integra en una EDAR existente. La integración en instalaciones existentes permite reducciones de hasta un 25–30 % frente a plantas independientes.
2. **Equipos de proceso del tren de regeneración es el bloque más dependiente de la calidad exigida:**
 - **Tratamientos de baja y media exigencia** (filtración convencional + desinfección): Costes de inversión típicos del orden de **0,30–0,60 €/m³·año de capacidad instalada**.
 - **Tratamientos de alta exigencia (físico-químico + filtración avanzada + UF):** Incremento notable del CAPEX, con valores habituales entre **0,60–1,00 €/m³·año**.
 - **Tratamientos de muy alta exigencia** (UF + desinfección redundante y/o tratamientos de pulido): Valores que pueden situarse entre **1,00 y 1,50 €/m³·año**, en función de redundancias y grado de automatización.

En este PFRAR no se han planteado tratamiento de regeneración avanzando, o de calidad A o A+, que indudablemente serían necesarios sistemas de membrana (UF / UF+RO, cuando proceda). Estos sistemas de membranas suponen uno de los principales componentes del CAPEX en trenes avanzados. Así, por ejemplo, **sistemas UF** completos (skids, bombeos, instrumentación) se sitúa típicamente entre **250 y 450 €/m³/h de capacidad instalada**, disminuyendo claramente con el aumento de caudal. En configuraciones con **ósmosis inversa**, el CAPEX puede incrementarse entre un **30 y un 60 %** adicional respecto a UF, debido al mayor número de equipos, presiones de operación y requerimientos energéticos.

3. **Sistemas eléctricos, instrumentación y automatización.** Incluyen cuadros eléctricos, variadores, instrumentación online, integración en SCADA y sistemas de control. Representan habitualmente entre **10 y 15 % del CAPEX total**, con mayor peso en calidades altas y muy altas por la necesidad de control continuo.

4. **Ingeniería, dirección de obra y puesta en marcha.** Incluye ingeniería básica y de detalle, dirección facultativa, pruebas y validación. Suele situarse en el entorno del **8–12 % del CAPEX**, dependiendo del grado de complejidad del tren de tratamiento.

Tabla 22 Distribución de costes CAPEX en ERA.

Concepto	% CAPEX
Obra civil y edificación	25 – 40 %
Equipos de proceso (filtración, membranas, desinfección)	35 – 50 %
Sistemas eléctricos, instrumentación y automatización	10 – 15 %
Ingeniería, dirección de obra y puesta en marcha	8 – 12 %

Como se ha comentado anteriormente, desde una perspectiva económica, se confirma la existencia de economías de escala muy marcadas en las ERA. El coste de inversión unitario disminuye de forma significativa al aumentar la capacidad, siguiendo relaciones de tipo potencial con exponentes del orden de 0,6–0,7, lo que penaliza claramente las instalaciones de pequeño tamaño y refuerza el planteamiento de soluciones modulares y escalables, sin que deba utilizarse este comportamiento de los costes para sobredimensionar una demanda inexistente.

Por lo tanto, una vez analizadas las alternativas y evaluada su idoneidad para los usos previstos, deberá dimensionarse cada instalación de forma diferenciada según el grupo de exigencia de calidad establecido. Esto permitirá evitar sobredimensionamientos innecesarios y priorizar configuraciones técnicas ajustadas al uso real del agua regenerada, en coherencia con los principios técnicos y económicos del Plan de Fomento de Reutilización de Aguas Regeneradas (PFRAR). Para ello, será necesario desarrollar los correspondientes proyectos técnicos e incluir los costes de implantación en la planificación de inversiones de AQUAVALL, dentro del quinquenio en que se plantee su ejecución.

Tabla 23 Estimación costes de implantación de equipos de proceso exclusivamente. CAPEX.

Exigencia	Tren de Regeneración.	Estimación CAPEX (€/m ³ ·año de capacidad instalada)	Observaciones
Grupo 4 – Baja exigencia	Filtración simple o convencional + desinfección básica	0,30 – 0,45	Soluciones compactas, obra civil reducida y bajo nivel de automatización. Adecuado para usos ambientales o industriales de bajo riesgo.
Grupo 3 – Exigencia media	Filtración convencional (arena, discos, telas) + desinfección UV y/o cloración	0,45 – 0,65	Buen equilibrio coste–prestación. Representa el núcleo más favorable para implantaciones iniciales. Economías de escala claras a partir de 2–3 hm ³ /año.
Grupo 2 – Alta exigencia	Físico-químico + filtración avanzada + UF + desinfección	0,65 – 1,00	Incremento notable del CAPEX por membranas, instrumentación y control. Coste unitario muy dependiente del caudal de diseño.
Grupo 1 – Muy alta exigencia (A+)	Físico-químico + UF + desinfección redundante (UV + química)	1,00 – 1,50	Trenes de alta robustez y redundancia. CAPEX elevado justificado solo para demandas industriales críticas y estables.

6.3.2.b Infraestructuras auxiliares

De forma complementaria al coste del tratamiento en la Estación Regeneradora de Agua (ERA), la evaluación económica de la reutilización debe incorporar de manera expresa los costes asociados a las infraestructuras auxiliares necesarias para el uso efectivo del agua regenerada. En numerosos escenarios, estos costes pueden igualar o incluso superar la inversión asociada al propio tren de regeneración.

A diferencia de la ERA, cuya implantación se concentra en el ámbito de la EDAR, las infraestructuras auxiliares están directamente condicionadas por el coste marginal o productividad económica asociada al agua regenerada, que a su vez es función del tipo de uso final, la localización de la demanda real, la distancia a los puntos de consumo y el grado de dispersión territorial. Cabe señalar que este tipo de costes resulta especialmente complejo de evaluar, ya que existen múltiples condicionantes que, sin un estudio de detalle previo (proyecto constructivo o estudio de alternativas), dificultan incluso el establecimiento de un orden de magnitud fiable.

Desde el punto de vista del CAPEX, pueden identificarse los siguientes ámbitos de coste, con órdenes de magnitud claramente diferenciados:

1. Usos urbanos de riego (parques, jardines y zonas verdes). Requieren la ejecución de redes específicas de distribución de agua regenerada, completamente separadas de la red de abastecimiento potable, así como la adaptación o implantación de los sistemas de riego.
 - a. Redes de tuberías (PVC/PEAD, diámetros pequeños–medios): 150–400 €/m lineal, incluyendo obra civil.
 - b. Elementos hidráulicos (válvulas, hidrantes, ventosas, contadores): 15–25 % del coste de red.
 - c. Sistemas de riego (aspersión, goteo, automatización): 0,8–2,0 €/m² de superficie regada, dependiendo del grado de tecnificación.

En superficies extensas o redes malladas, este bloque puede representar el principal componente del CAPEX total del sistema de reutilización.

2. Usos urbanos operativos (baldeo de calles, limpieza viaria). Se caracterizan por caudales relativamente bajos, pero requieren infraestructuras logísticas específicas:
 - a. Sistemas de carga de camiones cisterna y bocas de llenado dedicadas: 40.000–120.000 € por punto, según automatización y medidas de seguridad.
 - b. Depósitos intermedios de regulación (100–500 m³): 300–600 €/m³ de capacidad instalada.

En estos casos, el CAPEX del tratamiento suele ser reducido frente al peso relativo de la infraestructura de suministro.

3. Usos industriales no alimentarios. Implican la construcción de conducciones específicas de transporte desde la EDAR hasta los centros de consumo, con requisitos de fiabilidad elevados.
 - a. Conducciones de transporte (PEAD/FD, diámetros medios): 300–700 €/m lineal, muy dependiente del trazado y la obra civil.
 - b. Estaciones de bombeo y puntos de entrega industriales: 100.000–500.000 € por instalación, en función del caudal y presión requeridos.

En distancias superiores a 2–3 km, este bloque puede condicionar decisivamente la viabilidad económica del uso industrial.

4. Destinos ambientales y usos urbanos paisajísticos (balsas, humedales, láminas de agua) Incluyen infraestructuras de almacenamiento, infiltración o regulación superficial.
 - a. Balsas excavadas sin impermeabilización: 0,2–0,4 €/m³ de capacidad o 5–10 €/m² de superficie.
 - b. Balsas impermeabilizadas o con mayor complejidad constructiva: 0,4–0,8 €/m³ o 15–25 €/m².
 - c. Obras de entrada/salida, aliviaderos, accesos y seguridad: 20–40 % del coste de la balsa.

Estos costes presentan una elevada variabilidad en función de la geotecnia y del emplazamiento, pero suelen ser económicamente competitivos frente a otras soluciones de almacenamiento.

6.3.3 Costes de operación y mantenimiento (OPEX)

Es fundamental destacar que, a diferencia de los CAPEX, que pueden beneficiarse de diversos mecanismos de financiación y ayudas públicas que reducen o eliminan el impacto presupuestario inmediato, **los costes operativos deben ser asumidos íntegramente por el sistema durante toda la vida útil de la instalación, y nunca pueden superar el valor marginal o productividad del agua regenerada para los usuarios.**

Esta circunstancia convierte el OPEX en el verdadero factor limitante de la viabilidad económica de los proyectos de reutilización. Cuando se habla de OPEX hay que tener en cuenta que son costes que tienen a aumentar los costes de explotación y por tanto de la propia tarifa del agua.

Hay que tener en cuenta también, que, a efectos de evaluación económica y diseño de esquemas tarifarios, resulta fundamental diferenciar entre costes fijos y costes variables del OPEX:

- **Costes fijos:** Son aquellos independientes del volumen de agua efectivamente regenerada, y deben asumirse incluso en periodos de baja o nula demanda. Incluyen principalmente el deterioro asociado al paso del tiempo en parada, el personal de supervisión y operación base, el mantenimiento preventivo programado de equipos e instalaciones, la prevención de los riesgos sanitarios asociados al uso del agua regenerada, los seguros y costes de estructura, y parte del control analítico obligatorio. Estos costes representan habitualmente entre 40–55% del OPEX total en tratamientos de media y alta exigencia, pudiendo alcanzar el 60% en instalaciones de pequeño tamaño debido al menor aprovechamiento de economías de escala.
- **Costes variables:** Son proporcionales al volumen de agua tratada y, por tanto, se ajustan en función de la demanda real. Comprenden fundamentalmente el consumo energético (bombes, equipos de tratamiento), los productos químicos (desinfectantes, coagulantes, floculantes), los consumibles específicos asociados al desgaste (reposición de lámparas UV, telas filtrantes, membranas cuando se agotan por volumen tratado), y parte de las analíticas vinculadas a la producción. En tratamientos terciarios convencionales, los costes variables suelen representar entre 45–60% del OPEX total, incrementándose hasta el 60–70% en sistemas avanzados con membranas debido al mayor peso del consumo energético.

Esta distinción resulta fundamental cuando se habla de implicaciones en el diseño de modelos tarifarios que permitan recuperar costes de forma eficiente, combinando una componente fija (que garantice la cobertura de costes estructurales independientemente de la demanda) con una componente variable (proporcional al volumen consumido).

Los principales componentes del OPEX de una ERA son los siguientes:

6.3.3.a Consumo energético

Representa habitualmente el mayor componente del coste operativo, especialmente en tratamientos avanzados con membranas. El consumo energético varía significativamente según la tecnología empleada:

- **Tratamientos de baja y media exigencia** (filtración convencional + desinfección): Consumos típicos entre 0,15–0,25 kWh/m³, principalmente asociados a bombes y sistemas UV.
- **Tratamientos de alta exigencia** (físico-químico + filtración avanzada + UF): Incremento notable del consumo energético, situándose entre 0,25–0,40 kWh/m³ adicionales.

- **Tratamientos de muy alta exigencia** (UF + desinfección redundante): Valores que pueden alcanzar otros 0,40–0,60 kWh/m³ más, dependiendo de las presiones de operación y del grado de automatización.

Considerando un precio de energía eléctrica para usuarios industriales entre 0,15–0,18 €/kWh, el coste energético por metro cúbico tratado puede situarse entre 0,09–0,19 €/m³, representando entre 30 y 50% del OPEX total en función de la tecnología empleada y la demanda real a servir.

6.3.3.b Productos químicos

Incluyen reactivos para coagulación-floculación (cuando proceda), desinfectantes (hipoclorito sódico, cloro gas) y productos auxiliares (correctores de pH, antiincrustantes). El consumo de productos químicos varía según el grupo de exigencia:

- **Hipoclorito sódico**: Dosis típicas de 3–8 ppm (mg/L), con costes unitarios de 0,30–0,40 €/kg, equivalentes a 0,001–0,003 €/m³.
- **Coagulantes-floculantes** (en tratamientos físico-químicos): Dosis de 20–50 ppm, con costes de 0,008–0,020 €/m³.
- **Otros productos auxiliares**: Representan habitualmente el 15–25% del coste total de reactivos en tratamientos no avanzados. Cuando se trate de tratamientos que requieran desincrustantes, lavados ácidos, neutralizaciones de vertidos, etc., pueden representar entre el 200 y el 500% de los anteriores, y deberán estudiarse cuidadosamente ya que generalmente el uso de los productos adecuados y su frecuencia condicionará la vida útil de las instalaciones

El coste total por productos químicos se sitúa habitualmente entre 0,01–0,1 €/m³ para tratamientos sencillos, siendo mucho más elevado en tratamientos de alta y muy alta exigencia que requieren físico-químico previo.

6.3.3.c Personal

Junto con el coste de la energía, el coste del personal es de los más importantes en el análisis de los OPEX. Los costes de personal incluyen tanto operarios de proceso como técnicos de supervisión y control. Dada la tendencia actual hacia la automatización e integración de las ERAs en el sistema SCADA de las EDARs existentes, estos costes presentan claras economías de escala:

- **Instalaciones pequeñas** (< 2 hm³/año): Requieren entre 800–1.200 h/año de personal operativo, equivalentes a 0,012–0,018 €/m³ (considerando costes laborales medios de 35–40 €/h, incluyendo cargas sociales).
- **Instalaciones medias** (2–5 hm³/año): Incremento moderado hasta 1.200–1.800 h/año, con reducción del coste unitario a 0,008–0,014 €/m³.
- **Instalaciones grandes** (> 5 hm³/año): Requieren 1.800–2.500 h/año, con costes unitarios de 0,006–0,010 €/m³.

El personal técnico de supervisión representa habitualmente un 10% adicional sobre las horas de personal operativo.

6.3.3.d Mantenimiento y reposición de equipos

Este bloque incluye mantenimientos preventivos, correctivos y reposición programada de elementos consumibles y equipos críticos:

- **Mantenimiento de obra civil y edificación**: 0,25% anual del valor de inversión.
- **Mantenimiento de equipos mecánicos**: 4–5% anual del valor de inversión en equipos.

- **Mantenimiento de equipos eléctricos e instrumentación:** 3–4% anual del valor de inversión correspondiente.
- **Elementos específicos consumibles**, aunque no necesariamente en operación:
 - Telas filtrantes: Vida útil 2–4 años, coste 600–800 €/unidad.
 - Lámparas UV: Vida útil 8.000–12.000 h, coste 700–900 €/unidad.
 - Membranas de ultrafiltración: Vida útil 3–5 años, coste 25–33% del valor inicial del módulo.

El coste total de mantenimiento y reposición se sitúa habitualmente entre 0,05–0,30 €/m³, siendo mucho más elevado en sistemas con membranas por el mayor número de elementos consumibles y la necesidad de operaciones de limpieza química periódica con productos específicos.

6.3.3.e Control analítico y verificación de calidad

El cumplimiento del RD 1085/2024 requiere un programa de control analítico continuo, cuya frecuencia e intensidad dependen del grupo de exigencia de calidad. Los costes analíticos incluyen:

- **Análisis microbiológicos:** E. coli, Legionella (cuando proceda), con frecuencias desde semanal (grupos 1 y 2) hasta mensual (grupos 3 y 4).
- **Parámetros fisicoquímicos:** Turbidez, sólidos en suspensión, DQO, nutrientes (según proceda).
- **Parámetros de control operacional:** Cloro residual, pH, conductividad (monitorización online).

Los costes analíticos anuales varían significativamente según la escala y el grupo de exigencia:

- Instalaciones pequeñas (< 2 hm³/año): 6.000–10.000 €/año (0,003–0,010 €/m³).
- Instalaciones grandes (> 5 hm³/año): 12.000–20.000 €/año (0,002–0,004 €/m³).

6.3.3.f 6. Costes indirectos

Incluyen seguros, servicios auxiliares, gestión administrativa y costes generales de estructura. Representan habitualmente entre 15–20% de los costes directos de operación.

6.3.3.g Síntesis de costes operativos por grupo de exigencia

La siguiente tabla resume los rangos orientativos de OPEX según el grupo de exigencia de calidad, expresados en €/m³ de agua regenerada producida:

Tabla 24 Estimación de costes mínimos para operación y mantenimiento (OPEX)

Exigencia	Tren de Regeneración	OPEX estimado (€/m ³)	Principales componentes
Grupo 4 – Baja exigencia	Filtración simple + desinfección básica	0,04 – 0,07	Energía (35%), personal (25%), mantenimiento (20%), químicos (15%), otros (5%)
Grupo 3 – Exigencia media	Filtración convencional + desinfección UV y/o cloración	0,06 – 0,15	Energía (40%), personal (20%), mantenimiento (20%), químicos (12%), analíticas y otros (8%)
Grupo 2 – Alta exigencia	Físico-químico + filtración avanzada + UF + desinfección	0,15 – 0,19	Energía (45%), químicos (18%), mantenimiento y reposición membranas (18%), personal (12%), analíticas y otros (7%)
Grupo 1 – Muy alta exigencia (A+)	Físico-químico + UF + desinfección redundante	0,25 – 0,35	Energía (50%), mantenimiento y reposición (20%), químicos (15%), personal (10%), analíticas y otros (5%)

Los valores presentados corresponden a grandes instalaciones, con capacidades entre 2 y 10 hm³/año, que representan el rango más favorable desde el punto de vista de las economías de

escala. Para capacidades inferiores, los costes unitarios pueden incrementarse entre un 20–40%, principalmente por el mayor peso relativo del personal y los costes fijos.

De acuerdo con experiencias documentadas en grandes plantas reales en España (Expósito et al., 2024), los costes totales del agua regenerada mediante tratamientos terciarios convencionales (grupos 3 y 4) se sitúan entre 0,45–0,65 €/m³ cuando se incluyen tanto OPEX como la anualización del CAPEX. Para tratamientos avanzados con ultrafiltración (grupos 1 y 2), estos valores pueden alcanzar fácilmente o incluso superar el orden de 0,80–1,16 €/m³.

Es importante destacar que los rangos de OPEX presentados para el agua regenerada son significativamente superiores a los costes asociados a las fuentes de agua convencionales de gran calidad y actualmente disponibles en superficie para AQUAVALL. Esta diferencia económica ha condicionado históricamente la implementación de sistemas de reutilización para usos ordinarios en el ámbito municipal de Valladolid. Esta diferencia económica debe contextualizarse en el marco amplio de análisis que incorpore no solo los costes directos de producción y distribución, sino también otros factores determinantes para la sostenibilidad del ciclo del agua a medio y largo plazo, especialmente en el contexto del cuarto ciclo de planificación hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Duero (2028-2033).

En primer lugar, resulta necesario considerar que los costes actuales captaciones ya internalizan completamente las externalidades ambientales asociadas a su explotación. Las masas de agua del acuífero aluvial subsuperficial que se bombean desde sótanos particulares y se infiltran al alcantarillado representan además un incentivo para el aprovechamiento en origen más que para su evacuación junto con las aguas residuales y su posterior re-elevación, depuración y regeneración. .

Adicionalmente, los vertidos del efluente de la EDAR de Valladolid al río Pisuerga, no solo cumplen con los límites establecidos en la autorización de vertido, sino que representan un recurso tanto ambiental como hídrico potencialmente aprovechable aguas abajo, sin que supongan una carga contaminante al medio receptor, y cuyo aporte debe ser considerado en el balance ambiental global. La reutilización de aguas depuradas a nivel general del municipio, por el contrario, contribuye a reducir ese aporte, incrementa los costes energéticos al no reducir el aprovechamiento del freático en origen y no contribuye a incrementar los caudales circulantes aguas abajo del Pisuerga, sino que incrementa los costes operativos sin aportar un beneficio colectivo significativo para la cuenca del Duero.

En segundo lugar, en un contexto de creciente incertidumbre hidrológica derivada del cambio climático, que según las proyecciones de la Confederación Hidrográfica del Duero para el cuarto ciclo de planificación prevé reducciones de disponibilidad de recursos hídricos, y de previsible incremento de los costes de captación, potabilización y distribución, la reutilización puede ofrecer una alternativa estratégica para AQUAVALL garanticen tanto pueda contribuir a la diversificación de fuentes y la resiliencia del sistema de abastecimiento frente a episodios de escasez o restricciones de uso. Esta garantía de suministro representa un valor estratégico que no obstante de debe poder ser cuantificable en términos económicos, en tanto resulte determinante para sectores industriales sensibles, el mantenimiento de la limpieza urbana de las zonas verdes de la ciudad.

Por último, debe considerarse que la implantación progresiva de sistemas de reutilización en la EDAR de Valladolid puede generar economías de escala significativas y favorecer la optimización de las infraestructuras existentes de depuración, reduciendo progresivamente la brecha económica con las captaciones convencionales, aunque nunca se puedan igualar estas en costos o en calidad salvo para pequeños aprovechamientos en origen realizados junto a los puntos de demanda. En este sentido, el desarrollo inicial de proyectos piloto para usos de baja exigencia y la búsqueda de ayudas financieras para la implantación gradual de soluciones demostrativas, modulares y escalables, tal como se plantea estudiar en este PFUAR para la década 2026-2036, permitirá a AQUAVALL ajustar adquirir y difundir conocimientos a la vez que seleccionar las configuraciones tecnológicas requeridas para satisfacer las necesidades reales del municipio, maximizando la

relación coste-beneficio y favoreciendo la aceptación social y económica ante el uso de estas alternativas.

La evaluación integral de la viabilidad de la reutilización debe, por tanto, integrar el análisis estrictamente financiero e incorporar criterios de sostenibilidad energética y ambiental, , reducción de la huella de carbono del servicio, garantizar el caudal aguas abajo del río Pisuerga, seguridad de suministro y resiliencia territorial. Estos criterios, alineados con los objetivos de la Confederación Hidrográfica del Duero para el cuarto ciclo de planificación y con los principios de gestión sostenible del agua establecidos por la Directiva Marco del Agua, sitúan en algunas ocasiones al agua regenerada como un recurso estratégico complementario, que debe evaluarse dentro de una gestión moderna e integrada del ciclo urbano del agua en Valladolid.

6.3.4 Beneficios económicos indirectos

Más allá del CAPEX y del OPEX, la reutilización aporta una serie de beneficios económicos indirectos que, aun siendo difíciles de reflejar en una cuenta de resultados anual, resultan determinantes para valorar la conveniencia estratégica de las alternativas por parte de los usuarios que puedan aprovechar el incremento de coste marginal o la productividad asociada al agua regenerada, y, además, siempre que sea posible encontrar los socios inversores dispuestos a involucrarse para aprovecharlos.

En Valladolid, estos beneficios deben interpretarse siempre en relación con los **grupos de exigencia de calidad** ya definidos: a mayor exigencia (p. ej., usos industriales críticos), mayor coste del tren de regeneración y por lo tanto coste, pero también debe suponerse que en esos casos la demanda conlleva un mayor valor económico asociado a la **continuidad de suministro** y a la **reducción del riesgo**. Por otra parte, en calidades medias o bajas (usos urbanos y ambientales), el beneficio económico, al seguir idénticas leyes, se concentra en las inmediaciones del punto de demanda, pudiéndose emplear para la **liberación de recursos convencionales** o en el **cumplimiento ambiental**, o dicho de otra forma, en un planteamiento general del servicio es difícilmente viable en términos racionales de productividad marginal, salvo en casos de extrema necesidad.

En primer lugar, la reutilización permite **sustituir agua potable o recursos subterráneos procedentes de achiques de freáticos** en usos no potables municipales o particulares (zonas verdes, baldeo, usos paisajísticos), liberando caudales para el abastecimiento prioritario y reduciendo tensiones operativas en episodios de sequía. Este efecto es coherente con el enfoque que AQUAVALL está desarrollando en su planificación, orientado a reducir dependencias y mejorar la eficiencia del sistema urbano.

En segundo lugar, aporta un beneficio asociado a la **reducción de presiones sobre el dominio público hidráulico**: menos extracción (cuando exista sustitución real de recursos), aunque con menor devolución de caudales sobre el medio receptor al reorganizar el balance entre vertido y reutilización, reduciendo el caudal circulante que depende del liberado por la ciudad aguas abajo del Pisuerga. Este tipo de efectos cobra relevancia en el marco de la planificación hidrológica, donde la CHD incorpora criterios ambientales y de inversión vinculados a políticas europeas y a objetivos de transición ecológica. Este organismo se identifica como el principal beneficiario de cualquier posible sustitución de los recursos hídricos convencionales por aguas regeneradas, por lo que cualquier actuación que vaya a proyectarse deberá alinearse a su planificación.

En tercer lugar, la reutilización introduce **resiliencia**. Una ERA bien dimensionada y explotada ofrece un suministro relativamente estable (vinculado al caudal depurado) y, por tanto, funciona como “seguro operativo” para los servicios municipales de menor calidad o las demandas industriales que pudieran identificarse. En usos de alta exigencia, esta resiliencia puede traducirse

en valor económico tangible para los consumidores ante situaciones excepcionales (menor riesgo de paradas, continuidad de producción, estabilidad de calidad).

Finalmente, debe considerarse la repercusión económica ligada a la **financiabilidad**. El RD 1085/2024 prevé que las Administraciones impulsen la reutilización mediante los instrumentos económicos que consideren adecuados (como el incremento de su endeudamiento, la subida de tarifas o el aumento de impuestos) pero también contempla ayudas que pueden alcanzar la totalidad de los costes adicionales asociados a la reutilización en determinados supuestos, además de habilitar convenios con agentes públicos/privados para proyectos alineados con estrategias corporativas de sostenibilidad. En la práctica, esto abre la puerta a estructurar actuaciones (regeneración, redes, control, digitalización, trazabilidad y monitorización) para que sean elegibles en convocatorias y programas, que podrán estudiarse en tanto permitan relevar el esfuerzo inversor de AQUAVALL en el futuro.

6.3.5 Enfoque económico adoptado por el PFUAR

El artículo 41 del texto refundido de la Ley de Aguas establece en su quinto apartado que la planificación hidrológica de cuenca debe incluir un análisis económico de los usos del agua. Dado que este Plan de Fomento del Uso del Agua Regenerada debe alinearse con dicha planificación superior, se establece que cualquier propuesta o solicitud de autorización del agua deberá contar con un detallado análisis de coste viabilidad, tanto desde el punto de vista económico como financiero.

Además, el enfoque económico del PFUAR parte de una premisa operativa: en Valladolid, la reutilización no debe plantearse como sustitución generalizada del recurso convencional, sino como herramienta estratégica y complementaria, activable allí donde el sistema obtiene mayor valor para el público: prioritariamente fomentando el uso en origen o ciertas demandas industriales, para mejorar el servicio en términos de resiliencia, cumplimiento ambiental, continuidad. Esta visión es coherente con el RD 1085/2024, que sitúa la reutilización dentro de los objetivos de economía circular, adaptación a situaciones extremas de sequía y reducción de presiones sobre los recursos convencionales, y articula su despliegue mediante estudios planes de fomento del uso que exigen alternativas, medidas, costes y cronograma.

Desde la óptica de AQUAVALL, el PFUAR debe servir como marco de decisión para incorporar la reutilización a su cartera inversora de forma prudente: (i) evitando intereses espurios, (ii) rechazando sobredimensionamientos inspirados en demandas imaginarias, (iii) asignando a cada uso el grupo de calidad estrictamente necesario, y (iv) priorizando esquemas donde las necesidades de inversión y el coste de explotación sean financieramente viables (distancias cortas, usuarios plenamente identificados con consumos agregados, redes con trazados viables, almacenamiento razonable). En otras palabras, la economía del proyecto no la determina solo la ERA; la determina el binomio calidad-caudal y, de manera decisiva, el binomio distancia–infraestructura. Por ello, resulta evidente que las iniciativas para fomentar el uso de estos recursos deben orientarse principalmente a la reutilización en origen, dentro de las propias instalaciones del consumidor, y no tanto a grandes proyectos municipales ni mucho menos a supramunicipales iniciativas faraónicas.

En paralelo, el PFUAR debe explicitar una estrategia realista de **financiación**. El RD 1085/2024 contempla la posibilidad de instrumentos económicos y ayudas públicas, incluidas ayudas a costes adicionales y, además, el marco de planificación y recuperación de costes de la CHD recuerda que una parte de las inversiones hidráulicas (especialmente las vinculadas a objetivos ambientales y de interés general) se financian habitualmente por vía presupuestaria y fondos públicos, y que los fondos europeos, cuando se emplean, no son recuperables por la vía tarifaria clásica. Con ese

marco, la combinación típica para AQUAVALL se podrá articular (según proyecto y selección) a través de:

1. **Fondos y programas públicos** orientados a modernización, resiliencia y digitalización del ciclo del agua (especialmente a través de convocatorias europeas).
2. **Convenios y cofinanciación** con Administraciones competentes y, cuando proceda, con beneficiarios de la sustitución (industria, usos municipales específicos, actuaciones ambientales con retorno público), tal como habilita el reglamento siempre que se garantice su sostenibilidad económica a medio y largo plazo.
3. **Planificación propia**, integrando la reutilización como inversiones escalables dentro del marco presupuestario y financiero del servicio, con evaluación explícita del impacto sobre el equilibrio económico del servicio.

Ayudas previstas en la Ley de Aguas en el artículo 109.2 o la exención establecida en el artículo 114.2. Igualmente, el artículo 113.1 indica que el volumen de agua que se reutilice estará exento del canon de control de vertido. Sin perjuicio, de acuerdo con el art. 109 quinquies, que los costes adicionales asociados a la reutilización de aguas en esas situaciones podrán ser asumidos por las Administraciones u otras entidades que resulten beneficiadas por la sustitución.

7. Propuestas de medidas analizadas

7.1 Mejora de los tratamientos de agua residual urbana.

De acuerdo con lo dispuesto en el art. 26 del RD 1085/2024, cuando se disponga de los objetivos de vertido revisados por el cuarto ciclo de planificación hidrológica del organismo de cuenca (2028-2033) se analizarán los procesos de depuración utilizados en la EDAR para determinar si es necesario adecuar sus infraestructuras para facilitar su cumplimiento.

Así mismo, se debe estudiar en profundidad la reducción de contaminantes en el influente de la EDAR, a través de modificaciones en el reglamento de control de vertidos y un mayor esfuerzo de concienciación a ciudadanos y empresas, de manera que se optimice la actual capacidad de tratamiento de la planta y se facilite la protección de los recursos hídricos.

Eventualmente, en caso de existir demanda real de agua regenerada y tras realizar los preceptivos análisis de viabilidad técnica, económica, financiera, social y ambiental indicados por la Ley de Aguas, se diseñarán los tratamientos y las infraestructuras necesarias para llevarlos a cabo. Inicialmente y a título de ejemplo, en el apartado siguiente de esta planificación se indican algunas iniciativas que permitirían evolucionar en este sentido.

7.2 Ejemplo de sistemas de regeneración e instalaciones auxiliares.

En coherencia con el enfoque *fit for purpose*, se analizará la viabilidad de un esquema ejemplarizante de regeneración escalable que permita ajustar la calidad del efluente en función de los usos finales (urbano, industrial, recreativo y destino ambiental). Se priorizará el estudio de soluciones de menor complejidad técnica y menor exigencia de infraestructura (calidades C y B), reservando la evaluación de trenes más avanzados para escenarios de calidad A/A+ vinculados a objetivos específicos de cumplimiento reforzado.

