



Escuela
Politécnica
Superior

Biopiscinas. Una alternativa sostenible.



Grado en Arquitectura Técnica

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Víctor Ávila Navarro

Tutor/es:

Juan Carlos Pérez Sánchez

Vicente Raúl Pérez Sánchez

Julio 2021



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de contenidos	3
Índice de figuras	7
Índice de tablas	9
1 JUSTIFICACIÓN	11
2 INTRODUCCIÓN	13
3 CONTEXTUALIZACIÓN	15
3.1 EL CLORO COMO ANTISÉPTICO.....	16
3.2 ANTECEDENTES.....	17
3.3 CONCEPTOS INICIALES	20
3.3.1 BIOTOPO	20
3.3.2 FITODEPURACIÓN	20
3.3.3 EUTROFIZACIÓN.....	21
3.4 ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS POR OTROS AUTORES.....	22
4 OBJETIVOS.....	25
5 METODOLOGÍA.....	27
6 DEFINICIÓN DE BIOPISCINA	29
6.1 UBICACIÓN EN EL MARCO LEGAL	29
6.2 PROPUESTA DE DEFINICIÓN	30
7 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN BIOPISCINAS	33
7.1 PARÁMETROS FÍSICOS	33
7.2 PARÁMETROS QUÍMICOS	34
7.2.1 LLENADO Y REPOSICIÓN DE AGUA.....	34
7.2.2 AGUA DE LA ZONA DE BAÑO	35
7.2.3 AGUA PURA.....	36
7.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS	36
7.4 PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS SANITARIOS	37
7.4.1 AGUA EN LA ZONA DE BAÑO	37
7.4.2 AGUA PURA.....	38
8 FUNCIONAMIENTO DE LAS BIOPISCINAS.....	39

8.1	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	39
8.2	CICLO DEL AGUA EN LAS BIOPISCINAS	40
8.3	EL ECOSISTEMA DE UNA BIOPISCINA	43
8.3.1	<i>CICLO DEL ECOSISTEMA DE UNA BIOPISCINA</i>	<i>43</i>
8.4	OTROS FACTORES DE UTILIDAD CONTRA LA PROLIFERACIÓN DE ALGAS	46
9	PROCESOS INTERVINIENTES EN LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DEL AGUA	51
9.1	FILTRACIÓN	51
9.2	OXIGENACIÓN	52
9.2.1	<i>FORMACIÓN DEL AMONIACO</i>	<i>52</i>
9.2.2	<i>OXIDACIÓN DEL AMONIACO A NITRITO.....</i>	<i>52</i>
9.2.3	<i>OXIDACIÓN DE NITRITO A NITRATOS.....</i>	<i>53</i>
9.3	REGENERACIÓN	53
10	FILTROS	54
10.1	FILTRO BIOLÓGICO DE GRAVAS DE FLUJO VERTICAL	55
10.2	FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR	56
10.3	FILTRO BIOLÓGICO DE KALDNES.....	57
10.4	FILTRO DE ZEOLITAS.....	58
10.5	FILTRO DE PLANTAS	58
10.5.1	<i>ESPECIES DE PLANTAS ÚTILES Y PARÁMETROS PARA SU SELECCIÓN</i>	<i>60</i>
10.6	FILTRACIÓN MECÁNICA	67
10.7	FILTRACIÓN DE FÓSFORO	68
10.8	OXIGENACIÓN MEDIANTE BOMBEO DE BURBUJAS	68
10.8.1	<i>FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE BURBUJAS</i>	<i>70</i>
11	PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS Y DE DISEÑO	73
11.1	CONFIGURACIÓN DE LAS ZONAS DE BAÑO Y REGENERACIÓN	73
11.1.1	<i>REGENERACIÓN DE UN SOLO VASO - IN SITU</i>	<i>74</i>
11.1.2	<i>REGENERACIÓN PARCIALMENTE SEPARADA - IN SITU + EX SITU</i>	<i>75</i>
11.1.3	<i>REGENERACIÓN SEPARADA - EX SITU</i>	<i>75</i>
11.2	SEPARACIÓN DE LAS ZONAS DE BAÑO Y REGENERACIÓN	76
11.2.1	<i>SIN PARTICIÓN.....</i>	<i>76</i>
11.2.2	<i>MURO SOBRE IMPERMEABILIZACIÓN.....</i>	<i>77</i>
11.2.3	<i>MURO BAJO IMPERMEABILIZACIÓN</i>	<i>78</i>
11.2.4	<i>PISCINA EXENTA.....</i>	<i>78</i>

11.3	MODELOS BÁSICOS A PARTIR DE LA COMPATIBILIDAD ENTRE PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS Y DE FILTRACIÓN	79
11.4	OTROS PARÁMETROS	81
11.4.1	UBICACIÓN DE LA BIOPISCINA	81
11.4.2	IMPERMEABILIZACIÓN.....	81
11.4.3	SEGURIDAD EN EL BAÑO.....	82
12	TIPOLOGÍAS DE BIOPISCINA SEGÚN FLL	85
12.1	TIPO I. BIOPISCINA SIN TECNIFICACIÓN.....	86
12.2	TIPO II. BIOPISCINA CON LIMPIEZA DE SUPERFICIES	87
12.3	TIPO III. BIOPISCINA CON FILTRO DE SUSTRATOS DE FLUJO LENTO	88
12.4	TIPO IV. BIOPISCINA CON FILTRO DE SUSTRATOS DE FLUJO RÁPIDO	89
12.5	TIPO V. BIOPISCINA TOTALMENTE TECNIFICADA	90
12.6	CONSIDERACIONES SOBRE PISCINAS PÚBLICAS	91
13	MANTENIMIENTO DE LAS BIOPISCINAS	93
13.1	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	93
13.2	GUÍA DE MANTENIMIENTO	94
13.2.1	INSPECCIONES.....	94
13.2.2	CONSERVACIÓN DE LA VEGETACIÓN	97
13.2.3	REPARACIÓN	98
13.2.4	CAMBIO DE AGUA.....	98
13.2.5	SISTEMAS PERMANENTES DE LIMPIEZA	98
13.2.6	MUESTREO.....	100
13.2.7	PARÁMETROS DE DEPURACIÓN.....	100
13.2.8	INCUMPLIMIENTO DE LOS VALORES DE REFERENCIA	101
14	COMPARATIVA DE PARÁMETROS Y COSTES DE UNA BIOPISCINA PÚBLICA CON UNA PISCINA CONVENCIONAL PÚBLICA.....	103
15	PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UNA PISCINA CONVENCIONAL A BIOPISCINA	107
15.1	ESTUDIO DE LA UBICACIÓN	107
15.2	CONFIGURACIÓN DE LAS ZONAS Y DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN	108
15.3	DISEÑO.....	110
15.4	SISTEMA DE RECIRCULACIÓN	114
15.5	SELECCIÓN DE PLANTAS.....	115
15.6	DESCRIPCIÓN DE LAS FASES CONSTRUCTIVAS	117

15.7 CONSIDERACIONES	119
15.8 COSTES	119
15.8.1 <i>COSTES DE EJECUCIÓN MATERIAL</i>	119
15.8.2 <i>COMPARATIVA DE COSTES ANUALES DE MANTENIMIENTO CON PISCINA CONVENCIONAL</i>	121
16 IMPACTOS DE LAS BIOPISCINAS	123
17 CONCLUSIONES	125
17.1 DEFINICIÓN DE LA TIPOLOGÍA	125
17.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES.....	125
17.3 ENTENDIMIENTO DE LOS ESPACIOS SOSTENIBLES.....	126
17.4 ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS COMPARATIVAS CON LAS PISCINAS COVENCIONALES.....	127
17.5 DESVENTAJAS DE LAS BIOPISCINAS	128
17.6 NECESIDAD DE DESARROLLO DE LA TIPOLOGÍA EN EL ÁMBITO ACADÉMICO Y OTROS	128
18 BIBLIOGRAFÍA.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Baños imperiales a finales del siglo XVII (<i>Jan Luyken</i>)	15
Fig. 2. Piscina con separación de zonas diseñada por Werner Gamerith en 1983 en Austria.....	18
Fig. 3. Mapa de actividad internacional. Número total de grupos por país según intervalo.....	19
Fig. 4. Masa de agua eutrofizada	22
Fig. 5. Sección de una biopiscina.....	40
Fig. 6. Esquema flujo del agua en una biopiscina.....	41
Fig. 7. Ciclo del nitrógeno.....	45
Fig. 8. Ciclo del fósforo	46
Fig. 9. Ejemplo de planta de sombra.....	47
Fig. 10. Aplicación de paja para inhibición de algas.....	48
Fig. 11. Skimmer de tamiz curvo	55
Fig. 12. Esquema en sección de filtro biológico de gravas de flujo vertical.....	56
Fig. 13. Esquema en sección de filtro biológico percolador.....	57
Fig. 14. Infografía de filtro de kaldnes.....	58
Fig. 15. Ubicación de plantas en zona de regeneración según tipo.....	59
Fig. 16. <i>Myriophyllum</i> spp.	60
Fig. 17. <i>Potamogeton</i> spp	60
Fig. 18. <i>Ceratophyllum Demersum</i>	61
Fig. 19. <i>Plantago Acuática Alisma</i>	61
Fig. 20. <i>Carex</i>	62
Fig. 21. <i>Cyperus</i>	62
Fig. 22. <i>Pseudacorus</i>	62
Fig. 23. <i>Juncus</i>	63
Fig. 24. <i>Lythrum Salicaria</i>	63
Fig. 25. <i>Mentha Aquatica</i>	63
Fig. 26. <i>Ranunculus Peltatus</i>	63
Fig. 27. <i>S. Lacustris</i>	64
Fig. 28. <i>Typha Angustifolia</i>	64
Fig. 29. <i>Nuphar Luteum</i>	65
Fig. 30. <i>Nymphaea Alba</i>	65
Fig. 31. <i>Nymphoides Peltata</i>	66
Fig. 32. <i>P. Natans</i>	66
Fig. 33. Biopiscina con humedal técnico y filtración mecánica	67
Fig. 34. Biopiscina con filtro de fosfatos	68
Fig. 35. Oxigenación mediante bombeo de burbujas	69
Fig. 36. Compresor de 60 W de acuario	70
Fig. 37. Bombeo de burbujas en zona de regeneración.....	70
Fig. 38. Esquema en planta de configuración con zona de regeneración en vaso único.....	74
Fig. 39. Esquema en planta de configuración con zona de regeneración parcialmente separada	75

Fig. 40. Esquema en planta de configuración con zona de regeneración separada	76
Fig. 41. Sección separación zona regeneración sin partición.....	77
Fig. 42. Sección separación zona regeneración con muro sobre impermeabilización	77
Fig. 43. Sección separación zona regeneración con muro bajo impermeabilización	78
Fig. 44. Sección separación zona regeneración exenta.....	79
Fig. 45. Tipo I	86
Fig. 46. Tipo II	87
Fig. 47. Tipo III	88
Fig. 48. Tipo IV	90
Fig. 49. Tipo V	91
Fig. 50. Izquierda: ubicación de la parcelona. Derecha: vista satélite de la parcela.....	108
Fig. 51. Esquema distribución en planta de biopiscina	110
Fig. 52. Bocetos para diseño biopiscina	111
Fig. 53. Sección longitudinal biopiscina.....	112
Fig. 54. Sección transversal biopiscina	112
Fig. 55. Esquema instalaciones flujo de agua de biopiscina.....	113
Fig. 56. Esquema sistema de oxigenación de biopiscina.....	114
Fig. 57. Detalle sección biofiltro de biopiscina.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas de la fitodepuración frente a otros métodos	21
Tabla 2. Parámetros físicos en la zona de nado.	34
Tabla 3. Valores químicos recomendados para el llenado de agua (después del tratamiento si éste fuera necesario)	34
Tabla 4. Valores recomendados para el agua de la zona de baño	35
Tabla 5. Valores recomendados para el agua después de la purificación	36
Tabla 6. Valores biológicos recomendados para la zona de baño	37
Tabla 7. Valores máximos para parámetros microbiológicos sanitarios.....	38
Tabla 8. Compatibilidad de modelos básicos según sistema de filtrado, configuración y partición.	80
Tabla 9. Profundidad para las diferentes áreas según FLL y CTE DBSUA6.....	83
Tabla 10. Pruebas periódicas de calidad del agua para los distintos parámetros durante la temporada de baño.....	96
Tabla 11. Acciones para conservación de la vegetación	97
Tabla 12. Comparación de costos reales de dos presupuestos para la construcción de una piscina en la ciudad de Kirchdorf, Alemania.	103
Tabla 13. Costes anuales de funcionamiento de una piscina pública de tratamiento biológico en Kirchdorf, Alemania, en comparación con una piscina pública convencional, ambas con una capacidad diaria de 300 bañistas.	105
Tabla 14. Determinación de parámetros a partir de Tabla 8	109
Tabla 15. Selección de plantas endémicas de Elche para plantación del biofiltro en biopiscina	115
Tabla 16. Costes de ejecución material de adaptación biopiscina	120
Tabla 17. Comparativa costes anuales de mantenimiento entre biopiscina y piscina convencional	121

1 JUSTIFICACIÓN

En un momento en que la escasez de recursos hídricos es patente y los argumentos para hacer un cambio de dirección forzado hacia la sostenibilidad son más que notorios, surge la necesidad de plantearse los cánones de vida actuales, y como parte de éstos, los procesos productivos que la motivan. Dentro de estos procesos, la construcción de elementos arquitectónicos es una actividad que, no solo ocupa gran parte del tejido productivo de las sociedades contemporáneas, sino que, además, consume infinidad de recursos durante su creación, uso y mantenimiento, que pueden sobrepasar varias generaciones. Con todo ello, este campo todavía se concibe, por lo general, como un generador de espacios ajenos a la naturaleza del entorno donde se ubican y la de sus habitantes pasados, presentes y futuros.

El agua, como componente principal en la biología y generador de núcleos de vida, no solo es el elemento fundamental para la supervivencia, también supone un espacio de esparcimiento en torno al que todas las culturas se han localizado y al que han dedicado parte importante de la actividad lúdica y social. Esto ha llevado a la creación de espacios acuáticos artificiales que requieren un gran consumo de recursos energéticos e hídricos, y que tratan el agua con químicos que la convierten en un medio inerte, no aprovechable para otros usos, que además puede poner en riesgo la salud de los bañistas. Por ello, las biopiscinas se plantean en este estudio como una alternativa a las tipologías convencionales que obvian la sostenibilidad en términos de consumo energético, hídrico, sanitario, paisajístico, y con todo ello, social.

Las biopiscinas no colonizan el entorno en el que se ubican, si no que aportan biodiversidad y hacen una utilización responsable del agua. También generan un agua que no resulta nociva para el uso humano, evitando la proliferación de sintomatología adversa asociada a la cloración como son las irritaciones oculares o de garganta, las alergias, y el cáncer.

Por todo ello, este trabajo pretende mostrar las biopiscinas como un ejemplo de integración en el medio y ofrecer una vía sostenible para el baño sin riesgos sanitarios, tratando de crear impactos positivos y de minimizar los negativos. Con ello se trata de crear una reflexión acerca de la concepción de la construcción con un fin menos invasivo, planteando nuevos criterios que no se basen únicamente en los parámetros convencionales, si no que entiendan como necesidades primarias otros términos que permitan una convivencia fluida con ellos y la biodiversidad existente.

Este tipo de piscinas son relativamente habituales en Centroeuropa desde hace décadas, sin embargo, en el estado español existe un desconocimiento generalizado sobre ellas y su funcionamiento. El hecho de que no existan una definición, ni concepción legal de las mismas, ni aparezcan reflejadas en el ámbito académico resulta una motivación para iniciar un trabajo de estas características, y con él, aportar unas bases que puedan resultar de impulso para su difusión y evolución en los ámbitos mencionados.

2 INTRODUCCIÓN

El término biopiscina (o muy habitualmente piscina naturalizada, o piscina ecológica) hace referencia a piscinas cuyo sistema de depuración del agua reproduce los ciclos naturales de filtración mediante áridos y flora macrófita. A diferencia de las piscinas convencionales, estas tratan de integrarse e interactuar con su entorno, optimizando así los procesos de depuración y funcionando de un modo autónomo.

La depuración biológica del agua permite prescindir de productos químicos como cloro, bromo o sal, así como de otros procesos físicos como radiación ultravioleta, todos ellos encaminados a la eliminación de vida orgánica, convirtiendo el agua en un medio estéril y que puede ser nocivo para el usuario provocando agresiones en piel, ojos, pulmones, la proliferación de sintomatología asociada como la aparición de alergias o incluso cáncer.

En la fitodepuración mediante el uso de plantas macrófitas, éstas translocan oxígeno desde la superficie hasta las raíces, favoreciendo a las colonias de microorganismos que participan en la eliminación de nutrientes en el agua, evitando la proliferación de algas, así como la aparición de otros microorganismos no deseados.

En la biopiscina existe a nivel formal una separación de la zona de baño con una zona de regeneración en la que ocurren los procesos más importantes de la fitodepuración. Ambas zonas variarán en proporción, así como en interrelación, dependiendo del grado de tecnificación que se establezca para complementar, o no, al biofiltro y del entorno con el que el sistema interactúe.

El agua de estas piscinas es lo que se denomina “agua viva”, y pertenece a un medio no estéril y en el cual existen bacterias que se encuentran en equilibrio ecológico con el sistema. Se requiere pues, un estudio previo a la planificación y ejecución de biotopos sobre la relación entre los agentes y factores intervinientes en estos sistemas complejos y su equilibrio natural.

Las biopiscinas, además promueven la biodiversidad en el entorno en el que se ubican, ayudando al desarrollo de especies de flora y fauna, mientras en los diseños de jardín convencionales predominan las plantaciones de césped o monocultivos (Thon A. , 2009; Abromas, Grecevicus, & Marcus, 2007).

3 CONTEXTUALIZACIÓN

El agua no es solo un recurso necesario para la supervivencia biológica, entre la que se encuentra el ser humano. A lo largo de la historia ha sido un núcleo de interacción social, ligada a la salud, e integrada en la rutina diaria de los pueblos. A día de hoy, el baño como actividad lúdica sigue siendo una práctica común en la sociedad (Littlewood, 2005; Ferreira A. , 2013; HCMA, 2016).

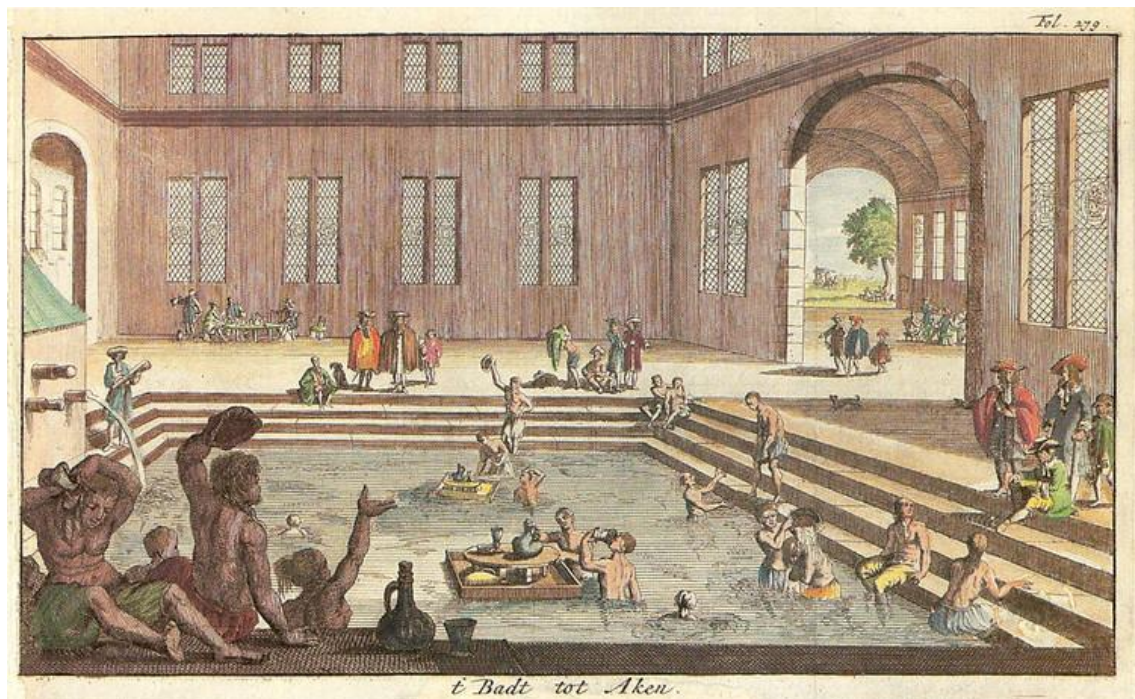


Fig. 1. Baños imperiales a finales del siglo XVII (Jan Luyken)

Fuente: Wikimedia (bajo dominio público, 2021)

Durante el siglo XIX se produjeron diversos brotes de enfermedades epidémicas, como el cólera o la poliomielitis, que se asociaron a una mala higiene de las poblaciones (HCMA, 2016). Desde entonces, esta preocupación fue una constante y el estímulo al baño se hizo notorio. Inicialmente se trató de fomentar el baño, ya fuera en agua corriente, ríos y lagos, o en piscinas, pero se planteaban otras preocupaciones con el creciente uso de fertilizantes y plaguicidas agrarios, que acababan contaminando los acuíferos, y consecuentemente los ríos y lagos, así como finalmente también las piscinas, lo que también suponía un notable riesgo sanitario (Littlewood, 2005; HCMA, 2016).

3.1 EL CLORO COMO ANTISÉPTICO

Los primeros datos que se conocen sobre el uso de cloro como antiséptico aparecen en 1854, cuando se utilizó en Inglaterra para combatir el cólera, y tuvo un uso regular en Bélgica a partir de 1902. El cloro era por entonces un subproducto en la obtención de hidróxido de sodio (principalmente usado en la fabricación de jabones) y en ese momento no se comercializaba ni se monetizaba en el mercado. Pronto sería un método de desinfección extendido por todo el mundo (Littlewood, 2005; HCMA, 2016; IOB, 2021).

Sin embargo, es en la década de 1980 cuando se evidencia que el uso de cloro no es inocuo para la salud. Aunque la adición de cloro se realice de manera controlada, los contaminantes introducidos por los bañistas (sudor, orina, cabello, o productos cosméticos como desodorantes, perfumes o cremas solares, entre otros), por la escorrentía de agua de lluvia, por la presencia de aves y otros animales, son difíciles de evitar. Cuando se agrega el cloro, junto con la materia orgánica presente en el agua, reacciona derivando en subproductos como trihalometanos y ácidos haloacéticos, (ambos cancerígenos). La introducción de materia orgánica rica en elementos nitrogenados también conduce a la formación de otros subproductos a base de nitrógeno, cloraminas, haloacetónitrilos y nitrosaminas (formas cancerígenas altamente potenciadoras). También se forma tricloramina, que al ser volátil se manifiesta en forma de un olor penetrante y altamente irritante, cuyos principales precursores son la urea, los iones amonio y los aminoácidos (Florentin, Hautemanière, & Hartmann, 2011; Villanueva & Font-Ribera, 2012).

A partir de este punto se implementaron algunas medidas para tratar de mitigar la presencia de materia orgánica en las piscinas, como aumentar los niveles de circulación de aire en piscinas cubiertas; el uso obligatorio de la ducha antes del baño; o incluso la reducción del tiempo de exposición. Pero, aun así, los riesgos de usar cloro como desinfectante no desaparecen. Los problemas derivados de la exposición a estos agentes desinfectantes se manifiestan a través de la irritación de ojos, piel y tracto respiratorio, una mayor probabilidad de desarrollar asma e incluso algunos tipos de cáncer (Littlewood, 2005; HCMA, 2016).

A pesar de los avances tecnológicos y de la creciente preocupación por el medio ambiente y la salud pública, a día de hoy el método más extendido en la desinfección de agua en piscinas sigue siendo el uso de químicos. Además de la contaminación provocada

por el vertido de estas sustancias, se hace un consumo indiscriminado de agua dulce (en un momento en que se reconoce como un recurso escaso) debido a la necesidad de renovación del agua en piscinas derivada de la degradación de ésta por el uso de químicos. Éste vaciado, además implica altos costes y riesgos para la conservación estructural de los vasos y de las instalaciones.

Ante toda la problemática expuesta, las biopiscinas presentan una alternativa saludable, ambiental, estética y económica. En este sentido, no existe gasto ligado al consumo de productos químicos para la desinfección y estabilización del agua, y los costes energéticos asociados a la conservación se ven considerablemente reducidos, pudiendo en algunos casos llegar a ser despreciables o inexistentes. Si se tiene en cuenta la estacionalidad, las piscinas convencionales no suelen tener rendimiento o incluso se clausuran desde otoño hasta primavera, convirtiéndose en tanques de agua sucia repletos de restos orgánicos. Las piscinas ecológicas, en cambio, ofrecen usos más extensos como puede ser la posible reutilización del agua en otros ámbitos como el riego de cultivos. Las biopiscinas no cumplen únicamente una función lúdica, sino que también favorecen la integración con el entorno e interaccionan con el ecosistema asociado (Littlewood, 2005).

3.2 ANTECEDENTES

Durante el siglo XVIII se desarrollan los primeros sistemas de filtración biológica. Su uso se da en Europa principalmente durante el siglo XIX y hoy en día, debido a su eficiencia y fácil implementación, se siguen utilizando en Asia, África y América, principalmente para potabilización.

En 1952 el instituto Max Plank, en Alemania, desarrolla el primer prototipo de fitodepuración aplicada a la depuración de aguas urbanas. Dos años más tarde se inicia un experimento similar, pero esta vez con la finalidad de depurar agua para el baño, en Graz (Austria) cuando Gottfried Kern implementa un lago de 190 m², de los cuales 35 m² serían útiles para natación.

En 1975 Richard Weixler basándose en el el prototipo de Kern, desarrolla otro proyecto de 1000 m² con 200 m² hábiles para baño, creando así el que se puede denominar como el primer estanque de baño (Schwimmteich o "estanque para nadar"). Weixler trata el agua de forma totalmente natural, sin servirse para ello de ningún producto químico. Era un diseño muy primitivo, carente de particiones interiores que delimitaran las funciones de baño y regeneración. En la década siguiente se desarrollan

algunos proyectos en los que se crean ecosistemas similares sin ningún equipo técnico, hasta que en 1983 Werner Gamerith desarrolla la primera piscina natural en sentido estricto, dividiendo con paredes internas sumergidas las áreas de natación y regeneración (Fig. 2) Actualmente sigue en funcionamiento.



Fig. 2. Piscina con separación de zonas diseñada por Werner Gamerith en 1983 en Austria.

Fuente: Natural Swimming Pools: Inspiration For Harmony With Nature (Littlewood, 2005)

En 1985 esta tipología de piscinas alcanza el circuito comercial a través de la empresa Biotop, fundada por el ambientalista austriaco Peter Petrich. Posteriormente surgieron otras empresas, como la Wassergarten (propiedad de Weixler), Bioteich en Suiza, o BioNova en Alemania, que seguirían proponiendo alternativas a las piscinas convencionales con sistemas ecológicos de depuración de agua (Littlewood, 2005; Santos, 2005).

Inicialmente, la construcción de estas piscinas era muy básica: los materiales utilizados se limitaban a una pantalla para impermeabilizar la piscina; rocas para la zona de división; arena y grava para el área de plantación. También se utilizaban vigas de madera para dividir las zonas. Con el avance de la tecnología, han surgido otros sistemas que ayudan a las plantas a depurar, aumentando así la eficacia y con ello la garantía de calidad del agua de baño (Littlewood, 2005; Santos, 2005).