Este planteamiento integra la necesaria adaptación normativa derivada de la Directiva (UE) 2024/3019 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas y su futura transposición al ordenamiento nacional. De este modo, la planificación se alinea con los estándares europeos actuales y las exigencias ambientales de los próximos años.

No obstante, las propuestas aquí indicadas tienen un carácter exploratorio y su implementación efectiva quedará supeditada a diagnósticos técnico económicos de detalle que determinen su idoneidad operativa, integración con las infraestructuras existentes y viabilidad financiera con criterios de mercado. Estos estudios deberán confirmar la viabilidad de cada actuación mediante un análisis riguroso de su impacto real y su encaje en el servicio actual.

Finalmente, cualquier inversión se ejecutará dentro del marco de los planes financieros de AQUAVALL, garantizando que ninguna actuación comprometa la sostenibilidad económica del sistema. Para ello, se aplicarán criterios de necesidad hídrica y análisis coste-beneficio que justifiquen la inversión, asegurando en todo momento que no se produzca un deterioro en los costes repercutidos a los ciudadanos a través de la tarificación del servicio integral del agua.

7.2.1 Fase 1. Destino ambiental clase C.

Se propone orientar el agua regenerada hacia un destino ambiental consistente en la generación de una lámina de agua regulada (balsa/laguna impermeabilizada) con función paisajística y de soporte

ecológico (por ejemplo, como punto de reunión para avifauna), con descarga controlada posterior al río Pisuerga mediante obra de salida regulable, que a la vez pueda servir de tampón para futuras demandas de regeneración.

Este uso se enmarca en el artículo 3.3 del RD 1085/2024 como "aporte de recursos hídricos a humedales y otros ecosistemas acuáticos", clasificado como destino ambiental (no como uso). Según el Anexo I, Parte B, Tabla I-6 del citado reglamento, para este tipo de destino específico: Calidad por definir. Aporte de recursos hídricos a humedales y otros ecosistemas acuáticos: Se estudiará caso por caso.

Por tanto, una vez consensuado con la autoridad competente (organismo de cuenca), se definirán los requisitos de calidad específicos del agua regenerada y se determinará si el nivel de tratamiento propuesto es adecuado para el destino pretendido, todo ello en el marco del Plan de gestión del riesgo del agua regenerada que acompañará a la solicitud de autorización.

7.2.1.a Caudal de tratamiento de referencia y modularidad

Se estudiará la posibilidad de definir un primer módulo de regeneración de referencia del orden de 6.000 m³/d, alineado con un arranque de caudales contenidos y con una estrategia de crecimiento por replicación de módulos (duplicación / adición de líneas paralelas), de modo que la capacidad pueda incrementarse sin comprometer la operación de la EDAR ni sobredimensionar la ERA desde el inicio.

Como marco de partida, la EDAR de Valladolid constituye una instalación de gran escala, con tratamiento biológico A2O para eliminación de nutrientes y decantación secundaria, y con autorización de vertido revisada para un caudal máximo diario de 168.260 m³/d y un volumen anual de 51.179.158 m³/año, asociado a una carga de 518.318 h.e. En términos de explotación media reciente, el caudal efluente promedio se sitúa en el entorno de 119.352 m³/d, lo que permite justificar que un módulo de 6.000 m³/d represente aproximadamente un 5% del caudal medio tratado, manteniendo un enfoque coherente tanto en costes CAPEX, OPEX y gestión del riesgo, toda vez que este tipo de instalación aunque con inferior capacidad ya fue implantada durante la construcción de la actual EDAR, y se mantiene en reserva para situaciones excepcionales de extrema escasez.

En coherencia con lo anterior, el volumen anual asociado a su arranque en caso de mantenerse la situación excepcional a lo largo de todo un ejercicio hidrológico se sitúa en torno a 2,19 hm³/año, y se analizará su adecuación a la demanda ambiental objetivo (balsa para almacenamiento paisajístico y aporte controlado posterior al Pisuerga), priorizando: (i) robustez operativa ante variabilidad de calidad del secundario, (ii) flexibilidad hidráulica (by-pass, regulación y consignas de caudal), y (iii) escalabilidad mediante módulos equivalentes, evitando dependencias de una única línea de gran capacidad.

7.2.1.b Emplazamiento propuesto para la ERA

Se analizará la idoneidad de ubicar la Estación Regeneradora (ERA) en la superficie disponible indicada en la Figura 13, por su proximidad hidráulica a la salida del secundario y por facilitar una implantación compacta (huella reducida), con recorridos de tubería cortos, integración con la explotación existente y capacidad de ampliación modular.



Figura 13 Ubicación del tren de regeneración.

7.2.1.c Calidad de partida del efluente y criterio de diseño de barreras

Se evaluará la posibilidad de tomar como base de diseño la caracterización media disponible del efluente secundario de la EDAR de Valladolid, que indica una baja carga orgánica y una carga de nutrientes moderada, lo que permite orientar el tratamiento de regeneración principalmente a la estabilidad físico-operativa (sólidos finos/turbidez) y a la garantía microbiológica previa a la balsa/laguna.

Tabla 25 Características de partida (valores medios).

Parámetro	Valor medio	Observación operativa
DBO ₅	3,48 mg/L	Baja carga orgánica
DQO	29 mg/L	Materia orgánica residual limitada
N total	~10 mg/L	Carga de nutrientes moderada
P total	0,57 mg/L	Concentración baja

Considerando el destino previsto (balsa/laguna impermeabilizada con función ecológica y paisajística y descarga regulada posterior al río Pisuerga), se propondrá estructurar el tren bajo un enfoque de gestión del riesgo mediante barreras múltiples, coherente con el marco del RD 1085/2024 (Anexo III), priorizando dos objetivos fundamentales:

1. Estabilización fisicoquímica (robustez y calidad paisajística)
2. Se analizará la idoneidad de incorporar tratamientos orientados a:
 - reducción de sólidos en suspensión y turbidez,
 - mejora de la claridad del agua para su función paisajística,
 - eliminación de partículas que puedan interferir con la desinfección (especialmente UV),
 - y, en general, aumento de la estabilidad del efluente regenerado frente a variaciones del secundario.

2. Garantía microbiológica (seguridad sanitaria y protección del ecosistema)
Se evaluará la posibilidad de asegurar una desinfección eficaz e incluso redundante de manera que se tengan seguridad antes de la entrada a la balsa/laguna, considerando:
- control de patógenos y verificación del desempeño de desinfección previa a lámina libre,
 - trazabilidad mediante monitorización en continuo (p. ej., turbidez/UVT y variables del sistema UV) y analítica periódica (p. ej., indicadores microbiológicos).

Aunque se plantea Clase C como referencia operativa para este destino ambiental, se analizará que, para usos ambientales, el RD 1085/2024 prevé que los requisitos puedan quedar definidos caso a caso (Anexo I.B, Tabla I-6), en función del análisis de riesgos y de las condiciones de autorización. En consecuencia, se propondrá que el dimensionamiento final del tren y el plan de control se concreten considerando, al menos:

- las características del sistema receptor (balsa/laguna impermeabilizada, gestión de caudales y tiempos de retención),
- el potencial contacto con fauna silvestre asociada a la lámina de agua,
- la descarga regulada posterior al Pisuerga (punto de vertido, régimen de descarga y trazabilidad),
- y los objetivos ambientales aplicables a la masa de agua receptora (art. 4 del RD 1085/2024).

Este planteamiento permite ajustar el nivel de tratamiento adecuado una vez consensuados los requisitos de calidad con la autoridad competente, dentro del Plan de Gestión del Riesgo del Agua Regenerada, evitando sobredimensionamientos en una fase inicial y manteniendo una solución técnicamente defendible para un uso paisajístico-ambiental.

7.2.1.d Tren de regeneración propuesto (Clase C – destino ambiental)

El tren de regeneración propuesto, que deberá estudiarse en profundidad, una vez analizada la viabilidad técnica y económica de esta propuesta, está basado en la obtención de una calidad tipo C usando como referencia los valores alcanzables de calidad exigida, y de caudal tratado, que deberán concretarse dentro del marco de la autorización de producción y suministro y del Plan de Gestión del Riesgo. Como base de cálculo hidráulico, el caudal de Fase 1 (**6.000 m³/d**) equivale a un **caudal medio horario $\approx$ 250 m³/h**.

En esta propuesta se analizan dos posibles trenes de tratamiento, uno básico y otro avanzando, ambos orientados a conseguir una calidad C con dos niveles de robustez diferenciados.

Se denomina al tren de tratamiento de regeneración básico, **tren A**, con una configuración buscando baja complejidad, y alta operatividad en caso de ser necesario mejorar la calidad del agua regenerada. El objetivo de este tren es el de estabilizar sólidos finos/turbidez para asegurar desinfección robusta (UV) y una calidad estable compatible con lámina libre, minimizando consumos de reactivo y exigencias de operación.

A.1 Derivación desde salida de secundario, bombeo de elevación, obra de reparto y by-pass operativo

Se evaluará la configuración de la captación del efluente secundario mediante una derivación hidráulica, seguida de un bombeo de elevación hacia la Estación Regeneradora de Agua (ERA). Este diseño tiene por objetivo garantizar la línea piezométrica necesaria para que el agua atraviese, únicamente por gravedad, todas las etapas del tratamiento posterior (físico-químico, clarificación, filtración y desinfección UV), al tiempo que se dispone de un control de caudal robusto y trazable.

Para ello, se analizará la idoneidad de incorporar los siguientes elementos funcionales:

1. **Obra de toma:** Se definirá una arqueta de derivación en el canal de salida del tratamiento secundario, equipada con una reja o protección básica para evitar la entrada de sólidos gruesos que puedan dañar las bombas y la instrumentación aguas abajo.
2. **Estación de bombeo de elevación:** Se dimensionará una arqueta de bombeo que aloje los equipos necesarios para impulsar el caudal de diseño hacia la ERA. Esta estación se caracterizará por:
 - **Control preciso del caudal:** Las bombas operarán con variadores de frecuencia para permitir un control continuo y modular del caudal, ajustándose a la consigna máxima (por ejemplo 6.000 m³/d) y a sus posibles modulaciones operativas.
 - **Redundancia y fiabilidad:** Se adoptará una configuración N+1, donde una bomba adicional actúe como reserva, asegurando la disponibilidad y continuidad del servicio.
 - **Elementos de seguridad y maniobra:** Se instalarán válvulas de retención, aislamiento y maniobra para facilitar el mantenimiento y proteger la instalación.
3. **Medición y trazabilidad:** En la línea de impulsión se instalará un caudalímetro electromagnético que permita la medición precisa y el registro continuo del caudal. Estos datos serán la base para la trazabilidad operativa y el balance hídrico de toda la ERA.
4. **Distribución en cabecera de la ERA:** El colector de impulsión finalizará en una obra de reparto ubicada a la entrada de la planta. Esta estructura será clave para distribuir el flujo y, especialmente, para integrar un **by-pass operativo** que garantice la continuidad de la explotación en cualquier circunstancia. Este sistema de by-pass permitirá:
 - Una **derivación total** del caudal de la ERA hacia un punto de retorno seguro en la EDAR, en caso de indisponibilidad completa del tren de tratamiento (por ejemplo, por parada de la desinfección UV, mantenimiento general o desviaciones graves de la calidad del agua afluente).
 - Una **derivación parcial o selectiva** de etapas específicas del proceso (como el bloque físico-químico o los filtros), cuando sea necesario por mantenimiento o por criterios operativos, sin detener el flujo de agua a través del resto de la línea.

A.2 Físico-químico, cámara de coagulación y floculación.

Se evaluará la posibilidad de preparar hidráulicamente la Estación Regeneradora de Agua (ERA) desde la Fase 1 para incorporar en el futuro un bloque de coagulación-floculación con su clarificación asociada, cuando sea necesario por seguimiento de la explotación o por requisitos de la autorización. Para ello, se analizará la idoneidad de reservar la huella y las conexiones necesarias para la futura implantación del tratamiento físico-químico, así como prever un sistema de by-pass que permita operar en modo "tren base" (sin reactivos) o "tren reforzado" (con reactivos) sin alterar la hidráulica general de la instalación. Los criterios preliminares de dimensionamiento se basarán en los parámetros habituales de diseño: tiempo de retención (t), gradiente de velocidad (G) y el producto G·t.

En cuanto a la cámara de mezcla rápida para la coagulación, cuya función es la dispersión inmediata del coagulante y la desestabilización coloidal, se trabajará con el caudal de diseño, por ejemplo de 6.000 m³/d (aproximadamente 250 m³/h). Los rangos típicos considerados son un tiempo de retención de 20 a 60 segundos y un gradiente de velocidad de 700 a 1.000 s⁻¹. Siguiendo el ejemplo se estima un volumen orientativo de 2 a 4 m³, con una potencia de agitación del orden de 2 a 3 kW. Se evaluará la idoneidad de resolver esta etapa mediante un agitador mecánico o un dispositivo hidráulico (como un mezclador estático o un vertedero), priorizando el control y la repetibilidad de la dosificación.

Para las cámaras de floculación, encargadas del crecimiento de flóculos estables sin rotura, se considerará un tiempo de retención global de 15 a 30 minutos y un gradiente de velocidad típico de 20 a 80 s⁻¹, preferentemente distribuido en 2 o 3 etapas decrecientes. El volumen orientativo sería de 80 a 125 m³ en total, lo que se traduciría en aproximadamente 25 a 40 m³ por etapa en una configuración de tres fases. La potencia de agitación requerida es muy baja, del orden de decenas a cientos de vatios por etapa, condicionada por la geometría y el tipo de palas.

Finalmente, se propondrá seleccionar el tipo de coagulante y floculante, así como sus dosis, mediante ensayos de tratabilidad (jar-test) que consideren la variabilidad del efluente secundario. La activación del bloque físico-químico se realizará únicamente por criterios objetivos de calidad del agua, como la turbidez, la transmitancia ultravioleta (UVT) o los sólidos en suspensión (SS).

A.3 Sistema de filtración.

Tras el proceso de coagulación y floculación es necesario incorporar un sistema de filtración al tren de regeneración, como etapa para garantizar la estabilidad del agua regenerada. Sus objetivos principales serán reducir y estabilizar los sólidos en suspensión y la turbidez, mejorar la transmitancia ultravioleta para asegurar la eficacia de la desinfección posterior, y evitar episodios de agua visualmente inestable en la balsa o laguna de almacenamiento.

Para seleccionar la tecnología más adecuada, se analizarán comparativamente las siguientes alternativas, priorizando la robustez, la facilidad de operación y la huella física:

- Filtros de arena (mono o multimedia): Se trata de la tecnología más habitual y contrastada en tratamiento terciario, valorada por su alta robustez frente a la variabilidad del agua y su capacidad de filtración en profundidad. Su principal consideración es la necesidad de un sistema de retrolavado con agua y aire, y la gestión del agua de lavado. orden de **~30 µm** (filtración en profundidad).
- Filtros de tela (de disco o tambor): Son una opción muy compacta, idónea para caudales moderados y como etapa de afino. Su ventaja reside en un alto grado de automatización y un menor volumen de agua para retrolavado, que habitualmente se realiza por succión. Se debe considerar su posible sensibilidad a fibras o grasas y la estrategia de limpieza. **~10–500 µm**.
- Filtros de discos o anillas: Son especialmente útiles como filtración de seguridad o protección. Sin embargo, son menos habituales como tratamiento terciario principal si se busca una reducción consistente de la turbidez fina, ya que su eficacia frente a la fracción coloidal es limitada sin un tratamiento físico-químico previo. Su principal ventaja es la compacidad y la limpieza automática. **~5–400 µm**.

Como recomendación técnica preliminar para la Fase 1 (por ejemplo, para 6.000 m³/d), se evaluará como solución de referencia la filtración en arena, configurada con redundancia operativa para que un filtro pueda funcionar mientras otro se limpia. Esta opción se comparará con los filtros de tela en caso de que los requisitos de máxima compacidad y mínima obra civil sean prioritarios, lo que podría ser incompatible con un diseño para funcionamiento por gravedad de la regeneración.

Para el dimensionamiento hidráulico orientativo de los filtros de arena, trabajando con un caudal de diseño (Q) de 250 m³/h, se utilizarán los siguientes criterios:

- Velocidad de filtración: Se considerará el rango típico en terciario de 8 a 12 m/h.
- Superficie total necesaria: Para una velocidad media de 10 m/h, se requeriría una superficie aproximada de 25 m².
- Redundancia operativa: Se analizará una configuración mínima de dos filtros en paralelo, cada uno dimensionado para asumir alrededor del 50% del caudal. Esto garantiza que la producción se mantenga, total o parcialmente, durante las operaciones de retrolavado.
- Retrolavado: Se evaluará un sistema de lavado combinado con aire y agua regenerada. El análisis incluirá la disponibilidad de agua para el lavado y la estrategia para el retorno de estas aguas a la cabecera del proceso.

Se propondrán objetivos de calidad operativa interna para estabilizar el proceso posterior de desinfección UV y el comportamiento del agua en la balsa. Estos objetivos, que no son necesariamente límites normativos, serán del orden de:

- Turbidez post-filtración ≤ 5 NTU (preferiblemente menor para una mayor estabilidad paisajística).
- Sólidos en suspensión post-filtración ≤ 10–15 mg/L.

A.4 Desinfección con Ultravioleta.

Se evaluará la configuración de la desinfección ultravioleta (UV) como el tratamiento de desinfección principal, ubicada tras la salida del sistema de filtración. Para el caudal de diseño y las condiciones hidráulicas, se analizará la idoneidad de dimensionar el sistema para un caudal máximo, siguiendo el ejemplo de 6.000 m³/d (aproximadamente 250 m³/h en operación continua de 24 horas).

La elección entre un reactor en canal abierto o cerrado se evaluará en función de la cota topográfica disponible, las pérdidas de carga admisibles y la facilidad para implementar un sistema de by-pass. El criterio de diseño para una desinfección de garantías se basará en la calidad del agua a tratar.

Se propondrá adoptar como requisito fundamental que el agua que ingresa al sistema tenga una Transmitancia Ultravioleta (UVT) superior al 70%, incorporando para ello un sistema de medición en continuo y alarmas automáticas ante caídas de este parámetro. En caso de que se registren valores de UVT bajos o episodios con sólidos en suspensión elevados, se evaluará la idoneidad de activar medidas de protección automáticas, como la reducción del caudal, la derivación a un by-pass o la activación del tren de tratamiento con hipoclorito.

Para asegurar la redundancia y la fiabilidad operativa, se analizará la idoneidad de una arquitectura N+1, por ejemplo, con dos líneas de tratamiento, cada una con capacidad para el 50% del caudal, o una en servicio y otra de reserva. Esta configuración incluirá capacidad de aislamiento y derivación automática, priorizando que, ante cualquier fallo (como pérdida de intensidad de las lámparas, ensuciamiento excesivo o UVT insuficiente), el agua no tratada no sea enviada de nuevo a la balsa. En su lugar, se desviaría a un sistema de by-pass para mantener el vertido regulado, aunque debe considerarse en este caso el incremento los costes de la depuración convencional.

El objetivo final de inactivación microbiológica y su verificación se centrará en el indicador *E. coli*. Se propondrá dimensionar y validar la etapa UV para lograr objetivos de reducción en el orden de 4-log (99.99%), o superior si así lo exige la autoridad competente en la autorización de producción y suministro y en el Plan de Gestión del Riesgo.

Para garantizar la trazabilidad, se analizará la idoneidad de instrumentar el sistema con sensores que midan en continuo la intensidad UV, el caudal y la UVT, permitiendo el cálculo de la "dosis equivalente" administrada y su registro automático en el sistema de control. Esto permitirá establecer consignas operativas y enclavamientos de seguridad basados en la calidad del agua.

A.5 Estrategia de cloración

Para mantener los costes lo más bajos posibles se optará preferiblemente por el uso de cloro o derivados en vez de otras técnicas de oxidación avanzada. Se evaluará la definición de una estrategia de desinfección secundaria compatible con el vertido a un cuerpo de agua de lámina libre (balsa o laguna con función ambiental), con el objetivo prioritario de no aportar cloro residual al ecosistema receptor, ni otros compuestos organoclorados.

El criterio operativo preferente será que el agua entregada a la balsa no contenga residual desinfectante alguno. Para ello, se analizará la idoneidad de garantizar la calidad sanitaria exclusivamente mediante el tren base de tratamiento (filtración + desinfección UV) y un control operativo estricto. Esta estrategia evita el impacto potencial del cloro sobre la biota acuática y la generación de subproductos de desinfección en presencia de materia orgánica.

La cloración se considerará únicamente si existe una justificación hidráulico-sanitaria específica relacionada con el tránsito del agua. Solo en el caso de que el esquema hidráulico incorpore tramos de conducción cerrada (tuberías, depósitos intermedios) con riesgo de recrecimiento bacteriano

debido a su longitud, tiempos de retención o condiciones de almacenamiento, se evaluará la posibilidad de mantener un desinfectante residual en dicha línea para su control. Las referencias técnicas para este escenario indican que, en sistemas con tiempos de almacenamiento prolongados, se recomienda mantener un residual de cloro libre del orden de 0,2–0,5 mg/L para prevenir el recrecimiento.

7.2.1.e Esquema hidráulico del destino ambiental (balsa/laguna impermeabilizada + descarga regulada)

Se evaluará la configuración del destino ambiental como una balsa o laguna impermeabilizada. Su función principal será actuar como elemento de regulación hidráulica y como una lámina de agua estable con valor paisajístico y ecológico, descartándose expresamente su uso como infraestructura de percolación o infiltración. En concreto, se analizará la idoneidad de aprovechar la superficie disponible de aproximadamente 15.000 m² ubicada frente a la EDAR, por su proximidad hidráulica y su potencial para una operación integrada y eficiente con la Estación Regeneradora de Agua (ERA).

La balsa cumplirá una función hidráulica clave, amortiguando las variaciones de caudal y calidad, y desacoplando la producción continua de la ERA de la entrega final al medio receptor. Al mismo tiempo, desempeñará una función ambiental y paisajística, manteniendo una lámina de agua estable que favorezca el desarrollo de fauna asociada y contribuya al paisaje.

Un criterio fundamental de diseño es que la balsa no constituirá una etapa de tratamiento más allá de su función de tampón estabilizador hidráulico. La garantía de la calidad del agua se sustentará íntegramente en el tren de regeneración (barreras físicas y desinfección UV) y en su control previo a la entrega. El diseño priorizará, por tanto, la robustez hidráulica y operativa para prevenir problemas como la eutrofización o episodios de degradación de la calidad del agua en lámina libre.

Partiendo de un caudal de referencia (por ejemplo, de 6.000 m³/d) y una superficie de lámina coherente, en este ejemplo de ~15.000 m², se definirá un rango de profundidad operativa entre 0,6 y 1,2 m, considerando criterios de seguridad, mantenimiento y control térmico. Esto se traduce en un volumen útil orientativo para ese caudal de 9.000 a 18.000 m³. El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) resultante, de aproximadamente 1,5 a 3,0 días, se considerará beneficioso para la amortiguación y homogeneización del agua, pero se dejará explícito que en ningún caso sustituye la necesidad de un tratamiento terciario robusto cuando la autorización exija garantías sanitarias o microbiológicas específicas.



Figura 14 Ubicación de humedal artificial destino ambiental

Será necesario ejecutar la siguiente infraestructura:

- **Obra de llegada:** Se analizará la idoneidad de una cámara de entrada con dispositivos de disipación de energía (pantallas o baffles) para minimizar cortocircuitos hidráulicos, evitar la erosión y favorecer una distribución homogénea del flujo.
- **Gestión de sólidos:** Se evaluará la sectorización de la zona de entrada para facilitar la decantación de arenas y finos en un área accesible, y se definirá un procedimiento para su retirada periódica como parte del plan de mantenimiento.
- **Estructura de salida regulada:** Se propondrá el estudio de una obra de toma con control de cota que permita la gestión del caudal de salida hacia el río Pisuerga. Esta estructura incluirá un **aliviadero de seguridad** para episodios excepcionales y capacidad para cortar completamente la descarga si se detectan desviaciones de calidad aguas arriba.
- **Medición y trazabilidad:** Se evaluará la instalación de caudalímetros en la entrada y salida de la balsa para establecer un balance hídrico preciso, así como un punto de muestreo representativo.

Dado el objetivo de "percolación nula", se evaluará la idoneidad de un sistema de **impermeabilización mediante geomembrana** (o solución equivalente), con criterios de durabilidad, protección mecánica y facilidad de inspección. El diseño de taludes y la coronación garantizarán pendientes estables y un **resguardo (freeboard) suficiente** frente a oleaje, viento y eventos hidrológicos, incorporando medidas de seguridad y acceso para mantenimiento.

Se reforzará el criterio operativo de **vertido sin residual desinfectante** a la balsa, en coherencia con la estrategia de desinfección adoptada, para evitar impactos sobre la biota acuática. Se analizará la posibilidad de incorporar medidas de control preventivas (como la gestión activa del TRH, la creación de zonas de sombra, aireación puntual o recirculación interna) para mitigar posibles proliferaciones de algas, derivadas de procesos biogénicos en lámina libre. Se propondrá un programa mínimo de control que incluya la monitorización de parámetros clave (turbidez, UVT) a la entrada y, en la propia balsa, parámetros físico-químicos básicos y microbiológicos según lo establecido en la autorización, para una gestión preventiva de la calidad.

7.2.1.f Puntos de control, monitorización y consignas operativas

Se propondrá el estudio de un esquema de control integral orientado a garantizar la trazabilidad, la robustez operativa y la gestión proactiva del riesgo. Este sistema se basará en dos puntos principales de supervisión: (i) el punto de entrega a la balsa (salida de la ERA) y (ii) el punto de descarga regulada al río Pisuerga. El objetivo es disponer de una capacidad de respuesta automatizada ante cualquier desviación, evitando la entrada de agua a la lámina libre o su descarga al cauce cuando no se acrediten las condiciones de operación y calidad requeridas.

- a) Punto de control 1: Salida de la ERA / Entrada a la balsa. En este punto crítico se evaluará la instalación de la siguiente instrumentación mínima y sus lógicas de control asociadas:
 - Caudal (Q): Medición y registro continuos para el balance hídrico y la trazabilidad del volumen regenerado.
 - Turbidez (NTU) y/o SST: Medición continua post-filtración como indicador de la estabilidad del tren de afino y condición habilitante para la desinfección UV. Se propondrá una consigna operativa interna de turbidez ≤ 5 NTU, con niveles de prealarma y alarma que activen respuestas automáticas (reducción de caudal, activación del by-pass o puesta en marcha del tren reforzado).
 - UVT (%) y señales UV: Medición en continuo de la Transmitancia Ultravioleta a la entrada del equipo UV, junto con la monitorización del estado del equipo (intensidad de lámparas, fallos, ciclo de limpieza). Se establecerá el criterio operativo de UVT $> 70\%$ para una desinfección garantizada, con enclavamientos que activen alarmas o deriven el flujo si no se cumple.
 - Dosis UV equivalente (mJ/cm^2): Se analizará la idoneidad de que el sistema SCADA calcule y registre en tiempo real la dosis UV administrada (a partir de caudal, UVT e intensidad), proporcionando trazabilidad del desempeño de la barrera microbiológica principal.
 - Lógica de actuación y enclavamientos: Se evaluará una configuración donde una condición fuera de rango (turbidez alta, UVT baja, fallo del equipo UV, ausencia de señal de caudal) active automáticamente la derivación del flujo al by-pass de retorno a la EDAR o el corte de la entrega a la balsa, asegurando que solo el agua que cumple todas las consignas ingrese al destino ambiental.
- b) Punto de control 2: Obra de salida / Descarga al río. En la descarga final al Pisuerga se propondrá la instrumentación necesaria para garantizar una entrega regulada, trazable y condicionada a la calidad:
 - Caudal y nivel: Medición del caudal de descarga y del nivel de lámina en la balsa para el control del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y del régimen de vertido.
 - Punto de muestreo representativo: Punto accesible para la verificación analítica periódica de los parámetros definidos en la autorización.
 - Consigna de operación: Se definirá un modo de operación automatizado que incluya un caudal máximo de descarga, el control por niveles mínimo y máximo de la lámina en la balsa, y la capacidad de cierre total de la descarga ante incidencias de calidad acreditadas aguas arriba.
- c) Verificación analítica (Plan de Autocontrol. Se propondrá un plan analítico alineado con los requisitos de la autorización y el Plan de Gestión del Riesgo, que incluya, como mínimo, la monitorización periódica de:
 - *E. coli* (indicador microbiológico clave) en la salida de la ERA.
 - Parámetros físico-químicos (Sólidos en Suspensión, DBO_5 , DQO) con una frecuencia acorde al destino.
 - Parámetros complementarios, como nutrientes, si el seguimiento operativo indica riesgo de eutrofización en la lámina libre.

7.2.1.g Gestión del riesgo y autorización

Para este destino, salvo que se integre dentro de la autorización de la EDAR como sería deseable, se requerirá la obtención de una autorización administrativa específica, por tratarse de una descarga regulada a un cauce público (río Pisuerga). Este procedimiento, que conllevará la coordinación con el organismo de cuenca, definirá las condiciones de vertido, los puntos de control y los límites de calidad aplicables.

Como parte esencial del proyecto, se deberá elaborar un **Plan de Gestión del Riesgo del Agua Regenerada (PGRAR)**, conforme a la normativa vigente (RD 1085/2024). Este documento proporcional ("*fit for purpose*") servirá como base técnica para la autorización y tendrá como objetivos principales:

1. Identificar los riesgos específicos del sistema (desde la variabilidad del agua de entrada hasta la descarga final).
2. Justificar y definir las múltiples barreras de tratamiento y los controles operativos (monitorización, enclavamientos, by-pass) implementados para mitigarlos.
3. Establecer el programa de vigilancia (control operativo y verificación analítica) y los protocolos de actuación ante incidencias.

7.2.2 Fase 2. Uso urbano clase B. Baldeo de Calles.

En una posterior la Fase 2 se podrá evaluar la posibilidad de ampliar la reutilización que se hubiera desarrollado en la fase previa, una vez consolidada la experiencia operativa del módulo inicial y verificada la viabilidad técnica, económica, financiera y social del uso de agua regenerada, orientando el crecimiento hacia **usos urbanos no potables** de implantación progresiva y elevada visibilidad operativa: **baldeo y limpieza viaria** (Clase **U.B**). Este enfoque permite materializar ahorros directos de consumo de agua potable en servicios municipales, mejorar la resiliencia en episodios de sequía, siempre que se lograra forzar la aceptación ciudadana del recurso.

Este enfoque se alinea de forma directa con el Plan de Emergencias ante Situaciones de Sequía de Valladolid, que identifica el baldeo de calles y la limpieza viaria como usos no esenciales del agua potable, sujetos a prohibición o limitación en escenarios de sequía grave o muy grave (salvo por razones de salud pública). En coherencia con ello, el Plan establece que estos consumos municipales deben abastecerse mediante recursos alternativos no aptos para consumo humano (redes de riego y/o sondeos freáticos) y, adicionalmente, indica expresamente la conveniencia de analizar el uso de las aguas depuradas a la salida de la EDAR incorporando el tratamiento de regeneración necesario para su reutilización, así como el fomento de la reutilización y la diversificación de usos no potables como medidas estructurales de resiliencia en fases de normalidad, prealerta y sequía, que deberán orientarse prioritariamente al fomento de la reutilización en origen por los propios consumidores en sus instalaciones interiores.