Hasta este punto, las construcciones mencionadas solo tenían cabida en el ámbito privado, siendo en 1991 cuando en Austria (país con una larga tradición en el uso

recreativo de lagos y ríos) donde se creó la primera piscina ecológica de uso público. Más recientemente, se han construido y abierto al público piscinas públicas en Canadá (Edmonton, en 2011) y en Estados Unidos (en Minneapolis, Minnesota, en 2015) (Littlewood, 2005; Santos, 2005; IOB, 2021).

Hasta 2009 se contabilizan alrededor de 20.000 instalaciones en Europa. De ellas, unas 200 son de uso público. En países como Austria, Alemania o Suiza, existe regulación y en otros se aplica de forma genérica la normativa desarrollada a partir de la Directiva Europea para baño en aguas continentales DIRECTIVA 2006/7/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de febrero de 2000. La Fig. 3 muestra una estimación del número de piscinas por país, lo que permite apreciar la expansión geográfica del uso de piscinas ecológicas para fines públicos y privados (IOB, 2021).

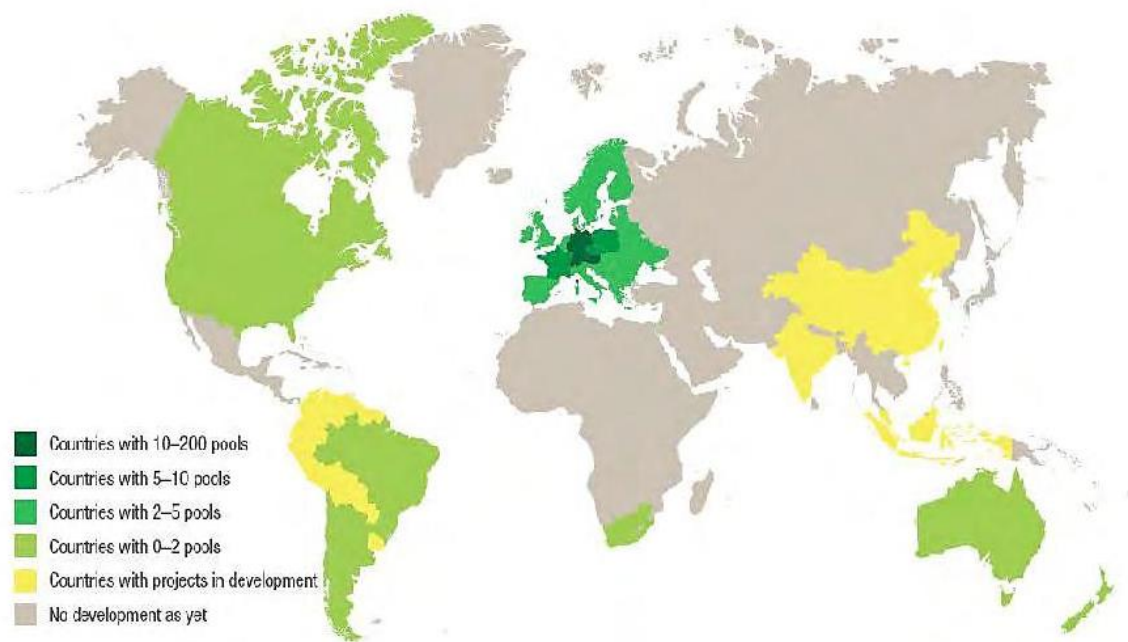


Fig. 3. Mapa de actividad internacional. Número total de grupos por país según intervalo.

Fuente: Internationale Organisation für naturnahe Badegewässer (IOB, 2016)

Debido a la falta de regulación y la difícil ubicación en el marco legal de esta tipología se crea en el año 2000 la Asociación Alemana de Constructores de Biopiscinas (VÖS), origen de la IOB (International Organization for Natural Bathing Waters) fundada en 2009, a la que también pertenece el GIABN (Grupo Ibérico de Aguas de Baño Naturalizadas). Desde estas asociaciones nacionales e internacionales, se establecen pautas y normativas

para intentar que el sector siga creciendo ordenadamente y fomentando los principios fundamentales: un agua biológicamente pura, conseguida por medios lo más amigables posibles con la ecología y el medio ambiente.

3.3 CONCEPTOS INICIALES

3.3.1 BIOTOPO

Según la Real Academia Española de la Lengua:

“Territorio o espacio vital cuyas condiciones ambientales son las adecuadas para que en él se desarrolle una determinada comunidad de seres vivos.”

3.3.2 FITODEPURACIÓN

Los sistemas de fitodepuración, también denominados humedales artificiales o fitodepuradoras, son sistemas de depuración natural que se sirven de la capacidad depurativa de determinados tipos de plantas propias de estos medios, y de su capacidad para transferir oxígeno al agua. Principalmente se utilizan sistemas de flujo sumergido (cuando el agua fluye por debajo de un medio filtrante) y sistemas de flujo superficial (cuando el agua está en contacto con la atmósfera).

Son sistemas muy eficientes debido a su bajo coste energético, a su integración en el ecosistema y a sus óptimos resultados depurativos. Además, los sistemas de fitodepuración necesitan muy poco mantenimiento y soportan con facilidad las variaciones de carga hidráulica y orgánica.

Los sistemas de fitodepuración pueden utilizarse para la totalidad del proceso depurativo o como sistemas complementarios para otros tratamientos. El elemento principal de la actividad depurativa de estos sistemas es la flora macrófita. Ésta contribuye en el desarrollo de la población microbiana aeróbica en las zonas cercanas a las raíces por la acción de transferencia de oxígeno atmosférico al agua, repercutiendo en una mejor oxigenación del agua residual y la creación de zonas alternas aeróbicas y anaeróbicas, con el consiguiente desarrollo de las bacterias beneficiosas y la desaparición de los patógenos, que no sobreviven a los rápidos cambios en la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

Tabla 1. Ventajas de la fitodepuración frente a otros métodos

	Depuradoras industriales	Otros sistemas	Fitodepuración
Consumo de energía			
Coste de instalaciones			
Mantenimiento			
Riesgo de averías			
Tiempo de puesta en marcha			
Rendimiento			
Superficie necesaria			
Calidad final del agua			

Fuente: Elaboración propia a partir de Fitofilter Water Ecosolutions (2021)

3.3.3 EUTROFIZACIÓN

La acumulación de materia orgánica en el agua ayuda a la proliferación de algas que se desarrollan y mueren, lo que genera más materia orgánica y nutrientes en un ciclo constante. A este ciclo se le denomina eutrofización.

Una vez se llega a este punto, la proliferación de algas unicelulares hace que se pierda la transparencia en el agua. Este parámetro no afecta a la salud humana, pero la eutrofización prosigue hasta la aparición de organismos patógenos perjudiciales. Estos

organismos aparecen en ausencia de luz solar y con la acumulación de materia orgánica en descomposición que generan situaciones anaeróbicas (Fig. 4).



Fig. 4. Masa de agua eutrofizada

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2021)

Para recobrar la calidad deseada en el agua de una piscina natural, se ha de cortar dicho ciclo de generación de biomasa. Con el fin de conseguir esto, se debe retirar la materia orgánica del sistema, eliminando así los nutrientes de los que se alimentan las algas. Las plantas acuáticas pueden realizar esta función. Se ha de tener en cuenta la existencia de diferentes tipos de algas eficaces a la hora de absorber los nutrientes del agua, haciendo o solo que estas sigan apareciendo, por tanto, se ha de facilitar que esta labor la realicen las plantas. Para conseguirlo se usará un filtro biológico.

3.4 ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS POR OTROS AUTORES

Existen pocos estudios sobre el diseño y estudio de las biopiscinas. Sin embargo, existe una amplia bibliografía donde quedan patentes los posibles efectos nocivos para la salud relacionados con el uso de productos clorados en piscinas tradicionales. Como consecuencia, en los últimos años han surgido estudios que proponen a las biopiscinas como alternativa a las piscinas cloradas. A continuación, se describen algunos de estos trabajos.

El estudio de los derivados de los productos clorados (DBP's) formados en piscinas debido al uso de desinfectantes clorados se origina en la década de los 80 y hasta el día de hoy, sigue siendo una preocupación para la salud del ser humano (Beech, Diaz, Ordaz,

& Palomeque, 1980; Aggazzotti & Predieri, 1986; Judd & Jeffrey, 1995; Chu & Nieuwenhuijsen, 2002). Desde entonces hasta ahora, se han identificado gran cantidad de DBP incluidos los trihalometanos (THM) y ácidos haloacéticos (HAA). Estos compuestos han sido documentados como peligrosos para la salud humana en diversos estudios (Haag & Gieser, 1983; Michalski & Mathews, 2007; Lee, Ha, & Zoh, 2009; Uyan, Carraro, Piacentini, & Baraldi, 2009; Gomà, de Lluís, Roca-Ferrer, Lafuente, & Picado, 2017; Weerawat, Kraisin, Suksaroj, Suksaroj, & Rattanapan, 2017; Carter & Joll, 2017; Andersson & al, 2018; Peng, y otros, 2020). La formación de estos subproductos depende de la higiene de los bañistas, el uso específico de la piscina y la naturaleza del agua de llenado (Zwiener, y otros, 2007; Weng & Blatchley, 2011; Keuten, y otros, 2014). Por otro lado, existen estudios que indican que la exposición a los DBP en piscinas mediante absorción dérmica, inhalación e ingestión, puede producir irritaciones y problemas respiratorios (Lévesque, Vézina, Gauvin, & Leroux, 2015; Villanueva, Cordier, Font-Riber, Salas, & Levallois, 2015), sobre todo en personas que por su actividad se ven obligados a pasar largos periodos de tiempo en contacto directo o indirecto con las piscinas cloradas, como en el caso de trabajadores de piscinas y deportistas (Thickett, McCoach, Gerber, Sadhra, & Burge, 2002; Goodman & Hays, 2008). Por último, se han realizado estudios que vinculan la genotoxicidad y mutagenicidad de aguas tratadas con cloro con la exposición a DBP y por lo tanto, la relación de estos compuestos con el desarrollo de cáncer (Honer, Ashwood-Smith, & Warby, 1980; Beddowes, Faux, & Chipman, 2003; Glauner & al, 2005; Yuan, y otros, 2005; Richardson, y otros, 2010; Kogevinas, y otros, 2010; Liviac, Wagner, Mitch, Altonji, & Plewa, 2010; Plew, Wagner, & Mitch, 2011; Du, y otros, 2013; Daiber, y otros, 2016).

Pese a la poca bibliografía existente en torno al campo de las biopiscinas, existen publicaciones que proponen el uso de estas piscinas como alternativa a la piscina tradicional, así como estudios sobre tipos de filtro biológico y mineral. Por otro lado, también resultan interesantes los trabajos dedicados al estudio y selección de flora, así como de otros factores que condicionan la calidad del agua en estanques artificiales construidos en espacios públicos y privados (Bus & Agnieszka, 2015; Kircher & Thon, 2007; Fondu, Decoster, Bo, & Hulle, 2010; Thon, Kircher, Pesch, Schmidt, & Thon, 2009).

Dentro de los trabajos dedicados al estudio de las biopiscinas se encuentra el realizado por Charles Durrant et al (2007). En este estudio se presenta un sistema para la desinfección natural en piscinas junto un sistema de calefacción el cual se alimenta por una fuente de energía renovable. El diseño consta de dos bombas, un sistema de filtración y desinfección de agua, y un sistema de calefacción. Este diseño mantuvo la calidad del

agua dentro de los estándares y proporcionó suficiente energía para calentar la piscina a 25°C.

Por otro lado, los beneficios del uso de biopiscinas han sido expuestos en diversos congresos. En 2013, se propone el uso de estos sistemas para mejorar el impacto ambiental y económico (Brotherhood, 2013). Poco después, en el 7º Encuentro de Educación Ambiental de Portugal se propone este tipo de bioconstrucción como alternativa a las piscinas cloradas por su impacto en la salud, en el medioambiente, economía y estética (Geraldés, Schwarzer, & Schwarzer, *Alternativas sustentables: el caso de las piscinas biológicas*, 2015). Esta última autora, ya había establecido previamente una relación entre las biopiscinas y los servicios ecosistémicos que ofrecen estos sistemas al ser humano (Geraldés, Schwarzer, & Schwarzer, 2014). Ese mismo año, Giampaoli et al (2014) analiza la normativa legal europea referente al mantenimiento o construcción de biopiscinas. En este estudio se refleja la ausencia de una normativa regulada por instituciones europeas o instituciones pertenecientes a los países que la conforman.

En los últimos años diversos autores se han centrado en el estudio de biopiscinas. Por un lado, Kircher et al distinguen 4 tipos de modelos básicos de piscinas que dependen del movimiento del agua, técnica de filtración, división y el tipo de construcción de la zona de baño (Kircher & Thon, 2016). Estos mismos autores prueban plantas de pantanos y pantanos oligotróficos con tres variantes diferentes de percolación de agua. Se obtuvieron buenos resultados, principalmente utilizando plantas de pantano (2018). Por otro lado, Quintero et al (Quintero, Guardia-Puebla, & Rodríguez-Pérez, 2017) evalúa en laboratorio el uso de humedales verticales como sistema de fitorremediación obteniendo valores de calidad del agua por debajo de los límites permitidos. Más tarde, A. Karczmarczyk (2019) estudia la posibilidad del uso de tres filtros minerales paralelos para la eliminación de fosfato del agua en biopiscinas. En ese mismo año, Cedeño et al (2019) plantea el uso de humedales de flujo vertical obteniendo valores por debajo de los valores máximos permitidos en cuanto a calidad del agua. Por último, Sánchez-Ríos (2020) propone las biopiscinas como una alternativa a las piscinas cloradas para eliminar la necesidad de tratamiento químico y gastos en procesos mecánicos y eléctricos, minimizando los requisitos de bombeo, y disminuyendo los posibles efectos nocivos para la salud.

4 OBJETIVOS

Este estudio pretende mostrar una alternativa a la concepción habitual sobre la construcción de elementos arquitectónicos y sus procesos de creación, en un momento en que se presenta como necesidad el considerar la sostenibilidad ecológica, sanitaria y social como factores fundamentales en los procesos productivos y, por tanto, también constructivos.

A través de la formalización de las biopiscinas, como tipología todavía incipiente, se plantea la posibilidad de concebir una construcción menos invasiva con el entorno y con los propios usuarios de este tipo de espacios lúdicos acuáticos.

A pesar de basarse en métodos naturales que empiezan a consolidarse en otras disciplinas, no existe una estandarización sobre las biopiscinas, y la información existente se encuentra muy dispersa o diluida en tratados sobre otras disciplinas. Encontrándose en su mayoría disponible en otros idiomas diferentes al castellano.

Por ello, y para el fin propuesto, se plantean los siguientes objetivos:

- Estudiar y definir la tipología a nivel conceptual, formal y legislativo, así como los parámetros que la conforman y su relación con el entorno.
- Crear una reflexión sobre el entendimiento de los elementos arquitectónicos como parte del entorno que los aloja, y así la necesidad de crear una arquitectura basada en la sostenibilidad que no obvie los espacios que habita, si no que actúe como generador de impactos positivos sobre este.
- Realizar una guía para el entendimiento, desarrollo, integración y mantenimiento de biopiscinas de nueva construcción, y la adaptación a esta tipología de piscinas convencionales ya existentes, que pueda servir como base para generar posteriores trabajos que ayuden a desarrollar esta tipología, especialmente en el ámbito académico.

5 METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este estudio se divide en:

- Definición del objeto de estudio
- Búsqueda de información
- Traducción y organización sistemática de la información
- Análisis de la información
- Redacción del documento.
- Aplicación a un caso de estudio.

En primer lugar, se ha definido la cuestión de estudio con el fin de acotar y enfocar el campo de búsqueda. Aquí la falta de regulación y estandarización de la terminología, así como su escasa comercialización hacen patente la necesidad de afrontar el estudio desde la mera definición etimológica del objeto de estudio.

Seguidamente, se ha realizado una extensa búsqueda bibliográfica en libros, revistas de divulgación, investigación, diseño, en actas de congresos, normativas, y otros estudios de diferentes campos, aplicando criterios de selección para detectar la información relevante. Llegados a este punto se continúa evidenciando la necesidad de extender y desarrollar este campo a pesar de los resultados positivos que demuestra su aplicación. Una parte significativa de la información encontrada procede de disciplinas de estudio diferentes a la arquitectura y la ingeniería, pero resultan esenciales para llegar a un entendimiento completo.

Con el material encontrado, se ha procedido a la traducción y organización sistemática de la información encontrada para ser analizada y estructurada posteriormente. Tras esta organización, se ha seleccionado y ordenado la información considerada de utilidad prioritaria, identificando así los principales aportes de interés para este trabajo mediante un análisis profundo de los documentos.

Una vez analizada toda la información, se ha procedido a la redacción del estudio que contiene una propuesta de definición, su clasificación en base a diferentes parámetros, un estudio de su funcionamiento y los elementos que la integran y definen, los factores de sostenibilidad e integración en el entorno, así como la descripción de los procesos de desarrollo de modelos y su mantenimiento.

Una vez estructurado y asimilado este estudio, se ha realizado una propuesta de adaptación de una piscina convencional clorada en el término municipal de Elche a biopiscina, planteando las pautas de elección de parámetros y diseño, así como otras cuestiones de adaptabilidad al medio como la selección de plantas.

6 DEFINICIÓN DE BIOPISCINA

Los términos biopiscina, piscina biológica, piscina naturalizada, piscina ecológica o estanque de natación, se encuentra todavía habitualmente definidos de forma ambigua, tanto legal, como etimológicamente.

De aquí en adelante y sobre este estudio, se hará referencia a esta tipología como biopiscina.

6.1 UBICACIÓN EN EL MARCO LEGAL

La normativa actual no contempla una definición de biopiscina. Si bien para el uso particular esto no plantea problemas, es en su uso público donde se debe acotar con más precisión este concepto, atendiendo sobre todo a los aspectos higiénicos y sanitarios.

Según el Real Decreto 742/2013 se define:

“Piscina: Instalación formada por un vaso o un conjunto de vasos destinados al baño, al uso recreativo, entrenamiento deportivo o terapéutico, así como las construcciones complementarias y servicios necesarios para garantizar su funcionamiento. Pueden ser descubiertas, cubiertas o mixtas.”

“Piscina natural: Aquella en la que el agua de alimentación del vaso es agua costera o continental, está ubicada junto a su medio natural, y la renovación del agua está asociada al movimiento natural de mareas o cursos de ríos y se encuentra dentro del ámbito de aplicación del Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.”

En términos higiénico sanitarios existen por tanto dos ámbitos de aplicación en función de si se considera piscina (Real Decreto 742/2013) o piscina natural (Real Decreto 1341/2007).

Si se aplican los criterios de desinfección de los sistemas biológicos de tratamiento natural de agua, no se consiguen los parámetros establecidos para los tratamientos químicos o físicos a tal fin. Por otro lado, las piscinas naturales, están asociadas a la renovación mediante al curso natural del agua, mientras que, en los sistemas biológicos de tratamiento de agua, la renovación de los vasos de baño se suele realiza mecánicamente. Existen otras directivas y estándares para regular las actividades acuáticas, los requisitos de seguridad para la operabilidad, los requisitos de seguridad para

la construcción, etc., pero los estándares para regular la calidad del agua de las piscinas ecológicas aún no tienen base legal.

6.2 PROPUESTA DE DEFINICIÓN

Existe una falta de legislación en el estado español sobre la biofiltración asociada a espacios acuáticos de uso lúdico. Para suplir esta falta, se han creado grupos de expertos en esta área con el fin de crear normativas que unifiquen los parámetros a utilizar en la construcción, operabilidad y mantenimiento de biopiscinas de uso público (también a nivel doméstico), así como, y fundamentalmente, determinar los parámetros de calidad del agua.

Austria (ÖNORM), Alemania (FLL), o Francia (AFFSET) han desarrollado normativas con base legal, así como directrices de entidades especializadas en esta tecnología. La más extendida en su utilización es la elaborada por el grupo FLL. Las directrices FLL están dirigidas a la planificación, construcción, inspección, uso y reparación de biopiscinas, aplicándose a piscinas de uso público, comercial y privado. Sin embargo, no se aplican a piscinas que utilizan agua de mar o salada, piscinas naturales y piscinas naturales con tratamiento de agua (FLL, 2013).

Uno de los grupos más referenciados es la Organización Internacional para el Agua de Baño Natural (IOB), con sede en Bremen, Alemania, que aúna a 12 organizaciones nacionales de países de todos los continentes. Una de estas organizaciones es el Grupo Ibérico de Aguas de Baño Naturalizadas (GIABN), grupo al que pertenece España junto a Portugal. Estas entidades han desarrollado algunas propuestas para asegurar una uniformidad de parámetros a ser adoptados por los proyectistas, diseñadores, contratistas, usuarios de piscinas, entidades oficiales, así como cualquier persona relacionada con estas nuevas técnicas de depuración

EL GIABN de acuerdo con las definiciones de otros organismos asociados europeos define piscina naturalizada o lago de baño como: *“cuerpos de agua dedicados a fines lúdicos, impermeabilizados, dotados de una parte destinada a baño y otra destinada a depuración del agua a través de procesos biológicos y mecánicos”*.

Es por tanto una biopiscina, creada artificialmente. Son construcciones artificiales con agua confinada y aunque le es aplicable en muchos de sus aspectos la normativa vigente de piscinas, para ubicarla respecto a los aspectos higiénico sanitarios se aconseja la

aplicación de la normativa de calidad de agua piscinas naturales o un modelo más restrictivo de ésta. Por tanto, se puede definir biopiscina de un modo más completo como: instalación formada por un vaso o conjunto de vasos destinados al baño, al uso recreativo, deportivo o terapéutico, así como las construcciones complementarias y servicios necesarios para garantizar su funcionamiento, en las que se crea de forma artificial y por métodos biológicos un agua de calidad higiénico sanitaria similar a las aguas naturales que son aptas para el baño.

7 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN BIOPISCINAS

Aunque en España las biopiscinas de uso público todavía se encuentran únicamente de forma residual, no ocurre lo mismo en otros países europeos. Uno de los países que más ha desarrollado esta tipología en el uso público es Alemania, habiendo incluso instituido toda una legislación a respetar en la construcción y uso de estas piscinas. El más significativo es el elaborado por el grupo FLL, que en 2011 (2013 para la versión digital) publicó su lista de normas más reciente y que puede servir de referencia para la aplicabilidad de este tipo de piscinas, dado que la legislación española aún no cubre este tipo de usos e instalaciones. La calidad del agua de estas biopiscinas estará sujeta a las condiciones ecológicas, el tipo y frecuencia de uso, las estructuras y técnicas utilizadas, y la estabilidad ecológica será fundamental en este sistema y depende de la comunidad biológica de ese lugar (FLL, 2013).

El uso intensivo de la piscina introducirá grandes cantidades de impurezas por parte de los bañistas y provocará cambios considerables en el sistema de producción (en todo el nivel trófico). Para su eliminación es necesario asegurar una zona de regeneración adecuada al tamaño de la piscina e instalar medidas complementarias que ayuden a la depuración del agua y optimicen al máximo las condiciones ecológicas. Sin embargo, la premisa principal es la salud de los bañistas, y esto reemplaza todas las demás limitaciones (FLL, 2013).

Otro factor importante se refiere al seguimiento de todo el sistema, el cual debe ser continuo y respetar los valores de referencia para los parámetros establecidos (FLL, 2013).

7.1 PARÁMETROS FÍSICOS

Puede soportar durante cinco días valores de hasta 28 °C. Si estos valores persisten podrían provocar el crecimiento de patógenos (FLL, 2013).

El agua se puede calentar por medios técnicos, sin embargo, se debe considerar el calentamiento por insolación. Si la temperatura del agua es superior a 23 °C, es conveniente apagar el sistema de calentamiento artificial (FLL, 2013).

Los valores base a tener en cuenta se describen en la Tabla 2:

Tabla 2. Parámetros físicos en la zona de nado.

Nº	Parámetro	Valor recomendado	Valor mínimo
1	Saturación de Oxígeno	80 – 120%	-
2	Transparencia en profundidad	Hasta el fondo	1,80m
3	Temperatura de agua	≤ 25 ° C	-

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

7.2 PARÁMETROS QUÍMICOS

Para considerarse una biopiscina, el agua de esta o puede contener concentraciones de sustancias químicas que sean perjudiciales para la salud pública o que puedan dañar el ecosistema natural. Si existen sospechas de concentraciones superiores a las asumibles, se deberán realizar los análisis de agua pertinentes (FLL, 2013).

7.2.1 LLENADO Y REPOSICIÓN DE AGUA

El agua utilizada para el llenado inicial de la piscina es determinante para la adaptación de los factores biológicos a los parámetros físico-químicos básicos y debe corresponder a los indicados en la Tabla 3. Esta agua solo debe usarse para llenar inicialmente la piscina o para compensar casos de pérdida de agua por evaporación, y no debe usarse para contrarrestar un mal funcionamiento del área de regeneración (FLL, 2013).

Si fuera necesario reponer diariamente más del 3% del agua total, se deberá examinar el sistema y determinar la causa de la pérdida de agua (FLL, 2013).

Tabla 3. Valores químicos recomendados para el llenado de agua (después del tratamiento si éste fuera necesario)

Nº	Parámetro	Valor recomendado
1	Amoniaco	≤ 0,5 mg / l
2	Hierro	≤ 0,2 mg / l

3	Fósforo total (FTotal F)	$\leq 0,01$ mg / l
4	Dureza (alcalinidad total)	$\geq 1,0$ mmol / l
5	Conductividad	≤ 1000 μ S / cm a 25 ° C
6	Manganeso	$\leq 0,05$ mg / l
7	Nitrato	$\leq 50,0$ mg / l
8	Valor de pH	6,0 - 9,0
9	Capacidad ácida	$\geq 2,0$ mmol / l

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

7.2.2 AGUA DE LA ZONA DE BAÑO

Se aplican los valores indicados en la Tabla 4:

Tabla 4. Valores recomendados para el agua de la zona de baño

Nº	Parámetro	Valor recomendado
1	Amoniac	$\leq 0,3$ mg / l
2	Fósforo total (FTotal F)	$\leq 0,01$ mg / l
3	Dureza (alcalinidad total)	$\geq 1,0$ mmol / l
4	Conductividad	200 - 1000 μ S / cm a 25 ° C
5	Nitrato	$\leq 30,0$ mg / l
6	Valor de PH	6.0 - 8.5 (excepcional hasta 9) \geq
7	Capacidad ácida	2.0 mmol / l

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

7.2.3 AGUA PURA

El agua pura es la que se obtiene después del proceso de filtración y depuración biológica y antes de volver a entrar en la zona de baño. A excepción del valor de amoníaco (para $\leq 0,1$ mg / l), se recomiendan los mismos valores que los mencionados para el agua de la zona de baño Tabla 5.

Tabla 5. Valores recomendados para el agua después de la purificación

Nº	Parámetro	Valor recomendado
1	Amoníaco	$\leq 0,1$ mg / l
2	Fósforo total (FTotal F)	$\leq 0,01$ mg / l
3	Dureza (alcalinidad total)	$\geq 1,0$ mmol / l
4	Conductividad	200 - 1000 μ S / cm a 25 ° C
5	Nitrato	$\leq 30,0$ mg / l
6	Valor de pH	6.0 - 8.5 (excepcionalmente hasta 9)
7	Saturación de oxígeno	$\geq 80\%$
8	Capacidad ácida	$\geq 2,0$ mmol / l

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

7.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Las poblaciones de caracoles deben reducirse al mínimo, especialmente en la zona de baño, ya que *“son precursores de infecciones en las cercas (Schistosolum sp) después de penetrar la piel humana (las vallas utilizan al caracol como hospedador, en el agua penetran la piel de los seres humanos provocando dermatitis de los bañistas)”* (FLL, 2013).