En coherencia con el enfoque *fit for purpose*, se analizará la idoneidad de aprovechar la infraestructura de regeneración que se hubiera desarrollado en la fase inicial, sin recurrir a incrementos de capacidad, mediante un ajuste de consignas de operación y reparto de caudales. En particular, se estudiará un esquema de explotación que permita mantener el suministro al destino ambiental (balsa/laguna) y, de forma compatible, programar ventanas de llenado y reposición de los depósitos destinados a baldeo y limpieza viaria (Clase U.B) en situaciones excepcionales. Dado que la demanda asociada al baldeo representa una fracción reducida respecto al caudal de referencia del tren (orden de magnitud <5%), se evaluará la posibilidad de cubrirla mediante tiempos acotados de desvío de caudal hacia almacenamiento (p. ej., reposiciones diarias del orden de decenas de minutos en periodos punta), manteniendo la continuidad del esquema ambiental y garantizando trazabilidad y control operativo.

7.2.2.a Caudales y volúmenes necesarios. Análisis del volumen de limpieza viaria.

El dimensionamiento del volumen de agua regenerada destinado a baldeo y limpieza viaria (Clase U.B) se analizó mediante un enfoque basado en superficie efectiva lavada, considerado más robusto y trazable que las aproximaciones tradicionales por habitante.

La longitud total de viario municipal se ha extraído del Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Valladolid, que registra 747 km de viales. Para el análisis se ha asumido que la limpieza con agua se concentra en el casco histórico y zonas de mayor intensidad de uso, estimadas en aproximadamente el 10% del total, lo que resulta en una longitud efectiva de 74,706 km a baldear.

Se ha adoptado una anchura efectiva lavada de 6 metros, correspondiente a la zona útil de calzada y aceras que efectivamente recibe el agua en cada pasada, resultando en una superficie de lavado por operación de aproximadamente 448.236 m². La dotación de agua se ha establecido en 1,0 L/m² por pasada, lo que equivale a un volumen de 448 m³ por cada operación completa de baldeo.

La frecuencia de baldeo se ha definido con criterio estacional, alineada con la práctica operativa habitual: ausencia de operaciones durante el invierno, intensidad moderada en primavera y otoño (4 pasadas/mes, aproximadamente una por semana), y máxima intensidad en verano (8 pasadas/mes, aproximadamente dos por semana).

Bajo estas premisas, la demanda mensual tipo queda establecida en 0 m³/mes durante diciembre, enero y febrero; 1.793 m³/mes en marzo, abril, mayo, octubre y noviembre; y 3.586 m³/mes durante junio, julio, agosto y septiembre. El consumo anual total resultante se sitúa en torno a 23.308 m³/año, concentrándose el 61% del volumen en el cuatrimestre de máxima demanda junio-septiembre.

Para el diseño de la logística de suministro y dimensionamiento de instalaciones, resulta necesario traducir la demanda mensual máxima a valores diarios. Durante los meses de junio a septiembre, considerando una operación regular de 30 días/mes, la demanda media diaria se sitúa en 120 m³/d. Si se asume una operación de 5 días/semana (22 días efectivos/mes), la demanda por día operativo alcanza 163 m³/d. Para el análisis de robustez del sistema se contempla adicionalmente un escenario de día punta con factor de intensificación de 1,2–1,3, resultando en demandas del orden de 150–210 m³/d.

El esquema de cálculo presentado permite ajustes paramétricos inmediatos: una variación en el porcentaje de viario atendido (X% en lugar del 10% base) multiplica los resultados por X/10; una modificación en la anchura efectiva (por ejemplo, a 8 m) los escala en factor 1,33; y cambios en la dotación por pasada dentro del rango técnico habitual (0,7–1,2 L/m²) permiten establecer linealmente escenarios conservador, medio o intensivo.

7.2.2.b Necesidad de almacenamiento.

El suministro de agua regenerada para baldeo y limpieza viaria se caracteriza por demandas frecuentes en determinadas estaciones del año, aunque discontinuas concentradas en ventanas horarias específicas, asociadas a la carga de camiones cisterna de la flota municipal. Esta naturaleza operativa aconseja disponer de capacidad de un almacenamiento regulador a la salida de la estación regeneradora, así como una dársena de carga rápida que permita desacoplar la producción continua del tren de tratamiento de los consumos puntuales del servicio, mejorando la

robustez operativa, la trazabilidad del volumen suministrado y la estabilidad microbiológica mediante el mantenimiento de residual desinfectante hasta el punto de uso.

Por ello, bajo las premisas de demanda consideradas, se propone la instalación de dos depósitos en superficie de dimensiones $12 \times 8 \times 3$ metros, que proporcionan un volumen útil unitario de 288 m^3 y una capacidad total de 576 m^3 . Esta configuración resulta adecuada para gestionar la demanda durante los meses de mayor actividad (junio a septiembre), cuando el consumo mensual alcanza $3.586 \text{ m}^3/\text{mes}$, equivalente a demandas diarias del orden de $120 \text{ m}^3/\text{d}$ en operación regular o $163 \text{ m}^3/\text{d}$ considerando jornadas efectivas de cinco días por semana.



Figura 15 Ubicación depósitos de almacenamiento.

La capacidad propuesta ofrece una autonomía aproximada de 4,8 días para el escenario de demanda media diaria ($120 \text{ m}^3/\text{d}$), reduciéndose a 3,5 días en el caso de operación semanal intensiva, y manteniéndose en el rango de 2,7 a 3,6 días para situaciones de día punta con demandas de 160 a $210 \text{ m}^3/\text{d}$. Este margen de seguridad permite mantener el servicio ante incidencias puntuales como paradas del sistema de desinfección UV, operaciones de mantenimiento o reducciones temporales de producción.

El esquema de operación se puede plantear sin incremento de la capacidad considerada como ejemplo para la Fase 1, aprovechando el tren de regeneración dimensionado para el aporte ambiental al humedal, con capacidad nominal de $6.000 \text{ m}^3/\text{d}$ y caudal medio horario de $250 \text{ m}^3/\text{h}$. La gestión del reparto de caudales entre ambos destinos se realizará mediante consignas operativas, aprovechando que la reposición diaria necesaria para baldeo representa una fracción reducida de la producción total del tren.

Operación normal con reposición diaria. Durante los meses de máxima demanda, el sistema operará manteniendo los depósitos en niveles elevados, superiores al 80-90% de su capacidad útil, mediante reposiciones diarias de corta duración. Considerando la capacidad de producción del tren ($250 \text{ m}^3/\text{h}$), los tiempos de reposición necesarios para compensar el consumo diario serían de aproximadamente 30 minutos para la demanda base de $120 \text{ m}^3/\text{d}$, 40 minutos para el escenario de operación semanal ($163 \text{ m}^3/\text{d}$), y 50 minutos en situaciones de día punta ($210 \text{ m}^3/\text{d}$). En este

régimen, el aporte al destino ambiental se mantiene prácticamente constante, con una reducción diaria equivalente al 2-3,5% del caudal total durante las condiciones de máxima demanda.

Intensificación en picos operativos. Para episodios de mayor demanda previsible, como olas de calor, acumulación de polvo o eventos especiales, se contempla la programación de ventanas de reposición ampliadas, ya sea mediante dos ventanas diferenciadas (por ejemplo, previa a la carga nocturna y posterior a la misma) o mediante una única ventana de mayor duración. En todos los casos se mantendrá la prioridad de que el agua destinada a los depósitos cumpla las consignas de calidad establecidas, tanto en términos de turbidez, transmitancia UV y dosis de desinfección, como de mantenimiento de residual de cloro libre en el almacenamiento.

Llenado inicial o recuperación tras parada. En situaciones de arranque del sistema o recuperación tras operaciones de mantenimiento que requieran el vaciado de los depósitos propuestos en el ejemplo, el llenado completo de ambos tanques (576 m³) demandaría aproximadamente 2 horas y 18 minutos a la capacidad nominal del tren. Para un escenario de este tipo se evaluará si resulta preferible suspender temporalmente el envío al destino ambiental durante la ventana de llenado, o bien reducirlo significativamente, con el objetivo de restituir rápidamente la reserva operativa del servicio urbano y retornar posteriormente al modo normal de reposiciones diarias cortas una vez alcanzado el nivel objetivo en los depósitos.

7.2.2.c Calidad de agua exigida. Clase B.

El uso previsto en Fase 2 (baldeo y limpieza viaria) se encuadra en el **grupo de exigencia medio** del RD 1085/2024, correspondiente a la **Clase U.B**, junto con otros usos urbanos no potables como el riego de zonas verdes, y determinados usos industriales (PCI; lavado industrial de vehículos). Para esta clase, el requisito microbiológico principal se establece en **E. coli ≤ 100 UFC/100 mL**, y se fijan referencias de calidad asociadas a sólidos y materia orgánica en el entorno de **SS ≤ 35 mg/L**, **DBO₅ ≤ 25 mg/L** y **DQO ≤ 125 mg/L**. A diferencia de las clases A/A+, el reglamento no impone turbidez como límite específico para U.B, si bien, desde un punto de vista de ingeniería de proceso, la turbidez y los SS están directamente relacionadas y constituyen variables críticas para garantizar el desempeño estable de la desinfección UV y la estabilidad microbiológica en el almacenamiento.

En consecuencia, debe considerarse la posibilidad de adoptar, además de los límites normativos, **consignas internas de operación** orientadas a robustecer el sistema en explotación real, especialmente en periodos de máxima demanda estival. Como referencia de diseño, se analizará trabajar con una turbidez post-filtración del orden de **$\leq 5-10$ NTU** y **SS $\leq 10-15$ mg/L** como objetivos operativos, por su impacto directo en la transmitancia UV (UVT) y, por tanto, en la dosis UV efectiva y la reducción logarítmica del indicador microbiológico, considerando ya desde la fase del diseño preliminar los costes que ello conlleve.

Se evaluará la idoneidad de que la producción de agua **Clase U.B** para baldeo se apoye en la **misma infraestructura de regeneración** definida en Fase 1 (filtración + UV como tratamientos principales), incorporando únicamente ajustes operativos y, cuando proceda por calidad, el refuerzo del bloque de afino mediante tratamiento físico-químico:

- Tratamiento físico-químico con reactivos (coagulante + floculante): Asegurar conformidad de SS (criterio DARU) de manera estable, no solo en valores medios, evitando episodios generación de espumas o de arrastre de finos desde los clarificadores secundarios de la EDAR. Reducir turbidez y estabilizar UVT, incrementando la fiabilidad del tratamiento UV (menor sensibilidad a picos y menor riesgo de sub-dosis efectiva). Mejorar la filtrabilidad

aguas abajo y reducir la frecuencia de incidencias operativas (colmataciones, lavados, alarmas por UVT). La dosificación se ajustará mediante ensayos de tratabilidad (jar-test) y consignas de explotación ligadas a turbidez/UVT/SS, pero con la premisa de que la operación U.B se apoya en reactivos como parte del “modo normal” de producción para baldeo.

- Clarificación. En función de la solución final (decantación lamelar u otra), se integrará la separación sólido-líquido para descargar sólidos generados por la coagulación-floculación y proteger la filtración. El objetivo de diseño no es “hacer tratamiento en depósitos”, sino entregar a filtración un agua ya clarificada para garantizar estabilidad.
- Filtración (tratamiento de afino): Se mantiene como tratamiento imprescindible para asegurar una turbidez baja y estable, condición operativa clave para UV. Aunque el RD 1085/2024 fija el criterio de SS por DARU para U.B, en términos de operación se recomienda fijar consignas internas de operación (típicamente turbidez baja y estable) para asegurar repetibilidad del UV y calidad visual/operativa del agua de baldeo.
- Desinfección UV (tratamiento desinfección principal en línea): La UV se mantiene como tratamiento principal para conseguir el objetivo de $E. coli \leq 100 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$ en el punto de cumplimiento. Además, el propio RD establece criterios de evaluación de conformidad (p. ej., enfoque trimestral con porcentajes de cumplimiento, límites de desviación, etc.), que obligan a diseñar y explotar con margen operativo suficiente.
- Cloración de mantenimiento en almacenamiento (depósitos/punto de carga): A diferencia del destino ambiental (donde se prioriza “sin cloro residual” hacia lámina libre), en baldeo el criterio técnico debe asegurar la estabilidad microbiológica durante el almacenamiento y la carga de cisternas, manteniendo un cloro libre residual en depósitos, con consignas típicas de explotación (p. ej., 0,2–0,5 mg/L, ajustable a TRH, temperatura y demanda de cloro), de modo que se evita recrecimiento en depósito/impulsiones internas y se dota de “colchón de desinfección” a la operativa municipal de carga y uso. Además, puede ser necesaria una recloración adicional además de la modificación de los parámetros operativos del camión de baldeo para minimizar la nebulización, aunque ello implique un mayor consumo de agua.

La activación del físico-químico se vinculará a criterios objetivos de operación, tales como **turbidez**, **SS** y/o **UVT** a la entrada del bloque UV, de modo que el sistema opere la mayor parte del tiempo en modo de baja complejidad (tren base) y utilice reactivos únicamente cuando aporten beneficio real de estabilidad y garantía. Respecto a los objetivos de activación del proceso físico químico completo son:

- Reducir la fracción coloidal y los sólidos finos responsables de turbidez.
- Incrementar UVT y reducir la variabilidad de UVT.
- Proteger filtros (menor ensuciamiento) y estabilizar la UV (dosis efectiva constante).

Criterios hidráulicos de dimensionamiento (ya compatibles con el tren definido en la FASE 1). Para un caudal de referencia tomado como ejemplo de 6.000 m³/d ($\approx 250 \text{ m}^3/\text{h}$) se trabajará con los rangos típicos siguientes, adecuados para terciarios de regeneración:

- Mezcla rápida (coagulación): Tiempo de retención $t = 20\text{--}60 \text{ s} \rightarrow$ volumen orientativo $V = Q \cdot t = 1,4\text{--}4,2 \text{ m}^3$
Gradiente de velocidad $G = 700\text{--}1.000 \text{ s}^{-1}$ (dispersión inmediata del coagulante).
Se evaluará la idoneidad de esta etapa mediante agitador mecánico o mezclador estático, priorizando repetibilidad de dosificación y control.
- Floculación (mezcla lenta):
Tiempo global $t = 15\text{--}30 \text{ min} \rightarrow$ volumen orientativo $V = 62,5\text{--}125 \text{ m}^3$
Gradiente de velocidad $G = 20\text{--}80 \text{ s}^{-1}$, en 2–3 compartimentos decrecientes para evitar rotura de flóculos y maximizar colisiones.
- Reactivos y dosis orientativas (a confirmar por jar-test)
Se propondrá seleccionar el coagulante y el polímero mediante ensayos de tratabilidad

(jar-test) representativos de la variabilidad del secundario. Como rangos orientativos de partida para efluentes secundarios:

- Coagulante (p. ej., FeCl_3 / sales de Al): 10–30 mg/L (ajustable a turbidez/UVT y, si procede, objetivos adicionales como fósforo).
- Floculante (polímero): 0,5–2 mg/L.

A diferencia del destino ambiental de Fase 1 (lámina libre), el baldeo implica almacenamiento y distribución operativa, por lo que se evaluará la idoneidad de incorporar cloración de mantenimiento aguas abajo de UV y previa a depósitos/punto de carga, con el objetivo de mantener estabilidad microbiológica durante la retención. Como referencia de explotación en sistemas con almacenamiento, se analizará mantener un cloro libre residual del orden de 0,2–0,5 mg/L, ajustado a tiempos de retención, temperatura y consumo real, evitando sobredosificación y minimizando formación de subproductos.

7.2.2.d Puntos de control, monitorización y consignas operativas (Fase 2 – U.B Baldeo)

Se propondrá el estudio de un esquema de control integral orientado a garantizar la trazabilidad, la robustez operativa y la gestión proactiva del riesgo en el suministro de agua regenerada para baldeo y limpieza viaria (Clase U.B). A diferencia del destino ambiental de Fase 1, donde el punto crítico era la entrega a una lámina libre y su descarga al cauce, en Fase 2 los puntos críticos se ubican en: (i) salida de la ERA y entrada a almacenamiento, y (ii) almacenamiento/punto de carga de cisternas, al tratarse de un uso urbano con distribución operativa y potencial de aerosolización.

Punto de control 1: Salida de la ERA / Entrada a depósitos de almacenamiento

En este punto se evaluará la instalación de instrumentación mínima y lógicas de control asociadas, dado que constituye el punto de verificación del desempeño de los tratamientos (físico-químico, clarificación/filtración y UV) antes del almacenamiento:

- **Caudal (Q):** medición y registro continuo para balance hídrico, trazabilidad de volumen producido en modo U.B y asignación de caudales frente a otros destinos.
- **Turbidez (NTU) y/o SST:** medición continua post-filtración como indicador de estabilidad del efluente regenerado. Se propondrá una **consigna interna** (no normativa) orientada a robustecer la UV y la calidad operativa del agua de baldeo, con **prealarma/alarma** y actuación automática (reducción de caudal, recirculación o derivación a retorno).
- **UVT (%) e intensidad UV:** medición en continuo de transmitancia UV a la entrada del equipo y monitorización del estado del sistema (intensidad de lámparas, ensuciamiento, ciclos de limpieza, fallos). Se evaluará mantener como criterio operativo que la UV opere con garantías cuando se disponga de **UVT > 70%**, incorporando enclavamientos y alarmas.
- **Dosis UV equivalente (mJ/cm^2):** se analizará la idoneidad de que el sistema de control calcule y registre la dosis efectiva en continuo (a partir de caudal, UVT e intensidad) para asegurar trazabilidad del tratamiento de desinfección y soporte documental de conformidad frente a U.B.
- **Lógica de enclavamientos de calidad:** se evaluará una configuración donde una condición fuera de rango (turbidez alta, UVT baja, fallo UV, ausencia de señal de caudal, etc.) **inhiba el llenado de depósitos** y active automáticamente una ruta segura: retorno al proceso/EDAR o derivación a by-pass, evitando que el agua no conforme entre en almacenamiento destinado a uso urbano.

Punto de control 2: Depósitos de almacenamiento y punto de carga de cisternas (calidad en entrega)

En Fase 2 el almacenamiento pasa a ser un elemento operacional crítico. Se propondrá el estudio de instrumentación y consignas para garantizar estabilidad microbiológica y operabilidad:

- **Nivel y volumen almacenado:** control continuo de nivel (mínimo, consigna de reposición y máximo) y registro de volúmenes para trazabilidad y planificación de carga de flota.
- **Cloro libre residual en depósitos:** dado que el uso incluye almacenamiento y carga de cisternas, se evaluará la posibilidad de incorporar **cloración de mantenimiento en depósitos**, con control mediante analizador en continuo (o control frecuente), para mantener un residual orientativo del orden de **0,2–0,5 mg/L**, ajustado a TRH, temperatura y consumo real de cloro.

Verificación analítica (Plan de Autocontrol – U.B). Se propondrá un plan analítico alineado con la autorización y el Plan de Gestión del Riesgo, orientado a demostrar conformidad para U.B, incluyendo como mínimo:

- **E. coli** (indicador microbiológico clave) en salida de ERA y/o en punto de entrega (depósitos/punto de carga), con la frecuencia exigida.
- **Sólidos en suspensión (SS) y turbidez** como variables de control del desempeño de físico-químico + filtración (control de estabilidad).
- **DBO₅ y DQO** con frecuencia acorde al esquema de autorización y al seguimiento de explotación.
- **Cloro libre residual** en depósitos (cuando aplique), para garantizar estabilidad microbiológica hasta el punto de uso.

7.2.2.e Gestión del riesgo y autorización (Fase 2 – U.B Baldeo)

En Fase 2 se evaluará la posibilidad de incorporar el uso urbano de **baldeo y limpieza viaria (Clase U.B)** sobre la base de que la infraestructura de regeneración (ERA) y la **autorización de producción y suministro** quedarían ya establecidas en el marco de la Fase 1. En este contexto, el avance hacia el uso urbano no se plantea como una nueva autorización de producción, sino como una **extensión del alcance del sistema** hacia un uso final distinto, con implicaciones específicas en gestión del riesgo, control operativo y título habilitante del uso.

a) Actualización del Plan de Gestión del Riesgo del Agua Regenerada (PGRAR)

Se propondrá la **ampliación/actualización del PGRAR** para incorporar el uso U.B, integrando de manera explícita:

- **Caracterización del uso y del punto de entrega:** suministro mediante **depósitos de almacenamiento y punto de carga de cisternas**, con distribución operativa por flota municipal.
- **Identificación de peligros específicos del uso urbano:** potencial de **aerosolización**, interacción con zonas de tránsito peatonal/vehicular, condiciones de exposición del personal operativo, y variabilidad estacional de demanda.
- **Medidas preventivas y consignas de explotación:** operación en “modo U.B” con tratamientos de estabilización de SS/turbidez y desinfección, incluyendo **cloración de mantenimiento en depósitos** para asegurar estabilidad microbiológica hasta el punto de uso.

- **Plan de control y verificación:** definición de puntos de muestreo (salida de ERA y entrega en depósitos/punto de carga), parámetros (E. coli, SS, turbidez, residual de cloro, etc.), frecuencias y criterios de actuación ante no conformidades.
- **Protocolos de respuesta y trazabilidad:** enclavamientos operativos (inhibición de llenado si no se cumplen consignas), procedimientos de desvío/retorno, registro SCADA y documentación de volúmenes entregados para baldeo.

Esta actualización permitirá justificar técnicamente que el sistema mantiene un nivel de seguridad y control coherente con el uso urbano previsto, evitando trasladar a la explotación municipal riesgos no gestionados desde la propia instalación de regeneración.

b) Título habilitante para el uso urbano: concesión / habilitación del destino U.B

Adicionalmente, se evaluará la necesidad de **solicitar el título habilitante correspondiente para el uso** del agua regenerada en baldeo (concesión o figura equivalente, según proceda), definiendo de forma precisa:

- el **uso final** (baldeo y limpieza viaria, U.B),
- el **ámbito de aplicación** (zonas/itinerarios, estacionalidad),
- el **punto de entrega** (depósitos/punto de carga),
- y las **condiciones de control** asociadas (plan de autocontrol y criterios operativos).

De este modo, la Fase 2 quedará formalizada como una extensión reglada del sistema de regeneración existente, con un marco de gestión del riesgo actualizado y un título habilitante de uso coherente con el destino urbano y su operativa.

7.2.3 Fase 3. Uso urbano clase B. Riego de Parques y Jardines.

En la Fase 3 se evaluará la implantación del uso urbano de agua regenerada para riego de parques y zonas verdes urbanas, encuadrado en la clase de calidad U.B del RD 1085/2024 (Anexo I, Parte A, Tabla I-1), que contempla expresamente el “riego de zonas verdes urbanas (parques y similares)” dentro de los usos urbanos no potables.

Esta fase se justifica, principalmente, por su encaje directo el Plan de Emergencia ante Situaciones de Sequía de Aguavall que incluye, como línea de actuación, la separación de las redes urbanas de riego en los casos que aún permanezcan alimentadas de la red de abastecimiento, para posibilitar el uso de recursos alternativos, y propone de forma explícita el aprovechamiento de aguas recuperadas de la EDAR cuando no sea posible la utilización de fuentes directas, condicionándolo a la existencia de un tratamiento de regeneración adecuado que permita su distribución a zonas verdes. En consecuencia, el riego con agua regenerada se plantea como una medida de resiliencia operativa que reduce la dependencia de la red potable en los periodos de mayor estrés hídrico y permite priorizar grandes parques (por consumo y efecto demostrativo) dentro de un esquema de implantación progresiva.

Al mismo tiempo, el Plan de sequía contempla escenarios en los que, por gestión de la demanda, se llega a operar “sin riego de parques y jardines” (junto con otras restricciones), lo que refuerza la conveniencia de disponer de un suministro complementario, que si bien no elimina la necesidad de aplicar medidas de restricción cuando proceda, pero mejora la flexibilidad para mantener servicios esenciales y minimizar el consumo de agua potable en situaciones de prealerta/alerta, concentrando el esfuerzo en las zonas verdes de mayor relevancia.

7.2.3.a Ámbito de actuación y superficies.

La Fase 3 se analiza como propuesta, estudiar el establecimiento de diferentes áreas de riego de zonas verdes urbanas mediante agua regenerada Clase U.B, centrándose en dos ámbitos estratégicos de la ciudad que forman parte del Sistema General de Espacios Libres definido en el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Valladolid. Estos espacios constituyen de interés de la infraestructura verde urbana, diseñadas para actuar como corredores ecológicos y elementos de conexión entre barrios históricamente separados por infraestructuras ferroviarias e industriales.

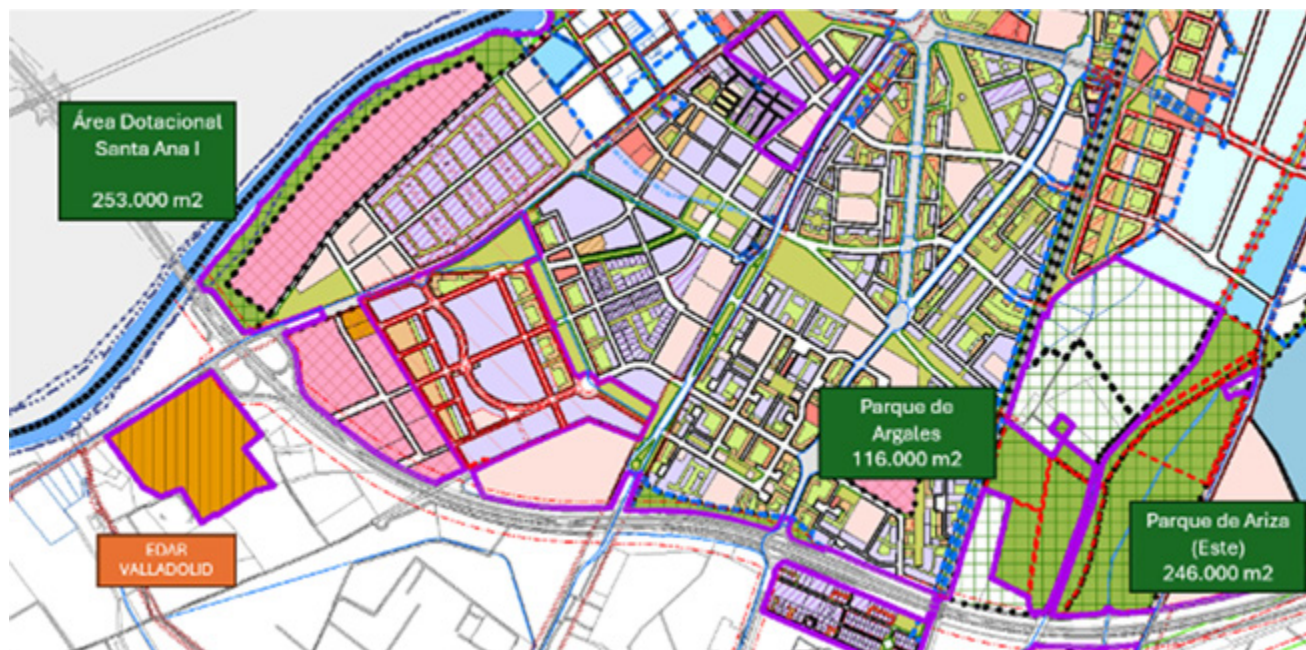


Figura 16 Ubicación de las zonas verdes.

Parque 1 (agrupación): Parque de Argales y Parque de Ariza (Este). Este conjunto integra varios parques situados en la cuenca del antiguo arroyo Espanta, actualmente desviado al sur de la ronda exterior, como son el Parque de Argales (116.000 m²), situado en el borde occidental del polígono industrial homónimo y que actúa como pantalla ambiental entre el uso productivo y las áreas residenciales del sur, y el Parque de Ariza Este (246.000 m²), desarrollado sobre la traza liberada del antiguo corredor ferroviario Valladolid-Ariza y enmarcado en el Área de Planeamiento Específico APE 25-1 "Ariza" o Ciudad de la Comunicación. La agrupación suma una superficie total de 362.000 m² y constituye un eje verde fundamental para el reequilibrio dotacional de la ciudad, transformando antiguas zonas de trasera ferroviaria en espacios públicos de calidad que cosen la fractura urbana histórica.

Dado el elevado nivel freático de la zona, el estudio de su riego mediante agua regenerada deberá compararse necesariamente con la utilización del recurso subsuperficial, proveniente del arroyo Espanta y las históricas fuentes de Argales, que actualmente es drenado por el alcantarillado urbano en la zona de Argales / Ariza.

De esta forma se pretende asegurar siempre la solución óptima, contrastando la viabilidad técnica de cualquier opción, con la del resto de tecnologías que permitan reducir la presión sobre los recursos hídricos en tiempos de escasez y hacer más eficiente el servicio prestado, independientemente de su carácter, ya que este es el motivo final que inspira la Ley de Aguas.

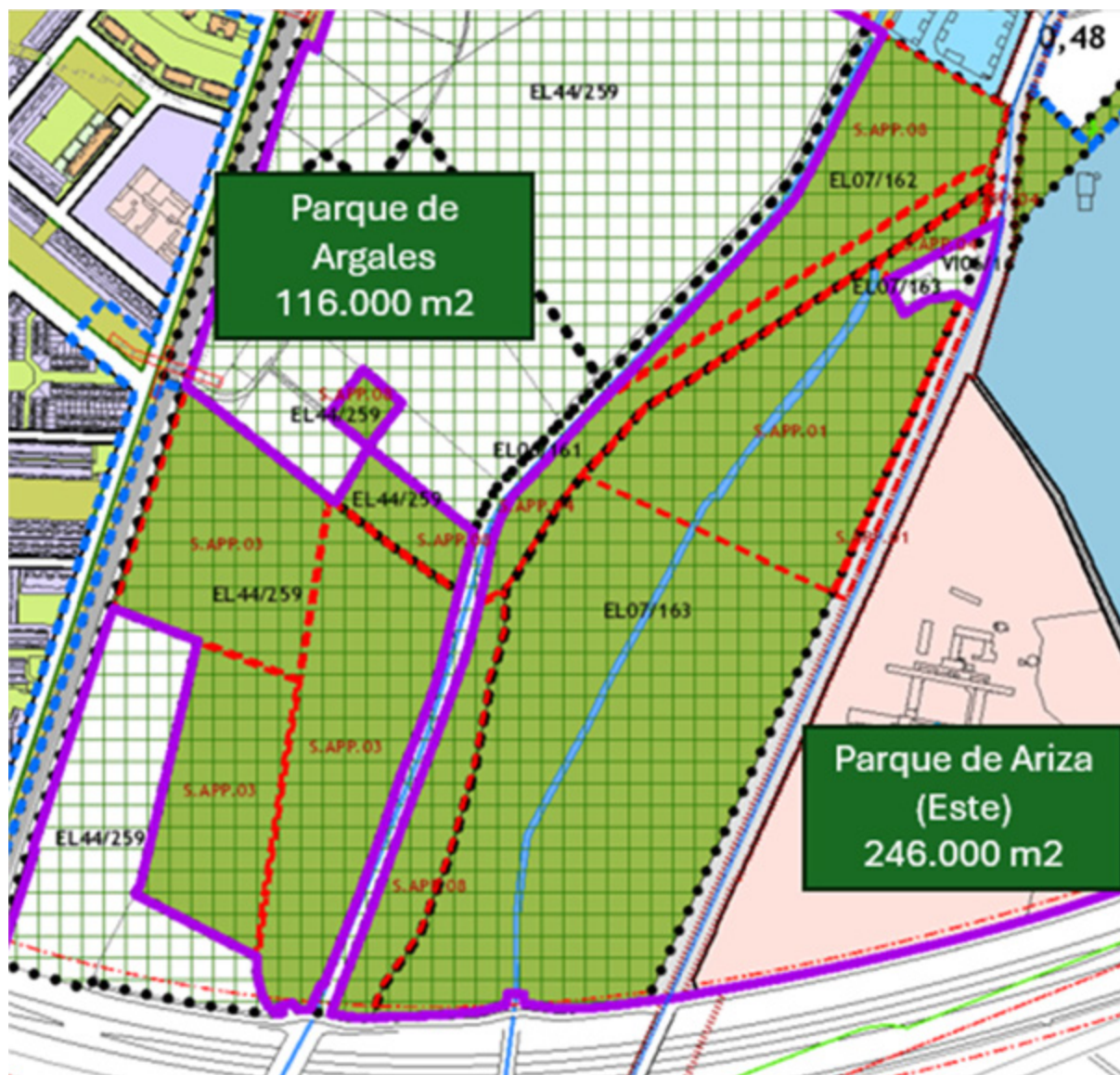


Figura 17 Parque 1. Suma de Parque de Argales y Parque de Ariza.