“En cuanto a los seres microscópicos, como las algas, el fitoplancton o el zooplancton, también se deben tomar algunas precauciones. Así, en cuanto a las algas, estas son parte del sistema y no se necesitan acciones específicas a menos que estén ocurriendo en una alta concentración. En esta situación, competirán con las plantas por los nutrientes e

incluso pueden eliminar estas últimas del sistema, además de ser antiestéticas para el uso de la zona de baño” (FLL, 2013).

"El fitoplancton, debería consistir principalmente en diferentes especies de algas verdes (Clorofita), las diatomeas Bacillariophyceae), y especies del filo criptofito" (FLL, 2013).

El zooplancton, juega un papel muy importante en la purificación del agua, ya que filtrarán fitoplancton, algas, microorganismos patógenos y otras partículas, manteniendo el equilibrio (FLL, 2013).

Tabla 6. Valores biológicos recomendados para la zona de baño

Nº	Parámetro	Valor recomendado
1	Fitoplancton	$\leq 0,1 \text{ mm}^3 / \text{allí}$

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

7.4 PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS SANITARIOS

En este punto, se caracterizan los parámetros relacionados con los patógenos causantes de enfermedades para las diferentes áreas de la piscina.

La contaminación fecal del agua de baño es uno de los mayores riesgos para quienes utilizan estas piscinas para bañarse. Este tipo de contaminación es provocada por algunos hábitos menos adecuados de los bañistas, como la liberación de heces o la mala higiene, también puede ser provocada por agua contaminada que ingresa al sistema, o por contaminación indirecta por animales como aves o roedores. La contaminación no fecal también es un factor de riesgo y es causada por la introducción de sustancias orgánicas como saliva, piel u otras segregaciones por parte de los bañistas (Casanovas-Massana & Blanch, 2013).

7.4.1 AGUA EN LA ZONA DE BAÑO

Si se superan los valores máximos, se deberán tomar medidas tanto estructurales como operativas para volver a alcanzar los valores recomendados y estabilizar el sistema (FLL, 2013).

Tabla 7. Valores máximos para parámetros microbiológicos sanitarios

Nº	Parámetro	Valor recomendado
1	Escherichia coli	≤ 100 ufc / 100 ml (1)
2	Enterococos	≤ 50 ufc / 100 ml (1)
3	Pseudomonas aeruginosa	≤ 10 ufc / 100 ml (1) (2)
4	Legionella (3)	Por debajo del límite de detección en 100 ml

(1) ufc - unidad formadora de colonias. "Estos organismos no son patógenos en sí mismos, pero sirven como indicadores de la presencia de microorganismos patógenos".

(2) "Las experiencias prácticas han demostrado que la toma de muestras y la determinación de la presencia de Pseudomonas aeruginosa debe hacerse con precauciones especiales".

(3) "El muestreo regular de legionela sólo se necesita en piscinas con calefacción artificial".

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

7.4.2 AGUA PURA

La medición de parámetros de calidad del agua después del proceso de depuración, ya sea ésta biológica o por medios mecánicos, no deben alcanzar los valores máximos expuestos en la Tabla 2 (FLL, 2013).

8 FUNCIONAMIENTO DE LAS BIOPISCINAS

8.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

La biofiltración reproduce el sistema de lagos, humedales y riberas de ríos. Para ello se utiliza un filtro de capas de áridos de diferentes granulometrías y texturas, que separan mecánicamente los contaminantes y sirven de soporte para alojar colonias de bacterias aeróbicas, destinadas a descomponer la biomasa en nutrientes y sales minerales que son absorbidos por las plantas acuáticas que se encuentran en la zona de regeneración. Estas, a su vez, también absorben dióxido de carbono y liberan oxígeno, vital para el correcto mantenimiento de las bacterias benéficas. Para una correcta labor fotosintética de las macrófitas se requiere de una adecuada exposición solar. Este ciclo simbiótico conforma un ecosistema ecológico absolutamente natural, libre de cualquier agente externo.

No se trata de un equilibrio estático. Se ve alterado a lo largo del tiempo, y varía con los factores externos, especialmente con los climáticos, como temperatura, incidencia de la luz solar y las precipitaciones. Estos factores alteran el equilibrio del sistema, variando parámetros como el pH o la estética.

Este sistema, así concebido, es más efectivo cuanto más grande es la superficie de agua y precisa de una profundidad de entre 2 y 3 m según los casos. En la medida en que estos parámetros decrecen el equilibrio se vuelve más inestable. Cuando la superficie es inferior a 25 m² la filtración biológica resulta ineficiente e inestable sin apoyo de equipo complementario.

Los factores que dificultan esta labor son la temperatura, la exposición solar y en general las climatologías extremadamente cálidas o tropicales, que vuelven el ambiente biológico que se precisa muy frágil e inestable. Bajo estas condiciones climatológicas las sesiones cálidas son mucho más largas o incluso duran todo el año, con escasas variaciones. El aire se encuentra permanentemente cargado de polen, semillas y elementos que, al ser atrapados en el agua, se descomponen rápidamente, aumentando la carga de biomasa. Dilatadas épocas de lluvias y la exposición solar diaria también, todo ello puede aumentar el carácter eutrófico del agua y favorecer el crecimiento de algas. En los casos adversos, se deben sobredimensionar todos los parámetros.

Ante estas situaciones adversas es posible recurrir a la ayuda de la tecnología como factor de apoyo para reforzar la acción mecánica con bombas centrífugas que hagan fluir el agua a través de los filtros, incrementando su tiempo de funcionamiento y añadir

sistemas de filtración de superficie (skimmers), aumentar mecánicamente la oxigenación del agua, o incluso colocar retenedores de fósforo que impidan una explosión repentina de algas ante la que colapse el procedimiento biológico. Se recurre también a filtros mecánicos de última generación que sustituyen incluso el filtro de capas de grava, que realizarán su labor. Con niveles de tecnificación elevados, el refuerzo a la acción biológica y mecánica del filtro permite obviar las limitantes en lo referente a superficie y profundidad.

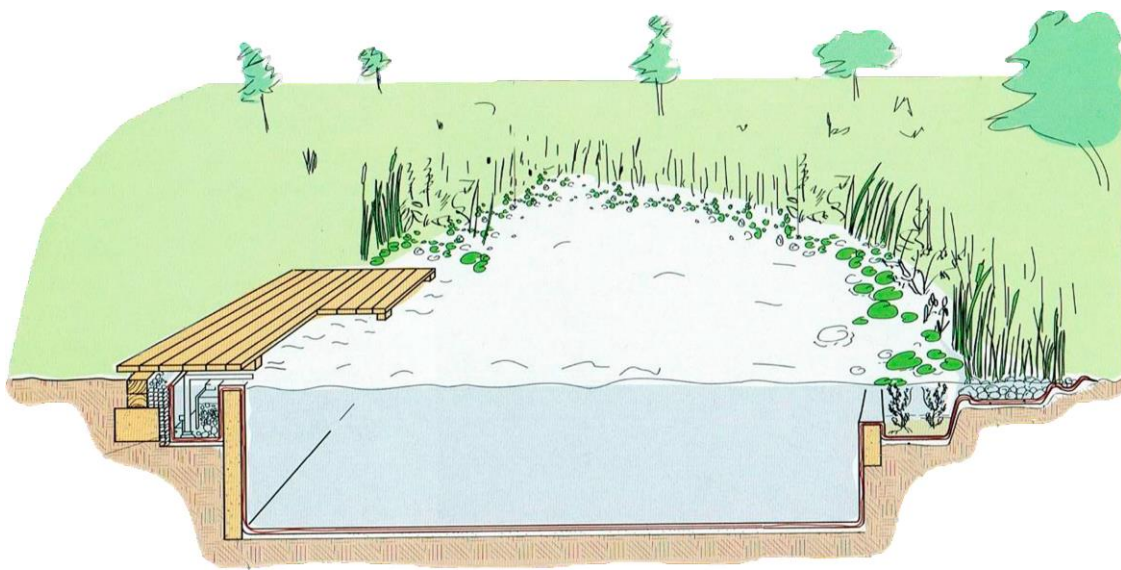


Fig. 5. Sección de una biopiscina

Fuente: Natural Swimming Pools. Inspiration For Harmony With Nature (Littlewood, 2005)

8.2 CICLO DEL AGUA EN LAS BIOPISCINAS

Las piscinas naturales aprovechan la capacidad de las plantas para absorber impurezas y nutrientes del agua, limpiándola sin la utilización de productos químicos. Las bacterias dañinas son destruidas por los organismos acuáticos y la radiación ultravioleta, garantizando una calidad del agua apta para el baño (Santos, 2005; Lecoq, 2014).

El agua de la zona de baño se conduce a las zonas de filtración biológica y filtración mecánica, si la hubiera. El agua tratada se vuelve a introducir en el sistema a través de una bomba, o por gravedad (Fig. 6).

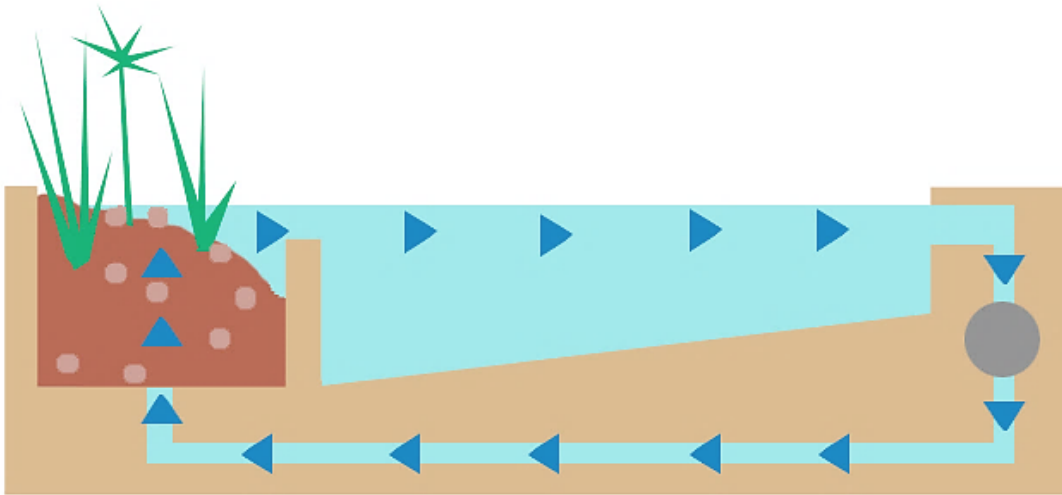


Fig. 6. Esquema flujo del agua en una biopiscina

Fuente: Elaboración propia

En general, el objetivo es controlar el crecimiento de bacterias y algas nocivas; controlar la cantidad de fósforo en el agua; y regular el volumen de agua para que la capacidad de eliminación de los distintos tipos de filtros se produzca de forma eficiente y se mantenga estable (HCMA, 2016; IOB, 2021).

La depuración se realiza en el área de filtración biológica (área de regeneración), donde los microorganismos actúan como descomponedores de materia orgánica y bacterias (como *Escherichia coli*, entre otras), y donde las raíces de las plantas actúan como filtros de sustancias inorgánicas descompuestas (agua, dióxido de carbono, sales minerales, fosfatos, nitratos, sulfatos, nitrógeno, etc.). Estos tienen así una fuente de alimento para que puedan crecer y desarrollarse (Littlewood, 2005).

Los sustratos que se utilicen también serán importantes para mantener el funcionamiento del ecosistema. Si se usaran sustratos normales como el suelo, traerían un aporte de nutrientes en el sistema que causarían un crecimiento descontrolado de algas y otros microorganismos dañinos. Si las plantas marginales se plantan en grava fina o grava, se verán obligadas a recoger los nutrientes del agua y consecuentemente entrar en el proceso de limpieza de la piscina (Littlewood, 2005; Lecoq, 2014). Se pueden considerar como aporte inicial para potenciar las macrófitas frente a la aparición de algas el uso de sustratos de liberación controlada (lenta).

El sistema combina así la limpieza realizada por las plantas con los filtros y skimmers, por lo tanto, no es necesario agregar ningún producto químico al sistema. Las piscinas

ecológicas funcionan casi como un lago natural, pero con la diferencia de que son un sistema aislado sin fugas al exterior (aunque el agua de lluvia, por ejemplo, puede ingresar al sistema); y como biotopo para una variedad de organismos, ya sean plantas, insectos o animales, así como para una experiencia de baño completamente natural (Littlewood, 2005; Santos, 2005; Lecoq, 2014; HCMA, 2016).

Como adyuvantes del ecosistema, el uso de skimmers y bombas ayudará a hacer circular el agua y consecuentemente limpiarla. La circulación que proporcionan estos sistemas debe provocar un ligero movimiento para que no se produzcan efectos negativos para los microorganismos. El uso de estos sistemas crea flujos provocados por el contraste de las capas de agua a distintas temperaturas, y así contrarrestan el efecto de estratificación por diferencias de profundidad, evitando condiciones favorables para el crecimiento de algas (Littlewood, 2005; Santos, 2005).

Independientemente de que el proyecto tenga una u otra configuración o diseño, siempre tendrá que estar compuesto por dos zonas: una para el baño y otra para la regeneración (ya sea con plantas y/o con de filtros más o menos elaborados, pero siempre sin el uso de productos químicos) y aislado por una impermeabilización para evitar fugas de agua al exterior del sistema (Littlewood, 2005; Santos, 2005; Lecoq, 2014).

Otros recursos como cursos de agua, arroyos, fuentes o cascadas, entre otros, pueden ayudar a una estética más atractiva y en la circulación del agua. Se debe evitar el estancamiento, y el agua debe estar siempre en movimiento entre las zonas para que se produzca una limpieza más eficaz, ya que la depuración se produce tanto en la zona de regeneración, como en la de baño y la de filtración mecánica (si la hubiera) por los diferentes organismos (Littlewood, 2005; Santos, 2005; HCMA, 2016).

Según FLL (2013), así como otros autores, la profundidad de la zona de baño de las piscinas ecológicas varía entre 1,8 m y 3 m según el tipo de uso, sin plantas y debe estar separada de la zona de regeneración por una barrera (que puede ser de varios tipos de materiales) que impide que las plantas progresen hacia la zona de baño. Esta barrera puede configurarse para dejar pasar el agua a ambos lados o actuar como una pared que impide el paso del agua entre zonas (en caso de que la regeneración no se produzca en el mismo cuerpo de agua que el baño).

8.3 EL ECOSISTEMA DE UNA BIOPISCINA

El principio de funcionamiento de una piscina ecológica es muy similar al de un lago e implica la interacción de varios componentes como plantas, animales, luz solar, nutrientes disponibles, temperatura y diversos parámetros químicos (pH, contenido de oxígeno, dureza del agua, etc.) para asegurar su correcto funcionamiento en la limpieza del agua y así garantizar la buena calidad de ésta (Littlewood, 2005; Santos, 2005).

Hay varios parámetros que afectan a la calidad del agua, como el tamaño y la morfología de la piscina (principalmente la profundidad), la superficie de agua expuesta a la atmósfera (lámina de agua), el pH del agua; las especies vegetales utilizadas en el área de regeneración; y las especies de organismos animales que pueblan la piscina (Littlewood, 2005). Las piscinas más grandes permitirán que una mayor variedad de seres vivos la habiten y por tanto un equilibrio más estable. La profundidad es importante en este caso, ya que influirá en la temperatura del agua. Cuanto más profunda sea la piscina, menos probable será la variación acentuada en la temperatura del agua y, en consecuencia, la perturbación del ecosistema (Littlewood, 2005; Santos, 2005).

8.3.1 CICLO DEL ECOSISTEMA DE UNA BIOPISCINA

El funcionamiento de un sistema de piscina natural es sencillo e implica varios ciclos con el fin de depurar el agua mediante procesos naturales. Estos ciclos están garantizados por seres microscópicos que habitarán el medio acuático y, común a cualquier organismo, necesitarán energía y compuestos orgánicos para su supervivencia (McKane & Kandal, 1996).

El ciclo base lo realizan organismos autótrofos que convierten el dióxido de carbono, junto con el agua y la luz del sol en compuestos orgánicos que necesitan para su supervivencia. Estos son los productores de ecosistemas y sirven como alimento para todos los demás organismos heterótrofos (McKane & Kandal, 1996). Los seres autótrofos son organismos fotosintéticos como las cianobacterias, las algas y las plantas. Los seres heterótrofos o consumidores del ecosistema, son todos los demás seres que habitan los ecosistemas

A su vez, cuando estos organismos mueren, son descompuestos (o mineralizados) por hongos y otras bacterias. Éstos son los descomponedores, que mineralizarán los compuestos orgánicos retenidos en esos organismos, transformándolos en compuestos

inorgánicos, reemplazándolos así en el sistema (McKane & Kandal, 1996). A su vez, las plantas acuáticas también absorberán dióxido de carbono y liberarán oxígeno al agua. Si el agua está suficientemente oxigenada, apoyará todas las formas de vida en la piscina y, a su vez, ayudará a limpiar el agua (Littlewood, 2005).

Así pues, en la interacción de los organismos del ecosistema se tienen los productores primarios (algas y plantas acuáticas) que trabajan para consumir dióxido de carbono, transformándolo en compuestos para plantas y oxígeno para animales. Estos, a su vez, consumirán algas, moscas de agua, pequeños crustáceos y zooplancton. Por otro lado, estos animales son luego consumidos por insectos que habitan en el ecosistema (como sastre de arañas, escarabajos o larvas de libélulas). Con el ciclo completo las plantas, el ciclo de nutrientes, los animales y el zooplancton, eventualmente perecerán y se acumularán en los fondos de la piscina y la zona de regeneración. Estos luego son utilizados por las bacterias en descomposición, proporcionando nutrientes para las plantas y las algas nuevamente (McKane & Kandal, 1996; Littlewood, 2005; HCMA, 2016).

El sistema estará en equilibrio cuando haya una actividad estable entre las plantas y las algas. Sin este equilibrio, se producirían procesos de eutrofización que llevarían a la destrucción del sistema de la piscina (Littlewood, 2005; Santos, 2005). Así, cuanto más variedad de organismos haya en el sistema, mayor será la probabilidad de que se mantenga estable y funcionando en todos sus aspectos (Littlewood, 2005).

El ciclo de descomposición de nitrógeno (N) es uno de los más importantes en materia de salud pública ya que implica la eliminación de compuestos que, si se presentan en grandes cantidades, pueden ocasionar complicaciones a la salud de los bañistas. Estos compuestos son amoníaco (NH_3) y nitrito (NO_2) (siendo este el más dañino de los dos) y aparecen naturalmente durante este ciclo (Littlewood, 2005; Santos, 2005).

La primera etapa es la fijación de nitrógeno atmosférico en el medio por cianobacterias y otras bacterias de vida libre. Luego, el agua llamada "sucia" (antes de pasar a la zona de filtración) será conducida al biofiltro, donde las bacterias heterótrofas en descomposición serán fundamentales para mineralizar la materia orgánica de los desechos vegetales y animales en amoníaco (NH_3) e iones de amonio (NH_4^+), dióxido de carbono y agua. Después de este proceso, las bacterias nitrificantes (nitrosomas) usarán formas de amoníaco para convertirlo en nitrito (NO_2), y después de eso, las nitrobacterias convertirán este último en nitrato (NO_3) fácilmente eliminado del sistema por las plantas como un nutriente para su crecimiento (McKane & Kandal, 1996). Ambos compuestos deben ser monitoreados durante la primavera para asegurar su control.

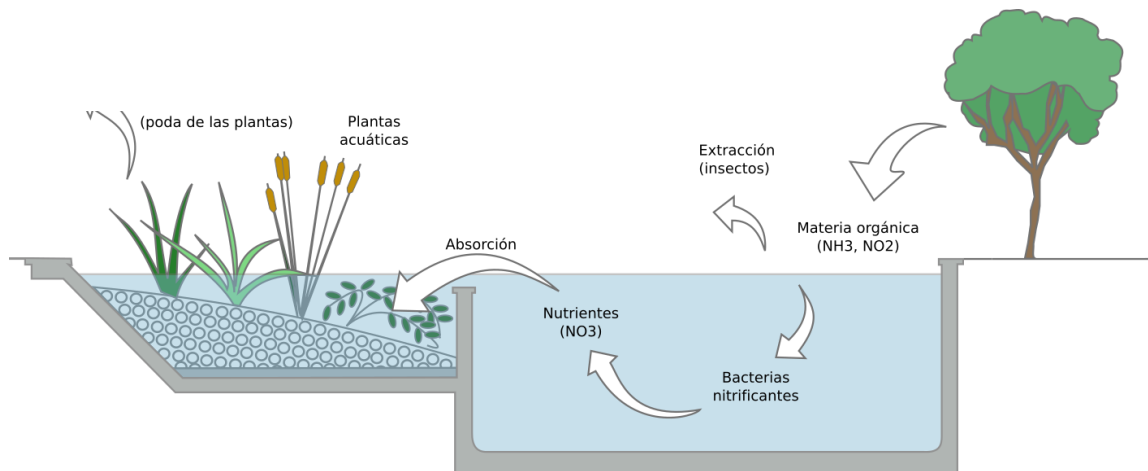


Fig. 7. Ciclo del nitrógeno

Fuente: Elaboración propia a partir de SingularGreen (2021)

En la primera fase, el amoníaco alcanza su máxima concentración, y aproximadamente una semana después le toca al nitrito alcanzar su máxima concentración. Solo cuando las concentraciones de estos dos compuestos se encuentren en niveles ínfimos se podrá considerar el sistema en equilibrio y, para ello, debe haber bacterias nitrificantes en cantidad suficiente para mantener estos compuestos en niveles aceptables y evitar la proliferación de algas en el agua de la piscina. especialmente en primavera, ya que es cuando comienza el ciclo de crecimiento de la planta y, como tal, no hay un consumo activo de nitrato por parte de esta última (Littlewood, 2005; Santos, 2005; HCMA, 2016).

Aunque no se describirá como un ciclo, el fósforo es otro nutriente importante para el sistema. Éste se necesita en cantidades muy pequeñas para desencadenar el crecimiento de algas. Existe en las proteínas, en el ácido ribonucleico (ARN), en la pared celular, así como en el ciclo de transferencia de energía llamado Adenosina Trifosfato (ATP) que ocurre en todos los sistemas orgánicos (Mariner, 2014).

El fósforo aparece en el sistema por la mineralización de sustancias orgánicas como plantas y algas, que se decantan al fondo de la piscina, y se puede encontrar en el agua bajo varias especies (como H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-}), pero el fosfato soluble (ion ortofosfato, PO_3^{4-}) es lo que más problemas plantea (Ferreira A. , 2007), ya que es la fuente de fósforo principal para el fitoplancton y las bacterias (Mariner, 2014) y, en consecuencia, para las algas.

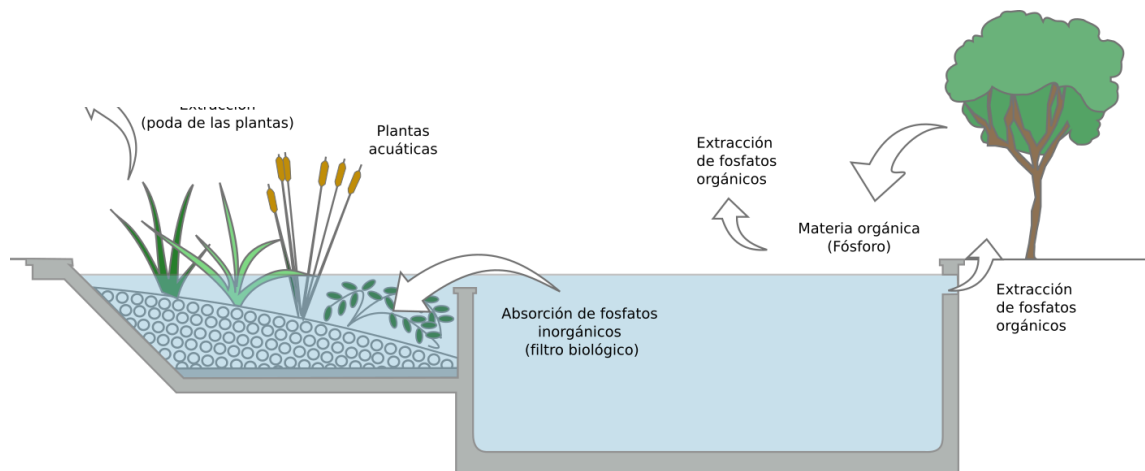


Fig. 8. Ciclo del fósforo

Fuente: Elaboración propia a partir de SingularGreen (2021)

8.4 OTROS FACTORES DE UTILIDAD CONTRA LA PROLIFERACIÓN DE ALGAS

El factor determinante en una piscina ecológica es el control del crecimiento de algas, ya que estas pueden causar una multitud de limitaciones, como impedir el flujo en los sistemas de drenaje, bloquear bombas y filtros, y crear numerosos problemas para la salud humana, entre otros. otros (Barrett & Newman, 2012). Si se produce un desequilibrio por cualquier motivo, como un aumento excesivo de la temperatura del agua o un aumento descontrolado de los nutrientes presentes, las algas se multiplicarán muy rápidamente y colonizarán todo el lago (Barrett & Newman, 2012). Harán que el agua se deteriore al absorber el oxígeno presente y evitarán que la luz solar penetre en el agua provocando la muerte de la flora sumergida por la falta de luz, así como la de otros organismos vivos del ecosistema (Lecoq, 2014).

Existen diversos métodos para intentar prevenir el crecimiento descontrolado de estos organismos indeseados. El zooplancton resulta muy efectivo para el control de crecimiento de algas ya que se alimenta de éstas, bacterias y hongos, eliminándolos del agua y promoviendo así la eficiencia del sistema, y no requiriendo la introducción de químicos para controlarlos, y, por tanto, reduciendo el mantenimiento. El zooplancton puede protegerse con el uso de plantas de sombra (Fig. 9), es decir, de plantas acuáticas con hojas flotantes como modo de cobertura parcial de la zona de regeneración y evitando

de esta forma el sobrecalentamiento del agua. Así es posible obtener una temperatura adecuada para el desarrollo de plantas con funciones de oxigenación del agua, que compiten directamente con las algas por la absorción de nutrientes (Littlewood, 2005; Santos, 2005). También permitirán un aumento en la solubilidad del oxígeno (éste es más soluble en agua fría), y crearán corrientes en el agua por la circulación de masas de agua fría y caliente (la fría estará principalmente debajo del área de hojas flotantes y la caliente se encontrará en las áreas expuestas a la insolación) (Ferreira A. , 2007; Littlewood, 2005; Lecoq, 2014).



Fig. 9. Ejemplo de planta de sombra

Fuente: Flora acuática española. Hidrófitos vasculares (Cirujano, Meco, García Murillo, & Chirino Argenta, 2014)

Otra forma de poder controlar la proliferación de algas es mediante el uso de paja de cebada (Barrett & Newman, 2012). Estudios realizados por el Centro de Manejo de Plantas Acuáticas en Inglaterra, sugieren el uso de este método ya que no presenta efectos no deseados cuando se compara con métodos de control mediante el uso de productos químicos, como herbicidas (lo cual sería totalmente desaconsejable ya que el uso de estos productos es contraproducente a efectos de una piscina ecológica, además de ser dañinos para las propias plantas) (Barrett & Newman, 2012).

De forma simplificada, y aún según el mismo estudio, este método consiste en colocar la paja en sacos esparcidos por el agua de la piscina (generalmente en la zona de regeneración, pero eventualmente también se puede colocar en la zona de baño si hay un crecimiento incontrolado de algas) para iniciar su descomposición. Los productos

liberados durante la descomposición de la paja inhibirán el crecimiento de algas y son rápidamente absorbidos y desactivados. El proceso de descomposición es principalmente de origen microbiano y fúngico y depende de la temperatura del agua, ocurriendo más rápidamente en verano que en invierno. Con temperaturas del agua en torno a los 10 ° C se necesitan de 6 a 8 semanas para iniciar el ciclo, si la temperatura es de 20 ° C se tarda de 1 a 2 semanas. Hasta el comienzo de este ciclo, el crecimiento de algas continuará ocurriendo.

La duración de la actividad de la paja ocurre hasta que se descompone por completo, lo que puede llevar de 4 a 6 meses dependiendo de la temperatura del agua (Barrett & Newman, 2012). El tratamiento es más eficaz si se aplica antes de que aparezcan las algas, ya que los compuestos liberados son más eficaces para prevenir su crecimiento que para eliminarlas. Por lo tanto, los tratamientos deben realizarse cuando la temperatura del agua es más baja, es decir durante primavera y otoño (Barrett & Newman, 2012).



Fig. 10. Aplicación de paja para inhibición de algas

Fuente: Marshallsgarden (2021)

La cantidad de paja que se aplicará dependerá de la superficie de lámina de agua, ya que la mayor parte del crecimiento de algas se producirá en la zona superficial, lo que hará que el valor de profundidad sea insignificante. El valor recomendado para iniciar el tratamiento varía entre 25 a 50 gramos de paja por metro cuadrado (g/m²). Las aplicaciones posteriores tendrán la mitad del valor de la aplicación inicial hasta que el problema desista, pero se recomiendan tratamientos de mantenimiento que reduzcan la

cantidad a 10 g/m². Sin embargo, no se debe exceder la cantidad de 500 g/m² ya que pueden comenzar a ocurrir problemas con la disponibilidad de oxígeno por microorganismos que descomponen la paja (Barrett & Newman, 2012).

Para reducir el desarrollo de algas se debe mantener el nivel de nutrientes lo más bajo posible, evitando su entrada al sistema y controlando la biomasa, favoreciendo la eliminación del exceso. Cortar el exceso de plantas y materia muerta permitirá la remoción de nutrientes, así como cualquier material dañino que se retenga en las plantas, y que pueda causar desequilibrio en el sistema (Littlewood, 2005; Santos, 2005; Lecoq, 2014).

Otra característica muy apreciada por los usuarios y propietarios de piscinas ecológicas es la vida silvestre que se siente atraída por la zona de regeneración. Aparte de las plantas y los microorganismos, los insectos y los anfibios también son beneficiosos para actuar como depredadores de mosquitos y otras plagas. Las ranas servirán como bioindicadores: si se encuentran en un número considerable, indican que el ecosistema está equilibrado y el agua es de la calidad deseada (Santos, 2005; Lecoq, 2014). También según Santos (2005), la aparición de los caracoles acuáticos es de gran importancia ya que tienen la capacidad de eliminar 3 millones de bacterias y hongos por cada mililitro de agua. También actúan como descomponedores del sistema, ya que consiguen eliminar algas, restos vegetales y otros detritos que se acumulan en el fondo de las piscinas con el movimiento del pie. Aunque la FLL aconseja que esta población se mantenga al mínimo, principalmente en la zona de baño, teniendo en cuenta que albergan determinados parásitos. No se recomienda el uso de peces por el desequilibrio biológico que causarían en el sistema (FLL, 2013; Santos, 2005).

En materia de uso, se recomienda no bañarse en piscinas de nueva construcción durante al menos dos semanas. Durante este período, las plantas desarrollarán su sistema radicular y se adaptarán al sistema para comenzar el proceso de limpieza del agua (Littlewood, 2005). Durante este período y hasta 5 semanas después de la construcción, también es posible que se desarrollen algas pero que luego sean destruidas por el zooplancton siempre que la piscina esté poblada de plantas de hoja flotante para asegurar la temperatura óptima del agua para su desarrollo (Littlewood, 2005; Santos, 2005).

9 PROCESOS INTERVINIENTES EN LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DEL AGUA

9.1 FILTRACIÓN

El filtro está compuesto por diversos estratos de materiales de diferente composición y dimensiones. Cada una se debe diseñar conforme a las necesidades del proyecto. Las principales funciones de esta parte son:

- Eliminación de materia orgánica: llevada a cabo por los microorganismos que viven adheridos a las diferentes plantas.
- Eliminación de nitrógeno: absorción directa por las plantas y en menos contribución, por bacterias, gracias a fenómenos de nitrificación-desinfección.
- Eliminación de fósforo: absorción por las plantas, adsorción de partículas de arcilla y precipitación de fosfatos insolubles.
- Eliminación de microorganismos patógenos: por filtración y adsorción en partículas de arcilla, por otros microorganismos depredadores (bacterias y protozoos), toxicidad por productos derivados de otras raíces y por la radiación ultravioleta del sol.

El uso de plantas acuáticas resulta fundamental para el funcionamiento de ecosistemas acuáticos, ya que contribuyen a la mineralización de la materia orgánica existente en el agua, a su oxigenación, afectando a la transparencia.

En las biopiscinas se utilizan plantas propias de este tipo de sistemas, como pueden ser humedales o lagos. Algunas plantas flotantes que contribuyen con una gran producción de oxígeno y ayudan a las bacterias nitrificantes que se encargan de producir nitratos a partir de materia orgánica, esenciales para las plantas. Las anfibias son las más importantes del proceso de depuración, gracias a que tienen sus raíces en el suelo del lecho de depuración, y sus tallos y hojas al no estar sumergidas desempeñan funciones de fotosíntesis, flotación, rectificación y desaminación.

También es recomendable elegir bien las especies según su crecimiento, flotación, entre otras características como podrían ser plantas aromáticas o según su estética. Además, se ha de tener en cuenta no usar plantas invasoras para preservar las especies endémicas.

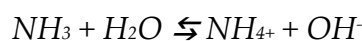
En el biofiltro propicia la proliferación de fitoplancton i zooplancton, los cual se encargan de digerir hojas, polen y otros restos orgánicos, y transformarla en nutrientes para las plantas. El oxígeno que necesitan estos organismos para oxidar dicha materia orgánica, es suministrado principalmente por las propias plantas, producido por fotosíntesis. Este aporte de oxígeno favorece al mismo tiempo el crecimiento de las bacterias nitrificantes. Es un sistema aeróbico y, por ello sin riesgo para los bañistas.

9.2 OXIGENACIÓN

La oxigenación es mucho más importante en este tipo de piscinas, ya que un déficit o exceso de oxígeno disuelto en el agua puede ser perjudicial para el ecosistema, afectando tanto a plantas como a microorganismos. Sobre todo, la oxigenación anaeróbica del amoníaco. Proceso por el cual se descompone en otras menos peligrosas como nitritos y nitratos, mediante procesos biológicos, sirviéndose de abono y nutrientes para las plantas.

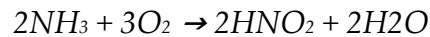
9.2.1 FORMACIÓN DEL AMONIACO

La mayoría de materiales de desecho que se producen en el agua estancada contienen amoníaco, como pueden ser excrementos de microorganismos o restos de plantas en descomposición. La primera sustancia que se forma durante el ciclo del nitrógeno es el amoníaco, siendo la más tóxica, y por tanto, la que se ha de descomponer en primer lugar.



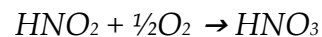
9.2.2 OXIDACIÓN DEL AMONIACO A NITRITO

Con cierto contenido de amoníaco en el agua, prosperan bacterias del género Nitrosomas o Nitrosococos, las cuales se encargan de convertir el amoníaco en nitritos. Para llevar a cabo este proceso se necesita oxígeno, oxidando el amoníaco para obtener ácido nitroso, pero en el agua se encuentra parcialmente dissociado en forma de nitritos.



9.2.3 OXIDACIÓN DE NITRITO A NITRATOS

Los nitritos darán paso a la aparición de bacterias Nitrobacter o Nitrospira, que gracias con el aporte de oxígeno convertirán los nitritos en nitratos.



El biofiltro desarrolla fitoplancton i zooplancton que digiere las hojas, el polen, las escamas de la piel y el resto de materia orgánica, transformándolo en nutrientes que son absorbidos por las plantas.

Si este biotopo es eficiente, no habrá nutrientes suficientes en el agua para el desarrollo de algas u otros organismos no deseados, manteniendo nítida el agua.

9.3 REGENERACIÓN

Una vez se consigue obtener nitrito del amoniac, este se ha de absorber y retirar del agua. Tarea realizada por las plantas en la zona de regeneración.

La poda y retirada de restos de las plantas es esencial para un funcionamiento óptimo de la piscina natural. Si no se lleva a cabo esta tarea se generará más nitrógeno, aumentando los nutrientes para las plantas, haciendo a la vez que estas aumenten su número, entrando así en el ciclo de eutrofización.

10 FILTROS

Los filtros biológicos tienen la función de transformar el amoníaco que genera la materia orgánica en suspensión, en nitrato (NO_3^-), oxidándolo del anión nitrato. El nitrato es asimilado por las plantas, y eliminado del sistema, evitando así, que disponible para las algas, ya que este es el principal nutriente.

Este proceso de oxidación, el cual se llama nitrificación del amoníaco, lo realizan las bacterias beneficiosas alojadas en el filtro biológico. Las Nitrosomonas y las Nitrobacter, para realizar estos procesos necesitan al menos unos elementos básicos:

- Un lecho de material poroso donde asentarse y crear colonias: como pueden ser gravas, Kaldnes o zeolitas, entre otros. Cuanto más poroso sea el material, más capacidad tendrá y, por tanto, será más eficaz.
- Presencia de amoníaco: disuelto circulando por la materia orgánica en descomposición. No se añade.
- Oxígeno: Totalmente necesario para este proceso. Esto se puede aportar mediante la aireación del agua por chorro, gravedad u otros métodos como bombeo de burbujas.

Si se tiene en cuenta el uso intensivo de este tipo de piscinas, es conveniente la utilización de filtros adicionales que ayuden a depurar el agua además de la filtración por plantas. Estos filtros están basados en compuestos naturales y varían en función de la patente.

Los distintos compartimentos de retención y filtración se utilizan para eliminar del agua los desechos de gran tamaño, como hojas, ramas u otros, del sistema. Los desechos de menor dimensión como polvo, suciedad, cabello, etc., y también impurezas biológicas y químicas que afectarán la calidad del agua y su transparencia (Littlewood, 2005).

En una primera fase, los desechos más grandes se dirigen al skimmer, donde se retienen mientras el agua pasa a la siguiente etapa. Pueden ser superficiales o estar unido a un extremo de la piscina. Los skimmer deben estar en el lado opuesto de donde ocurran las corrientes predominantes de aire para garantizar que los desechos de gran tamaño puedan ser enviados naturalmente a estos compartimentos y así ser eliminados del sistema (Ferreira A. , 2007; Lecoq, 2014).

Un ejemplo singular de skimmer es el denominado "filtro sieve" o "skimmer de tamiz curvo" (Fig. 11). Tiene un sistema que permite a través de un colador con 0,3 mm y que retendrá la mayor parte de las impurezas, incluso las más pequeñas e incluyendo algunas algas, previniendo que los nutrientes que se encuentran en estas algas regresen al agua.

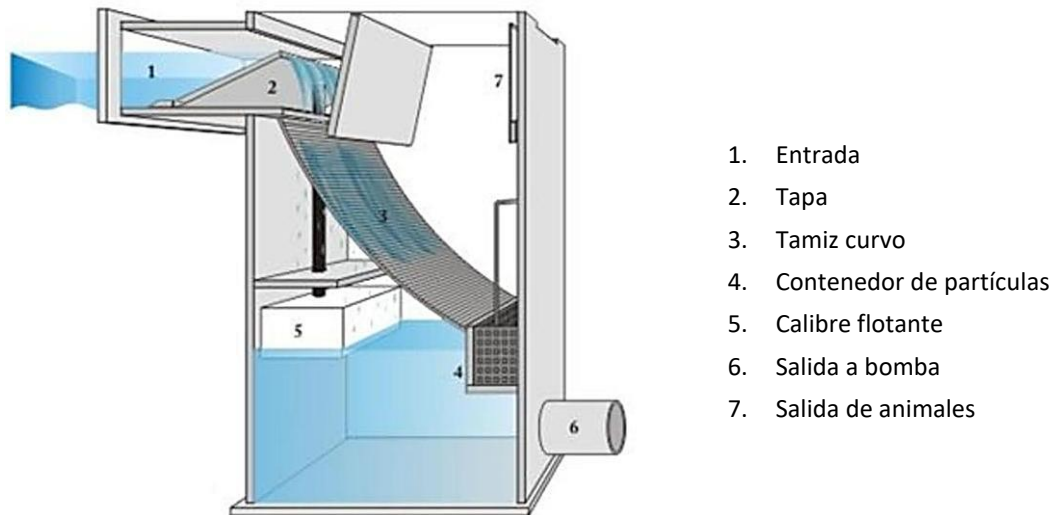


Fig. 11. Skimmer de tamiz curvo

Fuente: Naturalpools (2021)

Otro factor relevante es el sistema hidráulico. Con el fin de asegurar la correcta circulación del agua para que su depuración se realice de forma controlada pero eficaz, todas las tuberías deben dimensionarse de acuerdo con la necesidad de tratamiento del agua y deben estar acompañadas de una documentación lo más completa posible para su implementación y posible reparación posterior.

10.1 FILTRO BIOLÓGICO DE GRAVAS DE FLUJO VERTICAL

Está formado por gravas estratificadas sumergidas en el flujo del agua. Estas tienen una granulometría decreciente en el sentido de circulación del agua para asegurar un flujo constante y uniforme. Se deben evitar zonas con excesos y sin flujo, en las que las bacterias no puedan realizar su tarea convenientemente o incluso la aparición de bacterias anaerobias patógenas.

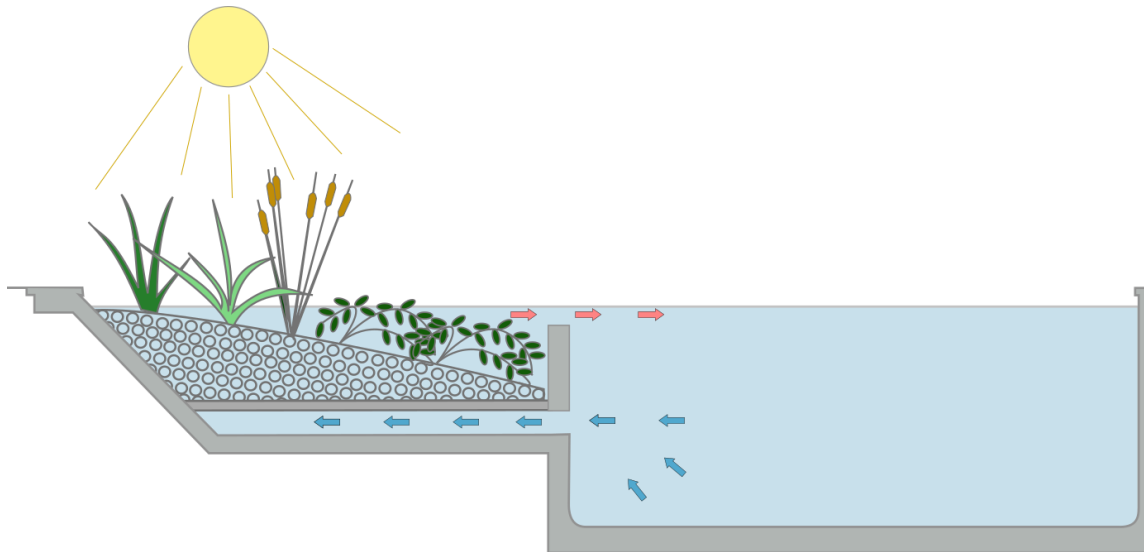


Fig. 12. Esquema en sección de filtro biológico de gravas de flujo vertical

Fuente: Elaboración propia a partir de SingularGreen (2021)

Este tipo de filtro biológico es el más empleado en biopiscinas. Normalmente las gravas se estratifican en dos niveles: el superior de 80-100 mm para la distribución del flujo y otro inferior de 20-30 mm para el filtrado. Preferentemente se deben usar gravas porosas, por tanto, serán más eficaces las gravas volcánicas que la piedra caliza.

Estos filtros pueden ser también el sustrato donde crecen las plantas. Las raíces de éstas aumentarán la superficie útil para crear colonias bacterianas y aportarán oxígeno al sistema.

La circulación de agua puede forzarse mediante bombas, o bien puede valerse del calentamiento superficial de las gravas, creando corrientes por el contraste de temperatura con el fondo de la zona de baño.

Como inconveniente, estos filtros pueden llegar a sufrir una saturación de material orgánico, con la consecuente aparición de lodos.

10.2 FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR

Este tipo consiste en un lecho de gravas o de otro material de relleno no sumergido en el agua. Este lecho es rociado desde aspersores con el agua de la zona de baño por la parte

superior del filtro, decantándose por el material filtrante hasta la parte inferior donde es recogido y se bombeado de nuevo a la zona de baño. Con este sistema, el agua está en contacto permanente con el material filtrante (y con ello también con las colonias de bacterias) y el aire (aporte de oxígeno). Este sistema resulta muy eficaz al garantizar una perfecta oxigenación.

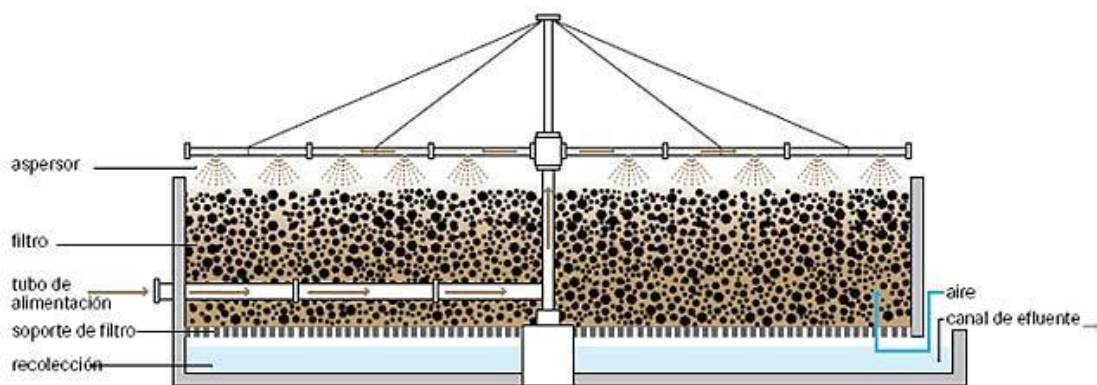


Fig. 13. Esquema en sección de filtro biológico percolador

Fuente: Urbanarbolismo (2021)

10.3 FILTRO BIOLÓGICO DE KALDNES

En este caso el filtro consiste en un dispositivo que contiene sumergidas en agua, una serie de piezas de material plástico que reciben el nombre de kaldnes. Éstas propician la proliferación en su superficie de los organismos nitrificantes.

El filtro aporta oxígeno a las piezas por la parte inferior, cuidando el correcto desarrollo del proceso de nitrificación. Este flujo de aire provoca que el kaldnes choque entre sí, destruyendo la película de bacterias muertas de la superficie y facilitando así su regeneración.

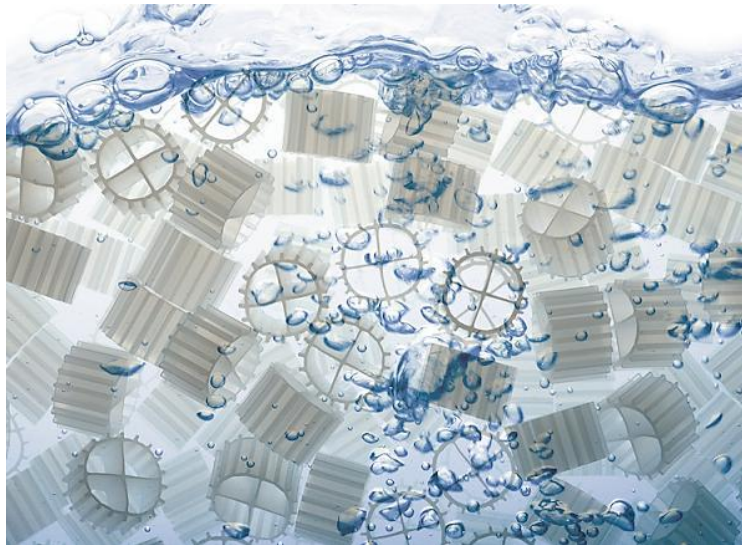


Fig. 14. Infografía de filtro de kaldnes

Fuente: Urbanarbolismo (2021)

10.4 FILTRO DE ZEOLITAS

Las zeolitas, además de ser un material poroso capaz de albergar colonias bacterianas, también lo es de retener moléculas de amoníaco por su gran capacidad de intercambio catiónico natural. Suelen utilizarse principalmente en sistemas de flujo vertical de filtrado lento.

Como inconveniente de este tipo de filtro se debe prever que este mineral pierde progresivamente sus propiedades al saturarse. Por lo que se ha de sustituir o regenerar con relativa frecuencia. Esto puede ser un inconveniente grave dependiendo del tamaño del filtro y de la accesibilidad a las gravas dentro del sistema.

10.5 FILTRO DE PLANTAS

Las plantas que forman parte de estos ecosistemas de piscinas naturales son equivalentes a los ecosistemas de humedales y son uno de los hábitats más ricos en términos de diversidad de fauna y flora, y tienen una función esencial en la regulación de la contaminación y el control de sedimentos en la preservación de valor estético y físico; así como contribuir a la armonía estética, entre otros (Mestre, 2014).

Las plantas a utilizar son básicamente de tres tipos: de orilla, que crecen en las llanuras aluviales; acuáticas, que viven dentro del cuerpo de agua (Mestre, 2014) pero tienen su follaje en la superficie; y las sumergidas, que están completamente bajo el agua y tienen la función esencial de oxigenarla (Ferreira A. , 2007). Existen otras clasificaciones según su función y zona de plantación, como pueden ser oxigenadoras o flotantes (Fig. 15).

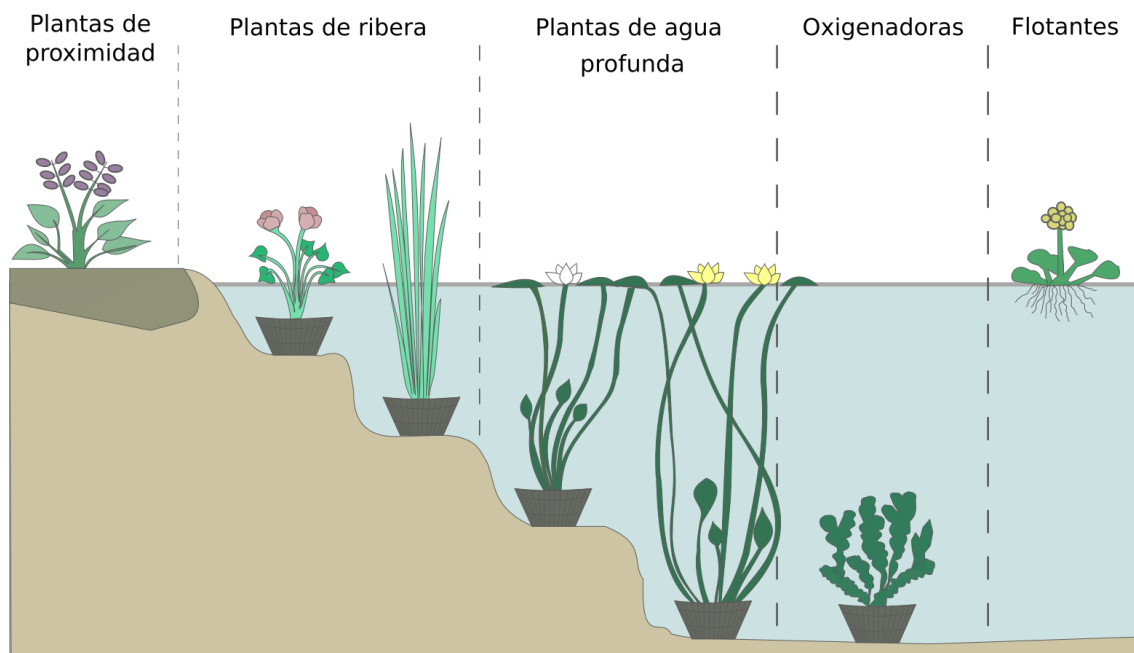


Fig. 15. Ubicación de plantas en zona de regeneración según tipo

Fuente: Elaboración propia a partir de Worldofwater (2021)

Estas plantas cumplirán fundamentalmente cuatro funciones principales para el sistema de una piscina ecológica (Santos, 2005): oxigenación, asimilación de nutrientes, sombreado de la superficie del agua y, finalmente, la calidad estética (Ferreira A. , 2007). Aunque se opte por agrupar las distintas especies según su función, no se debe olvidar que todas las plantas son de interés ornamental, ya sea por el color de la hoja, la flor que presenten o cualquier otra característica morfológica. No teniendo, por tanto, mayor ni menor importancia. que el resto en esta materia, ya que algunas además realizarán diversas funciones simultáneas. Lo mismo se aplica a otro tipo de clasificación que eventualmente podría utilizarse. Sin embargo, teniendo en cuenta la finalidad para la que están destinadas, la clasificación por funcionalidad se plantea como la más importante en este cometido.

La función de oxigenación es la más importante en una piscina, no solo por crear un ambiente adverso para la proliferación de microorganismos patógenos, sino que también proporciona un ambiente favorable para las macrófitas de la zona de regeneración. Estas plantas captarán la luz solar y se intercambiarán con el medio ambiente en términos de nutrientes y gases. El oxígeno se liberará así al agua, siendo más o menos soluble en función de su temperatura, el agua más fría hace posible mayor cantidad en el agua (Ferreira A. , 2007).

10.5.1 ESPECIES DE PLANTAS ÚTILES Y PARÁMETROS PARA SU SELECCIÓN

Las plantas que más contribuyen a la oxigenación son las sumergidas por tener raíces poco desarrolladas y hojas más anchas que proporcionarán el intercambio. Los más relevantes son los del género *Myriophyllum* spp. (Fig. 16) y *Potamogeton* spp. (Fig. 17)



Fig. 16. *Myriophyllum* spp.



Fig. 17. *Potamogeton* spp

Fuente: Flora acuática española. Hidrófitos vasculares (Cirujano, Meco, García Murillo, & Chirino Argenta, 2014)

Ambos son importantes en la oxigenación del agua y la retención de nutrientes. También proporcionarán mejoras considerables en la calidad del agua, sobre todo en aguas muy duras, ya que cambiarán su dureza al eliminar el exceso de cal, obteniendo también el dióxido de carbono que necesitan (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 1997).

Según Santos (2005) existe otra planta con propiedades sobresalientes a la hora de instalar una piscina natural, la *Ceratophyllum demersum* (Fig. 18). Esta planta tiene la capacidad de absorber muy rápidamente los nutrientes que se encuentran en exceso en

los sustratos. Cuando estos empiezan a escasear, la planta acaba muriendo y mineralizándose. Esta planta es un excelente bioindicador del estado del agua porque si prolifera indica eutrofización del sistema.