Parque 2: Área Dotacional Santa Ana I. Este ámbito, con una superficie de 253.000 m², forma parte igualmente del Sistema General de Espacios Libres y contribuye significativamente a la dotación de zonas verdes por habitante de la ciudad, superando los estándares mínimos exigidos por la legislación urbanística de Castilla y León.

La superficie total considerada para la Fase 3 alcanza 615.000 m² (61,5 hectáreas), configurando lo que podría ser uno de los proyectos de riego con agua regenerada de mayor envergadura en el ámbito urbano, con potencial para mejorar la biodiversidad, la gestión sostenible del agua y la resiliencia climática de estos espacios estratégicos.

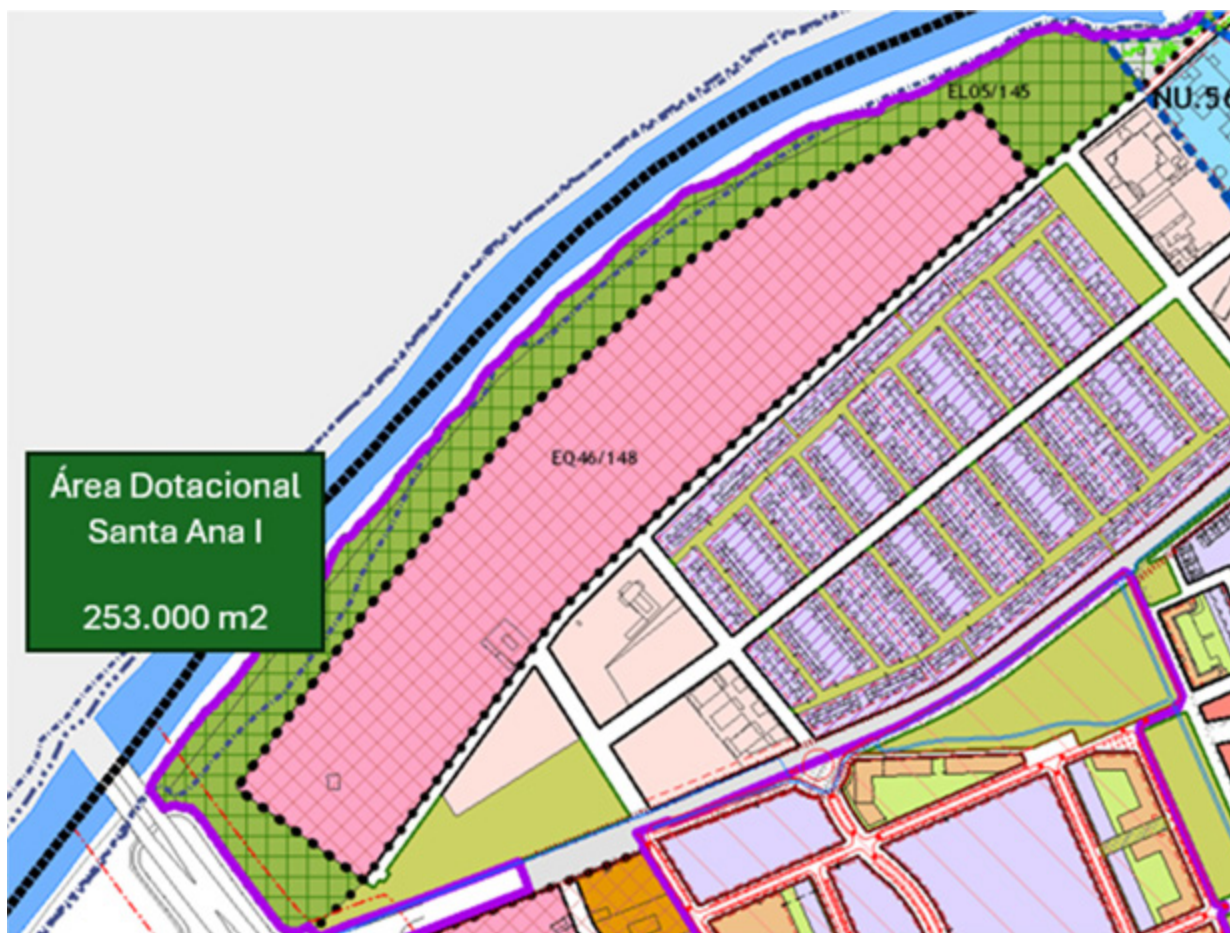


Figura 18 Parque 2. Área Dotacional Santa Ana I

No obstante, este parque actualmente cuenta con una captación de riego desde el cauce receptor, situada muy próxima al punto de salida del efluente de la EDAR, a unas decenas de metros, por lo que el impacto de la diversificación sobre el caudal del río en todo caso sería mínimo.

7.2.3.b Cálculo de caudales.

El dimensionamiento de las necesidades hídricas se ha realizado considerando una campaña de riego discontinua y estacional, que abarca desde abril hasta octubre, cubriendo los periodos de primavera, verano y principio de otoño. Las hipótesis de cálculo se basan en dotaciones estacionales diferenciadas según las condiciones climáticas y un sistema de riego por aspersión con eficiencia del 75%. Las dotaciones aplicadas son de 3,5 L/m²·día para los meses de primavera y principio de otoño (abril, mayo y octubre) y de 6,05 L/m²·día para el periodo estival (junio a septiembre), que corresponde a la situación de máxima demanda.

La demanda mensual total, considerando ambos parques, presenta la siguiente distribución: 86.100 m³ en abril, 88.970 m³ en mayo, 148.830 m³ en junio, 153.791 m³ en julio y agosto, 148.830 m³ en septiembre, y 88.970 m³ en octubre. El volumen total de la campaña abril-octubre alcanza 869.282 m³/año (aproximadamente 0,869 hm³/año), de los cuales 511.675 m³ corresponden al Parque 1 (Argales y Ariza Este) y 357.607 m³ al Parque 2 (Santa Ana I).

En términos de caudales diarios de referencia para el dimensionamiento máximo del sistema, previendo diferente explotación estacional, debido a una demanda discontinua. Durante los meses de primavera y principio de otoño (abril, mayo y octubre) la demanda se sitúa en 1.689 m³/d para el Parque 1 y 1.181 m³/d para el Parque 2, totalizando 2.870 m³/d. Durante el periodo estival (junio a septiembre), que constituye la situación más exigente para el sistema, los requerimientos se elevan a 2.920 m³/d para el Parque 1 y 2.041 m³/d para el Parque 2, con un total de 4.961 m³/d.

El análisis de necesidades se basa en una campaña de riego discontinua, de abril–octubre (primavera, verano y principio de otoño), con dotaciones estacionales y eficiencia de aplicación consideradas en el documento de referencia (aspersión con eficiencia 75%).

Volumen mensual total (Parque 1 + Parque 2):

- Abril: 86.100 m³/mes
- Mayo: 88.970 m³/mes
- Junio: 148.830 m³/mes
- Julio: 153.791 m³/mes
- Agosto: 153.791 m³/mes
- Septiembre: 148.830 m³/mes
- Octubre: 88.970 m³/mes

Total campaña (abril–octubre): 869.282 m³ ($\approx 0,869$ hm³).

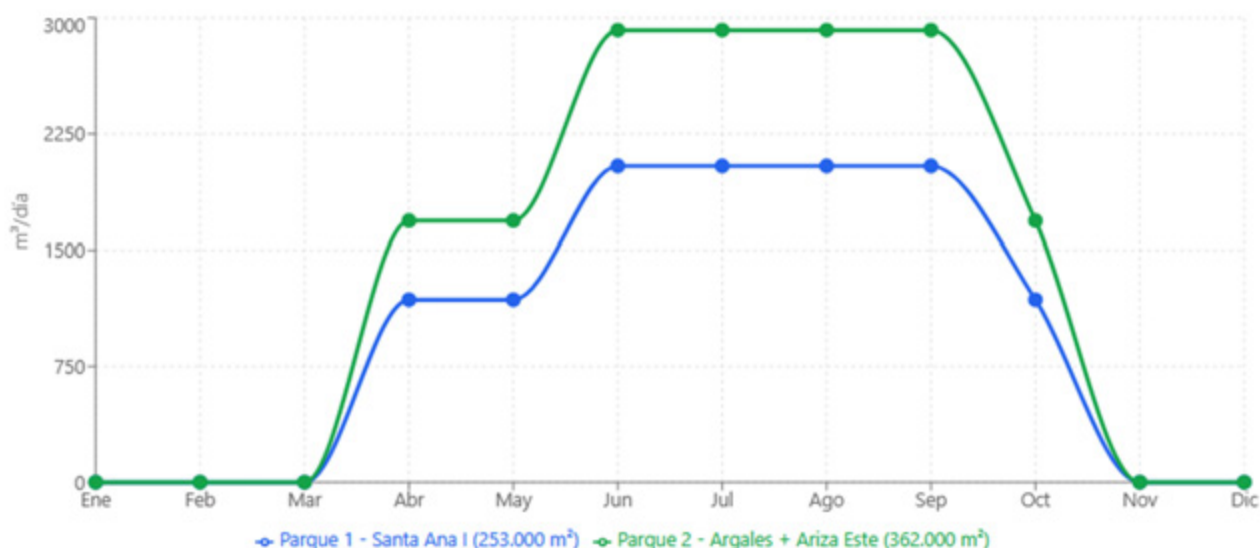
Caudal diario de referencia por parque (para operación y pre-dimensionamiento):

- Primavera / principio de otoño (abril, mayo, octubre):
 - Parque 1: 1.689 m³/d
 - Parque 2: 1.181 m³/d
 - Total: 2.870 m³/d
- Verano (junio–septiembre, situación más exigente):
 - Parque 1: 2.920 m³/d
 - Parque 2: 2.041 m³/d
 - Total: 4.961 m³/d

Gráfica 7 Necesidades de riego.

Demanda Diaria de Riego por Parques

Caudal diario de referencia (m³/día) - Campaña abril-octubre



Estos caudales diarios de referencia deberán traducirse a caudales instantáneos en función de la programación horaria real del riego, considerando que típicamente las operaciones se concentran en ventanas nocturnas de 6 a 10 horas para minimizar pérdidas por evaporación y optimizar la eficiencia del sistema. Asumiendo una ventana de riego nocturno de 8 horas, el caudal instantáneo de diseño para el periodo de máxima demanda se situaría en torno a 620 m³/h, valor que deberá ajustarse en función de la sectorización definitiva de las redes de distribución en cada parque y las características específicas del sistema de bombeo e impulsión desde los depósitos de almacenamiento, aspectos a considerar en el eventual estudio técnico económico.

7.2.3.c Necesidad de ampliación de capacidad: duplicación del tren (+6.000 m³/d)

Dado que el riego de grandes parques concentra su demanda en los meses más secos (junio–septiembre) y que el objetivo operativo es disponer de margen suficiente para cubrir el pico estacional con estabilidad y redundancia, se evaluará la duplicación de la capacidad de regeneración mediante un segundo tren equivalente de 6.000 m³/d, de forma que la ERA alcance 12.000 m³/d instalados (Fase 1 + ampliación Fase 3).

Esta ampliación se justifica porque:

- El pico total de riego calculado para los dos parques es 4.961 m³/d, es decir, se sitúa dentro de un módulo de 6.000 m³/d con margen operativo (variabilidad, puntas, limpiezas, indisponibilidades parciales).
- El Plan de Sequía plantea que, en escenarios de emergencia, riego de zonas verdes y baldeo son usos no esenciales cuando dependen de agua potable, y recomienda abastecerlos con recursos alternativos, entre ellos el empleo de aguas depuradas con terciario para riego urbano, especialmente en grandes parques.

En consecuencia, la Fase 3 se plantea como una ampliación estructurada para que el uso “riego de parques” no compita con otros destinos (p. ej. lámina libre u otros usos urbanos), sino que disponga de capacidad propia y operable con consignas específicas.

Siempre respetando la premisa establecida por la planificación de emergencias ante situaciones de sequía del servicio, que promueve la promoción de la eficiencia en el uso de los recursos más que la satisfacción sin tasa de la demanda.

7.2.3.d Infraestructura hidráulica de suministro. Conducciones hacia los parques

Para el suministro se podría evaluar una solución mediante **dos conducciones principales**, una hacia cada ámbito de riego, con longitudes de referencia del orden de **1,0 km** y **3,0 km** según la información cartográfica disponible.

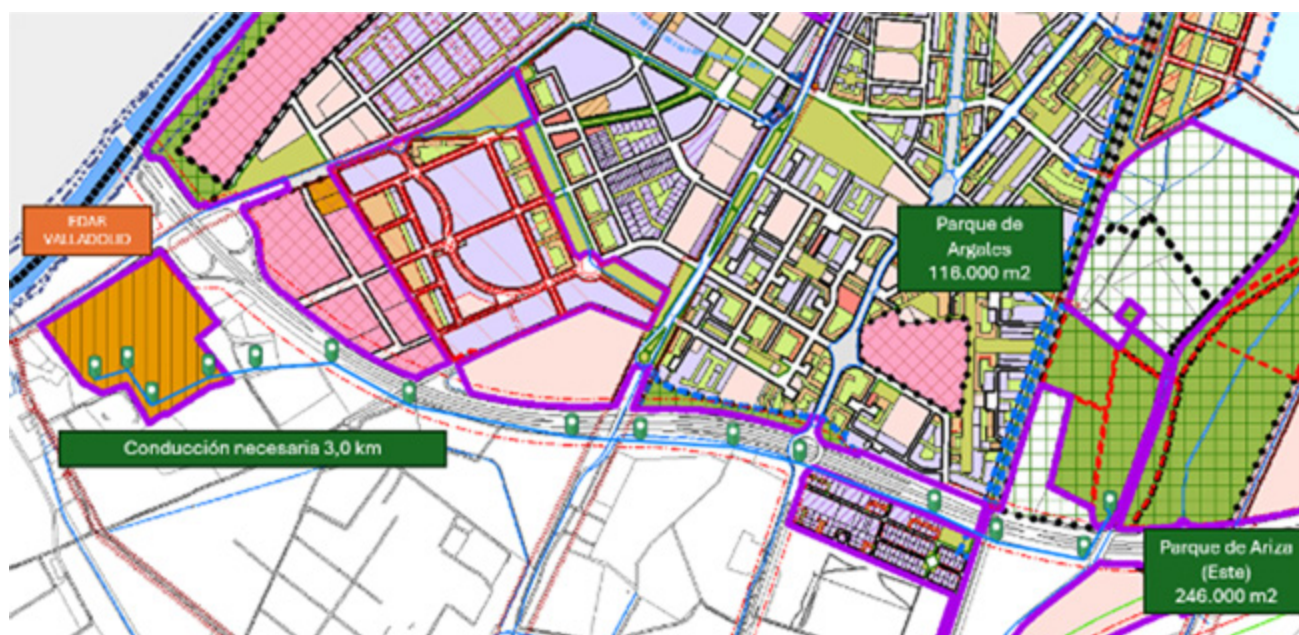


Figura 19 Conducción hacia Parque 1.

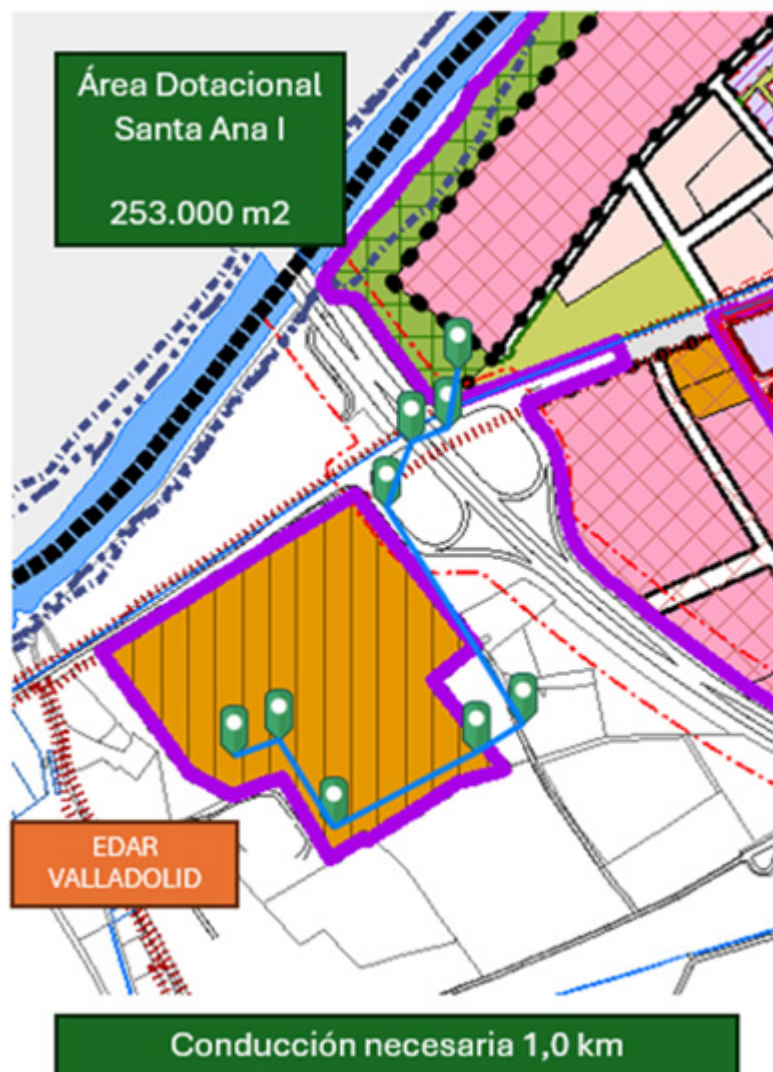


Figura 20 Conducción hacia Parque 2.

Estas conducciones se complementarán con:

- Bombeo de impulsión y control de presión, adaptado a la red de riego existente o a desarrollar.
- Sectorización del riego (programación por turnos), coherente con operación nocturna y gestión eficiente.
- Posible depósito regulador en cabecera de cada parque (o depósito compartido con derivaciones), cuando el diseño de explotación recomiende desacoplar producción continua y riego concentrado.

A falta de un criterio definitivo de horas de riego y sectorización, se adopta como escenario de diseño una programación típica concentrada en 8 h nocturnas en meses de máximo consumo, tal como se recoge como referencia operativa.

- Parque 1 (verano): $2.920 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow 365 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 0,101 \text{ m}^3/\text{s}$
- Parque 2 (verano): $2.041 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow 255 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 0,071 \text{ m}^3/\text{s}$

Con un criterio habitual de velocidad media en arterias de riego $v \approx 1,2 \text{ m/s}$ (rango típico 1,0–1,5 m/s, ajustable por pérdidas de carga y presión disponible), el diámetro hidráulico equivalente queda:

- Conducción Parque 1: DN 350 (estimativo)
- Conducción Parque 2: DN 300 (estimativo)

Estos diámetros se consideran de predimensionamiento y deberán verificarse en el proyecto constructivo con (i) perfil longitudinal y cotas, (ii) pérdidas de carga admisibles, (iii) presión mínima en hidrantes/sectores, (iv) material seleccionado y rugosidad, y (v) estrategia real de sectorización (nº de sectores simultáneos).

7.2.3.e Calidad de agua exigida (U.B) y tren de tratamiento.

El riego de parques y zonas verdes urbanas se encuadra expresamente dentro del uso urbano, Calidad U.B del RD 1085/2024 (“Riego de zonas verdes urbanas —parques y similares—”), con un límite de E. coli ≤ 100 UFC/100 mL y el resto de los parámetros “Conforme DARU”. En el propio RD se precisa que “Conforme DARU” implica cumplir los requisitos de calidad previstos por la normativa para los parámetros correspondientes. Cabe destacar que estos parámetros son cada vez más restrictivos, como indica la Directiva (UE) 2024/3019 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2024, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Adicionalmente, cuando exista riesgo de aerosolización, se establece control sobre *Legionella spp.* conforme al **Real Decreto 487/2022, de 21 de junio**, se deberán establecer las medidas necesarias para garantizar que la utilización del agua regenerada no cause un riesgo de salud pública.

Por ello, cualquier estudio que se proponga deberá contemplar que un **Plan de Gestión del Riesgo del Agua Regenerada (PGRAR)** que será actualizable para incorporar los requisitos específicos que se vayan estableciendo en el desarrollo normativo futuro o en modificaciones del Real Decreto 1085/2024, así como los derivados de la transposición y aplicación de la nueva Directiva (UE) 2024/3019, garantizando en todo momento el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad exigibles para el uso urbano de riego de zonas verdes.

Esto implica que el tren de tratamiento considerado basado en un sistema convencional de regeneración deberá ser adecuado tanto en cada fase de expansión del uso del agua regenerada como con el previsible incremento de exigencias normativas, lo cual deberá tenerse también en cuenta en los estudios técnico económicos a realizar.



Figura 21 Tren de regeneración clase B. Fase 3.

Tratamientos propuestos (secuencia funcional):

1. Coagulación – floculación + clarificación asociada (obligatorio en operación U.B)

Su finalidad es la estabilización de sólidos finos y turbidez, mejora de la filtrabilidad y de la UVT.

Productos típicos (a confirmar mediante jar-test y variabilidad estacional):

Coagulante: cloruro férrico (FeCl_3) o policloruro de aluminio (PAC), en función de pH/alcalinidad y respuesta del efluente. Rangos orientativos de partida: $\text{FeCl}_3 \approx 10\text{--}30$ mg/L como producto comercial (ajustable por turbidez/SS/UVT y, si aplica, objetivo de P).

Floculante: polímero (habitualmente aniónico o catiónico según tratabilidad), con preparación y dosificación controlada. Rangos orientativos de partida: 0,5–2,0 mg/L.

Las dosis y el tipo de reactivo quedan fijados por ensayo de jarras y por consignas operativas basadas en turbidez/UVT/SS.

2. Filtración (afino)

Se trata de asegurar **baja turbidez operativa** y reducir SS finos para que UV mantenga dosis efectiva con estabilidad.

En coherencia con lo ya planteado, la **filtración en arena** se mantiene como solución de referencia por robustez (alternativamente, filtración textil si prima compacidad y automatización), garantizando calidad constante a UV.

3. Desinfección UV (principal).

Para U.B el dimensionamiento y control se orienta a una operación más exigente: medición de UVT, intensidad, caudal y cálculo/registro de dosis equivalente; enclavamientos por baja UVT, ensuciamiento o pérdida de intensidad. El objetivo es asegurar la conformidad microbiológica ($E. coli \leq 100$) con márgenes de seguridad, apoyándose en la estabilización previa del agua por físico-químico + filtración.

4. Cloración (secundaria, solo en infraestructura cerrada)

A diferencia del destino ambiental, en riego urbano puede existir red cerrada y tiempos de retención; en ese caso, se analiza la cloración de mantenimiento para conservar estabilidad microbiológica en depósito/red, manteniendo residual en el circuito cerrado y evitando aportarlo a láminas libres.

Rango operativo orientativo (a ajustar por demanda de cloro y tiempo de retención): 0,2–0,5 mg/L de cloro libre en puntos representativos del sistema cerrado, cuando aplique.

7.2.3.f Alcance de la fase 3.

La implantación de la Fase 3, como las anteriores, además de un estudio previo de viabilidad, requiere necesariamente la redacción de un proyecto constructivo específico que defina con nivel de detalle ejecutivo todos los elementos del sistema de suministro. Este proyecto deberá incluir el trazado definitivo de las conducciones con replanteo topográfico, la definición de diámetros y materiales de tubería con justificación del cálculo hidráulico completo considerando pérdidas de carga singulares y continuas, el diseño de la estación de bombeo con selección de equipos y potencia instalada, el dimensionamiento de depósitos reguladores en caso de resultar necesarios, la integración con las redes de distribución de riego en cada parque incluyendo cabezales de control y elementos de medida, y el sistema de telecontrol y automatización para la gestión eficiente de consignas de riego. El proyecto deberá asimismo incorporar el estudio de afecciones a servicios existentes, la coordinación con otras infraestructuras urbanas, el análisis de soluciones constructivas para minimizar la afección al tráfico durante la ejecución, y la definición completa de mediciones y presupuesto de las obras.

Paralelamente al desarrollo del proyecto constructivo, resulta imprescindible realizar un análisis económico completo que permita evaluar la viabilidad de la Fase 3 desde la perspectiva de

Aquavall como entidad gestora. Este análisis deberá cuantificar de forma detallada tanto la inversión inicial (CAPEX) necesaria para la ejecución de las infraestructuras de conducción, bombeo, almacenamiento y distribución, como los costes operativos recurrentes (OPEX) asociados al consumo energético de bombeo, el mantenimiento y renovación de instalaciones, el control analítico del agua regenerada suministrada, y la gestión operativa del sistema, así como las previsibles adecuaciones a la evolución de la normativa.

El estudio económico y financiero deberá contrastar estos costes con el modelo de ingresos o ahorro asociado al suministro de agua regenerada para riego, considerando tanto el valor del agua que se deja de extraer de recursos convencionales como las posibles tarifas o contraprestaciones establecidas para el servicio. Será necesario evaluar indicadores de rentabilidad como el periodo de retorno de la inversión, el valor actual neto del proyecto y la tasa interna de retorno, así como realizar análisis de sensibilidad ante variaciones en variables clave como el coste energético, el volumen anual realmente demandado o las condiciones de financiación.

Este análisis económico financiero permitirá determinar si el alcance de la Fase 3 resulta viable, e identificar las oportunidades de financiación mediante ayudas o subvenciones públicas para proyectos de economía circular del agua, o modelos de colaboración privada, como una concesión para el aprovechamiento exclusivo de aguas regeneradas que hagan viable la implantación efectiva de esta fase del proyecto de regeneración.

7.2.4 Uso industrial clase A/A+

Además de los usos urbano-ambientales analizados en las Fases 1–3 (Destino ambiental, baldeo y riego urbano), en este ejercicio de planificación se considera oportuno incorporar un escenario industrial de mayor exigencia (A/A+) como opción de futuro, condicionado a la aparición de demanda industrial estable, con especificaciones de calidad reforzadas y capacidad de formalizar compromisos de compra (*offtake*) a medio-largo plazo.

La conveniencia de esta línea se refuerza por dos elementos del contexto local:

- Tejido industrial relevante en Valladolid y su entorno, con grandes consumidores potenciales en sectores como automoción, fabricación de vehículos industriales, neumáticos y agroalimentario, que concentran actividad y procesos susceptibles de abastecerse parcial o totalmente con agua regenerada en aplicaciones no potables (refrigeración, lavado industrial, servicios auxiliares, etc.); como planteamiento de futuro ante nuevas implantaciones, dado que las grandes factorías existentes ya cuentan con sus propias concesiones y plantas de tratamiento.
- Dinámica reciente de atracción industrial vinculada a la cadena de valor del vehículo eléctrico y las baterías. Se han difundido desde diferentes instancias de la administración informaciones sobre un proyecto de baterías asociado a grandes grupos industriales del ámbito, con inversiones y desarrollo industrial previstos en Valladolid, lo que justifica que el Plan contemple, al menos, la posibilidad técnica de producir calidades avanzadas si existiera una demanda compatible.

En paralelo, el propio Plan de Emergencia ante Sequía de Valladolid incorpora el criterio de que, en situaciones de escasez, deben priorizarse recursos de “calidad adecuada” para usos no esenciales, e identifica explícitamente el “estudio de reutilización de aguas depuradas” como medida estructural.

7.2.4.a Alcance

Este escenario no se plantea como una “fase adicional obligatoria”, sino como una **línea de oportunidad** que se activaría únicamente si concurren simultáneamente:

1. **Demanda industrial cuantificada** (caudal y perfil horario/estacional).
2. **Especificaciones de calidad definidas por el usuario** (conductividad, dureza, sílice, COT/TOC, cloruros, etc.), además del marco del RD 1085/2024.
3. **Viabilidad de distribución** (distancia, servidumbres, bombeos) y **modelo contractual** con garantías de consumo mínimo (para sostener CAPEX/OPEX).
4. **Encaje regulatorio y de gestión del riesgo** (actualización del PGRAR, puntos de cumplimiento, autocontrol y responsabilidades compartidas).

7.2.4.b Enfoque de diseño.

A efectos de planificación, se propone estructurar el esquema industrial como una **arquitectura escalonada**:

- **Plataforma de regeneración base (C/B)**: filtrar/estabilizar sólidos y garantizar desinfección robusta (líneas ya contempladas en Fases 1–3).
- **Bloque de afino industrial activable** para usos industriales exigentes: tratamiento avanzado aguas abajo, dimensionado solo si el caso de negocio lo justifica.

Este planteamiento permite que la ERA se conciba como infraestructura **modular**, evitando sobredimensionar desde el inicio por un uso que, hoy, no está acreditado contractualmente.

7.2.4.c Tecnologías y trenes tipo para A/A+

Sin perjuicio del diseño definitivo, y a nivel de Plan, se propone analizar tres configuraciones tipo (seleccionables según requerimientos del usuario industrial):

a) A (refuerzo microbiológico + estabilidad físico-operativa, sin desalación):

- Físico-químico (si procede por turbidez/UVT) + filtración
- Desinfección UV (con trazabilidad de dosis)
- Desinfección secundaria en conducción cerrada (cuando aplique)
- Opcional: carbón activo granular (GAC/BAC) para mejora de COT/olor/color, en función de objetivos

b) A+ (tratamiento avanzado para calidad reforzada, sin reducción fuerte de sales):

- Ultrafiltración (UF) como barrera física avanzada
 - Oxidación avanzada (UV/H₂O₂ u ozono, según objetivos)
 - Opcional: GAC/BAC como etapa de seguridad frente a microcontaminantes
- Este tipo de esquema es habitual cuando la industria exige alta seguridad sanitaria y estabilidad, pero no requiere conductividades muy bajas.

c) A+/industrial “alta pureza” (cuando se exija baja conductividad/dureza):

- UF (pretratamiento)
 - Nanofiltración (NF) o **ósmosis inversa (RO)** según especificación de sales
 - Post-tratamiento: remineralización/ajuste de pH, control de corrosión, desinfección final si procede
- Este tren es el que habilita usos de mayor exigencia (p. ej. agua de aporte a circuitos con control estricto de sales, ciertos procesos químicos o necesidades similares), a costa de mayor CAPEX/OPEX y gestión de salmuera/concentrado.

Como referencia bibliográfica de costes y escalado para tecnologías como **UF, GAC y RO** en entornos industriales, puede utilizarse literatura técnica reciente que modeliza curvas CAPEX/OPEX y requisitos de calidad por segmento industrial, útil para justificar el “salto” económico entre B/C y A/A+.