Otra función importante en este sistema de piscinas ecológicas es la asimilación de nutrientes por las plantas, como nitrógeno y fósforo. Como ya se ha mencionado, estos nutrientes son necesarios para que las algas proliferen en el sistema. Por este motivo, las plantas a elegir para este fin son principalmente plantas acuáticas y de ribera (plantas de repuesto) que competirán directamente con las algas en busca de estos nutrientes para su propio crecimiento (Ferreira A. , 2007). Estas plantas también oxigenarán el ambiente, pero a menor concentración que las sumergidas, además de favorecer condiciones propicias para el desarrollo de microorganismos en descomposición (Ferreira A. , 2007).

Hay varias especies de plantas que entran en esta categoría. La Plantago-Acuática Alisma (o comúnmente Plátano-de-agua) es una de las plantas con estas características y además tiene una función ornamental ya que tiene una vistosa flor rosa que aparece durante el período estival (Fig. 19) (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013).



Fig. 18. Ceratophyllum Demersum

Fuente: *Flora acuática española. Hidrófitos vasculares* (Cirujano, Meco, García Murillo, & Chirino Argenta, 2014)



Fig. 19. Plantago Acuática Alisma

Fuente: *Guía botánica de la Vall de Gallinera* (Alicante) (Martínez, 2017)

Otra de las plantas utilizadas son las del género Carex (Juncia) y que se utiliza ampliamente por su eficacia en la eliminación de nutrientes. Forma un ramo muy denso

con hojas de color verde claro y raíces muy fuertes (Fig. 20) (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013).

Similares a estos últimos son los del género *Cyperus*, que se desarrollan bien tanto en ancho como en profundidad haciendo hermosos ramos (Fig. 21) (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013). También el *Iris pseudacorus* (Nenúfar) es una de las que se utilizan para este fin, pero también por tener una llamativa flor amarilla durante los meses de mayo a junio (Fig. 22) (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013).

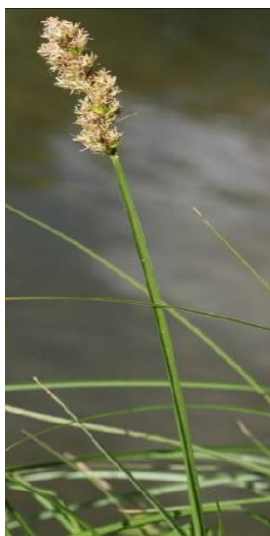


Fig. 20. Carex



Fig. 21. Cyperus



Fig. 22. Pseudacorus

Fuente: Guía botánica de la Vall de Gallinera (Alicante) (Martínez, 2017)

La especie del género *Juncus* (Junco) también se utilizan en esta categoría, y aunque no tiene una flor de interés ornamental, sus hojas cilíndricas de color verde ayudan a crear el ambiente característico de un lago (Fig. 23) (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013). El *Lythrum Salicaria* (o Salgueirinha) es otra planta que se utiliza como reemplazo para la asimilación de nutrientes, pero también por su interés ornamental debido a su flor rosa brillante de junio a julio (Fig. 24) (RHS, 2013; Ferreira A. , 2007; Santos, 2005). También el género *Mentha* se utiliza para este fin, pero normalmente como ornamento por sus flores blancas, rosadas o lilas, según la especie, o por ser una especie aromática. De las especies de este género que se presentan como autóctonas está la *Mentha Aquatica* (Menta de agua como nombre común) (Fig. 25), la *Mentha Pulegium* (poleo) y el *Mentha Suaveolens* (Mentastro) (Ferreira A. , 2007; RHS, 2013; Santos, 2005). También el género *Ranunculo*

se utiliza para la asimilación de nutrientes, especialmente las especies *Ranunculus Peltatus* (*Ranunculus Acuático*) (Fig. 26) (ya que tiene una gran superficie foliar que le permite captar la energía del sol y así absorber grandes cantidades de nutrientes para asegurar su metabolismo. Tiene una flor blanca que florece de abril a julio (Ferreira A. , 2007; RHS, 2013; Santos, 2005).



Fig. 23. Juncus



Fig. 24. Lythrum Salicaria



Fig. 25. Mentha Aquatica



Fig. 26. Ranunculus Peltatus

Fuente: *Flora acuática española. Hidrófitos vasculares* (Cirujano, Meco, García Murillo, & Chirino Argenta, 2014)

El género *Schoenoplectus*, principalmente la especie *S. Lacustris* (nombre común, Bunho) es otro tipo de planta que encaja en este grupo, pero, aunque florece entre junio

y agosto, no es de interés ornamental (Fig. 27) (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013).

Finalmente, el género *Typha* es otro grupo de plantas que se utilizan con el fin de eliminar nutrientes con alta eficiencia, en particular los *Typha Angustifolia* (Fig. 28). La otra especie también ampliamente utilizada es la *Typha Latifolia* Tabúa-larga, por tener raíces horizontales que enriquecen el medio con oxígeno (Ferreira A. , 2007; Santos, 2005; RHS, 2013). Sin embargo, considerando el carácter invasivo que presenta esta especie en la colonización de áreas de regeneración (Santos, 2005), así como raíces muy agresivas que podrían dañar el tejido impermeabilizante, es necesario controlar su crecimiento, limitándolas a apropiarse de contenedores, pero impidiendo la expansión fuera de éstos (Lecoq, 2014).



Fig. 27. *S. Lacustris*

Fuente: Flora acuática española. Hidrófitos vasculares (Cirujano, Meco, García Murillo, & Chirino Argenta, 2014)



Fig. 28. *Typha Angustifolia*

Fuente: Guía botánica de la Vall de Gallinera (Alicante) (Martínez, 2017)

La sombra del agua es otro factor importante para mantener la calidad del baño de la piscina natural. Así, será necesario utilizar especies que permitan la creación de áreas sombreadas para asegurar que la temperatura del agua no ascienda a valores que favorezcan el crecimiento de microorganismos patógenos (Ferreira A. , 2007). Las especies más utilizadas a este efecto son los *Nymphaea Alba*, o *Nuphar Luteum* (Fig. 29) y algunas

especies del género utilizado para la asimilación de nutrientes (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007).

La *Nymphaea Alba* (o Golfo Blanco) (Fig. 30) es una planta con mucho interés ornamental porque tiene flores blancas (también llamadas flor de loto) que florecen entre abril y octubre. Sin embargo, el clima interfiere mucho con este tipo de plantas. En condiciones de humedad puede que no florezca tan bien como en la sombra, las hojas son más pequeñas, incluso es posible que no lleguen a florecer. Para que el golfo se desarrolle normalmente, debe estar bajo la luz solar directa durante al menos tres horas diarias, y debe tener una temperatura adecuada para su desarrollo. De esta forma, las flores se abren durante las horas de sol, cerrándose por la noche, consecutivamente de tres a cinco días (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013).



Fig. 29. Nuphar Luteum



Fig. 30. Nymphaea Alba

Fuente: Flora acuática española. Hidrófitos vasculares (Cirujano, Meco, García Murillo, & Chirino Argenta, 2014)

Otra especie que se utiliza a menudo para dar sombra a la piscina es la *Nymphoides Peltata* (Pequeño golfo) (Fig. 31) que es similar al nenúfar. Sin embargo, tiene hojas más pequeñas que estas últimas, pero logran formar una estera en la superficie, creando así una sombra considerable. La floración ocurre de junio a agosto con una flor amarilla de aspecto más frágil que se eleva por encima de la superficie (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013).

El género *Potamogeton* incluye algunas especies que también se utilizan para este fin, como la *P. Natans* (Fig. 32) o el *P. Nodosus*. Tienen hojas que forman una densa estera en

la superficie de un color verde parduzco y tienen la capacidad de absorber también nutrientes del agua a través del envés (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007; RHS, 2013).



Fig. 31. Nymphaoides Peltata



Fig. 32. P. Natans

Fuente: Flora acuática española. Hidrófitos vasculares (Cirujano, Meco, García Murillo, & Chirino Argenta, 2014)

Existen alrededor de 130 especies (Ferreira A. , 2007) con características adecuadas para cada una de las funciones descritas, sin embargo, aquí solo se explican las más significativas.

La elección de las especies de plantas para cada ubicación sigue ciertos requisitos como el pH, la composición química del agua, la región geográfica y también la compatibilidad entre las diversas especies (Ferreira A. , 2007). Sin embargo, también se debe dar preferencia a las especies endémicas. A pesar de sus características beneficiosas para este cometido, existen especies que por su naturaleza invasora tienen prohibido su uso en nuestro país de acuerdo con lo establecido en el Catálogo español de especies exóticas invasoras (Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto) (ANEXO I).

Otra condición son las profundidades a las que las especies se desarrollan mejor. La mayoría de las plantas de ribera se desarrollan mejor a profundidades entre 5 y 10 cm, mientras que las acuáticas prefieren ambientes con una profundidad entre 20 y 30 cm y las sumergidas entre las profundidades de 1,80 a 2 m (Santos, 2005; Ferreira A. , 2007).

10.6 FILTRACIÓN MECÁNICA

La filtración mecánica juega el papel de retener impurezas y partículas orgánicas suspendidas en el agua en las capas que la componen (Fig. 33). Este tipo de filtros pueden tener una o dos capas o varias con diferente granulometría y ser cerrados o abiertos, en cuyo caso se pueden colocar plantas. De esta forma, los residuos serán descompuestos por bacterias que colonizan este tipo de filtros, dando como resultado un agua más limpia.

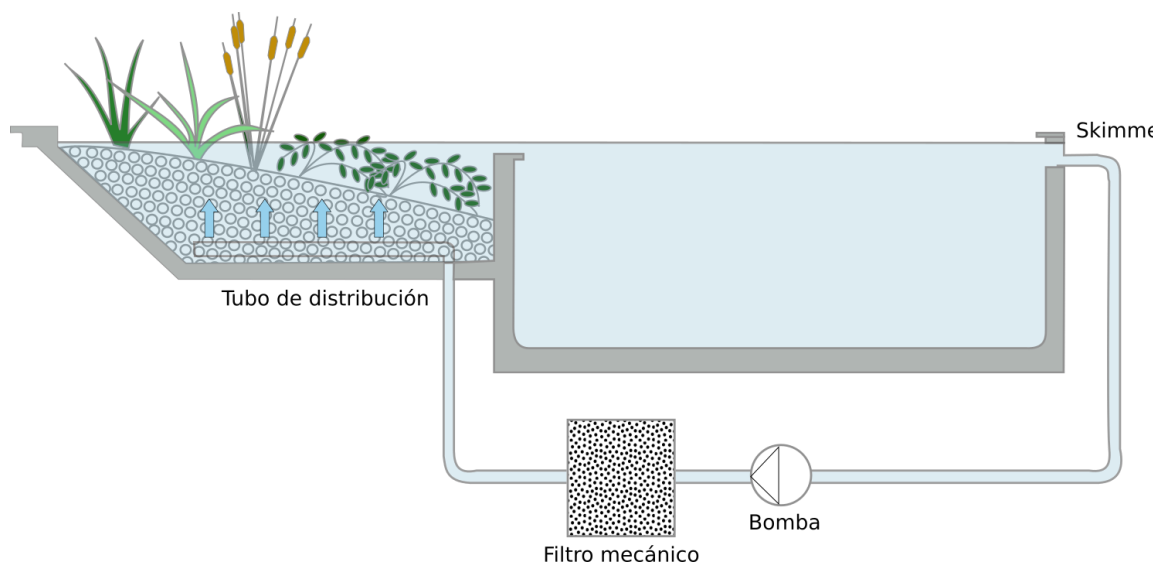


Fig. 33. Biopiscina con humedal técnico y filtración mecánica

Fuente: Elaboración propia a partir de SingularGreen (2021)

Para que el sistema funcione de manera que no afecte al sistema biológico, el agua debe atravesar las distintas capas del filtro a una velocidad de entre 0,03 y 0,05 m/seg (Santos, 2005).

El uso de estructuras como cascadas y arroyos para aumentar la oxigenación del agua provocarán una circulación artificial, a veces dañando el zooplancton si son grandes o tienen bombas demasiado potentes (Ferreira A. , 2007). Incluso en piscinas de uso público, es necesario prestar atención a la circulación del agua en la zona de regeneración, que es un motivo más para tener las dos zonas separadas.

10.7 FILTRACIÓN DE FÓSFORO

Uno de los compuestos que deben ser eliminados con mayor relevancia del sistema es el fósforo. Si el sistema funciona en condiciones ideales, las plantas acuáticas pueden gestionar la cantidad de fósforo en el agua. Sin embargo, en casos de cantidad insuficiente de plantas o en el caso de una piscina de uso público con usos muy intensivos, se hace necesario implementar filtros que ayuden a eliminar este nutriente del sistema. Existen varios tipos de filtros en el mercado para su eliminación.

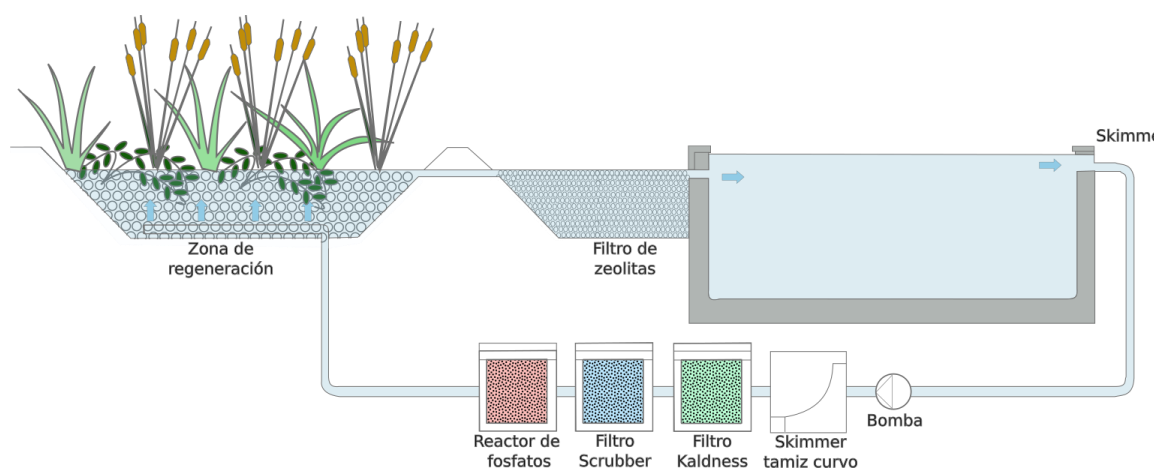


Fig. 34. Biopiscina con filtro de fosfatos

Fuente: Elaboración propia a partir de SingularGreen (2021)

10.8 OXIGENACIÓN MEDIANTE BOMBEO DE BURBUJAS

Una biopiscina es un ecosistema complejo que mantiene la calidad del agua gracias a los microorganismos que viven en ella, por lo que es necesario propiciar un ambiente favorable para éstos. Las bombas de elevación de burbujas pueden mover grandes volúmenes de agua a muy baja presión, siendo inofensivas para la vida acuática.



Fig. 35. Oxigenación mediante bombeo de burbujas

Fuente: Organic Pools DIY Manual (Pagan Butler, 2013)

En los métodos habituales de impulsión de agua resulta difícil evitar el posible impacto sobre el zooplancton, ya que puede verse golpeado por el flujo y acabar filtrándose. Por ello se debe tener en cuenta que un bombeo excesivo podría favorecer la aparición de algas en detrimento de los organismos beneficiosos. Este argumento por sí solo puede ser suficiente para justificar el uso de bombas de elevación de burbujas en este tipo de piscinas, pero además presenta otras ventajas como una muy fácil instalación, que además no requiere preparación previa en el terreno y es fácilmente reparable o sustituible por la propiedad sin necesidad de acudir a técnicos especialistas.

Respecto al factor económico, este sistema presenta un ahorro muy considerable tanto en el equipo y la instalación, como en el consumo energético. Un compresor de acuario de 60 W puede entregar 4800 l/h de aire. Puede usarse en una profundidad de hasta 3 m, pero en este caso el volumen de aire es casi nulo. A 2,2 m de profundidad entrega alrededor de 1500 l/h (Pagan Butler, 2013).

No hay cables eléctricos dentro o cerca de la piscina. Solo un tubo de plástico ofrece aire comprimido. El compresor de aire es mucho más fácil de mantener que una bomba de piscina, es más accesible y no puede bloquearse con sedimentos extraídos del agua. Todo lo que bombea es aire limpio.

10.8.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE BURBUJAS

Las bombas de burbujas, también denominadas bombas de elevación de aire, bombean aire directamente al agua desplazando el líquido circundante. Si las burbujas se introducen en una tubería, entonces el flujo ascendente es capaz de mover grandes volúmenes de agua a baja presión (baja altura sobre el agua, normalmente 15 cm). Esto se traduce en un bajo consumo de energía (Pagan Butler, 2011).

La mayoría de las bombas convencionales que se encuentran en piscinas tienen impulsores de rotación rápida accionados por un motor eléctrico. Éstos pueden ofrecer una alta presión en volúmenes moderados, que es ideal para fuentes y cascadas, pero pueden ser agresivos para el zooplancton. Su consumo varía entre los 350 y los 2200 W. Alternativamente, un compresor capaz de hacer circular un volumen equivalente de aire consume alrededor de 60 W (Pagan Butler, 2011).

El compresor empuja el aire a través de las canalizaciones hasta las piedras difusoras situadas en la parte inferior del tubo hacia donde el agua es atraída y el flujo ascendente de burbujas la extrae a la zona de regeneración. Esta mayor circulación de agua entre las raíces ayuda a las plantas y a los microorganismos asociados a absorber los nutrientes del agua.



Fig. 36. Compresor de 60 W de acuario

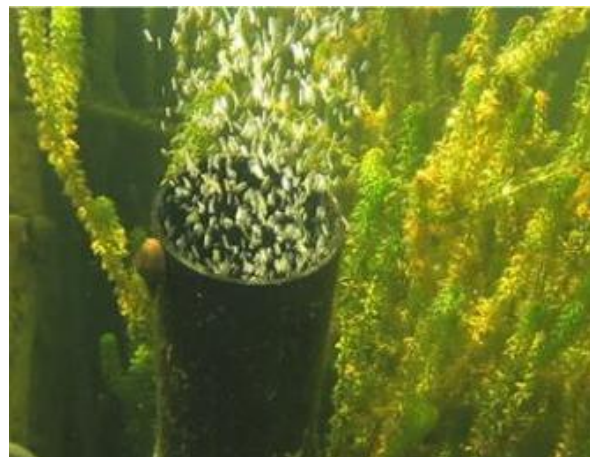


Fig. 37. Bombeo de burbujas en zona de regeneración

Fuente: *Organic Pools DIY Manual* (Pagan Butler, 2013)

La bomba de piscina convencional tiene dos necesidades en conflicto; en primer lugar, solo puede funcionar a un nivel inferior al de la lámina de agua; en segundo lugar, funciona con electricidad, por lo que debe aislarse de la humedad. Se debe instalar una cámara aislada, cerca de la piscina por debajo del nivel del agua, junto con las obras de tierra asociadas para las canalizaciones. La velocidad relativamente alta del agua bombeada puede dañar los microorganismos esenciales de la piscina.

En contraposición, las burbujas se alimentan de un compresor de aire montado sobre el nivel del agua y a una distancia conveniente de la piscina. No es necesaria cámara aislada y, en consecuencia, no son necesarias ninguna de las tuberías de agua enterradas asociadas. La bomba de burbujas extrae agua directamente desde debajo de la zona de regeneración y el volumen equivalente de agua circulada se bombea a baja velocidad. Esto no solo es inocuo para la ecología de la piscina, también es extremadamente simple de implementar.

11 PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS Y DE DISEÑO

Una biopiscina, además de estar compuesta por dos áreas diferenciadas: una para el tratamiento del agua (área de regeneración) y otra para el baño, no debe utilizar productos químicos para la desinfección del agua o cualquier otro tipo de tratamiento, la circulación del agua debe funcionar en circuito cerrado y evitar cualquier interferencia en este estado, y la zona de regeneración debe tener una proporción adecuada y contener plantas aptas para la desinfección del agua por los procesos naturales de absorción de nutrientes y liberación de oxígeno al agua (Lecoq, 2014).

Las áreas de las diferentes zonas estarán condicionadas por varios parámetros. Sin embargo, en la mayoría de los casos para piscinas de uso privado, las dimensiones consideradas serán de al menos 150 m² (Santos, 2005) y dependerán de un valor base para el número de usuarios: en este caso 6 m³ de agua por bañista o 4 m² de superficie por bañista (Littlewood, 2005). Para piscinas de uso público también existe un valor mínimo, pero está condicionado al número de usuarios por día. FLL (2013) recomienda mantener 3,5 m³ de agua por usuario y por día como base de cálculo (existen fórmulas específicas para el cálculo y considerando el volumen total de agua incluyendo las zonas de baño y regeneración, y el volumen de agua añadido por día) para que la calidad del espacio de baño no se vea comprometida (FLL, 2013).

La separación física de las zonas de regeneración y baño es otra recomendación de los especialistas, con el fin de evitar el intercambio involuntario de agua entre éstas, así como la prohibición de utilizar la zona de regeneración para el baño u otro tipo de actividad. El intercambio de agua debe ser controlado y asegurado por estructuras hidráulicas debidamente planificadas y construidas, además de asegurar una forma eficiente de monitorear y regular estos circuitos (FLL, 2013; Santos, 2005).

11.1 CONFIGURACIÓN DE LAS ZONAS DE BAÑO Y REGENERACIÓN

Las piscinas naturales pueden ser diseñadas como una sola unidad o como una serie de dos o más cuerpos de agua. El área de regeneración comprende el filtro como sistema hidrobotánico, humedal técnico o filtro de sustrato acumulador de biofilm.

La zona de regeneración puede integrarse dentro del filtro biológico. En los tipos de flujo vertical o percolador, también puede estar separada de la zona de baño. Existen

diversas opciones dependiendo del tipo de filtro que se use, de la estética que se busque o del nivel de tecnificación que se instale.

11.1.1 REGENERACIÓN DE UN SOLO VASO - IN SITU

La zona de regeneración está completamente integrada dentro de la zona de baño (sistema de cámara única).

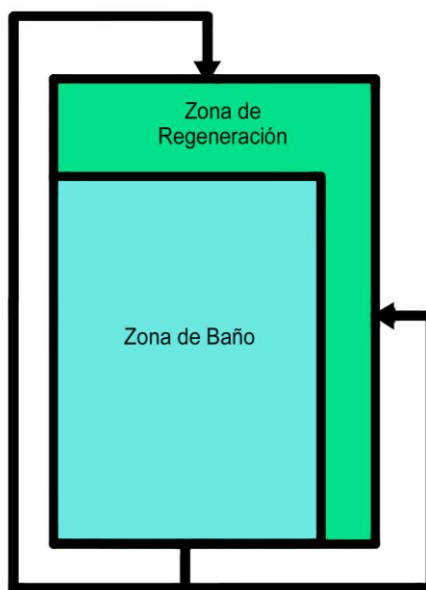


Fig. 38. Esquema en planta de configuración con zona de regeneración en vaso único

Fuente: Elaboración propia a partir de Kircher & Thon (2018)

En este sistema optimizado, al vaso principal se agrega una zona de regeneración separada mediante una partición, pero integrada dentro de la misma lámina de agua. La capacidad filtrante de ésta última se suma a la del vaso principal mejorando el resultado. Con un rebosadero se podría estabilizar el nivel de agua durante la recirculación.

Este sería el método indicado para piscinas con recirculación mecánica y parcialmente automatizadas.

11.1.2 REGENERACIÓN PARCIALMENTE SEPARADA - IN SITU + EX SITU

El área de regeneración está dividida en una zona integrada en la zona de baño y otra exenta a ésta (sistema de cámaras múltiple).

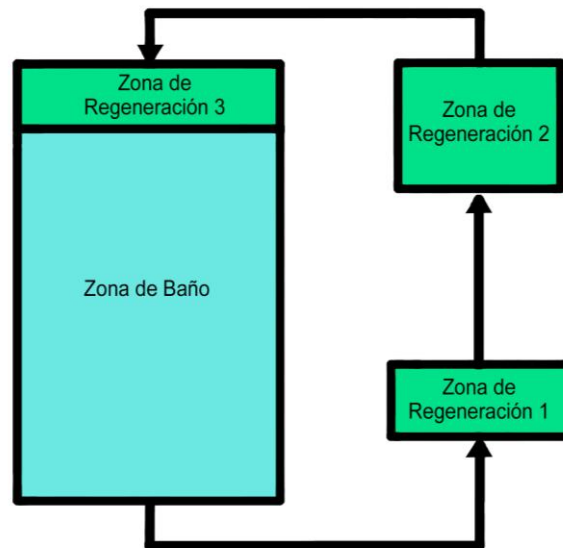


Fig. 39. Esquema en planta de configuración con zona de regeneración parcialmente separada

Fuente: Elaboración propia a partir de Kircher & Thon (2018)

En este sistema, a la zona de regeneración integrada en el vaso principal se le añade otra zona de regeneración de construcción separada para reforzar la capacidad filtrante.

Esta configuración incrementa la capacidad de la zona de natación (número superior de bañistas) y es mucho más eficiente respecto al consumo de agua, aunque se requiere una superficie mayor.

Este sería el método indicado para piscinas con recirculación mecánica y parcialmente automatizadas.

11.1.3 REGENERACIÓN SEPARADA - EX SITU

El área de regeneración está completamente exenta a la zona de baño (sistema de doble cámara; el área de regeneración también puede comprender varios cuerpos).

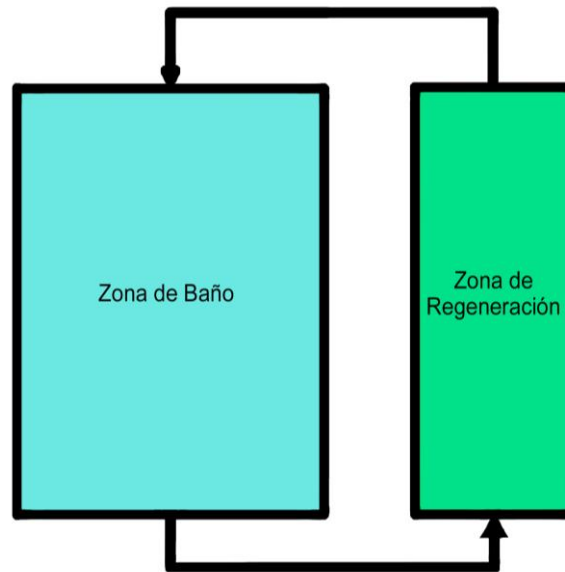


Fig. 40. Esquema en planta de configuración con zona de regeneración separada

Fuente: Elaboración propia a partir de Kircher & Thon (2018)

La filtración se da en un vaso de regeneración independiente, comunicado con el de baño mediante canalizaciones enterradas. El espacio necesario en vasos de natación de gran superficie es considerable, pero ofrece muy buenos resultados.

Este sistema permite prescindir de plantas y gravas en la zona de baño, por lo que pueden conseguirse estéticas similares a las de una piscina convencional. Esta configuración está especialmente recomendada para piscinas de gran tamaño o para la adaptación de piscinas preexistentes a un sistema de filtración biológico.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, esta modalidad de piscina se usaría principalmente para piscinas automatizadas o parcialmente automatizadas.

11.2 SEPARACIÓN DE LAS ZONAS DE BAÑO Y REGENERACIÓN

11.2.1 SIN PARTICIÓN

Los bordes de la zona de baño solo se modelan en el subsuelo con una pendiente más o menos pronunciada y están cubiertos por el sellado. Se puede coronar con una cubierta de piedra o madera en la pendiente para embellecer su apariencia.