7.2.4.d Distribución y entrega: prioridad a soluciones “sin red morada” en arranque industrial

Para minimizar riesgo inversor, en una primera etapa industrial se recomienda analizar soluciones de entrega progresivas:

- **Punto de carga a camión cisterna** (industrial cercano o consumos puntuales).
- **Conducción dedicada** a un usuario ancla (si existe contrato de consumo mínimo).
- **Micro-red industrial** únicamente si se consolida un clúster de demanda (varios usuarios próximos).

Este criterio es consistente con la experiencia general: en muchos proyectos, el coste dominante no es el tratamiento, sino la **logística hidráulica (tuberías, bombeos, servidumbres y operación)**, por lo que la estrategia debe ser “primero demanda y contrato, luego infraestructura”.

7.2.4.e Gestión del riesgo, control y responsabilidades

En caso de activación del escenario industrial, el Plan deberá contemplar:

- **Actualización del PGRAR** incorporando peligros específicos del uso industrial, punto(s) de cumplimiento y autocontrol reforzado.
- **Separación física y operativa estricta** respecto a redes de agua potable y usos urbanos.
- **Contrato técnico de suministro** que fije: especificaciones, caudal mínimo, protocolos ante no conformidad, trazabilidad SCADA, y reparto de responsabilidades en almacenamiento interno del usuario.

7.2.4.f Condiciones de activación

Se propone incorporar como criterio explícito del PFRAR que el escenario industrial A/A+ solo se active si se cumplen, al menos:

1. **Usuario(s) con demanda $\geq$ umbral** (a definir en el estudio de oportunidad) y perfil compatible.
2. **Especificaciones de calidad** cerradas y verificables.
3. **Viabilidad económica** con contrato de consumo mínimo y/o cofinanciación.
4. **Viabilidad ambiental y de permisos** (incluida la gestión de concentrados si aplica RO).

7.3 Ordenanzas y normas técnicas para el uso de AR

El primer paso para fomentar el uso del agua regenerada es asegurar su calidad, que depende de la correcta operación de los procesos de depuración situados aguas arriba de sus tratamientos de regeneración. No es posible garantizar esa calidad sin controlar los vertidos que llegan al alcantarillado, por tanto, deben revisarse el actual reglamento de control de vertidos para incorporar requerimientos que faciliten tanto la depuración como una futura regeneración del agua residual a nivel general. También debe garantizarse su aplicación homogénea en todos los municipios del territorio conectado a la red de alcantarillado de la aglomeración urbana.

Por otra parte, se analizará la conveniencia de proponer la elaboración de ordenanzas municipales que regulen la calidad, destino y condiciones de uso del agua regenerada, con el fin de ofrecer seguridad jurídica a los usuarios, supeditadas al cuarto ciclo de planificación hidrológica del organismo de cuenca (2028-2033) y la habilitación presupuestaria prevista en la Ley de Aguas. En su caso, estas ordenanzas municipales deberán ajustarse a las categorías de calidad del **RD 1085/2024** o normativa que la sustituya, y se integrarán coherentemente con el resto de normativa local en materia de riego urbano, baldeo e instalaciones recreativas.

Igualmente, en las próximas revisiones documentales se estudiará introducir, tanto en la planificación urbana como en el reglamento del servicio, las condiciones para fomentar la reutilización del agua en origen, en las instalaciones interiores de los ciudadanos, especialmente en épocas de sequía.

7.3.1 Finalidad y principio de integración normativa

La incorporación del agua regenerada al sistema urbano de Valladolid–Alfoz requerirá el establecimiento de un marco normativo municipal específico que garantice la seguridad jurídica y operativa de las actuaciones previstas. La adaptación del ordenamiento local debe dar respuesta a la necesidad de regular las condiciones técnicas, sanitarias y ambientales del servicio, en coherencia con el Real Decreto 1085/2024, de 5 de noviembre, por el que se establecen los requisitos para la reutilización de las aguas, y lo que disponga la planificación hidrológica de cuenca

La modificación normativa propuesta permitirá definir el régimen de calidad exigible, las condiciones de entrega y uso del recurso, las obligaciones de control y trazabilidad, y la delimitación de responsabilidades entre operadores, usuarios municipales y terceros. Se persigue así dotar al sistema de un marco estable que garantice la aplicación del principio *fit for purpose*, la protección de la salud pública y del medio ambiente, y la prevención de conexiones cruzadas y usos inadecuados.

La activación de esta modificación normativa se realizará de forma coordinada con la puesta en marcha de las actuaciones de reutilización contempladas en el Plan, garantizando que la infraestructura reguladora precede o acompaña a la operativa del servicio.

7.3.2 Alcance de la modificación normativa

La propuesta de adaptación del marco normativo municipal se estructura en dos niveles complementarios:

1. Actualización del Reglamento del Servicio Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de cada municipio del área de suministro

En su próxima revisión se incorporará la posibilidad del suministro de agua regenerada como servicio diferenciado del abastecimiento de agua potable, estableciendo su régimen de prestación, contratación, tarificación, entrega, derechos y obligaciones de los usuarios, y facultades de inspección y control. Esta modificación permitirá integrar el agua regenerada en el marco regulatorio general del ciclo urbano del agua, sin perder de vista la especificidad técnica y sanitaria que caracteriza a este recurso.

2. Aprobación de normas técnicas municipales específicas

Una vez revisado el reglamento, se desarrollará un cuerpo normativo técnico, articulado como anexo técnico del Reglamento o como instrucción técnica municipal, que contenga las prescripciones de diseño, explotación, control y uso del agua regenerada. Este instrumento podrá ser compartido y en todo caso tendrá disposiciones consensuadas entre los municipios del área de suministro, y deberá ser actualizable para adaptarse a la evolución normativa, tecnológica y operativa, sin necesidad de tramitación completa de modificación reglamentaria.

3. Armonización con normativa sectorial municipal

Se plantea la revisión y armonización de las ordenanzas municipales que lo requieran una vez actualizado el reglamento, como por ejemplo las de limpieza urbana, conservación de zonas verdes e instalaciones recreativas, para integrar las condiciones operativas específicas del uso de agua regenerada, las medidas de prevención del riesgo sanitario y ambiental, y los requisitos de señalización, formación del personal y protocolos de actuación.

Así mismo, se incluirá en la planificación urbana y especialmente en la normativa asociada al PGOU las disposiciones necesarias para fomentar la reutilización y/o el uso del agua regenerada en las instalaciones interiores, con carácter prioritario para las de nueva edificación.

7.3.3 Contenidos mínimos del marco regulatorio municipal

a) Definiciones y delimitación del servicio

El marco normativo incorporará las siguientes definiciones, con el fin de garantizar la precisión terminológica y la seguridad jurídica:

- **Agua regenerada:** agua residual depurada que ha sido sometida a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destina.
- **Estación regeneradora de aguas (ERA):** instalación donde se realiza el tratamiento de regeneración del agua residual depurada para su reutilización.
- **Punto de cumplimiento de calidad:** punto en el que el agua regenerada debe cumplir los requisitos de calidad establecidos, generalmente la salida de la ERA o el punto de entrega al usuario.
- **Punto de entrega:** ubicación física donde el agua regenerada pasa del sistema de distribución gestionado por el operador al sistema de uso gestionado por el usuario o destinatario.
- **Red específica de agua regenerada:** infraestructura de conducción, almacenamiento y distribución exclusivamente destinada al transporte de agua regenerada, física y funcionalmente separada de la red de abastecimiento de agua potable.
- **Punto de carga a camión:** instalación dotada de contador, dispositivo de llenado y elementos de control, destinada al suministro de agua regenerada a vehículos cisterna.
- **Usuario municipal:** órgano o servicio del Ayuntamiento, o contrata municipal, que recibe agua regenerada para su uso en servicios municipales (limpieza viaria, riego de zonas verdes, riego de instalaciones deportivas).
- **Usuario externo:** persona física o jurídica, distinta del Ayuntamiento, autorizada para recibir agua regenerada con destino a usos permitidos por la normativa.

Se establecerá, asimismo, la delimitación de responsabilidades entre:

- El **operador del sistema de regeneración y entrega**, responsable de la calidad del agua en el punto de cumplimiento y de la operación y mantenimiento de la ERA y de la red específica hasta el punto de entrega.
- Los **titulares de las instalaciones receptoras** (servicios municipales, contratas, usuarios externos), responsables del uso adecuado, del cumplimiento de las condiciones operativas, del mantenimiento de las instalaciones de uso y de la prevención de conexiones cruzadas.

- Los **usuarios finales**, en su caso, responsables de respetar las limitaciones de uso y las medidas de protección establecidas.

Se garantizará en todo caso la **separación funcional y física** entre la red de agua regenerada y la red de abastecimiento de agua potable, mediante especificaciones técnicas, identificación normalizada y protocolos de verificación.

b) Régimen de usos autorizables y encaje con las fases del Plan

Los usos autorizables del agua regenerada en el ámbito municipal quedarán vinculados a las categorías de calidad establecidas en el Real Decreto 1085/2024, conforme a los requisitos de cada destino y a la viabilidad técnica y económica de su producción.

La normativa municipal establecerá una priorización y secuenciación de usos coherente con las fases de desarrollo del Plan:

Fase inicial

- Destino ambiental (calidad C): recarga de masas de agua, mantenimiento de caudales ecológicos, restauración de humedales.
- Uso urbano para baldeo y limpieza viaria (calidad B): limpieza de calzadas, lavado de contenedores, limpieza de alcantarillado.

Fase de consolidación

- Uso urbano para riego de parques, jardines y zonas verdes de acceso público (calidad B).
- Uso urbano para riego de instalaciones deportivas municipales (calidad B).

Escenarios de ampliación

- Uso industrial no alimentario (calidad A o A+), condicionado a la existencia de demanda real, viabilidad económica, disponibilidad de infraestructura de entrega y cumplimiento de requisitos de control reforzado.

La normativa preverá la posibilidad de autorizar usos adicionales, previa evaluación técnica y sanitaria, y siempre que se cumplan los requisitos de calidad, control y gestión del riesgo aplicables.

c) Requisitos de calidad, control analítico y trazabilidad

El marco normativo establecerá el **punto de cumplimiento de calidad** del agua regenerada, generalmente situado a la salida de la ERA o en el punto de entrega al usuario, según el esquema de reutilización y las responsabilidades definidas.

Se definirá un **programa de control operacional y verificación analítica**, que incluirá:

- Parámetros de control y valores límite, conforme al Real Decreto 1085/2024 y a los requisitos específicos del uso autorizado.
- Frecuencias de muestreo y análisis, diferenciadas según parámetros indicadores, operacionales y de verificación.
- Puntos de muestreo, métodos analíticos y laboratorios acreditados.
- Criterios de aceptación, umbrales de alerta y valores de intervención.
- Procedimiento de registro, documentación y comunicación de resultados.

Se exigirá la implantación de **sistemas de instrumentación, telemetría y registro** que permitan la supervisión continua de parámetros críticos (caudal, turbidez, cloro residual, conductividad, pH) y su integración en el sistema SCADA del operador.

Se establecerá un **procedimiento de gestión de no conformidades**, que contemplará:

- Segregación automática del caudal no conforme mediante válvulas de control o desvío a cauce.
- Limitación o suspensión inmediata del suministro a usuarios afectados.
- Comunicación urgente a la autoridad sanitaria y al organismo de cuenca.
- Activación de medidas correctoras y verificación de su eficacia.

- Investigación de causas y registro de incidencias.
- Reanudación del suministro previa verificación analítica de conformidad.

d) Gestión del riesgo y esquema multibarrera

La normativa municipal exigirá la elaboración y mantenimiento de un **Plan de Gestión del Riesgo del Agua Regenerada** para cada esquema de reutilización implantado, conforme al enfoque establecido en el Real Decreto 1085/2024. Este plan incluirá:

- **Caracterización del sistema:** descripción del origen del agua residual, procesos de depuración y regeneración, infraestructuras de almacenamiento y distribución, usos previstos y usuarios receptores.
- **Identificación de peligros:** evaluación de peligros microbiológicos, químicos y físicos en cada etapa del proceso, desde la EDAR hasta el punto de uso final.
- **Evaluación del riesgo:** valoración de la probabilidad de ocurrencia y de la gravedad de los efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.
- **Selección de barreras:** definición de las medidas de control (barreras técnicas y operativas) necesarias para reducir el riesgo a niveles aceptables.
- **Verificación de eficacia:** sistema de monitorización y control que confirme el funcionamiento adecuado de las barreras.
- **Procedimientos de gestión de incidencias:** protocolos de actuación ante fallos de barrera, eventos no previstos o desviaciones de calidad.
- **Revisión y actualización:** periodicidad de revisión del plan y procedimiento de actualización ante cambios significativos.

e) Condiciones operativas de uso para riego y limpieza municipal

Con el fin de minimizar la exposición de la población y garantizar la aplicación efectiva del esquema multibarrera, se incorporarán a la normativa municipal **condiciones operativas específicas** para los usos urbanos de agua regenerada.

Riego de parques, jardines y zonas verdes

- **Programación temporal:** riego preferente en horarios de baja afluencia de público (nocturnos o de primera hora de la mañana) o durante periodos de cierre del recinto, cuando sea técnicamente posible y compatible con las necesidades hídricas de la vegetación.
- **Control de acceso:** en zonas donde la concentración de usuarios sea elevada o donde el método de riego implique generación de aerosoles, se establecerán medidas de limitación temporal del acceso durante la aplicación y un tiempo prudencial posterior (típicamente 2-4 horas), mediante señalización o cierre temporal de áreas.
- **Selección del método de riego:** priorización del riego localizado (goteo, microaspersión de bajo alcance) frente a aspersión en áreas con presencia habitual de público. En caso de riego por aspersión, se evitarán equipos de alta presión y se utilizarán aspersores de bajo alcance y altura de proyección limitada.
- **Señalización:** las zonas regadas con agua regenerada dispondrán de señalización fija informativa en accesos principales, conforme a modelo normalizado municipal, que indique el uso de agua regenerada y las recomendaciones básicas de seguridad (evitar contacto directo, no beber). Se podrá complementar con señalización temporal durante la aplicación.
- **Mantenimiento de instalaciones:** los elementos de la red de riego (tuberías, arquetas, válvulas, aspersores, goteros) estarán identificados y se someterán a inspección y mantenimiento preventivo regular, conforme a protocolo específico.

Baldeo y limpieza viaria

- **Programación temporal:** baldeo preferente en horario nocturno o de menor ocupación peatonal y de tráfico, salvo situaciones de emergencia o necesidades operativas justificadas.

- **Métodos de aplicación:** utilización de equipos que minimicen la generación de aerosoles (toberas de baja presión, cortinas de agua rasante). Se evitará el baldeo a presión elevada en zonas de concentración peatonal durante el horario diurno.
- **Entornos sensibles:** en el entorno de centros sanitarios, centros educativos, residencias de personas mayores y zonas de alta concentración peatonal, se establecerán condiciones reforzadas: programación en horarios de mínima ocupación, métodos de aplicación de bajo impacto, señalización temporal cuando proceda y coordinación con responsables de los centros.
- **Protección del personal:** el personal operador de equipos de baldeo dispondrá de formación específica sobre el uso seguro del agua regenerada y utilizará equipos de protección individual (EPI) adecuados cuando las condiciones de trabajo lo requieran (salpicaduras, contacto directo prolongado).

Otros usos urbanos

Para usos adicionales que puedan incorporarse (riego de instalaciones deportivas, limpieza de contenedores, limpieza de alcantarillado), se establecerán condiciones operativas específicas, adaptadas al nivel de riesgo y a las características de cada destino, siguiendo el mismo enfoque de minimización de exposición y aplicación de barreras de uso final.

Estas condiciones operativas se incorporarán a la normativa municipal de limpieza urbana y a los procedimientos operativos de los servicios municipales de parques y jardines, y se integrarán en los pliegos de prescripciones técnicas de las contrataciones de mantenimiento y operación. Su cumplimiento será objeto de supervisión y auditoría periódica.

f) Infraestructura de entrega, separación de redes y prevención de conexiones cruzadas

La normativa técnica municipal establecerá **especificaciones de diseño y explotación** para las infraestructuras específicas de agua regenerada:

Redes de distribución

- Separación física completa respecto de la red de abastecimiento de agua potable, con distancia mínima de seguridad en cruces y paralelismos.
- Instalación en zanja diferenciada, con profundidad y protección adecuadas.
- Materiales compatibles con la calidad del agua regenerada y con las condiciones de presión y temperatura esperadas.

Identificación y señalización

- Código de colores normalizado para tuberías de agua regenerada (color violeta PANTONE 2577U o RAL 4001).
- Señalización permanente mediante bandas, cintas de marcaje o pintura, en toda la longitud de la tubería.
- Identificación de arquetas, válvulas, hidrantes y bocas de riego mediante placas o inscripciones con la leyenda "Agua Regenerada - No Potable".
- Señalización en depósitos reguladores, puntos de carga y elementos de control.

Hidrantes y puntos de toma

- Diseño diferenciado respecto de hidrantes de agua potable (color, forma, sistema de acople específico incompatible con equipos de agua potable).
- Protección mediante arqueta o recinto cerrado con llave, con control de acceso.
- Válvula de retención para evitar retornos desde la instalación de uso.

Puntos de carga a camión

- Ubicación en recinto vallado o con control de acceso.
- Sistema de llenado con dispositivo de corte automático y prevención de desbordamientos.
- Contador individual y sistema de registro de suministros.
- Señalización visible con instrucciones de uso y advertencias de seguridad.
- Recogida de vertidos accidentales y conexión a drenaje controlado.
- Prohibición expresa de carga simultánea de agua regenerada y agua potable en el mismo vehículo cisterna, salvo compartimentación estanca certificada.

Dispositivos de prevención de conexiones cruzadas

- Válvulas de no retorno en todos los puntos de entrega.

- Separación física mediante desconector o corte total en instalaciones con doble suministro (agua potable y regenerada).
- Inspección obligatoria mediante pruebas de presión diferencial antes de la puesta en servicio.

Protocolos de verificación

- Inspección visual de separación de redes antes de la puesta en servicio de cualquier tramo nuevo o reparado.
- Pruebas de estanqueidad y presión según normativa técnica aplicable.
- Verificación de la ausencia de conexiones cruzadas mediante trazadores o colorantes en fase de pruebas.
- Inspecciones periódicas programadas (anuales como mínimo) de puntos críticos: cruces de redes, puntos de entrega, instalaciones con doble suministro.

g) Régimen de explotación, inspección y régimen sancionador

Facultades de inspección. El operador del sistema de agua regenerada y los servicios municipales competentes dispondrán de facultades de inspección sobre:

- Instalaciones receptoras de agua regenerada (redes interiores, depósitos, equipos de riego, cisternas).
- Puntos de entrega y acometidas.
- Condiciones de uso y cumplimiento de prescripciones operativas.
- Documentación de control y registros de mantenimiento.

Los titulares de las instalaciones y los usuarios autorizados estarán obligados a facilitar el acceso para inspección, previa comunicación en plazo razonable, salvo en caso de inspección urgente por riesgo inminente.

Infracciones específicas. Se tipificarán como infracciones específicas en materia de agua regenerada:

- **Infracciones muy graves:**
 - Existencia de conexiones cruzadas entre la red de agua regenerada y la red de agua potable.
 - Uso de agua regenerada para consumo humano o para usos alimentarios no autorizados.
 - Manipulación o anulación de sistemas de seguridad, válvulas de retención o dispositivos de control.
 - Suministro de agua regenerada sin cumplimiento de requisitos de calidad, con riesgo para la salud pública.
- **Infracciones graves:**
 - Uso de agua regenerada para destinos no autorizados.
 - Incumplimiento de condiciones operativas con riesgo potencial para la salud o el medio ambiente.
 - Ausencia de señalización obligatoria en puntos de uso o de entrega.
 - Vertidos incontrolados desde puntos de carga o cisternas.
 - Interferencia en sistemas de control o falta de colaboración en inspecciones.
 - Falta de mantenimiento de instalaciones receptoras que comprometa la seguridad del sistema.
- **Infracciones leves:**
 - Incumplimiento de obligaciones formales de registro o comunicación.
 - Deficiencias menores en señalización o identificación de elementos.
 - Incumplimiento de horarios u otras condiciones operativas sin riesgo apreciable.

Medidas cautelares. En caso de detección de infracción muy grave o grave, o ante riesgo inminente para la salud pública, el Ayuntamiento o el operador podrán adoptar de forma inmediata las siguientes medidas cautelares:

- Suspensión del suministro de agua regenerada al usuario o instalación afectada.
- Precintado o inmovilización de puntos de carga, hidrantes o equipos.
- Exigencia de subsanación inmediata de deficiencias mediante ejecución subsidiaria en caso de inactividad del obligado.
- Corte físico de acometidas en caso de conexión cruzada confirmada.

El levantamiento de las medidas cautelares quedará condicionado a la verificación efectiva de la subsanación de las deficiencias y, en su caso, al pago de las sanciones y costes de ejecución subsidiaria.

7.3.4 Instrumento normativo propuesto y documentación asociada

La adaptación del marco normativo municipal se podrá materializar salvo mejor criterio mediante los siguientes instrumentos:

1. Modificación del Reglamento del Servicio Municipal de Abastecimiento y Saneamiento

Se incorporará un nuevo título o capítulo específico sobre suministro de agua regenerada, que contenga:

- Objeto y ámbito de aplicación del servicio de agua regenerada.
- Definiciones y régimen de usos autorizables.
- Derechos y obligaciones de usuarios municipales y externos.
- Condiciones generales de suministro y contratación.
- Régimen de tarifas y precios públicos.
- Facultades de inspección y control.
- Tipificación de infracciones y sanciones.
- Medidas cautelares.

2. Anexo técnico municipal de agua regenerada

Se desarrollará un anexo técnico o instrucción técnica municipal, aprobado por resolución del órgano competente, que contenga las prescripciones técnicas detalladas:

- Requisitos de calidad por uso y categoría.
- Programa de control analítico y operacional.
- Especificaciones de diseño de infraestructuras de distribución y entrega.
- Condiciones operativas de uso por destino.
- Requisitos de señalización, identificación y separación de redes.
- Protocolos de verificación y pruebas de puesta en servicio.
- Modelos normalizados de documentación.

Este instrumento tendrá carácter actualizable, permitiendo su adaptación a la evolución normativa, tecnológica y operativa sin necesidad de tramitación completa de modificación reglamentaria.

3. Armonización de normativa sectorial

Se revisarán y, en su caso, modificarán las siguientes ordenanzas y normas municipales:

- Ordenanza de limpieza urbana: incorporación de condiciones operativas para baldeo con agua regenerada.
- Normativa de conservación de parques y jardines: integración de requisitos de riego con agua regenerada.
- Pliegos tipo de contrataciones de servicios municipales: inclusión de cláusulas específicas sobre uso de agua regenerada, formación del personal y obligaciones de control.

Documentación normalizada de implantación. Como soporte a la aplicación del marco normativo, se desarrollarán los siguientes documentos técnicos y operativos:

- **Modelo de condiciones de suministro y entrega:** contrato tipo o condiciones generales aplicables a usuarios municipales y externos, con especificación de calidad, caudal, punto de entrega, responsabilidades, control y régimen de incidencias.
- **Fichas de uso por destino:** documentos técnicos que detallen, para cada uso autorizado, los requisitos de calidad, las condiciones operativas, las barreras aplicables, la señalización necesaria y las instrucciones de seguridad.

- **Protocolos de señalización:** especificaciones de diseño, ubicación, contenido y mantenimiento de señalización fija y temporal en redes, instalaciones y puntos de uso.
- **Checklists de inspección:** listas de verificación para inspección de instalaciones, comprobación de separación de redes, verificación de dispositivos de seguridad y auditoría de condiciones operativas.
- **Protocolos de pruebas de puesta en servicio:** procedimientos para verificación de estanqueidad, pruebas de presión, pruebas de trazadores y ensayos funcionales de sistemas de control.
- **Planes de formación:** contenidos y programas de formación para personal municipal, contratistas y usuarios autorizados, incluyendo aspectos normativos, técnicos, operativos y de seguridad.

7.3.5 Condición de activación y coherencia con las actuaciones del Plan

La modificación del marco normativo municipal no constituye, por sí misma, un compromiso de ejecución de infraestructuras de reutilización ni de puesta en marcha inmediata del servicio de suministro de agua regenerada. Su aprobación tiene carácter habilitante y preventivo, estableciendo el marco regulatorio necesario para garantizar que, cuando las actuaciones de reutilización se pongan en marcha, estas se desarrollen de forma segura, conforme a derecho y con las garantías técnicas y sanitarias exigibles.

La activación de la modificación normativa se realizará de forma coordinada con la ejecución de las actuaciones contempladas en el Plan:

- Fase previa: en el momento de inicio de los trabajos de diseño y licitación de la línea de regeneración, se iniciará la tramitación de la modificación reglamentaria y del anexo técnico.
- Fase de construcción: durante la ejecución de las obras de la ERA y de las infraestructuras de distribución, se completará la aprobación definitiva del marco normativo y se desarrollará la documentación técnica normalizada.
- Fase de puesta en marcha: previamente a la entrada en operación del sistema de agua regenerada, el marco normativo deberá estar plenamente vigente y operativo, con los procedimientos, protocolos y modelos documentales implantados.

Esta secuencia garantizará que el despliegue del servicio de agua regenerada se realice bajo cobertura normativa plena, con claridad en las responsabilidades, seguridad jurídica para los usuarios y operadores, y con los mecanismos de control, inspección y gestión del riesgo plenamente operativos desde el primer momento.

7.4 Coordinación con PIGSS y Planes de Sequía

El Plan de Fomento del Uso del Agua Regenerada (PFUAR) se articula como instrumento complementario a la planificación existente del ciclo urbano del agua, garantizando su coherencia operativa, ambiental y normativa con: (i) el Plan Integral de Gestión del Sistema de Saneamiento (PIGSS) de Valladolid y su alfoz, (ii) el Plan de Emergencias ante Situaciones de Sequía del abastecimiento urbano de Valladolid, y (iii) los objetivos ambientales y de gestión del riesgo establecidos en el Plan Hidrológico del Duero (tercer ciclo 2022–2027 y orientaciones del cuarto ciclo). Debido a la íntima interconexión entre toda esta planificación, en ella se incluyen todos los municipios del alfoz que compartan uno u otro tipo de servicios en alta con Agua de Valladolid EPE: Arroyo de la Encomienda, Fuensaldaña, La Cistérniga, Laguna de Duero, Mucientes, Simancas, Villanubla y Zaratán.

En caso de poner en marcha actuaciones en materia de reutilización en alguno de los municipios, se establece el compromiso de poner en marcha esta propuesta de coordinación interplan, tanto para el conocimiento del resto como para el alineamiento de procedimientos, de manera que la reutilización se integre en el sistema de decisión, operación y control ya implantado en Valladolid–Alfoz, evitando desarrollos paralelos no conectados con la planificación y normativa vigentes.

7.4.1 Coherencia con el PIGSS y aprovechamiento de mejoras en depuración y control de vertidos

El PIGSS, redactado al amparo del RD 665/2023 y orientado al control de desbordamientos del sistema de saneamiento y a la reducción de cargas contaminantes vertidas en episodios de lluvia, aporta un marco técnico que refuerza la base ambiental sobre la que puede construirse la reutilización. En particular, el PFRAR se coordina con el PIGSS en los siguientes aspectos:

- **Control de cargas y estabilización de la calidad aguas arriba de la EDAR.** La mejora del conocimiento de flujos, cargas y aportes en tiempo seco y en lluvia, junto con la monitorización y los protocolos asociados a vertidos por desbordamiento, reduce incertidumbres sobre la calidad del agua depurada disponible para regeneración y facilita el diseño de trenes de tratamiento fit for purpose.
- **Compatibilidad entre medidas estructurales y objetivos ambientales del receptor.** Las actuaciones del PIGSS se justifican en términos de afecciones a masas de agua aguas abajo y coste-eficacia-beneficios; el PFRAR incorpora ese mismo criterio para evitar que la reutilización pueda interpretarse como una medida aislada, desvinculada de la calidad del medio receptor.
- **Sinergias instrumentales de digitalización y control.** La lógica de control, muestreo y verificación exigida por el PIGSS (incluida la caracterización de carga mediante campañas y variables automatizables) es compatible con los requisitos de control operacional y verificación asociados a la producción de agua regenerada, especialmente cuando se requiera robustez para usos urbanos o industriales.

Con este enfoque, el PFRAR aprovecha el PIGSS como plataforma de mejora del saneamiento y del control de vertidos, reforzando la consistencia del sistema con la Directiva Marco del Agua y con los objetivos ambientales del Duero, sin trasladar al PFRAR responsabilidades que corresponden al plan de saneamiento.

7.4.2 Integración funcional con el Plan de Sequía: reutilización como medida de diversificación y gestión de la demanda

El Plan de Emergencias ante Situaciones de Sequía de Valladolid incorpora, ya en escenarios de normalidad y prealerta, líneas de actuación explícitas relacionadas con el fomento de la reutilización en grandes consumidores, la diversificación de usos no potables y la adecuación de normativa técnica y ordenanzas. El PFRAR se diseña para encajar en ese esquema, de modo que la reutilización opere como recurso alternativo planificable, con activación progresiva según escenario.

La coordinación se concreta en:

- **Vinculación a los escenarios operativos del Plan de Sequía.** El PFRAR contempla que la reutilización adquiera un papel reforzado en prealerta, alerta y emergencia, como instrumento de sustitución de recursos convencionales y de preservación de caudales ecológicos, evitando sobredimensionamientos en fases de normalidad si no existe demanda estable.
- **Alineamiento con la estrategia del propio Plan de Sequía para riego urbano y limpieza viaria.** El Plan de Sequía recomienda estudiar redes de distribución de agua regenerada orientadas a grandes centros de consumo (grandes parques) y admite su conexión a usos urbanos compatibles en el entorno, como bocas de baldeo. El PFUAR adopta esa misma lógica de priorización espacial y de eficiencia de red, coherente con las actuaciones propuestas, desarrollando criterios de viabilidad técnica, económica, financiera, social y medioambiental.
- **Priorización de usos y gestión de restricciones.** En situación crítica, el Plan de Sequía prevé medidas obligatorias y restricciones de suministro para usos no incluidos en el plan de emergencia del abastecimiento; el PFUAR permite, cuando sea técnicamente viable, desplazar parte de las demandas no potables (baldeo, riego de parques, determinados consumos industriales no alimentarios) hacia agua regenerada, reduciendo presión sobre el agua potable en periodos de sequías extremas.

En caso de poner en marcha actuaciones en materia de reutilización, se pondrá también en marcha esta propuesta de integración con el Plan de Sequía, incorporando la reutilización a los procedimientos internos de gestión, a la comunicación institucional y a la operativa de seguimiento por comités cuando aplique.

7.4.3 Coherencia con el Plan Hidrológico del Duero: protección del receptor y sustitución efectiva de recursos

El PFUAR se enmarca en el tercer ciclo de planificación hidrológica del Duero (2022–2027) y asume que la reutilización, en Valladolid, debe operar como medida selectiva y complementaria, priorizada por su contribución a la satisfacción de la demanda existente y a la resiliencia frente a sequía, sin objetivos volumétricos obligatorios específicos para el sistema urbano.

La coordinación con el Plan Hidrológico se traduce en criterios operativos de obligado cumplimiento:

- **No deterioro y mantenimiento de retornos al Pisuerga.** Se preserva el retorno necesario de caudales depurados al río Pisuerga para contribuir al cumplimiento de objetivos ambientales del tramo asociado, de manera que la reutilización no comprometa el régimen del receptor.
- **Respeto a caudales ecológicos y reglas de explotación.** La explotación del sistema y el eventual uso de agua regenerada se ajustan a los condicionantes de caudales ecológicos y a los balances hídricos definidos para el periodo 2022–2027, integrando la reutilización como herramienta de gestión adaptativa en escenarios de riesgo.
- **Sustitución de recursos, no incremento de demanda.** Las actuaciones de reutilización se conciben con carácter sustitutivo de recursos convencionales (por ejemplo, para riego

urbano y baldeo) y se vinculan a reducción efectiva de extracciones o captaciones, evitando incrementos netos de consumo por efecto rebote.