Fig. 41. Sección separación zona regeneración sin partición

Fuente: izquierda: elaboración propia a partir de Kircher & Thon (2018), derecha: extraída de Kircher (2018)

11.2.2 MURO SOBRE IMPERMEABILIZACIÓN

Sobre el sellado se construye una pared vertical que enmarca el área de baño. Los muros de piedra natural o las construcciones de madera se utilizan comúnmente. En el exterior se rellena un sustrato especial entre el sellado y la pared, implementando los sistemas de filtrado o zonas de siembra.



Fig. 42. Sección separación zona regeneración con muro sobre impermeabilización

Fuente: izquierda: elaboración propia a partir de Kircher & Thon (2018), derecha: extraída de Kircher (2018)

11.2.3 MURO BAJO IMPERMEABILIZACIÓN

El muro vertical que define la zona de baño está construido con hormigón, mampostería o elementos plásticos especiales. La arena exterior se llena hasta la profundidad prevista del área de regeneración y se comprime. Finalmente se coloca el precinto en la parte superior.



Fig. 43. Sección separación zona regeneración con muro bajo impermeabilización

Fuente: izquierda: elaboración propia a partir de Kircher & Thon (2018), derecha: extraída de Kircher (2018)

11.2.4 PISCINA EXENTA

Análogo al tipo de partición Ex Situ: una piscina sin ningún área de regeneración se construye por separado (área de regeneración completamente exenta). Una piscina rectangular sin plantas marginales ofrece la posibilidad de cubrir la superficie con un rodillo de protección cuando no está en uso. Esta es la variante más sencilla para convertir piscinas tradicionales existentes en piscinas purificadas de forma natural: desde el skimmer integrado el agua ya no se tratará de forma convencional, sino que se desviará a través de una piscina o cámara de filtración.

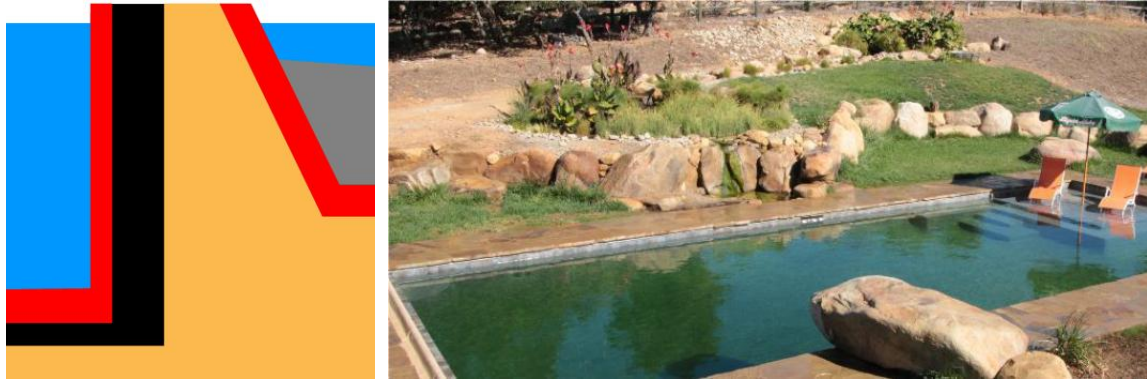


Fig. 44. Sección separación zona regeneración exenta

Fuente: izquierda: elaboración propia a partir de Kircher & Thon (2018), derecha: extraída de Kircher (2018)

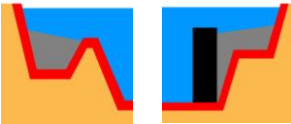
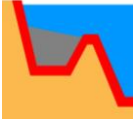





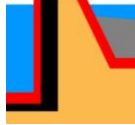
11.3 MODELOS BÁSICOS A PARTIR DE LA COMPATIBILIDAD ENTRE PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS Y DE FILTRACIÓN

Atendiendo a el movimiento del agua y las técnicas de filtración del agua, Kircher y Thon (2018), distinguen lo que denominan como modelos básicos de biopiscina:

1. Masa de agua estancada: zona de filtrado densamente plantada (sistema hidrobotánico).
2. Masa de agua con flujo superficial + sistema hidrobotánico.
3. Cuerpos de agua corriente con lecho filtrante plantado percolador (humedal técnico) y sistema hidrobotánico.
4. Cuerpos de agua corriente con lecho filtrante de flujo rápido y filtro de sustrato acumulador de biofilm.

Estos cuatro modelos, combinados con otros parámetros descritos anteriormente, como la partición entre zonas y el tipo de configuración de las zonas de baño determinan nueve tipos en función de la compatibilidad entre dichos parámetros.

Tabla 8. Compatibilidad de modelos básicos según sistema de filtrado, configuración y partición.

<p>Tipo de partición y tipo de construcción recomendada</p> <p>Tipo de filtración y tamaño recomendado de zona de filtrado (respecto a superficie total)</p>	<p>A</p> <p>Área de regeneración de un solo vaso o in situ.</p>	<p>B</p> <p>Área de regeneración parcialmente separada o In Situ + Ex Situ. (Sistema de cámaras múltiple)</p>	<p>C</p> <p>Área de regeneración separada o Ex Situ. (Sistema de cámaras múltiples).</p>
<p>1</p> <p>SHB \geq 60% de superficie densamente plantada</p>	<p>1A</p> 	<p>---</p>	<p>---</p>
<p>2</p> <p>SHB \geq 50% de superficie densamente plantada</p>	<p>2A</p> 	<p>2B</p> 	<p>No recomendado</p>
<p>3</p> <p>(<300 l/m²/h) a través de un lecho filtrante plantado</p> <p>HT + FSAB \geq 30-40% densamente plantado.</p> <p>Área sobre sustrato percolador</p>	<p>3A</p> 	<p>3B</p> 	<p>3C</p> 
<p>4</p> <p>FSAB \geq 25% de área de filtro</p> <p>\geq 5 - 20% para sistemas profesionales.</p> <p>(se puede combinar con HT y SHB)</p>	<p>4A</p> 	<p>4B</p>	<p>4C</p> 
<p><i>SHB: Sistema hidrobotánico.</i></p> <p><i>HT: Humedal técnico.</i></p> <p><i>FSAB: Filtro de sustrato acumulador de biofilm.</i></p>			

Fuente: Elaboración propia a partir de Kircher y Thon (2018)

11.4 OTROS PARÁMETROS

11.4.1 UBICACIÓN DE LA BIOPISCINA

El primer factor a tener en cuenta para elegir la localización de una biopiscina es que ésta necesita fundamentalmente luz para mantener un ecosistema sano y que las plantas puedan desarrollarse.

Otro factor, esta vez de usabilidad, es la preferencia de zonas soleadas para el baño que pueden ser complementadas con zonas de sombra para salvaguardar del calor. Es preferible elegir zonas con suficientes horas de exposición solar, ya que el área se puede dotar de sombra mediante elementos ajenos a la piscina o mediante el diseño de jardín (considerando los posibles aportes de materia orgánica que esto pueda suponer).

La ubicación de la piscina está determinada principalmente por esas cuestiones básicas, pero se deben tener en cuenta otros condicionantes como el acceso, el drenaje, la flora circundante, las posibles escorrentías del terreno, o la existencia de nivel freático.

Se debe evitar que el agua superficial de las lluvias entre al vaso, evitando así la introducción de un exceso de nutrientes. Un gran aporte de estas sustancias podría llevar a la eutrofización del sistema. Es conveniente pues, considerar en cada caso la necesidad de fosos o sistemas de drenaje con el fin de evitar este intercambio.

La existencia de árboles en las cercanías del vaso puede aportar zonas de sombreado que a priori resultan atractivas, pero también pueden inhibir el crecimiento de las plantas acuáticas. Además, las raíces pueden crecer debajo de la piscina y afectar a la impermeabilización. Las hojas que caen sobre la piscina traerán nutrientes y, si son excesivas, alterarán el equilibrio biológico en beneficio de las algas.

11.4.2 IMPERMEABILIZACIÓN

La impermeabilización es un punto común en todo tipo de construcción, ya que es lo que mantendrá el sistema aislado del exterior. También para las piscinas de uso público, esta acción es de suma importancia. La impermeabilización de la balsa comienza después de la excavación, alisado (supresión de cualquier material con aristas que puedan dañar la pantalla), colocación de una capa de arena tamizada (para asegurar una superficie libre de materiales cortantes), y colocación de las estructuras necesarias para la configuración deseada. Luego se coloca un geotextil, generalmente con un espesor mínimo de 200 g/m², y adecuado para cumplir las funciones necesarias que se basan en la protección y refuerzo

de la pantalla, en la separación del suelo y de la pantalla para evitar su rotura, así como para facilitar el drenaje entre capas por la acumulación de líquidos debajo de la pantalla (Lecoq, 2014).

La pantalla de material plástico (cloruro de polivinilo, polietileno de alta densidad, - o caucho de monómero de etileno-propileno-dieno grado M o EPDM) debe ser lo suficientemente resistente para que el equipo de filtrado pueda ser reemplazado sin causarle daño (Ferreira A. , 2007; Littlewood, 2005; Santos, 2005). Dicha pantalla debe soldarse in situ para asegurar que todas las partes estén aisladas y permitir una perfecta adaptación al suelo. Este proceso es completamente reversible si el espacio necesita ser utilizado para otro uso. Las pantallas flexibles deben manipularse con cuidado para evitar roturas u otros daños y deben ser resistentes a la exposición a los rayos UV (Ferreira A. , 2007; Santos, 2005).

11.4.3 SEGURIDAD EN EL BAÑO

Los nadadores deben estar visibles en todo momento, especialmente los niños. La remoción de sedimentos del fondo puede reducir rápidamente la visibilidad del agua. Si la piscina es profunda, aunque es menos probable que se altere el fondo, los niveles más bajos de agua pueden llegar a ser difícilmente perceptibles en algunos casos. Un fondo liso que facilite la limpieza creará una zona de baño más segura.

Preferiblemente las playas deben tener una pendiente ligera alrededor de la piscina para reducir la posibilidad de caídas a niveles de agua demasiado profundos.

También son particularmente importantes las áreas utilizadas por los bañistas, que deben estar divididas por diferentes profundidades e identificadas adecuadamente (Tabla 9) y separados por tabiques, boyas, cuerdas u otros elementos (FLL, 2013; Santos, 2005). Se debe tener en cuenta que en el caso español el Código Técnico de la edificación limita con otros parámetros ligeramente diferentes la profundidad en el caso de piscinas públicas (Tabla 9).

El área infantil debe tener al menos 80 m² de tamaño y una profundidad máxima de 0,60 m. Sin embargo, la circulación del agua debe estar asegurada por sistemas hidráulicos adecuados para garantizar su renovación constante y así asegurar su buena calidad (Santos, 2005; FLL, 2013).

Tabla 9. Profundidad para las diferentes áreas según FLL y CTE DBSUA6

Área	Profundidad FLL	Profundidad CTE
Zona infantil	Hasta 0,60 m	Hasta 0,50 m
Zona de descanso	Hasta 1,35 m	Hasta 1,40 m
Zona de natación	> 1,35 m	> 1,40 m
Zona de buceo	≥ 3,4 m	≥ 3,0 m

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL y CTE DBSUA6

12 TIPOLOGÍAS DE BIOPISCINA SEGÚN FLL

Según las directrices de la FLL en la edición de 2006 y revisadas en 2017 sobre lo que denominan “estanques para nadar”, éstos pueden tener diferentes configuraciones en función del proyecto y del tipo de equipamiento utilizado, y las clasifica según estas características en cinco grupos:

- Tipo I. Biopiscina sin tecnificación
- Tipo II. Biopiscina con sistema de limpieza de superficies
- Tipo III. Biopiscina con filtro de sustrato de flujo lento
- Tipo IV. Biopiscina con filtro de sustrato de flujo rápido
- Tipo V. Biopiscina totalmente tecnificada

Independientemente del diseño, para su clasificación se tienen en cuenta los distintos métodos de construcción. Los tipos de biopiscina se diferencian según el tipo y grado de tecnificación para el flujo a través de las áreas de uso y tratamiento.

La decisión sobre el tipo más adecuado está sujeta a varios aspectos: los requisitos del cliente, el espacio disponible, las condiciones externas y el uso previsto, incluidas las posibilidades arquitectónicas y de diseño.

El tratamiento natural del agua es la parte fundamental de todos los tipos de biopiscina y se debe tener presente que el plancton debería verse afectado lo menos posible en el tratamiento biológico.

En los diversos tipos, se debe tener en cuenta la intensidad de uso, el tamaño del área de tratamiento y uso, la cantidad y profundidad del agua, las características del agua de llenado, la ubicación del bronceado y el sombreado, la temperatura y el arrastre de suciedad. y coordinados entre sí según el tipo.

El esfuerzo de mantenimiento depende del equipo técnico, la succión superficial, la eliminación de depósitos en el fondo y en el área de regeneración, y la reducción de nutrientes en el agua.

12.1 TIPO I. BIOPISCINA SIN TECNIFICACIÓN

En este tipo el sistema de tratamiento de agua se realiza íntegramente mediante procesos naturales, sin ningún tipo de tecnificación de refuerzo, utilizando únicamente plantas y microorganismos.



Fig. 45. Tipo I

Fuente: Dgfnb (2021)

La construcción se basa en un único cuerpo de agua que integra todas las partes y no cuenta con circulación artificial. La circulación del agua se consigue forma natural por el calentamiento de la lámina de agua, por lo que no utiliza energía para su funcionamiento. Se utiliza un filtrado biológico de flujo vertical dentro del vaso de baño. Este filtro también alberga a las plantas, es decir, también es la zona de regeneración.

Para un buen rendimiento del sistema, el tamaño mínimo del vaso de baño debe ser de 120 m²; la profundidad mínima de 2 m² y la zona de regeneración debe ocupar al menos el 60% de la superficie total para que el tratamiento del agua se realice de manera eficiente (DGfnB, 2021). Debe existir plantación de nenúfares, así como plantas depurativas acuáticas y subacuáticas, siendo el propio equilibrio biológico el regulador.

La nitidez del agua puede variar según la época del año, debido a la acumulación de sedimentación en el fondo. Por ello, esta tipología suele tener hondas profundidades superiores a los 2 metros con el fin de evitar el enturbiamiento del agua debido al baño de los usuarios. Este tipo de piscinas necesitan ser limpiadas una o dos veces al año con tal de retirar biomasa sobrante y limpiar el fondo para eliminar restos de plantas.

Igualmente debido a los ciclos biológicos naturales que ocurren durante las estaciones del año, es de esperar cierta turbidez del agua de forma esporádica (DGfnB, 2021). Durante la primavera, por ejemplo, el agua puede perder nitidez debido al crecimiento de algas.

El sistema requiere completar algunos ciclos para consolidarse y estabilizarse de forma definitiva, pero requiere muy poco trabajo proyectual y la ausencia de consumo energético es completa. El mantenimiento se reduce a la poda de plantas dos veces al año y la aspiración del fondo de forma anual (DGfnB, 2021).

12.2 TIPO II. BIOPISCINA CON LIMPIEZA DE SUPERFICIES

Al igual que en el Tipo I, se utiliza una gran frondosidad de plantas, pero con la diferencia de que en ésta se hace uso de skimmers para extraer agua de la superficie con el fin de eliminar las impurezas y los desechos orgánicos que puedan estar flotando en la superficie. En este tipo de piscinas, el agua es la mayoría de las veces más translúcida y pobre en nutrientes (DGfnB, 2021).



Fig. 46. Tipo II

Fuente: Dgfnb (2021)

La construcción de estas piscinas también utiliza un solo tanque, pero incluye el sistema de extracción mediante skimmers. El área mínima para la parte de natación es de 100 m², con una profundidad también en torno a los 2 m y con una zona de regeneración mínima del 50% de la superficie total (DGfnB, 2021). El mantenimiento es similar a una piscina de Tipo I, con plantas (poda de 2 a 3 veces al año), aspiración de sedimentos del fondo (más de 2 veces al año) y limpieza del skimmers siempre que se realice algún mantenimiento previo o cuando sea necesario (DGfnB, 2021).

12.3 TIPO III. BIOPISCINA CON FILTRO DE SUSTRATOS DE FLUJO LENTO

Este sistema incluye piscinas con un grado medio de tecnificación. También utilizan dos zonas diferenciadas: natación y regeneración; a las que se agrega una zona de filtración interna con flujo dirigido. Además del uso de skimmers, este sistema de flujo dirigido facilita y mejora el tratamiento del agua y permite el mantenimiento de agua limpia. Es el tipo de piscina más construido (DGfnB, 2021).



Fig. 47. Tipo III

Fuente: Dgfnb (2021)

La construcción de esta categoría se realiza mediante un tanque con una zona de filtración interna, en la que se utiliza una bomba de bajo consumo para favorecer la circulación del agua. También utiliza la tecnología de skimmers. Debido a estos factores, la necesidad de energía eléctrica es evidente, pero aun así es baja considerando la alta eficiencia de la bomba y los skimmers.

El área de regeneración se puede reducir con el funcionamiento de los sistemas tecnológicos. Por lo tanto, para la zona de baño el tamaño mínimo es de 80 m², con una profundidad entre 1,5 m y 2 m, y una zona de regeneración con plantas de al menos el 30% de la superficie. El mantenimiento de este grupo también implica la poda de plantas entre 2 a 3 veces al año y la limpieza del fondo mensualmente (DGfnB, 2021).

12.4 TIPO IV. BIOPISCINA CON FILTRO DE SUSTRATOS DE FLUJO RÁPIDO

Esta categoría incluye piscinas cuya construcción permite dos tanques separados, con caudales dirigidos a las zonas de filtración y con menor uso de plantas. Teniendo en cuenta el intenso sistema de filtración de agua, que ocurre parcialmente en el tanque exterior, la calidad del agua es superior a las categorías anteriores. En este tipo de piscina la experiencia de bañarse en aguas tratadas sin productos químicos y con excelente calidad es también el objetivo principal, pero se relega deliberadamente en un segundo plano la existencia de vida vegetal y animal (DGfnB, 2021). En cuanto a la construcción, existe la posibilidad de que los tanques separados se encuentren a diferentes niveles, utilizando caudales dirigidos en las zonas de filtración. Aquí el consumo de energía es mayor que en las categorías anteriores, pero con el uso de bombas de alta eficiencia y ajustada al sistema es posible mantener el consumo todavía bajo. La ventaja es un agua más limpia y de mayor calidad.



Fig. 48. Tipo IV

Fuente: Dgfnb (2021)

El tamaño mínimo de la zona de baño se puede reducir a 60 m² con una profundidad de 1,5 m a 2 m. El área de regeneración también se puede reducir (DGfnB, 2021).

En cuanto al mantenimiento, este se desarrollará más a fondo para mantener todo el sistema en funcionamiento. Por lo tanto, será necesario cortar las plantas de 2 a 3 veces al año con una aspiradora de fondo cada semana, si es posible. El mantenimiento se puede simplificar mediante el uso de robots de limpieza (DGfnB, 2021).

12.5 TIPO V. BIOPISCINA TOTALMENTE TECNIFICADA

Este grupo incluye piscinas sin zona de regeneración con plantas. Esta se sustituye por una unidad técnica con filtros incorporados que eliminarán las impurezas y nutrientes propicios para el desarrollo de algas, como el filtro de fosfato. Cuentan con un flujo dirigido continuo, lo que permite que el agua sea encaminada al área técnica, manteniendo así el agua limpia y con una calidad superior. Las plantas acuáticas se utilizan exclusivamente para decoración, ofreciendo así un pequeño hábitat para la vida salvaje. Esta categoría permite mayores posibilidades en el diseño, ya que utiliza alta tecnología para mantener la calidad del agua, igualando la estética de una piscina tradicional si se desea (DGfnB, 2021).



Fig. 49. Tipo V

Fuente: Dgfnb (2021)

Se componen de un vaso para la zona de baño y un área técnica externa separada para el tratamiento del agua, caudales continuos dirigidos a la zona de tratamiento, y con uso de skimmers. Con esta tecnología, las áreas de la piscina se pueden reducir de tamaño considerablemente. El tamaño mínimo de la zona de baño es de 50 m², con un área de procesamiento de al menos un 30%. La profundidad puede variar según la ubicación y el uso que se pretende (DGfnB, 2021).

En términos de mantenimiento, esta tipología se puede automatizar casi en su totalidad y los costes de mantenimiento estarán directamente relacionados con el consumo de la tecnología utilizada (DGfnB, 2021).

12.6 CONSIDERACIONES SOBRE PISCINAS PÚBLICAS

Las dimensiones descritas previamente, hacen referencia a piscinas de uso privado. Para la adaptación al uso público se deben redimensionar algunos parámetros como la profundidad, que oscilará entre 2,4 m y 3,6 m (3 m máximo en España según CTE DBSUA6), y otros parámetros se verán condicionados según el método de filtrado que se establezca. Si la filtración se lleva a cabo íntegramente en la zona de regeneración, la correlación de ésta con la zona de baño será mínimo de 1:1 (Littlewood, 2005).

Existen a día de hoy biopiscinas públicas que reciben cantidades superiores a 1000 bañistas diarios. Tras varios años de controles de calidad del agua por parte de entidades oficiales, se mantienen libres de bacterias dañinas e incluso presentan parámetros aceptables para consumo humano (Littlewood, 2005; Santos, 2005; IOB, 2021).

13 MANTENIMIENTO DE LAS BIOPISCINAS

Las medidas de mantenimiento tienen como finalidad procurar el contenido de nutrientes disponibles sea el adecuado para garantizar los procesos de degradación y evitar la proliferación de algas. Si bien se trata de un sistema autosuficiente que se regenera y depura por sí mismo, existen determinadas medidas que son necesarias para asegurar su correcto funcionamiento, así como evaluar sus condiciones en cada momento.

13.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

En las acciones de mantenimiento, el objetivo es asegurar que las estructuras y partes técnicas del sistema se mantengan en condiciones óptimas, e incluyen pruebas, reposición de piezas y otros componentes necesarios, complementando algunas de las piezas del sistema, conservación y limpieza. Estos trámites deben realizarse durante el período en el que el uso sea mínimo (FLL, 2013).

En la zona de regeneración se realizan acciones de conservación con el fin de incrementar y mantener la vegetación en su esplendor y mantener su función de depuración de aguas. También debe realizarse durante los períodos de mantenimiento.

Debido a la ausencia de productos químicos, es difícil evitar la proliferación de algas (biofilm), que además serán las primeras en aparecer en el vaso. Estas harán que el agua pierda nitidez, pero en grados diferentes según la calidad y cantidad de agua utilizada (por tanto, es recomendable hacer un estudio antes del llenado para conocer las características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas, así como la carga de nutrientes o el clima.

El mantenimiento será diferente para cada época del año: Durante el invierno es prácticamente inexistente; en primavera y otoño será más intenso; y en verano serán rutinas semanales. Es aconsejable usar un robot limpia-fondos y poner medios en la limitación de entrada de materia orgánica para un desarrollo óptimo de la filtración.

Durante el invierno el mantenimiento consistirá principalmente en retirar el exceso de hojas, con el fin de mantener activos los procesos de degradación, con la ventaja de que no recibirá aportaciones en forma de materia orgánica.

Durante la primavera se deben retirar los excesos de depósitos creados durante el invierno. El agua captada durante el proceso no debe ser devuelta a la zona de baño. También se aconseja limpiar las paredes. Este proceso se puede minimizar implementando superficies que faciliten la limpieza.

Con la limpieza preventiva y la extracción continuada de residuos orgánicos, así como el inicio de los sistemas de filtrado en primavera, se pueden evitar altas concentraciones incontroladas de nutrientes y la activación de la microbiología.

Las plantas existentes en la zona de regeneración no requieren mantenimiento continuado, pero sí de la poda en temporada con el fin de que vuelvan a rebrotar para un funcionamiento óptimo. Se deben evitar el abono y otros productos químicos, ya que pueden incorporar componentes que desestabilicen el sistema, reduciendo su capacidad de depuración.

El biofiltro ha de renovarse extrayendo las gravas para su limpieza o sustitución de una parte de éstas, según las características del sistema. En condiciones óptimas se puede tomar como referencia una duración media de 20 años.

13.2 GUÍA DE MANTENIMIENTO

Se requiere un mantenimiento continuo, inspecciones regulares y reparaciones si fuera necesario. Las reparaciones ocurrirán a medida que se detecten problemas durante las acciones de mantenimiento y en el caso de piscinas públicas deberán registrarse en el libro correspondiente para futuras consultas (FLL, 2013).

Las acciones de mantenimiento o reparación no podrán utilizar productos que contaminen el agua, contengan productos químicos o materia orgánica que puedan poner en peligro el funcionamiento del sistema, ni afectar la salud de los usuarios (FLL, 2013).

13.2.1 INSPECCIONES

Las inspecciones tendrán como objetivo determinar y evaluar el estado actual de la piscina ecológica e incluirán pruebas, mediciones y evaluaciones de todas las estructuras y dispositivos técnicos de la piscina. La calidad del agua es el parámetro esencial que se deben analizar y debe someterse a inspecciones periódicas, especialmente durante la

temporada de baño, sin embargo, existen otras cuestiones que son particularmente importantes. En FLL (2013) se establecen los principales puntos a inspeccionar:

- La estabilidad de las islas y paredes de la piscina.
- El buen funcionamiento de la barrera capilar.
- Pérdidas anómalas de agua, por ejemplo, debido a una barrera capilar inadecuada o fugas por otros medios.
- La determinación de deformaciones o destrucciones mecánicas, térmicas o fotoquímicas.
- El estado de la impermeabilización, existencia de tensiones, protuberancias de alguna piedra angular o algún tipo de desgarro.
- Estabilidad de carga cuando en los elementos de revestimiento empleados no se ha utilizado ningún agente aglutinante.
- El estado adecuado de las esquinas con respecto a la permeación (especialmente si se utilizan telas de polímero).
- Crecimiento de algas.
- Desarrollo de la vegetación (por ejemplo, crecimiento excesivo de algunas especies en detrimento de otras que eventualmente desaparecen, o deficiencias de la vegetación por falta de nutrientes).
- Infestación de plagas, caracoles u otros.

También deben realizarse pruebas de fósforo total (F_{TOTAL}), en el agua de llenado utilizada para compensar las pérdidas antes de la temporada de baño, y una vez al mes a partir de entonces, siempre que el agua provenga del suministro municipal. De lo contrario, todas las pruebas deben llevarse a cabo con la excepción de *Leggionella*.

El análisis del agua es otro de los parámetros más. La recolección de muestras de agua debe ser constante y periódica en todos los sistemas: agua de llenado, agua pura, agua de la zona de baño y agua sin tratar.

El agua de las zonas de agua no tratada, agua después de filtraciones y el agua de la zona de natación debe ser probada para los parámetros presentes en la Tabla 10.

Tabla 10. Pruebas periódicas de calidad del agua para los distintos parámetros durante la temporada de baño

Parámetro	Frecuencia	Tiempo de espera	Muestreo
Parámetros físicos			
Saturación de Oxígeno	Diario	Antes de usar	Agua de la zona de regeneración Agua después de la filtración)
Profundidad de transparencia	Constantemente	Durante la supervisión de condiciones del agua	Agua de la zona de regeneración
Temperatura del agua	3 veces al día	Antes del uso, a mitad del día y después del uso	Agua de la zona de regeneración
Parámetros químicos			
Fósforo total	Mensual	Antes de usar	Agua de la zona de regeneración Agua después de la filtración)
Tenacidad	Mensual	Antes de usar	Agua de la zona de regeneración Agua después de la filtración)
Nitrato / Amoníaco	Mensual	Antes de usar	Agua de la zona de regeneración Agua después de la filtración)
Valor de PH	Diario	Antes de usar	Agua de la zona de regeneración Agua después de la filtración)
Capacidad de ácido Ks 4.3	Mensual	Antes de usar	Agua de la zona de regeneración Agua después de la filtración)
Parámetros biológicos			
Fito / Zooplancton	Mensual	Antes de Usar	Agua de la zona de regeneración
Parámetros microbiológicos sanitarios			
Enterococos	Semanalmente o más de una vez por semana	Según recomendaciones de	Agua de la zona de regeneración
E. Coli			

	si se considera necesario	las autoridades competentes	Agua después de la filtración)
Pseudomonas aeruginosa			Agua de la zona de regeneración
Legionella			

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

Se ha de tener en cuenta que en España la legislación sobre calidad del agua de baño solo menciona las piscinas con tratamiento con cloración. Así, se presentan las recomendaciones de FLL para lo que se aplica según GIABN en piscinas ecológicas.

13.2.2 CONSERVACIÓN DE LA VEGETACIÓN

Las acciones de conservación de la vegetación deben realizarse de acuerdo con las instrucciones del arquitecto o contratista y sirven para garantizar el papel de las plantas en la depuración del agua. En este sentido, y de acuerdo con los lineamientos de FLL (2013), para el caso de plantas marginales, la conservación puede ocurrir en cualquier momento; sin embargo, en el caso de condiciones favorables, se pueden realizar en ese ciclo, o en caso de condiciones desfavorables, después de tres ciclos de vida. En el caso de las plantas sumergidas, la conservación suele darse durante el ciclo de vida o después de la siembra. Se requerirán otras acciones a intervalos regulares o tan pronto como se detecten, como recomendado por FLL (2013):

Tabla 11. Acciones para conservación de la vegetación

Eliminación en la zona de baño de:	
Plantas, peces, caracoles, algas, hojas u otros desechos más grandes, plantas muertas, Arena, grava o limo	Tan pronto como se detecten o cuando se considere necesario. Varias veces al año y siempre que sea necesario tanto en la zona de regeneración como en la zona de baño
Poda en la zona de regeneración de:	
Todas las plantas para mantener sus características naturales (con eliminación de material cortado)	A finales del verano hasta primavera, antes de la aparición de brotes y según las características de la especie
Exceso de biomasa y reducción de especies que se multiplican muy rápidamente	Cuando sea necesario

Invierno	
Acciones para evitar daños en instalaciones, circuitos, etc.	Al final de la temporada de baño
Nutrientes	
Adición de nutrientes específicos para combatir las deficiencias en la vegetación en cuestión	Cuando sea necesario.

Fuente: Elaboración propia a partir de FLL (2013)

13.2.3 REPARACIÓN

Las acciones de reparación se centran en la restauración o mejora de las instalaciones. Como ya se ha mencionado, las acciones de reparación surgirán como consecuencia durante las acciones de mantenimiento o conservación se detecten fallas en alguna parte del sistema.

“Pueden incluir el cambio de filtros o material filtrante, cambio de equipo técnico defectuoso, cambio o adición de plantas, recuperación de la cubierta de fondo en áreas de regeneración con arena o gravas, o reparación de estructuras construidas” (FLL, 2013).

13.2.4 CAMBIO DE AGUA

En caso de ser necesario cambiar toda o parte del agua, el sistema tardará uno o dos meses en volver a estabilizarse y recuperar su capacidad de depuración completa (FLL, 2013).

13.2.5 SISTEMAS PERMANENTES DE LIMPIEZA

Se trata de extraer el agua del vaso y conducirla a la zona de regeneración, haciendo un proceso de recirculación que asegure que no se estanque en ninguna zona de la piscina y se renueve el volumen completo de ésta y sus impurezas.

La suciedad que pueda estar presente en la piscina tendrá densidades diferentes, por lo que se habrá de extraer de una forma diferente, ya que estará distribuidas por todo el volumen de agua.

Existen dos soluciones diferentes para extraer el agua de la piscina, recomendadas según la medida de estas.

- Sistema Skimmer

Se usa en superficies de hasta 200 m². Es un aparato conectado a una bomba de aspiración que extrae el agua de la piscina y la conduce a la instalación depuradora, introduciéndola de nuevo en la piscina por unos orificios situados en la pared opuesta preferentemente.

Se componen de dos cuerpos, una pieza cuadrangular con unas oberturas en contacto con el agua, dotada de una compuerta antirretorno, y otro cilindro interior con un filtro para captar hojas, insectos y otros, que floten en la superficie.

El número de skimmer que se ha de instalar depende de la medida de la piscina, pero es obligatorio un mínimo de uno por cada 25m² de lámina de agua.

Existen también otros tipos de skimmer como el de tamiz curvado. La medida de malla es de 0,3mm. La principal aportación de este sistema radica en que las impurezas ligeras y las algas quedan en el tamiz, haciendo que los nutrientes que contienen sean eliminados antes de volver a entrar de nuevo en el ciclo del agua. La criba se autodepura, ya que las impurezas se decantan al fondo. El flujo de agua se regula mediante un calibre flotante.

- Sistema de desbordamiento

Se emplea para superficies superiores a 200m². Consiste en un canal perimetral continuo con una pendiente adecuada para que se introduzca el agua, vaya hasta los desagües y a la instalación depuradora.

Posteriormente, el agua tratada se introduce desde las zonas profundas del vaso, cosa que facilita la recirculación. Este sistema permite extraer las impurezas de la superficie, mantiene el nivel de agua al máximo previsto y facilita que los bañistas se puedan sujetar.

Las dimensiones del rebosadero estarán en función del volumen de agua y del desplazamiento de agua que produzcan los usuarios.

13.2.6 MUESTREO

El intervalo máximo de la toma de muestras durante la temporada de baño debe ser de 14 días, siempre que no haya habido desviaciones en los 14 días anteriores.

13.2.7 PARÁMETROS DE DEPURACIÓN

Algunos parámetros de depuración como el método, la escala y las unidades, deben ser previamente especificados por el proyectista, del mismo modo que todas las condiciones generales que deban cumplirse para su construcción y mantenimiento, con el fin de garantizar el funcionamiento duradero y sostenible de la depuración. Esto incluye detalles como:

- Planos detallados de las instalaciones hidráulicas definiendo dimensiones de las tuberías y las especificaciones técnicas éstas y de las bombas.
- Documentación referente a tuberías, equipamientos técnicos eléctricos, bombas y cualquier otro elemento existente perteneciente al sistema.
- Aplicación de dispositivos de medición de flujo.
- Libro de gestión y operaciones con el correspondiente protocolo de mantenimiento en el que figurarán las anotaciones correspondientes por parte del técnico responsable. Las pruebas del rendimiento se iniciarán 6 semanas después de comenzar a operar la instalación con la medición de agua de relleno, agua tratada y el caudal de agua correspondiente.

Para la determinación de la eficiencia del sistema deben incluirse los parámetros de concentración de fósforo total, así como los microorganismos indicadores.

Es recomendable la medición adicional de carbono orgánico total y carbono orgánico disuelto en determinadas situaciones en las que puedan detectarse eventuales problemas funcionales del sistema.

El desarrollo de vegetación debe ser evaluado y éstas serán sustituidas si fuera necesario.

13.2.8 INCUMPLIMIENTO DE LOS VALORES DE REFERENCIA

En caso de que se sobrepasen los valores de referencia, deben seguirse los siguientes pasos:

En el área de baño:

- En caso de resultados superiores a los valores de referencia en diferentes puntos de muestreo se repetirá la prueba para confirmar los resultados.
- En caso de resultados superiores a los valores de referencia en un solo punto de muestreo, se debe llegar a acuerdo entre las autoridades sanitarias pertinentes, los operadores y los proyectistas para continuar con el uso de las instalaciones de baño.
- En caso de resultados superiores a los valores de referencia en diferentes puntos de muestreo, se debe llegar a acuerdo entre las autoridades sanitarias, los operadores y los proyectistas para:
 - Limitar el número de usuarios.
 - Cerrar las instalaciones.
 - Involucrar a expertos.
- Para múltiples incidencias bacteriológicas:
 - Acortar los intervalos de muestreo.
 - Considerar ampliar el espectro de análisis microbiológico.
 - Considerar involucrar a un experto.

En el área de agua limpia o depurada:

- Comprobar la existencia de contaminación fecal.
- Repetir test.
- En caso de los resultados permanezcan por encima de los valores de referencia, inspeccionar las áreas de tratamiento, incluido todos los sistemas anexos y conectados. Repetir test.

En el agua de llenado:

- Comprobar la existencia de contaminación fecal.
- Si fuera necesario, cambiar la fuente de llenado.

14 COMPARATIVA DE PARÁMETROS Y COSTES DE UNA BIOPISCINA PÚBLICA CON UNA PISCINA CONVENCIONAL PÚBLICA

Con el fin de analizar las ventajas y desventajas en materia de costes económicos de las biopiscinas frente a las piscinas convencionales se muestran unas tablas comparativas procedentes del estudio de viabilidad previo a la remodelación de una piscina pública con capacidad para 300 bañistas, en la ciudad de Kirchdorf, en Alemania. En ellas, se comparan los datos del proyecto de biopiscina con la alternativa convencional para el mismo supuesto.

En el caso de estudio, los costes de adaptación a una biopiscina son un 25% de los que supondrían para una piscina con cloración de características similares. En la mayoría de los parámetros los costes se ven reducidos o desaparecen. Principalmente a destacar la construcción del vaso y las instalaciones relacionadas con el flujo de agua y su filtrado.

Como único dato significativo en contra, la biopiscina requiere el tratamiento previo del agua de llenado. Pero este dato no resulta significativo sobre el total.

Tabla 12. Comparación de costos reales de dos presupuestos para la construcción de una piscina en la ciudad de Kirchdorf, Alemania.

Vaso	En piscina de tratamiento biológico	€ (en miles)	En piscina convencional	€ (en miles)
	Modelado de la piscina, impermeabilización y sustratos	130	Vaso	1500
	Demoliciones	10	Reconstrucciones	100
Área envolvente	Canalizaciones	36	Canalizaciones	60
	Bombas	12	Bombas	25
	Instalaciones eléctricas	15	Instalaciones eléctricas	20
	Iluminación	9	Iluminación	9
	Vasos infantiles o de chapoteo	20	Vasos infantiles o de chapoteo	0
	Sala de máquinas	10	Sala de máquinas	40

	Paisajismo	30	Paisajismo	30
	Pasarela de madera	48	Pasarela de madera	48
	Área de juegos deportivos	12	Área de juegos deportivos	12
	Área de juegos con agua	10	Área de juegos con agua	10
	Campo de beach volley	2,5	Campo de beach volley	2,5
	Costes de construcción auxiliares	100		0
Tratamiento de agua	Equipamiento de limpieza	5	Equipamiento de limpieza	12
	Filtro biológico emergido	16	Equipamiento de dosificación de cloro	15
	Filtro biológico sumergido	10	Filtro de arena	150
	Tratamiento del agua de llenado	12	Tratamiento del agua de llenado	0
	TOTAL	487,5	TOTAL	2033,5

Fuente: Elaboración propia a partir de Geraldés, Schwarzer & Schwarzer, (2014)

Los costes de funcionamiento de una biopiscina de estas dimensiones se reducen a un 75% en comparación a la alternativa convencional. En estos costes se incluyen los operarios de mantenimiento y administración, así como otros gastos comunes en las dos tipologías y que se dan por su condición de espacio público. Sin tener en cuenta estos se puede hablar de valores entre un 60% y un 70%. Datos que entonces pueden extrapolarse a una comparativa de las dos tipologías para su ámbito privado.

Esta diferencia radica principalmente en la aplicación o no de productos químicos para la desinfección del agua, así como en el consumo energético de los equipos de filtrado y recirculación muy superiores en una tipología convencional. También se debe considerar la renovación del agua por la acumulación de productos químicos y que no es necesaria en una biopiscina.

Como contra, y como es habitual en las biopiscinas, el espacio necesario de lámina de agua es muy superior para obtener las mismas dimensiones de la zona de baño. También el muestreo para análisis del agua debe realizarse con una periodicidad superior.

Tabla 13. Costes anuales de funcionamiento de una piscina pública de tratamiento biológico en Kirchdorf, Alemania, en comparación con una piscina pública convencional, ambas con una capacidad diaria de 300 bañistas.

Datos de instalación	Piscina de tratamiento biológico	Piscina convencional
Capacidad	300 bañistas	300 bañistas
Área de zona de baño	300 m ²	300 m ²
Área de regeneración y filtro de plantas	200 m ²	
Área total de agua	500 m ²	300 m ²
Costes (€)		
Consumo de productos químicos (cloro, fungicidas)	0	1950 €
Sumideros	0	2800 €
Consumo de agua	3500 €	2800 €
Consumo de energía	2450 €	6400 €
Personal y gastos de mantenimiento		
Instalaciones	13500 €	15800 €
Máquinas, equipamiento y elementos auxiliares	1700 €	1700 €
Administración	1100 €	1100 €
Análisis de agua	1160 €	480 €
Gastos operacionales totales	23410 €	31030 €

Fuente: Elaboración propia a partir de Gerdal, Schwarzer & Schwarzer, (2014)

15 PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DE UNA PISCINA CONVENCIONAL A BIOPISCINA

15.1 ESTUDIO DE LA UBICACIÓN

La piscina se encuentra en una pedanía rural del interior del municipio de Elche, al sur de Alicante. La parcela cuenta con 3.065 m², de los cuales 282 m² están construidos. El clima de la zona se caracteriza por veranos muy cálidos y húmedos, mayormente despejados; los inviernos son largos, fríos, ventosos y parcialmente nublados y está seco durante todo el año.

La piscina es de uso privado y el vaso está construido mediante muros de contención de hormigón armado. Tiene 60 m², con unas dimensiones de 10 m de largo y 6 m de ancho, y su profundidad varía entre 1'50 m y 2'20 m en su parte más profunda. Está equipada con bomba de recirculación, y cuenta con dos skimmer conectados a un filtro de arena, así como tres impulsores en el lado opuesto a unos 20 cm por debajo del nivel del pavimento existente.

Existen relativamente cerca del vaso, varios árboles de grandes dimensiones de la especie *Pinus Pinea L.* (Pino piñonero), que podrían realizar aportes de nutrientes en circunstancias de viento, así como un lateral del vallado plantado con *Nerium Oleander* (Adelfa) que, a pesar de tener hoja perenne, en primavera suele dejar caer parte de sus hojas. En el lado más distante, donde se encuentra la ducha está la delimitación de la parcela plantada de *Cupressus sempervirens* (Ciprés). Éste por la distancia y su hoja perenne no supone a priori un problema en cuanto a aportación de materia orgánica.

El espacio disponible para la reconversión es todo aquel anexo al vaso existente y que se encuentra contenido en el cercado que delimita la zona dedicada al baño. Dentro de éste, además del vaso, se ubican la entrada al espacio, una sala de instalaciones subterránea a la que se accede verticalmente desde el nivel del pavimento y una ducha conectada al agua corriente.



Fig. 50. Izquierda: ubicación de la parcelona. Derecha: vista satélite de la parcela.

Fuente: Izquierda: Catastro. Derecha: Google Maps

15.2 CONFIGURACIÓN DE LAS ZONAS Y DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

Para configurar los parámetros principales que definen la piscina, se deben estudiar las posibilidades según el funcionamiento del sistema de filtración y el espacio disponible que condicionará la configuración de las zonas de baño y regeneración. También se debe tener en cuenta la continuidad o no, del sistema de recirculación existente, así como los elementos preexistentes en el espacio y la circulación de los usuarios.

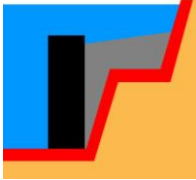
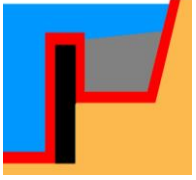
El primer condicionante a tener en cuenta será el espacio, ya que la parcela cuenta con vallado acotando el uso y arboleda anexa que, no se pretenden intervenir. Se mantendrá el vaso existente, para evitar la modificación estructural, así como la situación de los skimmer. También se habrá de tener en cuenta el posible aprovechamiento parcial de las canalizaciones de agua y el resto de instalaciones.

A partir de la Tabla 8 sobre combinación de parámetros y configuración y con las condiciones iniciales de proyecto, se pueden obtener los modelos básicos de los que partir para el diseño. Teniendo en cuenta el tamaño del vaso y su preservación, así como el espacio disponible, los modelos de tipo 1 y 2 no serían una posibilidad. Los modelos de

tipo 3 y 4 necesitan un porcentaje de zona filtración inferior. Si se busca una reducción de la tecnificación, y con ello del consumo, los modelos del tipo 3 resultan los más funcionales para este caso por necesitar un espacio mínimo del 30% para la zona de regeneración.

Teniendo en cuenta el espacio disponible, así como la circulación de los usuarios y con el fin de aprovechar gran parte del circuito de recirculación existente se opta por un sistema híbrido entre 3A y 3B. Se considera una configuración mixta con una zona de regeneración integrada en la misma lámina de agua, junto a otra exenta, pero unida a esta primera, y al vaso por los extremos longitudinales. De este modo se aprovecha el sistema de skimmer/impulsión y se permite a la vez una circulación natural cuando el sistema esté apagado.

Tabla 14. Determinación de parámetros a partir de Tabla 8

Tipo de partición y tipo de construcción recomendada	A Área de regeneración de un solo vaso o in situ.	B Área de regeneración parcialmente separada o In Situ + Ex Situ. (Sistema de cámaras múltiple)
<p>3</p> <p>(<300 l/m²/h) a través de un lecho filtrante plantado</p> <p>HT + FSAB ≥ 30-40% densamente plantado.</p> <p>Área sobre sustrato percolador</p>	<p>3A</p> 	<p>3B</p> 

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, según la clasificación de Kircher y Thon (2018), se trata de un sistema de flujo lento a través de lecho filtrante densamente plantado con área de regeneración parcialmente separada y muro bajo impermeabilización. En la clasificación según FLL sería un Tipo IV o biopiscina con filtro de sustratos de flujo rápido. Aquí existe una contradicción en la denominación debido a la utilización de la bomba existente, pero que, mediante el uso de válvulas y difusores, se conseguirá un flujo lento para no afectar a la colonia bacteriana del filtro biológico, mientras que se conserva la recirculación hacia el filtro de arena desde los skimmer y su vuelta por los impulsores que se puede considerar flujo rápido.

Las coronaciones y nuevo pavimento se colocarán sobre el nivel preexistente con el fin de evitar la retirada del actual que no necesite ser intervenido, así como elevar la cota con el fin de evitar posibles escorrentías y el consiguiente aporte de nutrientes del perímetro circundante debido a precipitaciones.

15.3 DISEÑO

La zona circundante al vaso de baño se divide en dos partes simétricas. La primera donde estaría el tránsito de los usuarios y que abarca desde el acceso al recinto hasta la ducha y contiene la sala subterránea donde se alojan filtro, bomba, y mandos eléctricos. Y una segunda que contiene el biofiltro y que tiene algo más de 30 m², lo que supone superar el 30% que esta zona requiere para filtrar de manera óptima los 90 m² de superficie total de agua.



Fig. 51. Esquema distribución en planta de biopiscina

Fuente: Elaboración propia

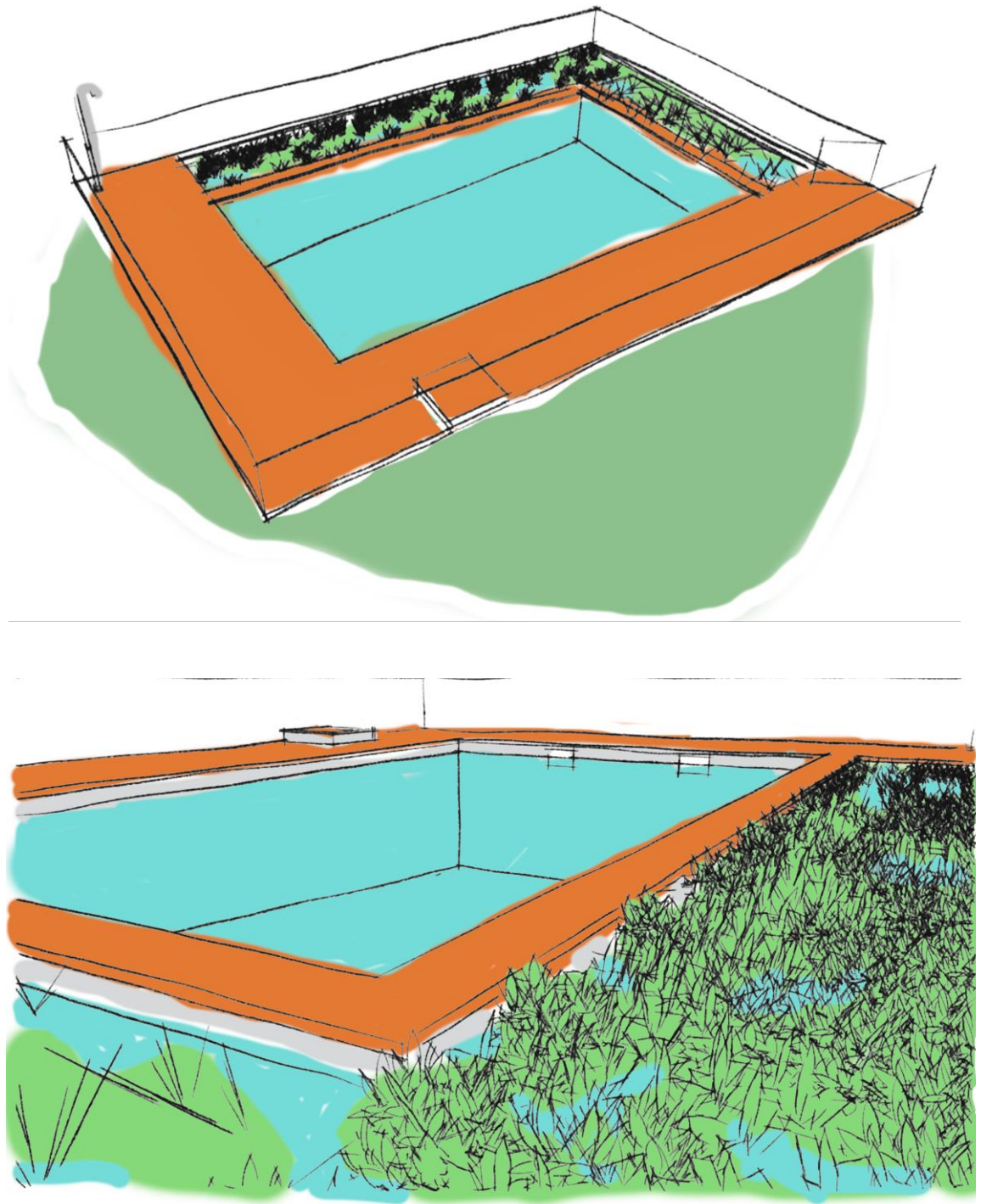


Fig. 52. Bocetos para diseño biopiscina

Fuente: Elaboración propia

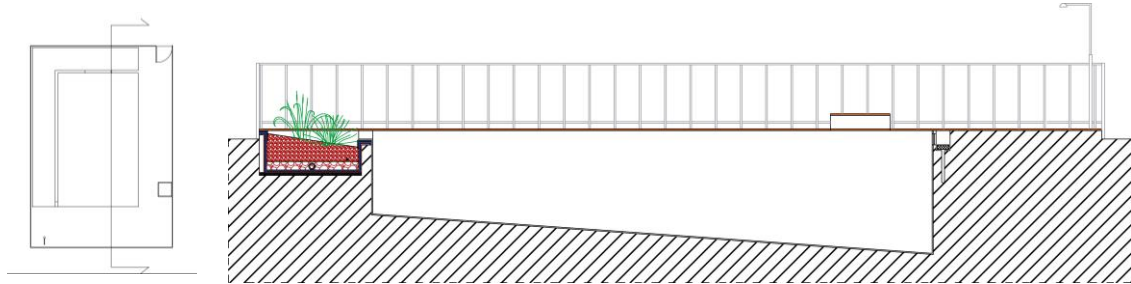


Fig. 53. Sección longitudinal biopiscina

Fuente: Elaboración propia

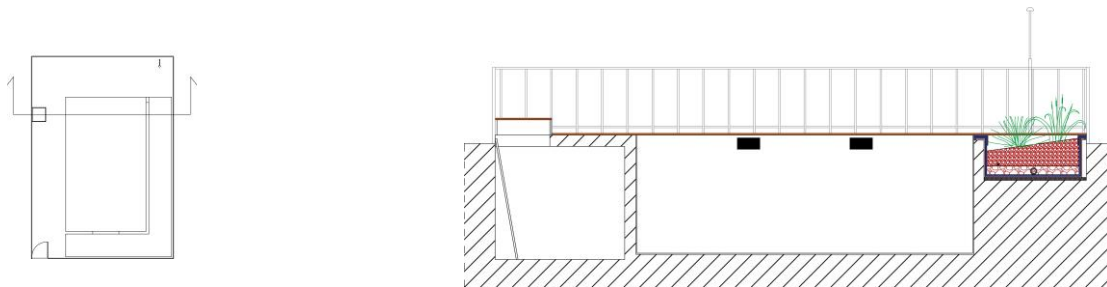


Fig. 54. Sección transversal biopiscina

Fuente: Elaboración propia

Los impulsores se mantienen dentro del vaso principal para automatizar la recogida de materia depositada en la superficie de la lámina de agua por los skimmer. Se añaden dos canalizaciones que irán desde la recirculación de la bomba hacia la zona de filtración y que, mediante difusores, para evitar una corriente excesiva que pueda dañar a las colonias de bacterias del filtro, suministrarán agua desde la zona inferior de los áridos y crearán una ligera corriente que desembocará de nuevo en el vaso principal.