7.4.4 Gobernanza, protocolos y seguimiento interplan

Para materializar la coordinación, el PFRAR establece un esquema de integración procedimental basado en:

- **Interfaz técnica Aguavall–Ayuntamiento.** Definición de roles para: producción y control del agua regenerada, operación de infraestructuras de entrega, control de consumos municipales no potables y coordinación con áreas de parques y jardines y limpieza viaria, alineado con la estructura de gestión prevista en el Plan de Sequía.
- **Indicadores comunes y trazabilidad.** Integración de información de calidad, caudales producidos/entregados, incidencias, verificación y cumplimiento, de forma coherente con las necesidades de control del saneamiento (PIGSS) y con los mecanismos de activación por escenarios del Plan de Sequía.
- **Revisión coordinada.** Cuando se activen proyectos de reutilización, la revisión de procedimientos y resultados se incorpora a las dinámicas de evaluación y mejora continua previstas tras episodios de sequía y a la planificación de actuaciones en saneamiento, garantizando consistencia técnica y continuidad operativa.

Con este procedimiento, la reutilización queda integrada como estrategia circular y de largo plazo: aporta valor en periodos de normalidad (diversificación de usos no potables y reducción de presiones) y refuerza su papel en escenarios críticos (sustitución de recursos convencionales y apoyo a la preservación ambiental), manteniendo coherencia con el PIGSS, el Plan de Sequía y el Plan Hidrológico del Duero.

7.5 Campañas de concienciación

Las campañas de concienciación se conciben como una medida imprescindible en un plan de fomento del uso del agua regenerada, por su carácter habilitante y de acompañamiento a las actuaciones técnicas.

Se materializarán de forma inmediata a través de las campañas de promoción del agua del grifo y un uso eficiente de los recursos hídricos, o del uso responsable del saneamiento; que incorporarán el fomento de la reutilización y el uso del agua regenerada en origen; y más específicamente en campañas al efecto, en caso de poner en marcha actuaciones en materia de reutilización a escala municipal.

Por tanto, con cada fase de actuación se activará de forma paralela un plan específico de información y sensibilización orientado a (i) favorecer la aceptación social, (ii) consolidar la demanda efectiva (municipal, industrial y, en su caso, agrícola), y (iii) reforzar la gestión del riesgo mediante una comunicación clara de requisitos, responsabilidades y barreras operativas. Este enfoque es coherente con el contenido mínimo exigible a los planes de fomento, que incluyen campañas dirigidas tanto a ciudadanía como a empresas e instalaciones del entorno urbano.

7.5.1 Objetivos operativos

1. **Aceptación social y confianza técnica:** trasladar que el uso de agua regenerada se apoya en requisitos de calidad por uso, control analítico y gestión del riesgo (PGRAR), con trazabilidad y puntos de control definidos.
2. **Activación de demanda y sustitución de agua potable:** priorizar los usos urbanos no potables definidos en el PFRAR (destino ambiental clase C y usos urbanos clase B), preparando el terreno para escenarios adicionales si se consolidan.

3. **Reducción de presiones sobre el sistema en sequía:** alinear el relato con el Plan de Sequía, que prevé campañas de sensibilización dentro de los mecanismos de coordinación y gestión de emergencias.
4. **Mejora del control de contaminación en origen:** reforzar buenas prácticas en vertidos domésticos y comerciales que condicionan el rendimiento de la EDAR y la estabilidad de la regeneración (p. ej., toallitas, aceites, residuos químicos).

7.5.2 Públicos objetivo y segmentación

1. **Ciudadanía y asociaciones vecinales:** foco en seguridad, separación respecto a agua potable, usos permitidos y beneficios para resiliencia y medio ambiente.
2. **Servicios municipales:** limpieza viaria, parques y jardines, mantenimiento y emergencias; foco en consignas operativas, señalización, EPIs, procedimientos ante no conformidad y barreras de exposición.
3. **Tejido empresarial e industrial:** foco en robustez de suministro, especificación de calidad por proceso, responsabilidades en almacenamiento interno, autocontrol y protocolos de parada.
4. **Ámbito educativo y comunitario:** centros escolares, AMPAs, colectivos juveniles; foco en ciclo integral, sequía, economía circular y uso responsable del saneamiento (relación directa con la reutilización).



Figura 22 El agua es vida. Programa de concienciación Gobierno autónomo de Islas Baleares.

7.5.3 Mensajes técnicos clave a trasladar

1. **Recurso alternativo planificado:** el agua regenerada es un recurso complementario para usos no potables, diseñado bajo el principio de adecuación al uso y con verificación sistemática.
2. **Gestión del riesgo y multibarrera:** comunicación explícita de riesgos asociados al uso del agua regenerada y barreras técnicas necesarias (tratamiento, desinfección, control), barreras hidráulicas (separación de redes y elementos anti-retorno) y barreras operativas en el uso (consignas de riego, restricciones de acceso, señalización).
 - Ejemplo de barrera operativa aplicable a riego urbano: **programación del riego en horarios de baja afluencia y, cuando proceda, con parques cerrados** para minimizar exposición y aerosoles.

3. **Transparencia y evidencia:** publicación de información de calidad y cumplimiento (resúmenes de control y seguimiento) para consolidar confianza y trazabilidad del recurso; así como traslado de los costes asociados al mismo.
4. **Relación saneamiento–reutilización:** buenas prácticas ciudadanas y empresariales en el uso del saneamiento mejoran la tratabilidad y reducen incidencias, reforzando la continuidad y seguridad del recurso regenerado.

7.5.4 Líneas de actuación y formatos

A. Información pública y transparencia operativa

- Micrositio web del PFRAR con preguntas frecuentes técnicas, usos autorizables, señalización estándar y resúmenes de control de calidad.
- Panel de indicadores de avance y desempeño (volúmenes reutilizados, sustitución de agua potable, cumplimiento de calidad, incidencias).

B. Campañas de sensibilización sectoriales

- **Parques y jardines / baldeo:** sesiones internas para personal municipal y contratistas, con fichas operativas por uso (equipos, consignas, puntos de carga, protocolos ante no conformidad).
- **Industria:** jornadas técnicas con asociaciones empresariales y Cámara de Comercio para identificar usos compatibles, rangos de calidad, obligaciones del usuario y esquema contractual.

C. Educación y cultura del agua

- Programas escolares estructurados en módulos: ciclo integral urbano, depuración y regeneración, sequía y cambio climático, y hábitos responsables en el saneamiento. Este enfoque es análogo a programas educativos consolidados en otros operadores, que integran contenidos de ciclo integral, sequía/cambio climático y buenas prácticas en el uso del saneamiento.
- Materiales didácticos y talleres prácticos, incluyendo la dimensión de economía circular (agua–residuos) y la relación entre hábitos domésticos e incidencias operativas.



Figura 23 Ejemplo de fomento de reutilización. ESAMUR. Jornadas técnicas.

7.5.5 Activación por fases del PFUAR

Además de la integración con las campañas existentes, las campañas específicas se programarán en coherencia con la implantación real de infraestructuras y usos a escala municipal:

- **Fase 1 (Destino ambiental, clase C):** foco en beneficios ambientales, continuidad ecológica y trazabilidad del destino, evitando confusión con usos urbanos.
- **Fase 2 (Uso urbano clase B, baldeo):** foco en seguridad operacional, puntos de carga, señalización y consignas de uso para personal municipal.

- **Fase 3 (Uso urbano clase B, riego de parques y jardines):** foco en multibarrera y reducción de exposición mediante consignas (horarios de riego, gestión de accesos, señalización), además de mensajes de sustitución de recursos potables.
- **Escenario industrial (calidad A/A+ si se activa):** foco en acuerdos de suministro, calidad por proceso, responsabilidades del usuario y protocolos de control reforzado.

7.5.6 Seguimiento, evaluación y mejora continua

Se propone evaluar anualmente el desempeño de las campañas mediante indicadores cuantificables, integrados con los KPI del Plan: alcance (número de acciones y asistentes), aceptación (encuestas de percepción), activación de demanda (conexiones/contratos), y desempeño operativo (incidencias, cumplimiento de calidad, sustitución de agua potable).

Asimismo, se alineará la coordinación y los mensajes con los canales ya previstos para comunicación en escenarios de sequía, de forma que la reutilización se consolide como recurso estructural y no solo como medida coyuntural.

7.6 Estimación de costes (CAPEX y OPEX) para propuestas realizadas

7.6.1 Alcance y criterios de estimación.

La presente estimación tiene carácter meramente orientativo y se formula con el mismo enfoque que el apartado 4.3 (evaluación integrada CAPEX–OPEX, penalización de infraestructuras de distribución, economías de escala y modularidad). En consecuencia:

- Se separan los costes del tren de regeneración (ERA) de los costes de infraestructura auxiliar (almacenamiento, bombeo, puntos de carga, conducciones y redes de riego). Incluido en el apartado 4.3.2.b (y su desarrollo de órdenes de magnitud por tipología de uso) de este PFRAR.
- Se consideran caudales y configuraciones ya adoptadas en el Plan: ejemplo de módulo base de 6.000 m³/d ($\approx 2,19$ hm³/año) y destino ambiental mediante balsa/laguna impermeabilizada frente a la EDAR. Incluido en el apartado 5.1.1 de este PFRAR.
- Para baldeo, se asume operación sin incremento de capacidad instalada respecto a la fase ambiental, mediante consignas de reparto (el consumo de baldeo se cubre como fracción de la producción del tren). Incluido en los apartados 5.1.2.a y 5.1.2.b de este PFRAR
- Para riego de parques, se prioriza el parque contiguo a la EDAR tomado como ejemplo orientativo ideal (minimización de red), con volumen anual estimado $\approx 0,49$ hm³/año. Incluido en el apartado 5.1.3.d. de este PFRAR.

7.6.2 Fuentes de costes y rangos adoptados

Los rangos unitarios empleados proceden de los propios rangos del documento (tablas y texto de 4.3), complementados con referencias técnicas ya incorporadas al Plan:

- a) **CAPEX unitario del tren de regeneración (ERA):** Se adopta el CAPEX unitario por grupo de exigencia, expresado en €/m³·año de capacidad instalada.

Tabla 26 CAPEX vs Grupos

Grupo	Exigencia	Calidad tipo (RD 1085/2024)	CAPEX unitario (€/m ³ ·año)
Grupo 4	Baja	C	0,30–0,45
Grupo 3	Media	B	0,45–0,65
Grupo 2	Alta	A	0,65–1,00
Grupo 1	Muy alta	A+	1,00–1,50

- b) **OPEX unitario del tren de regeneración (ERA).** Se adopta el OPEX por grupo, expresado en €/m³ producido e incluyendo energía, químicos, personal, mantenimiento y control analítico.

Tabla 27 OPEX vs Grupos

Grupo	Exigencia	Calidad tipo (RD 1085/2024)	OPEX unitario (€/m ³ producido)
Grupo 4	Baja	C	0,04–0,07
Grupo 3	Media	B	0,06–0,10
Grupo 2	Alta	A	0,10–0,16
Grupo 1	Muy alta	A+	0,15–0,25

Además, se mantienen los rangos de consumos energéticos por tecnología (0,15–0,25 kWh/m³ en exigencias bajas o medias; aunque son mucho mayores en membranas) y el orden de magnitud del coste energético asociado.

- c) **Infraestructura auxiliar (CAPEX) y sensibilidad por distancia:** Para elementos fuera de la ERA, se emplean rangos internos del Plan para conducciones y elementos industriales, y el dimensionamiento ya definido para depósitos de baldeo y balsa ambiental:
- Conducciones industriales: 300–700 €/m lineal (dependencia crítica a partir de 2–3 km).
 - Balsa/laguna impermeabilizada: superficie $\approx 15.000 \text{ m}^2$; profundidad 0,6–1,2 m; volumen útil 9.000–18.000 m^3 .
 - Depósitos baldeo: 2 depósitos de 288 m^3 (capacidad total 576 m^3).
- d) **Contraste de costes para calidades avanzadas con membranas:** Para contextualizar el escenario A/A+ (membranas), se incorporan órdenes de magnitud de costes UF+RO a pequeña/mediana escala (costes totales 0,572–1,161 €/m³ según caudal). Asimismo, el propio Plan recoge como referencia que los costes totales (OPEX + anualización CAPEX) en terciarios convencionales se sitúan típicamente en 0,45–0,65 €/m³, y en tratamientos con UF pueden alcanzar 0,80–1,16 €/m³.

7.6.3 Estimación de costes por fase de implantación.

Los rangos unitarios empleados proceden de los propios rangos del documento (tablas y texto de 4.3), complementados con referencias técnicas ya incorporadas al Plan:

7.6.3.a Fase 1. Destino ambiental

A. CAPEX

ERA (módulo 6.000 m³/d). Tren único de referencia (Grupo 3). La estación regeneradora se implementa con un tren único basado en tratamiento físico-químico + desinfección UV + cloración, configurado como esquema base escalable para permitir la evolución a usos urbanos (baldeo y riego) sin rediseño del núcleo de proceso. A efectos económicos, se adopta **Grupo 3** como referencia de inversión del tren.

- Capacidad anual instalada: 2.190.000 m³/año
- CAPEX del tren (Grupo 3): $(0,45\text{--}0,65) \times 2.190.000 = \mathbf{0,99\text{--}1,42 \text{ M€}}$

Balsa/laguna impermeabilizada y estructuras asociadas. Definida con superficie $\approx 15.000 \text{ m}^2$, profundidad 0,6–1,2 m y volumen útil 9.000–18.000 m^3 . A falta de proyecto constructivo, el CAPEX se concentra en excavación, taludes, impermeabilización, obra de llegada con disipación/sectorización, estructura de salida regulada + aliviadero, y la instrumentación mínima (caudalímetros, punto de muestreo).

- Orden de magnitud recomendado (balsa + obras hidráulicas + control): **0,30–0,80 M€**

Tabla 28 CAPEX Fase 1 (orientativo)

Bloque	Rango (M€)	Variable dominante
CAPEX ERA (Grupo 3)	0,99–1,42	Capacidad instalada y exigencia del tren
CAPEX balsa + obras + control	0,30–0,80	Geotecnia, impermeabilización, seguridad, accesos
CAPEX total Fase 1	1,29–2,22	Tratamiento + obra civil ambiental

B. OPEX

OPEX de tratamiento (ERA, Grupo 3).

0,06–0,15 €/m³ → para 2.190.000 m³/año: **0,13–0,39 M€/año**

OPEX específico de balsa (mantenimiento, control biológico y retirada de sólidos/biomasa).
0,01–0,03 €/m³ → si se imputa al volumen anual gestionado: **0,02–0,07 M€/año**

7.6.3.b Fase 2. Uso urbano para baldeo y limpieza viaria (calidad tipo B)

La fase se apoya en el **mismo tren de regeneración implantado en Fase 1**, operando mediante reparto de caudales por consignas; la reposición de depósitos se realiza en ventanas cortas, sin necesidad de ampliar la capacidad instalada de la ERA.

A. CAPEX

CAPEX del tren (ERA). No se considera CAPEX adicional del tren, al ser el mismo esquema físico-químico + UV + cloración ya implantado en Fase 1.

CAPEX incremental de infraestructura auxiliar de baldeo.

- Depósitos reguladores: 2 depósitos de 288 m³ (576 m³ totales).
- Punto(s) de carga a cisternas, medición y trazabilidad, y adecuación hidráulica local.
- Orden de magnitud CAPEX incremental Fase 2: **0,30–0,90 M€**

Tabla 29 CAPEX Fase 2

Concepto	Rango (M€)
CAPEX incremental Fase 2 (solo auxiliares baldeo)	0,30–0,90
CAPEX acumulado Fase 1 + Fase 2 (F1 total + F2 incremental)	1,59–3,12

B. OPEX

A diferencia del CAPEX, en Fase 2 sí se producen cambios de explotación. Aunque el volumen para baldeo representa una fracción pequeña de la producción del tren, la operación bajo requerimientos de uso urbano clase B implica:

- incremento de consumo de reactivos (coagulación/floculación y ajustes asociados) para asegurar estabilidad de la calidad en condiciones de entrega urbana,
- OPEX auxiliar por almacenamiento y entrega: bombeo hacia depósitos, mantenimiento de residual desinfectante en almacenamiento, limpieza/mantenimiento de depósitos y puntos de carga, y control operativo asociado.

A efectos de planificación, la explotación en baldeo tiende a desplazar el OPEX del tren hacia el tramo alto del rango de Grupo 3 cuando se requiera mayor robustez operativa y química, sin modificar el rango de referencia del grupo.

7.6.3.c Fase 3. Uso urbano para riego de parques y zonas verdes (calidad tipo B)

La Fase 3 incorpora el riego urbano como uso final y requiere un esquema de suministro estable y trazable hacia zonas verdes, con separación hidráulica y control operativo. Conforme al planteamiento adoptado, esta fase considera:

- una inversión en ERA de orden de magnitud **equivalente a la de Fase 1** (módulo 6.000 m³/d, Grupo 3),
- CAPEX de bombeo y entrega,
- CAPEX de dos redes de abastecimiento a parques (Parque 1 y Parque 2).

A. CAPEX

A.1 ERA (módulo 6.000 m³/d). Tren único de referencia (Grupo 3)

- CAPEX del tren (Grupo 3): $(0,45-0,65) \times 2.190.000 = 0,99-1,42 \text{ M€}$

A.2 Bombeo y punto de entrega a riego

Incluye estación de bombeo/impulsión, colectores, regulación, medición, telecontrol y puntos de muestreo.

- Orden de magnitud recomendado: **0,20–0,80 M€**

A.3 Redes de abastecimiento a Parque 1 y Parque 2

Se consideran dos líneas de distribución diferenciadas:

- Red Parque 1: longitud aproximada 1,0 km
- Red Parque 2: longitud aproximada 3,0 km

El rango global de redes se establece en **0,80–3,60 M€**. Para clarificar lectura y coherencia con la diferencia de longitud (1 km vs 3 km), se presenta un reparto orientativo proporcional a longitudes:

Tabla 30 CAPEX redes de parques

Red	Longitud de referencia	CAPEX orientativo (M€)
Parque 1	~1 km	0,20–0,90
Parque 2	~3 km	0,60–2,70
Total redes	~4 km	0,80–3,60

A.4 CAPEX total Fase 3 (orientativo)

Tabla 31 CAPEX Fase 3

Bloque	Rango (M€)	Variables estimadas
CAPEX ERA (Grupo 3)	0,99–1,42	Capacidad instalada y exigencia del tren
CAPEX bombeo + entrega	0,20–0,80	Bombeo, redundancia, telecontrol
CAPEX redes Parque 1 + Parque 2	0,80–3,60	Trazado urbano, cruces, reposiciones, diámetro
CAPEX total Fase 3	1,99–5,82	Distribución + bombeo + tratamiento

B. OPEX

B.1 OPEX de tratamiento (ERA, Grupo 3). 0,06–0,15 €/m³. El coste anual dependerá del volumen efectivamente suministrado a riego. Como referencia, para Parque 1 ($\approx 0,49 \text{ hm}^3/\text{año}$): $490.000 \times (0,06-0,15) = 0,03-0,08 \text{ M€/año}$ (solo tratamiento).

B.2 OPEX de bombeo y distribución. El OPEX incremental relevante se asocia a consumo energético de impulsión, mantenimiento de bombeos, válvulas y arquetas, operación del telecontrol y conservación de señalización/segregación. Este término puede dominar el OPEX incremental cuando se incorpora el Parque 2 por el mayor alcance de red y horas de impulsión.

7.6.4 Inversiones y Evaluación Económica Financiera.

Para realizar una evaluación de las inversiones, así como el incremento de gastos derivados de los OPEX de las diferentes instalaciones, es necesario incorporar estas inversiones dentro de las cuentas de AQUAVALL. En este apartado se analiza el enfoque que se deberán elaborar en caso de ser aprobadas las distintas fases propuestas, siempre y cuando esté apoyado por un proyecto constructivo de cada una de las propuestas.

Tabla 32 Resumen de inversiones

Fase	CAPEX ERA (M€)	CAPEX auxiliar (M€)	CAPEX (M€)
Fase 1 (ambiental)	0,99–1,42	0,30–0,80	1,29–2,22
Fase 2 (baleo) incremental	0,00	0,30–0,90	0,30–0,90
Fase 3 (riego parques)	0,99–1,42	1,00–4,40	1,99–5,82

La evaluación económico-financiera de las fases ejemplarizadas en este plan se formula de la forma más optimista posible con enfoque incremental respecto al escenario base (sin reutilización), siendo necesario analizar los indicadores financieros para valoración de inversiones: VAN, TIR, relación Beneficio/Coste (B/C) y Periodo de Recuperación (PRI), junto con un análisis de sensibilidad sobre variables críticas.

Dado que parte de los beneficios de la reutilización son de naturaleza operativa, estratégica y ambiental (y no siempre se materializan como ingresos de mercado), la evaluación deberá combinar:

- Análisis financiero (flujos monetarios identificables: inversiones, OPEX, transferencias internas/tarifas, subvenciones).
- Análisis coste-eficacia (coste equivalente por m³ suministrado y coste anual equivalente), especialmente relevante en Fase 1, donde el retorno depende de la política pública y de la valorización del servicio ambiental.

Cabe destacar que para la ejecución de fases debe acompañarse de una estrategia realista de financiación, con combinación de fuentes según el tipo de actuación y el beneficio público asociado. Se consideran tres vías principales:

1. Fondos y programas públicos orientados a resiliencia, modernización y digitalización del ciclo del agua.
2. Convenios y cofinanciación con Administraciones competentes y, cuando proceda, con beneficiarios directos del servicio (servicios municipales, áreas gestoras de zonas verdes, etc.).
3. Planificación plurianual propia integrando actuaciones escalables en el marco presupuestario y financiero, con evaluación explícita del impacto de estas iniciativas sobre el equilibrio económico del servicio.

La ejecución de las fases tiene un doble impacto:

1. Impacto patrimonial y contable (CAPEX). Las inversiones en ERA, balsa/laguna, depósitos, estaciones de bombeo y redes se registran como inmovilizado, incrementando el activo y generando amortización anual desde la puesta en servicio.
2. Impacto operativo y de tesorería (OPEX). Los OPEX asociados (energía, reactivos, analítica, mantenimiento, personal y operación de bombeos/almacenamientos) se incorporan a la cuenta de explotación, reducen el margen operativo y representan salida de

caja recurrente anual. En usos urbanos (baleo y riego), el componente energético y el químico puede desplazar el coste hacia el tramo alto del rango del Grupo 3, y el bombeo/distribución puede convertirse en el componente dominante cuando aumenta la longitud de red.

En coherencia con el enfoque del PFUAR, la evaluación económica no debe considerar únicamente el CAPEX del tren (ERA), sino la combinación tratamiento, uso de infraestructuras auxiliares y de distribución.

Además de los beneficios indirectos de resiliencia y ambientales, en la evaluación económico-financiera deben incluirse beneficios monetizables que sí tienen traslación directa a caja y cuenta de resultados. En particular, cuando la reutilización reduce efectivamente el volumen vertido al dominio público hidráulico o modifica su carga contaminante, puede existir un ahorro asociado al canon de control de vertidos (canon de vertido) y a otros conceptos vinculados a la autorización de vertido.

7.6.4.a Evaluación Económica Financiera Fase 1.

La Fase 1 implanta la infraestructura base (ERA + balsa/laguna) para destino ambiental. Su retorno financiero directo depende, en buena medida, de la existencia de **reconocimiento económico** (subvención, cofinanciación, aportación presupuestaria o mecanismos equivalentes), dado que el beneficio principal se concentra en la mejora del balance vertido–reutilización, reducción de presiones y resiliencia del sistema.

En esta fase, la evaluación se estructura en tres planos:

1. **Coste-eficacia:** coste anual equivalente del servicio y coste equivalente por m³ gestionado.
2. **Análisis financiero (VAN/TIR/B/C/PRI):** cálculo de indicadores bajo escenarios con beneficios monetizables (subvención y/o aportación anual).
3. **Beneficio monetizable condicionado por canon de vertido:** incorporación como sensibilidad, dado que su materialización no es automática y queda vinculada al marco administrativo del volumen autorizado.

Tabla 33 Parámetros fase 1.

	Rango
CAPEX total Fase 1 (M€)	1,29 – 2,22
OPEX anual ERA (M€/año)	0,13 – 0,39
OPEX anual balsa (M€/año)	0,02 – 0,07
OPEX anual total (M€/año)	0,15 – 0,46
Volumen anual de referencia (hm ³ /año)	2,19

Coste anual equivalente y coste por m³ (coste-eficacia)

Esa tabla lo que hace es convertir una inversión única (CAPEX) en un coste anual comparable y, después, repartir ese coste anual entre los m³ anuales producidos.

El cálculo del coste anual equivalente convierte el CAPEX inicial en una anualidad comparable con el OPEX, mediante el factor de recuperación de capital $CRF(r, n)$. Se adopta una tasa de descuento de referencia $r = 4\%$, representativa de un coste de capital moderado y adecuada para evitar sesgos excesivamente optimistas o penalizadores, y un horizonte de evaluación $n = 20$ años, coherente con la vida económica del conjunto de activos (equipos y obra civil) y útil para comparar fases con criterios homogéneos. Con estas hipótesis, $CRF(4\%, 20) \approx 0,0736$, de manera que el CAPEX anualizado se obtiene como $CAPEX \cdot 0,0736$.

El coste anual total se calcula sumando el CAPEX anualizado y el OPEX anual, y el coste equivalente por m³ resulta de dividir dicho coste anual entre el volumen anual producido en la Fase 1.

El objetivo del coste eficacia es evaluar la fase 1 con beneficios principalmente ambientales y de resiliencia, donde el retorno no siempre se materializa como ingreso directo, aportando una referencia de coste-eficacia (€/m³) para la toma de decisiones y la comparación con alternativas.

Tabla 35. Coste-eficacia Fase 1 (estimando $r=4\%$, $n=20$)

Concepto	Rango
CAPEX anualizado (M€/año) = CAPEX $\times 0,0736$	0,095 – 0,163
Coste anual total (M€/año) = CAPEX anualizado + OPEX	0,245 – 0,603
Coste equivalente (€/m ³) = Coste anual total / $2,19 \cdot 10^6$	0,112 – 0,2807

Este resultado permitiría justificar Fase 1 como **servicio estratégico y ambiental, pero no financieramente**: la decisión no depende solo de VAN, sino del coste anual de obtener resiliencia y mejora del balance vertido–reutilización. No obstante, el valor marginal o productividad del agua regenerada dependerá en cualquier caso de la excepcionalidad de aquellas situaciones que obliguen a su utilización. Y en caso de operación discontinua, deberá repercutirse los gastos de establecimiento y mantenimiento acumulados hasta ese momento, de acuerdo con el principio de recuperación total de costes de la Directiva Marco

Beneficios monetizables y papel del canon de vertido

A efectos de evaluación incremental, la Fase 1 incorpora beneficios monetizables potenciales asociados a la reducción de costes regulatorios del vertido, en particular el **canon de control de vertidos (CCV)**. La resolución de revisión de la autorización de vertido cuantifica el CCV como producto del **volumen anual autorizado** por un **precio unitario**, y fija para el punto de vertido PV-1 un volumen anual autorizado de **51.179.158 m³/año**, un precio unitario **$P_u = 0,014008$ €/m³** y un importe anual de canon de **716.917,64 €**, con devengo anual y liquidación posterior.

No obstante, el condicionado establece que las diferencias entre volumen autorizado y volumen realmente medido **no determinan automáticamente variaciones del canon**, por lo que el posible ahorro por reutilización no se monetice mediante un efecto automático, sino como beneficio **condicionado** al encaje administrativo que proceda (revisión/modificación del volumen autorizado y su trazabilidad mediante balance vertido–reutilización), pudiendo incluso darse la posibilidad de que en el futuro se genere un nuevo canon por este concepto como está sucediendo con otras políticas denominadas de transición ecológica.

Elemento	Definición operativa
Canon vigente de referencia	CCV anual cuantificado en autorización: 716.917,64 €/año
Condición de materialización del ahorro	Existencia de reducción reconocida del volumen autorizado y/o ajuste procedente, con trazabilidad anual
Beneficio anual potencial por canon	$BEN_{canon} = \alpha \cdot CCV$, donde α es el porcentaje de reducción efectiva reconocida del canon (0–100%)

A efectos de prudencia, la evaluación financiera de Fase 1 incorpora el canon como **análisis de sensibilidad** mediante tres escenarios:

- **Escenario conservador ($\alpha = 0\%$)**: no se modifica el volumen autorizado, ahorro por canon nulo.
- **Escenario intermedio (α parcial)**: reducción parcial reconocida del canon, proporcional al ajuste admitido.
- **Escenario máximo (α elevado)**: revisión coherente con el nuevo balance vertido–reutilización, dentro de lo que admita el organismo competente.

Estructura de cálculo financiero (VAN/TIR/B/C/PRI) para Fase 1

El flujo neto incremental anual se expresa como:

$$FNE_t = BEN_{subv,t} + BEN_{aport,t} + BEN_{canon,t} - OPEX_t$$

y el VAN como:

$$VAN = -CAPEX_{neto} + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_t}{(1+r)^t}$$

Donde estos índices son:

VAN Valor presente de flujos netos incrementales menos CAPEX neto

TIR Tasa que hace VAN = 0

B/C Cociente entre valor presente de beneficios y valor presente de costes

PRI Años hasta recuperar CAPEX neto con flujos netos

7.6.4.b Evaluación Económica Financiera Fase 2.

La Fase 2 incorpora el uso urbano para baldeo y limpieza viaria (calidad tipo B), apoyándose en el mismo tren de regeneración implantado en Fase 1 (sin ampliación de capacidad instalada de la ERA) y añadiendo infraestructura auxiliar de almacenamiento y carga. Por tanto, la evaluación económico-financiera debe plantearse como evaluación incremental respecto a Fase 1, dado que el CAPEX del tren ya se encuentra comprometido en la fase base.

La Fase 2 introduce:

- **CAPEX incremental:** depósitos reguladores y puntos de carga, medición y trazabilidad, e integración hidráulica local.
- **OPEX incremental:** asociado a operación urbana clase B (mayor robustez operativa y química dentro del Grupo 3) y a auxiliares de almacenamiento/entrega (bombeo a depósitos, mantenimiento, limpieza y control).
- **Beneficios monetizables potenciales:** sustitución de recursos convencionales empleados actualmente en baldeo (agua potable o subterránea), más posibles esquemas de compensación/transferencia interna, además de financiación externa si el proyecto se integra en programas de resiliencia/modernización/digitalización.

Tabla 34 Parámetros para la EE Fase 2.

Parámetro	Rango / criterio	Comentario
CAPEX incremental Fase 2 (M€)	0,30 – 0,90	Depósitos (2×288 m³), puntos de carga, medición, trazabilidad y obra local
Vida económica de activos (años)	10 – 20	Depende de depósitos/obra civil e instrumentación; usar n coherente con 5.5.4
Volumen anual de baldeo (m³/año)	Variable (a definir)	Debe estimarse con consumos reales de servicios municipales (telemetría/partes)
OPEX incremental (M€/año)	0,03 – 0,1	Orden de magnitud para auxiliares + mayor exigencia operativa; sensibilidad recomendada

Beneficios monetizables y formulación de flujos

En Fase 2, el retorno no suele venir por venta a terceros, sino por evitación de coste del recurso convencional (y/o por transferencias internas dentro del ámbito municipal/AQUAVALL). En términos de modelización, se recomienda cuantificar tres componentes:

(1) Ahorro por sustitución de recurso convencional en baldeo

$$BEN_{agua,2} = V_{baldeo} \cdot C_{conv}$$

donde:

- V_{baldeo} es el volumen anual de agua sustituida ($m^3/año$),
- C_{conv} es el coste económico del recurso actual ($€/m^3$), que debe definirse según el caso real: potable, subterránea, o mezcla (coste marginal operativo + peajes/cánones aplicables).

(2) **Esquema de compensación/transferencia interna.** Si se establece un mecanismo presupuestario (p. ej. dotación anual del área municipal usuaria del servicio), se incorpora como ingreso/compensación:

$$BEN_{comp,2} = A_{anual}$$

donde A_{anual} es la aportación anual vinculada al servicio de baldeo con agua regenerada.

(3) **Financiación externa del CAPEX.** Si existe subvención/cofinanciación, el CAPEX neto queda:

$$CAPEX_{neto,2} = CAPEX_2 \cdot (1 - \beta)$$

donde β es el porcentaje de ayuda (0–100%).

Indicadores financieros (VAN/TIR/B/C/PRI) y sensibilidad

El flujo neto incremental anual recomendado para Fase 2:

$$FN_{2,t} = (BEN_{agua,2} + BEN_{comp,2} + BEN_{canon,2}) - OPEX_2$$

y el VAN:

$$VAN_2 = -CAPEX_{neto,2} + \sum_{t=1}^n \frac{FN_{2,t}}{(1+r)^t}$$

donde $BEN_{canon,2}$ debe modelizarse **solo si** la Fase 2 incrementa la reducción efectiva de volumen sujeto a canon (es decir, si existe efecto adicional neto sobre el vertido respecto al balance alcanzado en Fase 1 y si es reconocible administrativamente).

El enfoque en un futuro análisis económico de las propuestas realizadas es **mantenerlo como sensibilidad**, como ya se ha hecho en Fase 1.

Tabla 35 Escenarios recomendados para evaluación de Fase 2 (matriz de sensibilidad)

Escenario	Sustitución recurso C_{conv}	Compensación anual A_{anual}	Subvención β
Conservador	Baja	0	0%
Central	Media	Parcial	30–50%
Favorable	Alta	Completa	50–80%

7.6.4.c Evaluación Económica Financiera Fase 3.

La Fase 3 propone incorporar el **uso urbano para riego de parques y zonas verdes (calidad tipo B)** e incluye, conforme al planteamiento adoptado, una inversión completa con:

- **CAPEX de ERA** de orden de magnitud equivalente a Fase 1 (módulo 6.000 m³/d, Grupo 3),
- **CAPEX de bombeo y entrega**, y
- **CAPEX de dos redes** de abastecimiento a Parque 1 y Parque 2.

A diferencia de Fase 2, aquí la evaluación debe realizarse como proyecto con entidad propia, dado que el CAPEX está dominado por infraestructura de distribución y, además, se introduce un consumo anual objetivo asociado al riego.

Parámetro	Rango / valor	Comentario
CAPEX total Fase 3 (M€)	1,99 – 5,82	ERA + bombeo/entrega + redes Parque 1 y 2
CAPEX ERA (M€)	0,99 – 1,42	Grupo 3, 6.000 m ³ /d
CAPEX bombeo + entrega (M€)	0,20 – 0,80	Redundancia y telecontrol dominan
CAPEX redes Parque 1 + 2 (M€)	0,80 – 3,60	Trazado urbano, cruces, reposiciones

Estructura de beneficios monetizables (Fase 3)

La Fase 3 permite monetizar beneficios con mayor claridad que Fase 1, porque el riego urbano suele estar hoy abastecido por agua potable (en algunos municipios), o recursos subterráneos/proprios (con costes de bombeo, mantenimiento y control), o combinaciones con restricciones operativas en sequía.

Se recomienda modelizar:

(1) Ahorro por sustitución del recurso actualmente empleado en riego

$$BEN_{agua,3} = V_{riego} \cdot C_{riego,conv}$$

Donde

V_{riego} es el volumen anual realmente suministrado (m³/año) y

$C_{riego,conv}$ es el coste del recurso actual (€/m³).

(2) Compensación presupuestaria del servicio de riego

$$BEN_{comp,3} = A_{zonasverdes}$$

aportación anual del servicio municipal gestor de zonas verdes (si se implementa).

(3) Subvención/cofinanciación del CAPEX de redes y digitalización

Particularmente relevante en esta fase por el componente de redes/telecontrol, típicamente elegible en programas de modernización y resiliencia.

(4) Canon de vertido como sensibilidad

Aplicable solo si la fase incrementa el volumen no vertido sujeto a canon en términos reconocibles (misma lógica prudente empleada en Fase 1).

Coste anual equivalente y coste por m³ (coste-eficacia) para Fase 3

Además de VAN/TIR/B/C/PRI, en Fase 3 es útil un indicador de coste-eficacia, porque el valor público se manifiesta como continuidad del servicio y reducción de presiones. El esquema es el mismo que en Fase 1: anualizar CAPEX mediante el factor de recuperación de capital y sumar OPEX, para obtener coste anual y €/m³.

Tabla 36 Coste-eficacia Fase 3

Concepto	Expresión	Observación
CAPEX anualizado (M€/año)	$CAPEX_3 \cdot CRF(r, n)$	Mantener r y n consistentes con 5.5.4
Coste anual total (M€/año)	CAPEX anualizado + OPEX anual	OPEX incluye tratamiento + bombeo + mantenimiento
Coste equivalente (€/m ³)	Coste anual total / V_{riego}	Sensible a V_{riego} real (Parque 1 vs 1+2)

Indicadores financieros (VAN/TIR/B/C/PRI) y estructura de cálculo

Flujo neto incremental anual:

$$FN_{3,t} = (BEN_{agua,3} + BEN_{comp,3} + BEN_{canon,3}) - OPEX_3$$

y:

$$VAN_3 = -CAPEX_{neto,3} + \sum_{t=1}^n \frac{FN_{3,t}}{(1+r)^t}$$

donde:

$$CAPEX_{neto,3} = CAPEX_3 \cdot (1 - \beta)$$

siendo β la ayuda/subvención aplicable.

Tabla 37 Escenarios recomendados para evaluación de Fase 3

Escenario	Volumen V_{riego}	Sustitución $C_{riego,conv}$	Subvención β
Conservador	Solo Parque 1	Baja	0%
Central	Parque 1 + parcial Parque 2	Media	30–50%
Favorable	Parque 1 + Parque 2	Alta	50–80%

7.7 Plan de implementación y cronograma de actuaciones

De acuerdo con la disposición transitoria del RD 4/2023, las administraciones públicas competentes tienen de plazo hasta el 31 de diciembre de 2028 para presentar ante los organismos de cuenca sus planes de fomento de la reutilización de aguas. Dado que en nuestro caso particular esa fecha corresponde al cuarto ciclo de planificación (2028-2033) de la Confederación Hidrográfica del Duero y que aún se está en fase de elaboración mediante documentos iniciales, y debe celebrarse la consulta pública para definir objetivos de buen estado del agua, gestión de demandas y desarrollo sostenible, marcando hitos clave como el Esquema de Temas Importantes para la gestión del recurso hídrico; cualquier actuación analizada en este documento que implique dimensionamiento de infraestructuras o consideraciones sobre demanda y posibilidades de sustitución de los recursos hídricos debe considerarse a título de ejemplo y sometida al resultado del cuarto ciclo de planificación.

Por tanto, el cronograma que se establece a continuación, en aquellas actuaciones que impliquen autorizaciones o nuevas infraestructuras, se supedita al resultado de la planificación hidrológica de cuenca, y se ajusta a partir del 31 de diciembre de 2028, fecha que establece el RD 4/2023 como final de este tipo de planificaciones.

Con todo, el despliegue de la reutilización en el sistema Valladolid–Alfoz se estructura en tres fases alineadas con el horizonte del PFUAR, con un enfoque modular y escalable y con la condición de que cada fase se active mediante la aprobación de su correspondiente proyecto constructivo y la disponibilidad de financiación extraordinaria. Este análisis del cronograma se concibe como un marco de planificación, revisable y ajustable en función de la demanda efectiva, el contexto hidrológico, la evolución normativa y los resultados de explotación.

Se establece una revisión quinquenal del cronograma, con objeto de recalibrar el despliegue de fases mediante criterios objetivos y verificables, manteniendo la coherencia con los ciclos de planificación hidrológica y con el proceso de revisión del Plan Hidrológico del Duero y su Programa de Medidas (seguimiento anual, informe intermedio y eventual incorporación de medidas adicionales cuando se detecten insuficiencias). En esta revisión quinquenal se puede incorporar

a) Entradas obligatorias a la revisión

- Resultados del control de calidad y del desempeño operativo de la ERA y de las infraestructuras auxiliares, incluyendo incidencias y restricciones de operación.
- Evolución de los costes energéticos y de reactivos, y su traslación al OPEX unitario por uso y por temporada.
- Evolución de la disponibilidad de financiación (convocatorias, convenios y cofinanciación) y grado de ejecución presupuestaria.
- Diagnóstico de sequía y escasez coyuntural aplicable, y su traducción a prioridades de suministro y operación (alineado con la lógica de medidas operativas y de recursos alternativos ya contemplada en el Plan de Sequía).

b) Indicadores de recalibración (KPI) (apartado 6)

La revisión se apoya en un cuadro mínimo de indicadores que permita evaluar: volumen reutilizado, sustitución de recursos convencionales, conexiones activas, reducción de vertido, cumplimiento de calidad RD 1085/2024 y coste unitario de suministro, entre otros.

c) Criterios de decisión y umbrales orientativos

- Existe financiación identificada y viable (subvención/cofinanciación/convenio) que reduzca o preferiblemente asuma el CAPEX neto para AQUAVALL;
- Se aprueba la inversión e integración en la planificación plurianual;
- Se dispone de proyecto constructivo aprobado, con mediciones, presupuesto y cronograma;

- El OPEX real estimado (energía, reactivos, analítica, mantenimiento, bombeo) es asumible y compatible con la sostenibilidad económica del servicio.

Se reprograma si falla alguno de estos elementos o si el proyecto confirma CAPEX u OPEX significativamente superiores por condicionantes urbanos locales. En escenarios de sequía extrema, se prioriza la explotación de infraestructuras ya disponibles para usos municipales críticos mediante consignas y medidas operativas, manteniendo control de calidad y trazabilidad.

d) Salidas de la revisión

- Actualización del cronograma (hitos de proyecto, tramitación, obra, puesta en marcha y explotación), del presupuesto plurianual y del plan de financiación por fase.
- Revisión del alcance técnico (capacidad instalada, redundancias, almacenamiento, telecontrol) y de la estrategia de explotación (ventanas de operación, consignas por uso, criterios de barreras).
- Informe de seguimiento interno, compatible con el esquema de seguimiento del programa de medidas y del plan hidrológico (trazabilidad de decisiones y de eficacia de medidas).

Adicionalmente, se establece que cualquier activación de una fase requiere, como condición previa, la aprobación del proyecto constructivo correspondiente, la disponibilidad presupuestaria y la verificación de la sostenibilidad operativa (impacto de CAPEX y OPEX en el equilibrio económico del servicio), de forma que tanto la gestión de los activos como la explotación de las infraestructuras se mantenga de forma viable durante toda su vida útil, siempre más allá del año final de cada fase.

En este sentido, los pasos a seguir para implementar las soluciones ejemplarizantes propuestas son para cada fase, se consideran cuatro etapas de implantación:

1. **Redacción del proyecto y tramitación previa.** Incluye: definición de alcance, proyecto constructivo, permisos y autorizaciones, integración con el régimen de vertido y control, y preparación del plan de explotación (operación, mantenimiento, control analítico y PRR).
2. **Licitación, contratación y ejecución de obra.** Incluye contratación de obra y equipos, obra civil, montaje electromecánico, instrumentación, integración eléctrica y de control, así como pruebas hidráulicas.
3. **Puesta en marcha y periodo de estabilización.** Incluye comisionado, puesta en servicio progresiva, ajuste de reactivos y desinfección, verificación de calidad y trazabilidad, establecimiento del régimen de muestreo y validación de consignas.
4. **Explotación ordinaria y periodo de uso.** Incluye la explotación durante el horizonte de la fase y su integración en la operación global del sistema.

A efectos de planificación, se adoptan rangos temporales típicos por tipología de infraestructura:

Tabla 38 Actuaciones propuestas como ejemplo

Tipología	Redacción proyecto + tramitación	Ejecución obra	Puesta en marcha/estabilización
ERA (físico-químico + UV + cloración)	8–14 meses	10–16 meses	3–6 meses
Balsa/laguna impermeabilizada	6–10 meses	6–12 meses	1–2 meses
Depósitos + puntos de carga baldeo	6–10 meses	6–10 meses	1–2 meses
Bombeo/impulsión a riego + entrega	6–12 meses	8–14 meses	2–4 meses
Red de distribución a parques (urbano)	8–14 meses	10–18 meses	1–2 meses
Control e instrumentación	4–8 meses	4–10 meses	1–2 meses

Tabla 39 Ejemplos utilizados anteriormente sobre un diagrama de GANTT anualizado

Plan de Reutilización de Aguas Regeneradas (PFRAR)

Sistema Valladolid-Alfoz (2026-2036)

PR: Proyecto U: Licitación OB: Obra PM: Puesta en marcha EX: Explotación

Actuación / Etapa	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Fase 1: Destino ambiental e infraestructura base (2026-2031)											
ERA (6.000 m ³ /d)	PR	PR U OB	OB PM	PM EX	EX	EX					
Balsa/laguna impermeabilizada	PR	PR U OB	OB PM	EX	EX	EX					
Instrumentación y trazabilidad mínima	PR	OB	OB PM	EX	EX	EX					
Fase 2: Baldeo urbano y logística de entrega (2031-2034)											
Depósitos reguladores y puntos de carga						PR	PR U OB	OB PM EX	EX		
Integración operativa y consignas (baldeo)						PR		PM EX	EX		
Fase 3: Riego urbano de parques y redes de distribución (2034-2036)											
ERA dedicada para riego (6.000 m ³ /d)								PR	U OB	PM EX	
Bombeo/impulsión y punto de entrega a riego								PR	U OB	PM EX	
Red Parque 1 (≈1 km)								PR	U OB	PM EX	
Red Parque 2 (≈3 km)								PR	U OB	OB PM EX	
Telecontrol, medición y sectorización de riego								PR	OB	PM EX	

Nota de uso y revisión quinquenal

- La explotación (EX) de las infraestructuras se extiende más allá del año final de cada fase
- La revisión quinquenal (cada 5 años) debe contrastar: demanda real, costes energéticos, disponibilidad de financiación y resultados del control de calidad
- Cada fase requiere aprobación de proyecto constructivo y disponibilidad presupuestaria antes de su activación

8. Propuesta de seguimiento y evaluación de resultados

El cumplimiento normativo constituye el eje vertebrador para garantizar que el Plan de Fomento del Uso de Agua Regenerada (PFUAR) de Valladolid cumple sus objetivos de forma racional, eficiente, sostenible, transparente y adaptativa.

Este apartado establece el marco metodológico, los sistemas de control, los indicadores de desempeño y los procedimientos de revisión que permitirán verificar el grado de avance, detectar oportunidades, activar medidas de mejora y ajustar la planificación en función de la evolución de la demanda real de agua regenerada, del contexto hidrológico, de la realidad climática y de los resultados operativos.

La propuesta se estructura en coherencia con los principios de gestión del riesgo del RD 1085/2024, con las exigencias de trazabilidad y verificación del Plan Hidrológico del Duero, y con las orientaciones de la Directiva Marco del Agua en materia de seguimiento de medidas y programas. Asimismo, se alinea con los mecanismos ya implantados en el Plan de Emergencias ante Situaciones de Sequía y en el Plan Integral de Gestión del Sistema de Saneamiento (PIGSS), reforzando la integración operativa y la coherencia entre instrumentos de planificación.

8.1 Sistemas de medición de calidad de agua regenerada

La existencia de una demanda real y la garantía de satisfacerla con la debida calidad sanitaria a un precio socialmente aceptable del agua regenerada son condiciones necesarias para la puesta en servicio de cualquier fase del PFUAR en Valladolid. Se propone implantar un sistema integral de control basado en barreras múltiples, combinando monitorización en continuo, verificación analítica en laboratorio y trazabilidad documental, con integración plena en el sistema de control y una lógica de alarmas/enclavamientos que impida la entrega de agua no conforme a almacenamiento o a usos urbanos.

8.1.1 Instrumentación y monitorización en continuo

Se propone incorporar instrumentación en continuo en los **puntos críticos** de producción, almacenamiento y entrega, con registro automático, alarmas por fuera de rango y actuaciones automáticas predefinidas (p. ej., inhibición de llenado de depósitos, derivación a ruta segura o retorno al proceso). En coherencia con el PFUAR, se consideran especialmente relevantes: UVT y estado del equipo UV, cálculo de dosis UV equivalente, turbidez post-afino y lógica de enclavamientos de calidad.

Parámetros propuestos para medición en continuo.

- **Turbidez (NTU)** a la salida del afino: indicador de estabilidad del tratamiento previo a UV y condición habilitante para la eficacia de desinfección. Se recomienda definir consigna interna y niveles de prealarma/alarma.
- **Transmitancia UV (UVT, %) e intensidad/estado UV** a la entrada del reactor UV: verificación continua de condiciones de operación y alarmas por degradación (ensuciamiento, fallos, ciclos de limpieza). Se contempla criterio operativo de referencia UVT > 70% como condición de operación con garantías.
- **Dosis UV equivalente (mJ/cm²)**: cálculo y registro en SCADA a partir de caudal, UVT e intensidad, como evidencia de desempeño y trazabilidad de la barrera microbiológica.
- **Cloro residual libre (mg/L)** en almacenamiento y entrega cuando aplique desinfección secundaria; en depósitos se valora mantener residual operativo orientativo 0,2–0,5 mg/L, ajustado a TRH y temperatura.
- **Caudal (m³/h)** en producción, derivaciones y entrega: balance hídrico, trazabilidad y verificación de condiciones de suministro.

- **pH y conductividad:** control de estabilidad y apoyo diagnóstico a la operación (físico-químico y desinfección).

Tabla 40 Propuesta de puntos de control (PC)

Punto de control	Función en el sistema	Variables en continuo (mínimo)	Lógica de actuación en SCADA
PC-1 Salida ERA	Punto de conformidad operativo	Turbidez, UVT, estado UV, dosis UV equivalente, caudal, pH, conductividad	Enclavamientos de calidad; si fuera de rango, derivación a ruta segura/retorno o inhibición de entrega
PC-2 Balsa/laguna (Fase 1)	Regulación y control del destino ambiental	Caudal de entrada/salida, nivel, caudalímetro de descarga, punto de muestreo	Capacidad de cierre/limitación de descarga ante incidencias aguas arriba
PC-3 Depósitos y punto de carga (Fase 2)	Estabilidad microbiológica y trazabilidad en entrega	Nivel/volumen, caudal de reposición, cloro residual libre, caudal de carga	Inhibición de llenado/carga si pérdida de residual o alarma de cabecera
PC-4 Entrega a redes de riego (Fase 3)	Garantía en suministro urbano	Caudal, presión (recomendable), cloro residual si aplica, registro de consignas	Alarmas por desviación y trazabilidad por sector/parque

8.1.2 Control analítico mediante muestreos periódicos

De forma complementaria a la instrumentación en continuo, se establece un programa de autocontrol mediante muestreos en laboratorio acreditado, orientado a demostrar conformidad con el RD 1085/2024 y con la autorización de producción y suministro, una vez autorizado por el organismo de Cuenca (CHD). En Valladolid, el programa deberá vincularse a los puntos de control definidos (salida ERA, depósitos/punto de carga y puntos representativos de entrega), con frecuencias adaptadas a clase de calidad y uso.

- **Microbiología:** E. coli como indicador principal; y, cuando exista riesgo de aerosolización (baldeo y riego con aspersión), control específico de Legionella spp conforme a normativa aplicable.
- **Físico-química de control:** SST/SS, DBO₅, DQO y variables de estabilidad asociadas al físico-químico + afino.
- **Nutrientes y parámetros complementarios:** N y P cuando proceda por control de estabilidad y seguimiento ambiental.
- **Contaminantes específicos:** sustancias emergentes, metales u otros compuestos cuando lo exija la autorización o el Plan de Gestión del Riesgo.

Tabla 41 Propuesta de Control Analítico

Bloque	Parámetros	Puntos recomendados	Frecuencia (criterio)
Microbiología	E. coli; Legionella spp cuando aplique	Salida ERA; depósitos/punto de carga; entrega representativa	Según clase (A/B/C) y uso; incremento en periodos críticos
Control de proceso	SST/SS, turbidez (verificación), DBO ₅ , DQO	Salida ERA	Según autorización y seguimiento de explotación
Estabilidad	pH, conductividad; nutrientes si procede	Salida ERA y seguimiento ambiental	Según necesidad operativa y objetivos ambientales
Específicos	Emergentes/metales/otros	Según PGR	Campañas o frecuencias definidas por riesgo

8.1.3 Trazabilidad documental y gestión de datos

Se integrarán los registros de monitorización en continuo y los resultados analíticos de laboratorio en un repositorio único, enlazado con SCADA, que garantice:

- **Trazabilidad por lote operacional:** identificación de periodos/ventanas de producción, almacenamiento y entrega, asociando calidad, caudal y destino.
- **Gestión de conformidad:** cálculo de cumplimiento, registro de no conformidades, medidas correctoras y verificación de cierre.
- **Conservación de datos:** archivo mínimo de 5 años y disponibilidad para inspecciones, auditorías y revisiones.
- **Informes periódicos:** generación automática de reportes internos (mensuales/trimestrales) y reporte anual consolidado, incluyendo indicadores de cumplimiento normativo y desempeño (KPIR09).
- **Transparencia y aceptación social:** publicación de resúmenes agregados de calidad, coste y funcionamiento en el micrositio del PFUAR (sin comprometer seguridad operativa), reforzando confianza ciudadana.

8.2 Consumo de agua regenerada

El seguimiento del consumo de agua regenerada es un componente fundamental del PFUAR de Valladolid, al permitir cuantificar la sustitución efectiva de recursos convencionales, ajustar la operación a la demanda real y dotar de evidencia objetiva a los procesos de revisión del cronograma y de ampliación de infraestructuras, mediante un apartado propio en el sistema de contabilidad analítica. El sistema de medición se orienta a disponer de trazabilidad completa desde la producción en la ERA, pasando por almacenamiento, hasta la entrega final por tipología de uso, con integración en los sistemas de información técnica operativa corporativos de AQUAVALL.

8.2.1 Sistemas de aforo y telelectura

Se propone implantar medición y telelectura en **todos los puntos de producción, almacenamiento y entrega**, estableciendo una jerarquía de puntos de control que permita cerrar balances y detectar desviaciones.

a) Puntos de medición obligatorios

- **Producción (ERA):** caudal total producido y caudal entregado a cada destino (ambiental / depósitos baldeo / riego), con contadores principales redundantes cuando el punto sea crítico para la trazabilidad.
- **Almacenamiento:** medición de caudal de entrada/salida en depósitos y, cuando proceda, instrumentación de nivel/volumen para verificación volumétrica (control de variación neta y detección de consumos no registrados).
- **Entrega:** contadores en hidrantes, bocas de carga y puntos de conexión a redes/usuarios, con lectura sectorizada.

b) Tipología de puntos de entrega (Valladolid)

- **Usuarios municipales:** bocas de carga para baldeo, hidrantes o sectores de riego de parques, suministros a instalaciones municipales cuando proceda.
- **Usuarios externos** (si se habilitan en el futuro): acometidas autorizadas, puntos de carga a terceros y entregas puntuales reguladas.
- **Destino ambiental:** puntos de entrega a balsa/laguna y, si aplica, caudal de salida regulada.

c) Requisitos funcionales de telelectura

Los sistemas incorporarán:

- **Telelectura horaria o diaria** (según criticidad) con almacenamiento seguro y trazabilidad.
- **Alarmas por anomalía:** consumos fuera de patrón, caudales continuos no previstos, inversiones de caudal, pérdida de comunicación, manipulación o desconexión.

- **Georreferenciación e identificación de activos:** cada contador asociado a punto GIS, uso, responsable y condiciones de suministro.
- **Integración SCADA y plataforma de datos:** visualización en tiempo real, exportación a balances e informes, y enlace con indicadores KPI.

Tabla 42 Propuesta de arquitectura de medición y telelectura.

Nivel	Elemento	Objetivo	Resolución recomendada
N1 (cabecera)	Contadores de producción/derivación ERA	Trazabilidad y cierre de balances	Horaria
N2 (almacenamiento)	Caudal + nivel/volumen depósitos/balsa	Verificar variación neta y pérdidas	Horaria/diaria
N3 (entrega)	Contadores por punto de consumo	Consumo por uso/usuario y control de demanda	Diaria/horaria según uso

8.2.2 Balance hídrico del agua regenerada

Con periodicidad **mensual**, se elaborará un balance hídrico del sistema de reutilización que permita cerrar el ciclo producción–almacenamiento–entrega y cuantificar pérdidas y desvíos operativos.

El balance incluirá, como mínimo:

- **Volumen producido en la ERA** y volumen derivado a cada destino.
- **Variación neta de almacenamiento** en depósitos y balsa/laguna (entradas, salidas y variación de volumen).
- **Volumen entregado por tipología de uso** (ambiental, baldeo, riego), con separación de consumos municipales y, si existieran, externos.
- **Volumen no entregado:** retornos a línea segura, desvíos operativos, purgas, pruebas, limpiezas y pérdidas estimadas.

Tabla 43 Balance hídrico mensual (estructura de reporte)

Magnitud	Unidad	Desagregación mínima
Producción ERA	m³/mes	total + destino (ambiental / depósitos / riego)
Entradas/salidas almacenamiento	m³/mes	por depósito + balsa
Entregas por uso	m³/mes	ambiental / baldeo / riego
Desvíos/purgas/mantenimiento	m³/mes	por tipología de operación
Pérdidas estimadas	m³/mes	término de cierre + % sobre entregado

Este balance permite verificar coherencia, evaluar utilización de capacidad instalada, detectar pérdidas y soportar decisiones de ampliación o recalibración operativa.

8.2.3 Incorporación a los balances hídricos municipales

Los consumos de agua regenerada se incorporarán sistemáticamente al balance hídrico del sistema Valladolid–Alfoz, con el objetivo de cuantificar su contribución real a la sustitución de recursos convencionales y a la reducción efectiva de la captación y el efluente mínimo a verter desde la EDAR especialmente relevantes en épocas de escasez (presiones sobre el medio).

La incorporación del balance permitirá:

- **Cuantificar sustitución efectiva** de agua potable o recursos subterráneos en usos no prioritarios (baleo, riego).
- **Medir contribución a reducción de presiones** (menor dependencia de recursos convencionales) y mejorar la resiliencia ante restricciones.
- **Revisar dotaciones de riego** por parque/sector y coherencia con escenarios de sequía (consignas, ventanas horarias y priorización).
- **Alimentar decisiones de inversión:** ampliación de redes, necesidad de almacenamiento adicional o cambios de operación.

8.2.4 Reporte anual de consumos

Se elaborará un informe anual específico de consumos de agua regenerada, con el siguiente contenido mínimo:

- Volumen anual producido, almacenado y entregado, desagregado por uso y punto.
- Evolución interanual y estacionalidad.
- Comparación con previsiones y objetivos por fase.
- Incidencias relevantes: pérdidas, consumos no autorizados detectados, fallos de instrumentación y medidas correctoras.
- Recomendaciones de ajuste: consignas de reparto, necesidades de sectorización, ampliaciones prioritarias.

El informe se remitirá a los órganos de gobierno de AQUAVALL y los municipios integrantes del área de abastecimiento, y se utilizará como evidencia para la revisión quinquenal del cronograma y para la coordinación con el marco de seguimiento de planificación hidrológica cuando proceda.

8.3 Evaluación de impacto ambiental y social

La evaluación periódica del PFUAR debe integrar, de forma equilibrada, los beneficios ambientales derivados de la reutilización y la dimensión social asociada tanto a la aceptación del recurso como al incremento de costes derivado de su utilización. En la zona de abastecimiento de Valladolid, esta evaluación es especialmente relevante por su doble función: (i) aportar evidencia cuantitativa sobre la reducción de presiones en el medio receptor (río Pisuegra) y sobre la sustitución de recursos convencionales en usos urbanos no prioritarios, y (ii) consolidar la confianza ciudadana mediante transparencia, participación y respuesta a incidencias. La evaluación se estructura en dos ámbitos complementarios: **impacto ambiental** e **impacto social**, con integración anual de resultados y retroalimentación sobre la planificación y la comunicación del Plan.

8.3.1 Evaluación de impacto ambiental

Se propondrá un marco de evaluación ambiental que permita cuantificar beneficios directos e indirectos de la reutilización sobre el medio hídrico y su contribución a los objetivos ambientales de la planificación hidrológica aplicable al sistema Valladolid-Alfoz. El marco se articula mediante indicadores operativos basados en balances, registros de explotación y datos de control de calidad.

a) Reducción de vertidos al dominio público hidráulico (río Pisuegra)

Se cuantificará anualmente el volumen de agua regenerada efectivamente reutilizado que deja de verse al río Pisuegra, diferenciando:

- **Volumen reutilizado de forma permanente** (servicios urbanos continuos y usos estables cuando existan).
- **Volumen reutilizado de forma estacional** (riego de zonas verdes, usos puntuales).
- **Volumen destinado a destinos ambientales con retorno diferido o regulado**, cuando aplique (balsas de regulación, aportes planificados).

El indicador se obtendrá a partir del **balance hídrico mensual** descrito en 6.2, de forma que el volumen no vertido sea verificable por contadores y trazabilidad de derivaciones.

b) Reducción de cargas contaminantes al medio receptor

Se estimará la **carga contaminante evitada** asociada al volumen no vertido, utilizando parámetros representativos y medibles (DBO₅, DQO, nitrógeno total, fósforo total) y aplicando un criterio conservador:

- se imputará únicamente la fracción de volumen reutilizado con carácter mayoritario en el año,

- y se calculará la carga evitada como producto del volumen no vertido por la concentración media representativa del efluente en el punto de vertido.

Este indicador permite vincular reutilización con reducción de presión cualitativa, complementando el cumplimiento de la autorización de vertido y el control operativo.

c) Contribución a objetivos ambientales y gestión en escenarios de sequía

Cuando el agua regenerada se utilice con finalidad ambiental o como soporte a la resiliencia del sistema, se evaluará su contribución mediante:

- registro de volúmenes aportados y su distribución temporal,
- coherencia con las reglas de operación y con los escenarios de sequía,
- análisis de su papel como recurso estructural que reduce dependencia de recursos convencionales.

d) Ahorro de agua potable y recursos subterráneos

Se cuantificará anualmente el volumen de agua potable o de recursos subterráneos efectivamente sustituido por agua regenerada en usos no prioritarios (baleo, riego urbano). El indicador se expresará:

- en **m³/año** (valor absoluto),
- y como **porcentaje sobre el consumo del uso sustituido** cuando exista serie histórica comparable.

Este análisis deberá basarse en datos de telelectura y en registros de operación de los servicios municipales correspondientes, evitando imputaciones no verificables.

e) Evolución del estado de masas de agua y coherencia con la planificación

Con periodicidad acorde al seguimiento del estado de masas de agua, se evaluará la coherencia de la reutilización con:

- indicadores de presión cuantitativa (tendencias de extracción y balances),
- indicadores de presión cualitativa en el medio receptor (nutrientes, materia orgánica u otros cuando exista información disponible),
- y consistencia con objetivos ambientales y medidas vinculadas al sistema Valladolid–Alfoz.

Este bloque se formula como evaluación de contribución y coherencia, evitando atribuciones directas no demostrables a escala anual.

8.3.2 Evaluación de impacto social y aceptación ciudadana

La aceptación social es un factor determinante para la sostenibilidad del Plan, especialmente en usos urbanos visibles (baleo y riego). Se propone un sistema de seguimiento social basado en medición periódica, participación y gestión de incidencias, alineado con las campañas de concienciación del Plan.

a) Encuestas de percepción ciudadana

Una vez comiencen a implantarse iniciativas de carácter general se podrá realizar **una encuesta representativa** periódica en Valladolid y su alfoz para evaluar:

- grado de conocimiento sobre agua regenerada y usos permitidos,
- percepción de seguridad y confianza en los controles,
- aceptación por destino (riego, baldeo, usos municipales),
- valoración de la transparencia y disponibilidad de información,
- disposición a buenas prácticas de saneamiento que mejoren la calidad del recurso.

La encuesta deberá asegurar representatividad por distritos y perfiles demográficos, y permitir comparabilidad interanual mediante preguntas núcleo estables.

b) Talleres y grupos focales con colectivos estratégicos

Una vez comiencen a implantarse iniciativas de carácter general se podrán organizar **talleres** con colectivos estratégicos vinculados a Valladolid: asociaciones vecinales de zonas afectadas, personal de parques y jardines y limpieza viaria, comunidad educativa y agentes empresariales potenciales. Su finalidad es:

- recoger dudas y barreras a la aceptación,
- validar mensajes y materiales,
- y generar participación y legitimación social del Plan.

c) Campañas de sensibilización y comunicación

Una vez comiencen a implantarse iniciativas de carácter general se podrán ejecutar al **campañas anuales**, complementadas en su caso con acciones específicas vinculadas a hitos del Plan (puesta en marcha, ampliaciones, publicación de resultados). Las campañas se diseñarán con públicos diana y mensajes técnicos verificables, vinculados a evidencias de control de calidad y a los beneficios del uso.

d) Seguimiento de incidencias, consultas y reclamaciones

Se implantará un registro estructurado de incidencias relacionadas con la reutilización, diferenciando:

- incidencias técnicas (calidad, suministro, equipos),
- incidencias operativas (uso inadecuado, consignas, señalización),
- consultas (solicitud de información, propuestas),
- reclamaciones formales.

El análisis periódico de este registro permitirá identificar patrones, corregir deficiencias de comunicación y mejorar la operación.

8.3.3 Integración de resultados y retroalimentación

Los resultados ambientales y sociales se integrarán en un **informe anual específico**, que incluirá:

- cuantificación de beneficios ambientales mediante indicadores objetivos y balances,
- síntesis de encuesta anual y de talleres,
- evaluación del desempeño de campañas (alcance, aceptación y activación),
- análisis interanual de tendencias,
- y propuestas de mejora para el siguiente ejercicio (operación, comunicación, priorización de actuaciones).

El informe se remitirá a los órganos de gobierno de AQUAVALL y del Ayuntamiento de Valladolid y se publicará en formato de resumen técnico-divulgativo, reforzando transparencia y rendición de cuentas, y consolidando la aceptación social como condición de permanencia del PFUAR.

8.4 Revisión y actualización de la planificación cada 10 años

El PFUAR se concibe como un instrumento adaptativo que debe mantenerse coherente con la planificación hidrológica de cuenca y con la evolución real del sistema Valladolid–Alfoz. A tal efecto, se establece una **revisión decenal** de esta planificación, complementada con los mecanismos de seguimiento y revisión previstos. Esta revisión decenal permite **reformular objetivos, fases e inversiones** con base en datos consolidados de explotación, demanda, calidad y costes.

La revisión se programa en coherencia con el marco de planificación hidrológica del Duero, que se articula en **ciclos sexenales** con seguimiento continuado, informes anuales de aplicación y evaluación del programa de medidas. En particular, los documentos iniciales del cuarto ciclo (2028–

2033) explicitan la necesidad de mantener el seguimiento de la aplicación del Plan Hidrológico y del programa de medidas, y de incorporar cambios normativos y nueva información disponible en cada revisión.

8.4.1 Alcance de la revisión decenal

La actualización decenal del PFUAR abarcará, como mínimo, los siguientes bloques:

- **Resultados y cumplimiento:** evaluación del grado de cumplimiento de objetivos (volumenes reutilizados, sustitución efectiva de recursos convencionales, estabilidad de calidad, incidencias y conformidad normativa).
- **Eficiencia económico-financiera:** contraste CAPEX/OPEX reales frente a estimaciones, revisión de costes unitarios por fase, y actualización del análisis incremental respecto al escenario base.
- **Gestión del riesgo:** actualización del esquema de barreras, puntos críticos y protocolos operativos según la experiencia acumulada y los nuevos requisitos aplicables.
- **Demanda y expansión:** actualización del mapa de demanda municipal (baldeo y zonas verdes) y de la viabilidad de ampliaciones (bombeo y redes), priorizando configuraciones dominadas por distancias cortas y usuarios agregados.
- **Coherencia institucional:** alineación con los instrumentos de seguimiento de la CHD (estado de masas de agua, demandas, caudales ecológicos y programa de medidas) y con el marco local de sequía y saneamiento, de forma consistente con la práctica de actualización periódica ya empleada en planes directores municipales.

8.4.2 Procedimiento de revisión y actualización

La revisión se desarrollará mediante un procedimiento estructurado, con entregables verificables:

1. **Diagnóstico técnico-operativo.** Inventario de infraestructuras en servicio (ERA, balsa/laguna, depósitos, bombeos y redes), desempeño real, consumos energéticos, consumos de reactivos, mantenimiento, disponibilidad y principales modos de fallo.
2. **Evaluación de resultados y KPI.** Revisión de la serie histórica de KPI del apartado 6.5, incorporando tendencias, desviaciones y causas raíz. En paralelo, contraste con indicadores de seguimiento del Plan Hidrológico (demanda, estado de masas de agua y aplicación del programa de medidas).
3. **Actualización de escenarios.** Reestimación de demanda (por usos municipales y estacionalidad), hipótesis de sequía y restricciones, y actualización de precios energéticos y condiciones de financiación.
4. **Reformulación de fases e inversiones.** Ajuste del cronograma, redefinición de alcance por fase, priorización de actuaciones con mejor relación coste-eficacia y actualización de rangos CAPEX/OPEX con base en datos reales y condiciones de mercado.
5. **Aprobación y transparencia.** Validación técnica interna (AQUAVALL), coordinación municipal y puesta en coherencia con la planificación de cuenca (cuando proceda), incluyendo síntesis pública de resultados y medidas de seguimiento ambiental asociadas.

8.4.3 Coherencia con los ciclos de planificación hidrológica

La revisión decenal se sincronizará con los hitos del Duero para maximizar coherencia y elegibilidad de actuaciones: el ciclo de planificación hidrológica se revisa y actualiza periódicamente, con seguimiento de la aplicación del plan, del programa de medidas y de los objetivos ambientales.

En términos operativos, esto permite que la actualización del PFUAR utilice como insumos los trabajos de seguimiento y evaluación que el propio ciclo de cuenca exige (incluida la evaluación del programa de medidas y la posible introducción de medidas adicionales cuando sean necesarias para alcanzar objetivos).

8.5 Definición de indicadores de desempeño (KPI)

El seguimiento sistemático del PFUAR de Valladolid se apoyará en un cuadro de indicadores clave de desempeño (KPI) que permitirá evaluar de forma objetiva, cuantificable y trazable el grado de consecución de los objetivos del Plan. Los KPI se estructuran en cinco ámbitos: producción y consumo, sustitución de recursos, calidad y seguridad, sostenibilidad económica e implantación del servicio, incorporando adicionalmente dos indicadores específicos para concienciación y aceptación social.

Los KPI se revisarán de forma periódica, se consolidarán en los informes de seguimiento y se utilizarán como base para la revisión y actualización del Plan.

8.5.1 KPI de producción y consumo de agua regenerada

KPIR01_Volumen anual de agua regenerada reutilizada (hm³/año)

Mide el volumen anual efectivamente entregado y utilizado en los destinos autorizados, excluyendo pérdidas operativas y desvíos por no conformidad.

KPIR02_Porcentaje de agua regenerada sobre el volumen tratado en la EDAR (%)

Indica la proporción del volumen tratado en la EDAR de Valladolid que se destina a regeneración y reutilización.

8.5.2 KPI de sustitución de recursos convencionales

- **KPIR03_Porcentaje de sustitución de agua potable en usos no prioritarios (%)**
Cuantifica la sustitución efectiva de agua potable en usos urbanos no prioritarios (baleo y riego) por agua regenerada, respecto a una línea base previa.
- **KPIR05_Porcentaje de zonas verdes municipales regadas con agua regenerada (%)**
Mide el grado de penetración de la reutilización en zonas verdes municipales, en términos de superficie o sectores efectivamente regados con agua regenerada frente al total municipal.

8.5.3 KPI de implantación y activación del servicio

KPIR04_Número de conexiones activas a la red de agua regenerada (unidades)

Registra el número de puntos de entrega en servicio (municipales y, si procede, externos), diferenciando conexiones permanentes y estacionales.

KPIR06_Volumen de agua regenerada destinada a usos industriales/recreativos (hm³/año)

Cuantifica el volumen entregado a usos industriales o recreativos cuando procedan y estén autorizados, permitiendo evaluar la diversificación de destinos.

8.5.4 KPI de impacto ambiental (presiones y vertidos)

KPIR07_Reducción de vertidos al dominio público hidráulico respecto al total tratado (%)

Indica el porcentaje del volumen tratado que deja de verterse al medio receptor por efecto de la reutilización, aportando una medida directa de reducción de presión cuantitativa.

8.5.5 KPI de calidad, seguridad y cumplimiento normativo

KPIR09_Cumplimiento normativo de calidad según RD 1085/2024 (%)

Mide el porcentaje de controles analíticos conformes respecto al total de controles realizados, aplicando el procedimiento de evaluación de conformidad definido para la clase de calidad correspondiente.

8.5.6 KPI de sostenibilidad económica y eficiencia operativa

KPIR08_Ahorro energético en distribución por uso de redes de regenerada (kWh/m³)

Registra el consumo energético específico asociado a la distribución (y, cuando proceda, a la producción) del agua regenerada, permitiendo evaluar eficiencia y tendencias operativas.

KPIR10_Coste unitario de suministro de agua regenerada (€/m³)

Cuantifica el coste medio del servicio considerando OPEX y la anualización del CAPEX, en relación con el volumen efectivamente entregado, con posibilidad de desagregación por fase y tipología de uso.

8.5.7 KPI de concienciación y aceptación social

Con objeto de evaluar el desempeño de las campañas de concienciación y su contribución a la consolidación del PFUAR como recurso estructural en Valladolid, se incorporan dos indicadores específicos:

KPIR11_Índice de aceptación social del agua regenerada (%, encuesta anual)

Porcentaje de población encuestada que considera aceptable o muy aceptable el uso de agua regenerada en usos urbanos no potables (baleo y riego de zonas verdes). Este KPI mide el resultado social y permite valorar la viabilidad de ampliación de fases en términos de confianza ciudadana.

KPIR12_Alcançe anual de acciones de concienciación (nº participantes/impactos medibles)

Número anual de participantes en acciones de divulgación y formación vinculadas al PFUAR (talleres, jornadas, visitas, sesiones con colectivos estratégicos y personal municipal operativo), complementado, cuando proceda, con métricas de alcance verificables. Este KPI mide el esfuerzo de comunicación y permite correlacionarlo con la evolución de la aceptación y con la reducción de incidencias por mal uso.

8.5.8 Cuadro de revisión, reporte y uso de KPI

Se establecerá un cuadro resumen de KPI que incluirá para cada indicador: definición, fórmula, fuente de datos, periodicidad, responsable, valor de referencia y objetivo. La revisión se realizará con la cadencia adecuada al sistema de gestión de Aguavall (reuniones trimestrales, cierre anual).

Los KPI constituyen el soporte técnico de la gestión transparente del PFUAR en Valladolid, proporcionando evidencia operativa para decisiones de inversión, ajustes de explotación, priorización de usos y validación de la aceptación social del recurso.

Tabla 44 KPI, indicadores, unidades, definición y Periodicidad.

KPI	Indicador	Unidad	Definición operativa	Periodicidad
KPIR01	Volumen anual de agua regenerada reutilizada	hm³/año	Volumen anual entregado y utilizado por destinos autorizados (excluye desvíos por no conformidad y pérdidas operativas no atribuibles a consumo)	Mensual (cierre anual)
KPIR02	% de AR sobre volumen tratado en EDAR	%	Relación entre volumen anual de AR reutilizada y volumen anual tratado en EDAR	Anual
KPIR03	% sustitución de agua potable en usos no prioritarios	%	Porcentaje de sustitución efectiva de agua potable por AR en baldeo/riego respecto a línea base previa	Anual
KPIR04	Conexiones activas a red/puntos de entrega AR	nº	Número de puntos de entrega operativos (municipales y, si procede, externos), distinguiendo permanentes/estacionales	Trimestral (cierre anual)
KPIR05	% zonas verdes regadas	%	Superficie/sectores de zonas verdes	Anual

	con AR		con riego efectivo con AR respecto al total municipal	(campana de riego)
KPIR06	Volumen AR a usos industriales/recreativos	hm ³ /año	Volumen anual entregado a usos industriales/recreativos autorizados (si aplica)	Trimestral (cierre anual)
KPIR07	Reducción de vertidos al DPH respecto al total tratado	%	Porcentaje del volumen tratado que deja de verse por efecto de la reutilización (según balance)	Anual
KPIR08	Consumo energético específico de suministro AR	kWh/m ³	Energía asociada a producción y/o distribución de AR por m ³ entregado (definir alcance por fase: ERA, bombeos, redes)	Mensual (cierre anual)
KPIR09	Cumplimiento normativo de calidad (RD 1085/2024)	%	% de controles/muestras conformes según clase y procedimiento de conformidad aplicable	Trimestral (cierre anual)
KPIR10	Coste unitario de suministro AR	€/m ³	(OPEX anual + CAPEX anualizado) / volumen anual entregado, con desagregación por fase si procede	Anual
KPIR11	Índice de aceptación social de AR	%	% de población que acepta (aceptable/muy aceptable) el uso de AR en riego/baldeo en Valladolid y alfoz	Anual
KPIR12	Alcance anual de concienciación	nº participantes	Total anual de participantes en acciones (talleres, jornadas, visitas, formación personal operativo), con trazabilidad documental	Trimestral (cierre anual)

9. Resumen ejecutivo

9.1 Marco y justificación

El Plan de Fomento del Uso de Agua Regenerada (PFUAR) de Valladolid se formula en este punto como un documento de obligado cumplimiento del RD 4/2023, y no tanto como un instrumento operativo y de planificación definitivo para introducir, de forma prudente y escalable, la reutilización de agua depurada en el sistema Valladolid–Alfoz, alineado con el RD 1085/2024, dado que el cuarto ciclo de planificación hidrológica de la Demarcación del Duero (2028-2033) se encuentra pendiente de elaboración.

Considera todos los municipios del alfoz, ya compartan solo uno o ambos servicios en alta de abastecimiento y depuración con Agua de Valladolid EPE: Arroyo de la Encomienda, Fuensaldaña, La Cistérniga, Laguna de Duero, Mucientes, Simancas, Villanubla y Zaratán.

No obstante, su enfoque parte de una premisa realista de que la reutilización no se plantea como sustitución generalizada del recurso convencional, sino como **recurso complementario** y activable cuando aporte mayor valor público (resiliencia, robustez operativa, reducción de presión sobre el medio receptor y sustitución de usos no potables), y cuando exista viabilidad técnica, económica y presupuestaria. En consecuencia, la activación de cualquiera de las actuaciones previstas queda condicionada a la existencia de una demanda y necesidad razonable, seguida de su viabilidad técnica, ambiental, social, económica y financiera, a la disponibilidad de financiación extraordinaria, a la redacción y aprobación de los proyectos constructivos específicos. Se considerará inviable por falta de capacidad técnica del proponente cualquier propuesta que no acredite los anteriores aspectos. La materialización de cada fase requerirá, además de un análisis de impacto en el equilibrio económico del servicio cuya premisa es la satisfacción de la demanda a unos precios socialmente aceptables, previo al refrendo por los órganos competentes de gobierno de AQUAVALL, de acuerdo con sus estatutos.

En Valladolid, la EDAR trata las aguas residuales del núcleo urbano y municipios del alfoz conectados a ella, con una carga autorizada de 518.318 habitantes-equivalentes y un volumen anual autorizado de vertido de 51,18 hm³/año al río Pisuerga (revisión de autorización de vertido, junio 2024). En operación reciente se observan efluentes anuales típicos entre ~41 y 45 hm³/año, con elevada estabilidad del proceso y rendimientos elevados de eliminación, lo que constituye una base sólida para plantear regeneración con garantías.

En paralelo, la demanda urbana prevista para Valladolid y los municipios conectados a su abastecimiento en alta en el horizonte 2035 se proyecta estable en torno a los 28 hm³ o a la baja, influida por eficiencia hidráulica, moderación de consumos y estabilización de la población, lo que favorece una planificación por fases y la identificación de fracciones sustituibles de la demanda en **usos no potables**, si bien dificulta la aceptación social de este recurso salvo en situaciones extremas excepcionales.

9.2 Situación de partida y oportunidad

La EDAR de Valladolid presenta funcionamiento estable (periodo 2020–2025) con caudales medios del orden de 121.560 m³/d (influyente) y 119.352 m³/d (efluente), devolviendo al cauce en torno al 98,7% del volumen tratado; el rango anual reciente se sitúa entre ~41,2 y 45,4 hm³/año.

En su configuración actual **no existe una línea específica de regeneración** orientada a producir agua regenerada conforme a RD 1085/2024 (p. ej., afino/filtración y desinfección reforzada orientada a usos), ni redes de distribución específicas; por tanto, una reutilización sistemática y

general requiere inversiones en tratamiento y nuevas infraestructuras de regulación, control y entrega con elevados costes de inversión y operación.

9.3 Enfoque técnico adoptado

El PFUAR adopta el enfoque fit for purpose, el fomento de la reutilización y/o la regeneración en origen y en caso de la regeneración de ámbito general, por la modularidad: asignar a cada uso la calidad estrictamente necesaria y evitar sobredimensionamientos. La economía del sistema de regeneración general no la determina solo la ERA, sino el binomio calidad-caudal y, de forma crítica, el binomio distancia–infraestructura (bombeo/red).

Se plantea un despliegue mediante una campaña general integrada en las actuales de fomento del agua del grifo y un uso eficiente de los recursos, además del respeto en la utilización del alcantarillado; que se extenderán con la promoción de la reutilización y/o la regeneración en origen por los ciudadanos en caso de escasez, como forma más racional y eficiente de diversificar el consumo y minimizar los riesgos y costes asociados a las infraestructuras de ámbito general.

Adicionalmente el plan propone un ejemplo de fases sucesivas para una regeneración de ámbito general, con un módulo base de producción y un esquema de operación que permite reutilizaciones parciales por consignas, priorizando escenarios de menor complejidad y menor CAPEX auxiliar. En esa lógica, la reutilización general se orienta inicialmente a: (i) destino ambiental (barrera de resiliencia y mejora del balance vertido–reutilización), (ii) usos urbanos no potables de entrega concentrada (baldeo/limpieza viaria), y (iii) riego urbano priorizando la proximidad (parques con trazados viables).

9.4 Fases propuestas y contenido de infraestructuras

El cronograma se estructura en tres fases, con revisiones periódica para recalibrar el despliegue según demanda efectiva, costes energéticos/reactivos, resultados de calidad y disponibilidad de financiación, que se adecuarán no obstante a lo que establezca el cuarto ciclo de planificación hidrológica (2028-2033) del organismo de cuenca sobre posibilidades de sustitución de recursos hídricos y costes asociados a los usos del agua, además de a la habilitación de las ayudas a la financiación y para recuperación de costes previstas en la Ley de Aguas.

- Fase 1: Destino ambiental (calidad tipo C/B según esquema adoptado en Plan) Implanta la infraestructura base: ERA (tratamiento de afino con desinfección) y una balsa/laguna impermeabilizada como elemento de regulación/destino ambiental frente a la EDAR, con instrumentación mínima y trazabilidad. Es la fase que “abre la puerta” a usos urbanos posteriores sin rediseñar el núcleo de proceso.
- Fase 2: Uso urbano baldeo/limpieza viaria (calidad tipo B) Se apoya en la ERA ya implantada, introduciendo depósitos reguladores y puntos de carga a cisternas, medición y trazabilidad. El objetivo es maximizar el impacto con CAPEX auxiliar contenido y alta visibilidad operativa (sustitución de agua potable en un uso municipal claro).
- Fase 3: Riego urbano de parques (calidad tipo B) Incorpora estaciones de bombeo/impulsión, puntos de entrega y redes de distribución a parques priorizados (primero el parque contiguo para minimizar red, y expansión condicionada por viabilidad de trazado). El Plan asume explícitamente que aquí la red y el bombeo pueden dominar el coste, por lo que la activación se condiciona a proyecto constructivo y a un marco de financiación robusto.

9.5 Órdenes de magnitud de inversión y explotación (CAPEX/OPEX) y lógica financiera

El PFUAR incorpora una estimación por fases (orientativa) que separa CAPEX de la ERA y CAPEX auxiliar. La síntesis de inversiones es: **Fase 1: 1,29–2,22 M€, Fase 2 (incremental): 0,30–0,90 M€, Fase 3: 1,99–5,82 M€**, evidenciando que el “salto” económico se produce cuando aparece infraestructura de red y bombeo asociada al riego urbano.

Desde la óptica de AQUAVALL, la evaluación económico-financiera debe formularse de forma **incremental** respecto al escenario base (sin reutilización) y combinar:

- **Análisis financiero** (VAN/TIR/B/C/PRI) en escenarios donde existan flujos monetarios explícitos: subvenciones, cofinanciación, transferencias internas/tarifación, y costes reales de operación.
- **Coste-eficacia** (coste anual equivalente y €/m³) especialmente relevante en Fase 1, donde el retorno es principalmente estratégico-ambiental y depende de política pública y de financiabilidad.

Adicionalmente, en Valladolid debe incorporarse, cuando aplique, el análisis de **efectos evitados** y ajustes operativos: sustitución de agua potable en usos no prioritarios, mayor resiliencia en sequía, y posibles ajustes de costes ligados al régimen de vertido y a la operación global del sistema (siempre verificados con la estructura real de cánones/tasas por los conceptos aplicables según el esquema autorizado).

9.6 Condiciones de activación, gobernanza y recalibración

El Plan establece que el avance de fase se produce únicamente cuando concurren condiciones verificables de viabilidad técnica, económica y de gestión, adaptadas al contexto de Valladolid. En particular, con carácter previo a cualquier licitación o ejecución se requiere: (i) proyecto constructivo completo, con definición de alcance, trazado, integración con la EDAR/ERA, plan de control y presupuesto de referencia; (ii) verificación de estabilidad financiera, mediante análisis incremental de CAPEX y OPEX en las cuentas de AQUAVALL, incluyendo amortización, costes energéticos y reactivos y necesidades de personal/contratación; (iii) identificación y aseguramiento de la estructura de financiación (subvenciones, convenios o cofinanciación municipal cuando proceda), evaluando el CAPEX neto y el riesgo de desviaciones; y (iv) validación de la capacidad operativa para asumir la explotación (mantenimiento, analítica, telecontrol, operación de bombeos y redes, gestión de incidencias y trazabilidad).

La decisión de activación de cada fase se requerirá una propuesta completa con todos los análisis de viabilidad técnica, económica, financiera, social y medioambiental, y se someterá al procedimiento interno de aprobación y al refrendo del Consejo de Gobierno de AQUAVALL, incorporando una propuesta de financiación mediante ayudas públicas, idealmente europeas y un análisis de riesgos de acuerdo con la Ley de Aguas. Adicionalmente, se mantendrá la revisión mediante los indicadores aplicables a través del sistema de gestión de Aquavall.

9.7 Implementación: etapas y plazos típicos

Para materializar las fases, el Plan estructura un mínimo de cuatro etapas para la implantación de cualquier propuesta que requiera infraestructura pública: (1) redacción de proyecto y tramitación, (2) licitación y obra, (3) puesta en marcha y estabilización, y (4) explotación ordinaria. A efectos de planificación, se proponen rangos típicos por tipología: por ejemplo, **ERA 8–14 meses (proyecto/tramitación), 10–16 meses (obra), 3–6 meses (estabilización)**; redes urbanas a parques **8–14 meses, 10–18 meses y 1–2 meses**, respectivamente, entre otros.

9.8 Seguimiento, transparencia y mejora continua

En conjunto, el PFUAR dota a Valladolid de un **marco técnico y económico activable en función de la futura planificación hidrológica y la disponibilidad financiera**, coherente con la realidad local (volúmenes, demanda estable, prioridades municipales y condicionantes de red), y establece las salvaguardas necesarias para que cualquier paso de fase sea una decisión informada: con proyecto, financiación y sostenibilidad de explotación verificadas.

10. Bibliografía

1. Agencia de Innovación y Desarrollo Económico de Valladolid. (2021). *Urban Waterbuffer, un sistema para almacenar agua de lluvia*. IdeVa.
2. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (2017). *Plan de emergencias ante situaciones de sequía para el abastecimiento urbano de Valladolid*. Oficina Técnica.
3. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (2018). *Plan plurianual 2019–2020–2021*. Ayuntamiento de Valladolid.
4. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (2024a). *Pliego de prescripciones técnicas: Actuaciones A-3 (PIGSS), A-4 (Agua regenerada), A-6 (Hidrología subterránea) y A-9 (Conexión Alfoz)* (Expediente EPE 377/25).
5. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (2024b). *Presupuesto 2025: Programa de actuación plurianual 2025–2028*. Ayuntamiento de Valladolid.
6. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (s. f.). *Cartografía: inicio GIS Valladolid*. Recuperado el 23 de diciembre de 2025, de https://www10.ava.es/cartografia/inicio_gis_valladolid.html
7. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (s. f.). *PortalVA – Visor Web (WebAppViewer)*. Recuperado el 23 de diciembre de 2025, de <https://www10.ava.es/portalva/apps/webappviewer/index.html?id=3e49298cae3f4b5097444b7304e4bf02>
8. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (2025a). *Pliego de prescripciones técnicas: Actuación A-18 – Sensorización de procesos de EDAR* (Proyecto Aquavall 2.0).
9. Agua de Valladolid EPE – AQUAVALL. (2025b). *Pliego de prescripciones técnicas: Actuación A-19 – Mejora de la calidad del agua en aliviaderos* (Proyecto Aquavall 2.0).
10. Alves, F. M., Gonçalves, A., & del Caz-Enjuto, M. R. (2022). The use of Envi-Met for the assessment of nature-based solutions' potential benefits in industrial parks—A case study of Argales Industrial Park (Valladolid, Spain). *Infrastructures*, 7(6), 85.
11. Ayuntamiento de Valladolid. (s. f.). *Aprobación definitiva del PGOU 2020*. Recuperado el 23 de diciembre de 2025, de <https://www.valladolid.es/es/temas/hacemos/aprobacion-definitiva-pgou-2020>
12. Ayuntamiento de Valladolid. (s. f.). *Plan General de Ordenación Urbana (PGOU): mapas, planos y detalle*. Recuperado el 23 de diciembre de 2025, de <https://www.valladolid.es/transparencia/es/ita-indicadores-ayuntamiento/transparencia-materias-urbanismo-obras-publicas-medioambiente/1-planos-ordenacion-urbana-convenios-urbanisticos/60-plan-general-ordenacion-urbana-pgou-mapas-planos-detalla>
13. Confederación Hidrográfica del Duero. (2024). *Resolución de revisión de la autorización de vertido de aguas residuales procedentes de la E.L. de Valladolid* (N/REF: V-0070/2024). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
14. Confederación Hidrográfica del Duero. (2025). *Documentos iniciales del cuarto ciclo de planificación hidrológica (2028–2033): Memoria*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
15. Construible. (2015, 19 de febrero). *Valladolid aprueba la revisión del PGOU con una apuesta sostenible*. <https://www.construible.es/2015/02/19/valladolid-aprueba-la-revision-del-pgou-con-una-apuesta-sostenible>
16. Eniola, J. O., Kumar, R., Barakat, M. A., & Rashid, J. (2022). A review on conventional and advanced hybrid technologies for pharmaceutical wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 356, 131826.
17. Fundación Democracia y Gobierno Local. (2025). *Los planes municipales de fomento de la reutilización de aguas*. Acento Local.
18. Hernández-Pacheco Algaba, M., et al. (2024). Assessment and actions to support integrated water resources management of Seville (Spain). *Environment, Development and Sustainability*, 26, 7347–7375.
19. Instituto Geológico y Minero de España. (s. f.). *Identificación y caracterización de la interrelación entre aguas subterráneas y cursos fluviales: Sistema de explotación 021.05 Pisuegra*. Ministerio de Ciencia e Innovación.

20. Lera, E. (2021, 14 de septiembre). *El sistema que depura y genera electricidad: Electro humedal en el Parque Patricia*. Diario de Castilla y León.
21. Mainardis, M., et al. (2022). Wastewater fertigation in agriculture: Issues and opportunities for improved water management and circular economy. *Environmental Pollution*, 296, 118755.
22. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Orden TED/801/2021, de 14 de julio, por la que se aprueba el Plan Nacional de depuración, saneamiento, eficiencia, ahorro y reutilización (Plan DSEAR)*. Boletín Oficial del Estado.
23. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). *Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua* (Legislación consolidada). Boletín Oficial del Estado.
24. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2025). *Guía de recomendaciones para la elaboración de Planes de Fomento de Reutilización del Agua asociados a usos urbanos (PFRAU)*. Dirección General del Agua.
25. Molina Giménez, A. (2023). *Aspectos jurídicos de la reutilización de las aguas regeneradas* [Presentación]. Universidad de Alicante.
26. Molina Giménez, A. (2025). Reutilización de las aguas residuales urbanas en el ámbito local. *QDL*, 67, 120–147.
27. Pedrosa, J. (2025, 24 de junio). *Valladolid adjudica las obras de un autoconsumo fotovoltaico de 1,18 MW para la EDAR del Pisuerga*. PV Magazine España.
28. Polo-Martín, B. (2025). The potential of blue-green infrastructures (BGIs) to boost urban resilience: Examples from Spain. *Urban Science*, 9(1), 102.
29. Rodríguez Sancho, J. M. (2024). *Proyecto de obras para la ejecución de una instalación solar fotovoltaica en la E.D.A.R. de Valladolid*. AQUAVALL.
30. Ross, A., & Hasnain, S. (2018). Factors affecting the cost of managed aquifer recharge (MAR) schemes. *Sustainable Water Resources Management*, 4(2), 179–190.
31. Torre García, A. J. (2022). *Selección de alternativas de tratamiento para EDARs de gran escala en megaciudades del Sur Global*. Universitat Politècnica de València.
32. Vanderzalm, J., et al. (2022). Assessing the costs of managed aquifer recharge options to support agricultural development. *Agricultural Water Management*, 263, 107437.
33. Zagklis, D. P., & Bampos, G. (2022). Tertiary wastewater treatment technologies: A review of technical, economic, and life cycle aspects. *Processes*, 10(11), 2304.