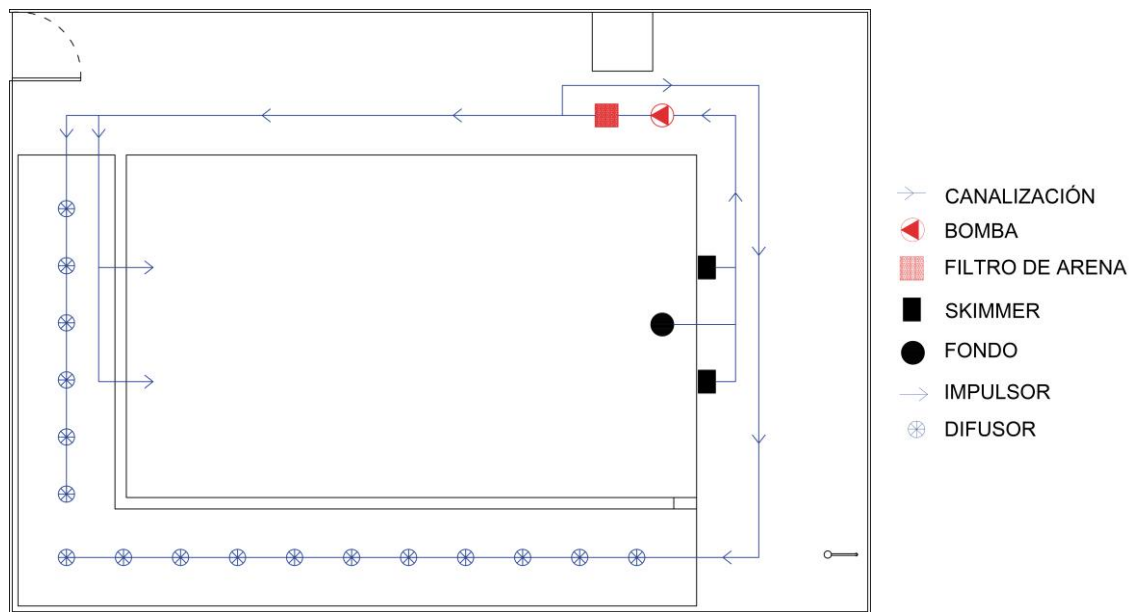


Fig. 55. Esquema instalaciones flujo de agua de biopiscina

Fuente: Elaboración propia

El sistema de recirculación funcionará intermitentemente dependiendo de las horas de luz directa y las temperaturas, pero para crear una oxigenación continua (o casi) se instalará un sistema de bombeo de burbujas con un compresor de aire de 78 w, capaz de mover a 1m sobre la lámina de agua unos 4700 l/h de aire, debidamente protegido de la intemperie y en una zona practicable para facilitar su acceso. Este compresor repartirá aire linealmente creando una barrera de burbujas a lo largo de toda la zona de regeneración. El bajo consumo de este sistema permite su funcionamiento continuo durante una gran cantidad de horas con un bajo consumo, dejando la bomba de recirculación únicamente como método de recogida de materia flotante y refuerzo del biofiltro. Las burbujas, además de oxigenar el agua, la desplazarán a su alrededor, creando ligeras corrientes entre la zona de regeneración y el vaso. El flujo continuo, aún sin mecanismos, se producirá también debido a la diferencia de temperatura del agua en las diferentes zonas, decantándose la fría hacia las zonas más bajas y tendiendo a la superficie las más cálidas. Por lo que el agua del lecho de filtrado y la del vaso tenderán a mezclarse buscando el equilibrio térmico.

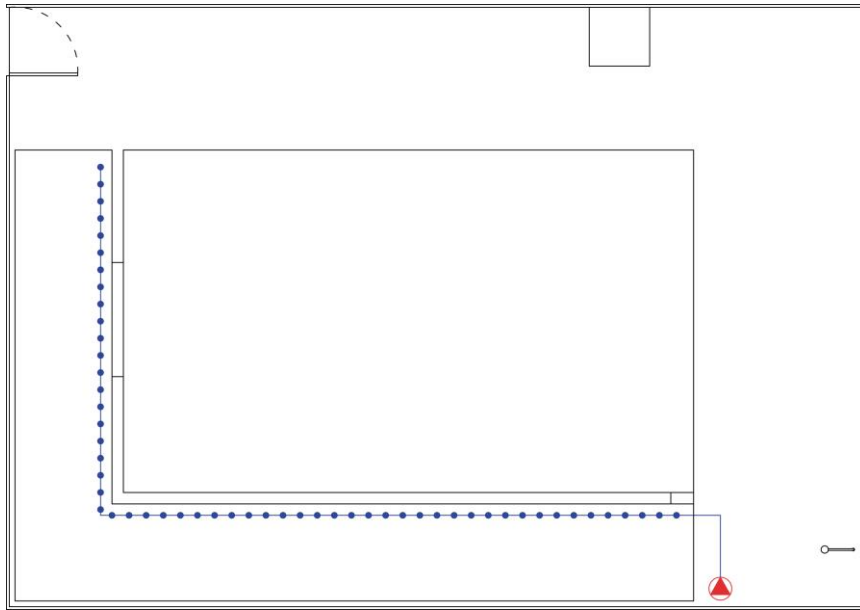


Fig. 56. Esquema sistema de oxigenación de biopiscina

Fuente: Elaboración propia

Además del impacto sobre la salud, el ahorro energético y la integración con el entorno, la estética es una parte importante de la reconversión. Por todo ello, se opta por colocar un nuevo pavimento de madera sobre el existente. Esta madera debe tratarse para exteriores. Las maderas tropicales como la teka o el okume tienen unas características óptimas para resistir ambientes acuáticos, pero debido a las características del proyecto, se recomienda atendiendo a criterios de sostenibilidad, utilizar maderas autóctonas como el pino, que con el tratamiento y mantenimiento adecuado garantiza el servicio y su durabilidad.

15.4 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

El aprovechamiento del sistema de recirculación permitirá reutilizar también las canalizaciones de los skimmer y los impulsores, pero se habrán de añadir conducciones hasta la zona de regeneración y las correspondientes válvulas de regulación.

Preferiblemente el agua de la zona de filtrado debería renovarse dos veces al día, lo que supondría la recirculación de 36 m³/día. La bomba actual trabaja con un caudal de 13 m³/h, por lo que 3 horas diarias serían suficientes para este fin.



Las canalizaciones hacia la zona de regeneración contarán una vez dentro de este con difusores equidistantes que diluyan la presión evitando afectar a las colonias bacterianas benéficas.

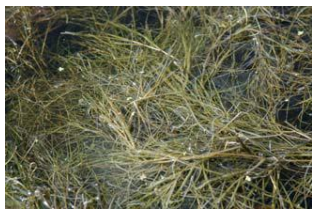






15.5 SELECCIÓN DE PLANTAS





Para la selección de plantas del filtro natural se han buscado especies propias del entorno de Elche, propiciando su óptima integración, adaptabilidad al clima y aguas, lo cual favorecerá el rendimiento del sistema y facilitará su mantenimiento. También se evitará así, la introducción de especies que puedan afectar negativamente al equilibrio de la flora o fauna del medio.

Dentro de las macrófitas acuáticas endémicas de la zona donde se ubica la piscina, se ha hecho una selección basada en características como la capacidad de absorción de nutrientes en el agua, el aporte de zonas de sombra y la capacidad de oxigenación. Además, se han tenido en cuenta las características estéticas para el diseño paisajístico. Algunas de ellas, además, cumplirán el papel de reclamo para algunos insectos benéficos para el sistema como los odonatos, que se alimentarán de otros insectos no deseados como las larvas de mosquito, evitando así la proliferación de estos y favoreciendo del equilibrio

Tabla 15. Selección de plantas endémicas de Elche para plantación del biofiltro en biopiscina

Nombre	Tipo	Función	Apariencia
<i>Ceratophyllum demersum</i> . Jopozorra	Sumergida	Absorción rápida de nutrientes. Alta oxigenación. Bioindicador.	
<i>Potamogeton nodosus</i> Llengua d'oca.	Acuática	Buena absorción de nutrientes. Alta oxigenación. Favorece la eliminación de exceso de cal. Sombreado.	

<i>Potamogeton pectinatus.</i> Espiga d'aigua.	Acuática		
<i>Carex cuprina.</i> Cárice. Càrex.	De ribera	Buena eficacia en la eliminación de nutrientes. Buena oxigenación. Formación de ramos densos.	
<i>Carex extensa</i> Cárice. Càrex.	De ribera		
<i>Carex halleriana.</i>	De ribera		
<i>Cyperus involucratus.</i> Paraigüets.	De ribera		Buena eficacia en la eliminación de nutrientes. Buena oxigenación. Formación de ramos densos.
<i>Juncus acutus.</i> Junco. Jonc agut, junc.	De ribera	Buena eficacia en la eliminación de nutrientes. Buena oxigenación. No tiene interés ornamental	
<i>Juncus articulatus</i> Junco articulado. Jonc, junc.	De ribera		
<i>Juncus maritimus</i> Junco. Jonc marí, junc.	De ribera		

<i>Juncus subulatus</i> Junco. Jonc, junc.	De ribera		
<i>Ranunculus peltatus</i> . Hierba lagunera.	De ribera	Buena eficacia en la eliminación de nutrientes. Buena oxigenación. Gran superficie foliar. Ornamental. Atrae odonatas.	
<i>Schoenoplectus lacustris</i> Junco de laguna Jonça d'estany	De ribera	Buena eficacia en la eliminación de nutrientes. Buena oxigenación.	
<i>Typha domingensis</i> . Espadaña, enea. Boga, puros.	De ribera	Eliminar nutrientes con alta eficiencia. Atrae odonatas. Requiere contenedor.	

Fuente: Elaboración propia

15.6 DESCRIPCIÓN DE LAS FASES CONSTRUCTIVAS

Las acciones a llevar a cabo para la materialización del proyecto son, en orden de realización:

- Retirada de playas y del pavimento de las nuevas zonas a excavar, así como de las zonas donde se vayan a añadir o modificar canalizaciones.
- Excavación de las nuevas zonas anexas por detrás de los muros de contención de 22 cm existentes hasta una profundidad de 0,8 m y 1,85 m en proyección horizontal. Una vez liberadas de carga las partes superiores de los muros, rebajar y moldear las aperturas de conexión entre vasos.
- Preparación de las zonas excavadas mediante retirada de aristas y raíces. Colocación de drenajes y compactación de lecho de arena de 6 cm de espesor. Colocación de lámina geotextil con tratamiento fungicida y antiraíces, de 300 g/m², previo refuerzo de los ángulos, y posterior colocación de EPDM de

1,52mm en las zonas previstas para plantación. En caso de necesitarse la unión de diferentes láminas de EPDM, se hará in situ mediante calor para asegurar su adaptación al espacio y correcto sellado entre partes. También se preparará mediante hormigón de limpieza y lecho de arena el acomodamiento de las nuevas canalizaciones.

- Colocación de las nuevas canalizaciones de recirculación del flujo de agua y sus correspondientes difusores para evitar presiones superiores a las deseadas que puedan perjudicar el desarrollo de las colonias bacterianas en el biofiltro. Los tramos de canalización existentes que se encuentren dentro de las zonas intervenidas se sustituirán completos para su saneamiento y seguridad de que no se hayan visto afectados.
- Colocación longitudinal, a lo largo de todo el biofiltro, de la tubería de aire para el sistema de oxigenación mediante compresión de aire.
- Extensión de capa inferior de árido volcánico de 25-50mm en la zona de regeneración hasta 15cm. Y de árido volcánico de 5-10mm hasta 40cm.

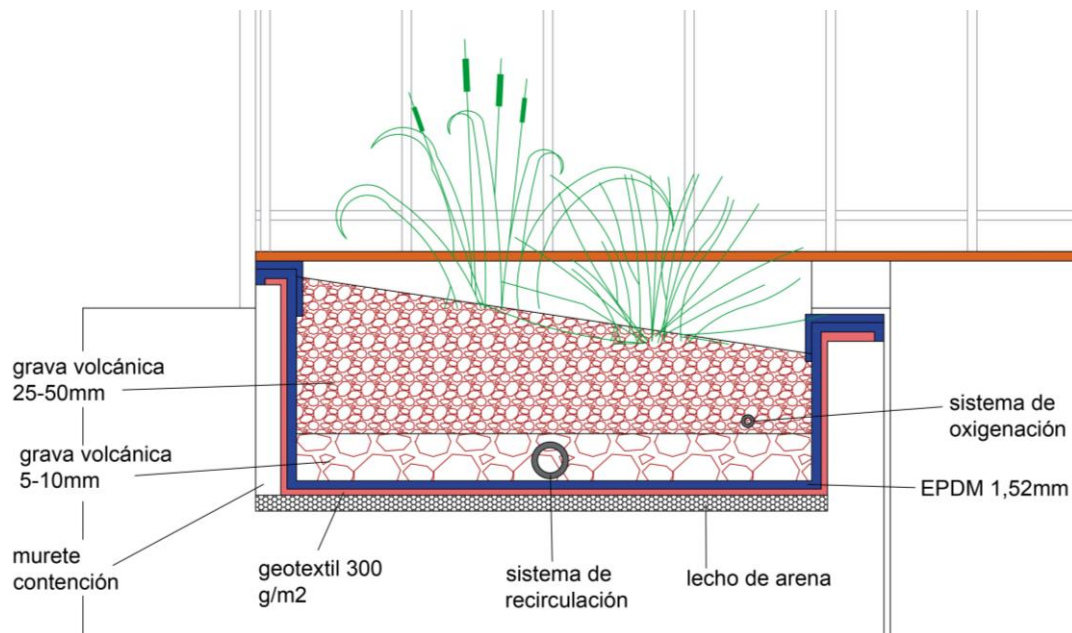


Fig. 57. Detalle sección biofiltro de biopiscina

Fuente: Elaboración propia

- Llenado, previo acondicionamiento del agua, de las zonas de regeneración como prueba de servicio de estanqueidad.
- Colocación del nuevo pavimento de las zonas de tránsito y pasarelas de coronación de los muros de separación entre zonas.
- Una vez asegurada la estanqueidad se puede proceder al llenado completo del vaso (previo acondicionamiento del agua de llenado) y la plantación del biofiltro. Para ello se plantará individualmente en sacos de plantación biodegradables con sustrato de liberación controlada, que aporten alimento a la planta para iniciar el enraizado y aventajar a las algas en la asimilación de nutrientes, pero sin realizar un aporte de éstos que pueda poner en riesgo el equilibrio inicial del sistema.

15.7 CONSIDERACIONES

Es conveniente iniciar el proceso constructivo al final del invierno, para una puesta en marcha temprana en la primavera, permitiendo así la autoregulación del sistema antes de la llegada del verano si se prevé su uso y evitando climas fríos o de pocas horas de luz que puedan dificultar la adaptación de las plantas a los sustratos. El sistema necesitará un mínimo de 4 a 8 semanas para alcanzar una estabilidad. Durante este ciclo de adaptación sufrirá fases de pérdida de claridad. como parte normal del proceso.

15.8 COSTES

15.8.1 COSTES DE EJECUCIÓN MATERIAL

Se muestran los gastos de ejecución material que suponen la adaptación a la nueva tipología. La parte correspondiente a acabados se muestra separada, por no ser un condicionante de la adaptación, si no una elección estética independiente y está fuera del objeto de estudio.

Tabla 16. Costes de ejecución material de adaptación biopiscina

Descripción	Unidades	Medición	P. Unitario	Subtotal
Coste de Ejecución Material Adaptación a Biopiscina				
Demolición de playas de piedra artificial, con martillo neumático.	m2	16	8,21	131,36
Demolición de pavimento exterior de baldosas de hormigón, con martillo neumático.	m2	33,11	3,84	127,14
Excavación y adecuación de la zona de regeneración y del paso de canalizaciones.	m3	30,09	17,44	524,77
Contención de tierras en zona de regeneración mediante muro de fábrica.	m2	14,40	21,86	314,78
Colocación de drenajes y lecho de 6cm de arena compactado manualmente.	m2	33,11	3,37	111,58
Colocación de geotextil 300g/m2 con tratamiento antiraíces y fungicida.	ml	18,12	51,36	930,64
Colocación y soldado in situ de lámina EPDM de 1,52 mm de espesor.	m2	72,48	6,99	506,64
Adecuación del nuevo circuito de recirculación	ml	30,52	4,53	138,26
Compresor sistema oxigenación EA Perfect Pump 78w.	Ud	1	292,70	292,70
Sistema oxigenación (incluye mangueras, piezas singulares y difusores)	ml	19,43	3,64	70,73
Gravas filtro hidrobotánico 25-50 mm	Kg	1083	0,24	259,92
Gravas filtro hidrobotánico 5-10mm	Kg	406	0,25	101,05
Plantas zona regeneración.	m2	30,09	7,20	216,65
Transporte y gestión de tierras.	m3	34,59	5,90	204,08
Transporte y gestión de residuos inertes.	m3	4,32	9,70	41,90
Análisis agua	Ud	1	62,48	62,48
TOTAL	-	-	-	4034,68

Coste Ejecución Material Acabados				
Colocación tarima de pino tratado para exterior.	m2	63,13	26	1641,38

Fuente: Elaboración propia

15.8.2 COMPARATIVA DE COSTES ANUALES DE MANTENIMIENTO CON PISCINA CONVENCIONAL

En la nueva biopiscina desaparece el gasto en productos químicos para la desinfección y la bomba preexistente pasa de trabajar durante 10 h diarias a 3 h diarias. A este consumo se le añade el del compresor del sistema de oxigenación. También habrá que considerar la posible reposición de plantas en el filtro.

La piscina convencional se cierra todos los años para evitar el gasto de limpieza y de reposición de agua anual. La lona con la que se cierra tiene una duración media de 10 años, por lo que se ha prorrateado para obtener el consumo anual.

Se aprecia una diferencia considerable en cuanto a costes de mantenimiento entre las dos opciones.

Tabla 17. Comparativa costes anuales de mantenimiento entre biopiscina y piscina convencional

Descripción	Unidades	Medición	P. Unitario	Subtotal
Coste Anual de Mantenimiento de la Biopiscina				
Consumo anual del sistema de recirculación.	h	360	0,15	54
Consumo anual del sistema de oxigenación.	h	1200	0,0117	14,04
Reposición plantas.	m2	30,09	0,44	13,24
TOTAL	-	-	-	81,28
Coste Anual de Mantenimiento de la Piscina Convencional				
Consumo anual del sistema de recirculación.	h	1200	0,15	180
Cloración y otros para estabilización y desinfección	kg	24	5,77	138,42
Lona para cubrición (parte proporcional).	Ud	0,1	1700	170

TOTAL	-	-	-	488,42
--------------	---	---	---	---------------

Fuente: Elaboración propia

16 IMPACTOS DE LAS BIOPISCINAS

La motivación principal de las piscinas ecológicas es la reducción del impacto ambiental frente a los sistemas tradicionales, aprovechando las técnicas naturales de depuración de aguas a partir de la creación de sistemas de humedales artificiales. Por tanto, creando ecosistemas autosuficientes que favorecen la biodiversidad en el entorno de éstas.

Las biopiscinas posibilitan la implementación y mantenimiento con un mínimo impacto ambiental, tratando de evitar un alto consumo energético durante su construcción y vida útil. El agua se purifica mediante elementos orgánicos y microorganismos vivos, creando así un entorno natural, sin productos nocivos que puedan repercutir en la salud, ni contaminen del agua, destruyendo la vida que contiene o genera a su alrededor.

Las biopiscinas impactan positivamente en su entorno:

- Contribuyen al bienestar de los usuarios, ofreciendo una forma mucho más saludable para la natación que las soluciones convencionales de depuración del agua
- Ahorro de agua mediante el uso de aguas continentales con técnicas de bioeconomía y sin la necesidad de ser sustituida periódicamente debido a la contaminación de los químicos usados para su desinfección.
- Reducen el consumo de energía por bañista y/o metro cuadrado en comparación con las soluciones convencionales.
- Reducen el impacto en la capa de ozono, causado en parte por la emisión de gases producidos por la cloración.
- Captura CO₂, limpiando así el aire y reduciendo las emisiones.
- Fuera de la temporada de baño siguen funcionando sin necesidad de consumo y preservando el ecosistema asociado, y su agua puede ser utilizada para otras funciones como el riego de cultivos al no contener químicos.
- Las piscinas naturales pueden actuar como hábitats para una gran cantidad de organismos.

17 CONCLUSIONES

17.1 DEFINICIÓN DE LA TIPOLOGÍA

Las biopiscinas son un elemento particular dentro de la bioconstrucción, cuya estabilidad y funcionamiento no dependen exclusivamente de lo que se concibe tradicionalmente como construcción. En las biopiscinas se implementan los elementos necesarios para que posteriormente evolucione y se establezca de forma autónoma. Se puede decir que su diseño y construcción, es en realidad el catalizador de un sistema vivo que solo necesita las condiciones óptimas para crearse a sí mismo. Esta particularidad acarrea ciertos problemas a la hora de definir y ubicar el término biopiscina, por lo que supone una de las primeras cuestiones a resolver.

Las biopiscinas son cuerpos de agua creados artificialmente, cuyo sistema de filtración reproduce la estructura natural de funcionamiento de estanques y otros cuerpos acuáticos que se encuentran en la naturaleza y se rigen por ciclos biológicos. Por ello, no resultan útiles los valores establecidos por la legislación vigente para el agua tratada mediante cloración y otros medios químicos o físicos que eliminan la vida orgánica del agua. Aunque a nivel formal se definen como piscinas, se deben tomar entonces como referencia valores propios de las piscinas naturales que se consideran aptas para baño. Esta concurrencia de conceptos lleva a definir biopiscina en este estudio como: instalación formada por un vaso o conjunto de vasos destinados al baño, al uso recreativo, deportivo o terapéutico, así como las construcciones complementarias y servicios necesarios para garantizar su funcionamiento, en las que se crea de forma artificial y por métodos biológicos un agua de calidad higiénico sanitaria similar a las aguas naturales que son aptas para el baño.

17.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES

En Centroeuropa, la implantación y uso de biopiscinas es, a día de hoy, relativamente habitual, y avanza sustentado en el ahorro de recursos hídricos, energéticos, así como en el cuidado de la salud y la integración con la biodiversidad. A pesar de ello, las biopiscinas siguen teniendo un escaso desarrollo académico, y en la mayoría de países, entre los que se encuentra España, también comercial, por lo que resulta difícil documentarse sobre los procesos de diseño e implementación de esta tipología.

En este estudio se han identificado los principales parámetros que definen los modelos básicos, y que serán los primeros a ser estudiados para acotar y abordar la conceptualización y posterior desarrollo de una biopiscina. Éstos son el sistema de filtración biológica, y la configuración de zonas, así como la interrelación de éstas dentro del propio sistema. También se han detectado y definido los condicionantes de estos parámetros, como el espacio disponible, el clima y la biodiversidad de la zona.

Como ejemplo de aplicación, en la propuesta de adaptación realizada en este estudio, el espacio disponible y el mantenimiento del vaso de baño existente, han resultado determinantes para escoger el tipo de biofiltro y la relación de zonas, acotando las opciones y permitiendo optimizar el proceso de diseño.

17.3 ENTENDIMIENTO DE LOS ESPACIOS SOSTENIBLES

En el contexto actual, surge la necesidad de preguntarse cómo se pueden mejorar los hábitos como productores y consumidores para mantener un equilibrio con el ecosistema y con la propia salud. Las biopiscinas plantean un claro ejemplo de elemento arquitectónico practicable y con un factor de sostenibilidad muy elevado.

Los impactos positivos de las biopiscinas se ven reflejados, no solo en su entorno inmediato como pueden ser los usuarios o el ecosistema cercano, sino también en beneficios extensibles a nivel social. Ejemplos de ello son el ahorro de agua, que puede ser aprovechada en otros usos como riego de cultivos, la limpieza del aire mediante captación de CO₂, o el aumento de la biodiversidad endémica en lugar de la proliferación de monocultivos.

Con el desarrollo de este trabajo también se pretende crear un entendimiento acerca de la concepción de nuevos espacios menos rígidos y que permitan una interacción más natural, así como seguir el desarrollo tecnológico en una dirección que abogue por la autosuficiencia y la colaboración con el entorno, en lugar de su colonización y parasitación.

17.4 ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS COMPARATIVAS CON LAS PISCINAS CONVENCIONALES

Los resultados de las comparativas realizadas, tanto en el caso alemán de la piscina pública, como en la adaptación de la privada preexistente en Elche, son notoriamente favorables a las biopiscinas.

En el caso de la adaptación, la reducción sobre el gasto anual de mantenimiento es de más de un 83%. Dos elementos son los responsables de este sustancial cambio. Uno es la desaparición del cloro y otros químicos para estabilizar pH o floculantes, lo cual supone eliminar unos 24 kg de estas sustancias durante los meses de uso. El otro elemento clave es el uso de la bomba para oxigenación de estanques, sustituyendo así el protagonismo de la bomba de recirculación, que presenta un consumo casi 10 veces superior, y que ve su uso mermado a un tercio del tiempo. En este caso, la adaptación supone un gasto añadido a nivel de obra, pero se verá amortizado en pocos años de uso.

Si se observan los datos sobre el estudio de viabilidad realizado sobre la piscina pública en Kirchdorf, Alemania, la diferencia sobre el mantenimiento representa una reducción de costes del orden del 25% anual, lo que en una instalación de esas dimensiones supone cerca de 9000€ anuales. El dato de porcentaje podría ser superior si se extraen los costes referidos a contratación de personal, gestión administrativa y mantenimiento de instalaciones, que no están condicionados por la tipología de piscina.

En el mismo caso, y en lo que se refiere a los costes de ejecución material, éstos se reducen hasta un 75% en el caso de la biopiscina. Principalmente por la eliminación de equipos de filtrado convencionales y sus instalaciones accesorias, lo cual representa una parte importante sobre el total, no siendo requeridos en el caso de la filtración natural.

Por tanto, los datos sobre consumo resultan obvios y apoyan la viabilidad de las biopiscinas en cuanto a consumo de energía y agua, y con ellos económico y social. Aún con su viabilidad económica clara, no se ha de olvidar que no solo los principios económicos rigen estas alternativas, y que sus impactos sobre la salud y el medio ambiente deben tener un peso determinante para avalar esta tipología y ayudar a su desarrollo.

17.5 DESVENTAJAS DE LAS BIOPISCINAS

Las biopiscinas presentan infinidad de ventajas como ya se ha expuesto, muchas de ellas relacionadas con parámetros de sostenibilidad, pero también presentan limitaciones y problemas que se han de tener en cuenta a la hora de tomar la determinación de implementar un elemento de estas características.

En primer lugar, el espacio es determinante. Cuando no se dispone del espacio suficiente resulta inviable conseguir una zona de filtración y regeneración que pueda trabajar de forma óptima y limpiar el agua, o habría que atender a niveles de tecnificación muy altos que seguirían teniendo un alto consumo energético. En estos casos si se podría implementar una piscina convencional de pequeñas dimensiones, sin que sea un factor limitante.

Por otro lado, la falta de estandarización puede suponer unos costes de diseño e implementación irregulares y más elevados en muchos casos, así como un obvio riesgo, ya que no se trabaja con parámetros regulados, y las empresas comerciales suelen implementar sistemas propios, que pueden no ser igual de efectivos en ubicaciones diferentes.

El mantenimiento puede llegar a ser casi inexistente si se cuenta con grados altos de tecnificación, pero por lo general requiere de cierta implicación para obtener los conocimientos apropiados, lo cual puede ser un factor disuasorio para algunos usuarios.

17.6 NECESIDAD DE DESARROLLO DE LA TIPOLOGÍA EN EL ÁMBITO ACADÉMICO Y OTROS

Durante la búsqueda bibliográfica realizada y su posterior análisis se han hecho patentes algunas cuestiones. En primer lugar, la información académica sobre biopiscinas es escasa y se presenta diseminada en multitud de pequeñas publicaciones multidisciplinares. Existen, por ejemplo, publicaciones del ámbito de la permacultura que abordan la cuestión, pero en su mayoría pertenecen a una difusión no académica. Otra cuestión notoria es que casi en su totalidad, dicha información se encuentra en idiomas diferentes al castellano (principalmente alemán e inglés), e incluso dentro de la IOB, su división ibérica aparece como una de las menos activas y que menos datos aportan al conjunto, figurando de un modo prácticamente anecdótico. Por ello, este estudio pretende servir de base para un posterior desarrollo de otros trabajos que profundicen

sobre esta tipología y la sigan posicionando en el ámbito académico, comercial, legislativo y con ello la promuevan también como alternativa a las piscinas convencionales a nivel popular.

18 BIBLIOGRAFÍA

- Abromas, J., Grecevicus, P., & Marcius, R. (2007). The impact of Water Ponds and Installations to the Quality of Urban Landscapes. *International Congress Formation of Urban Green Areas*, (págs. 5-9). Lituania.
- Aggazzotti, G., & Predieri, G. (1986). Survey of volatile halogenated organics (VHO) in Italy. Levels of VHO in drinking waters, surface waters and swimming pools. *Water Res*, 20, 959-963.
- Andersson, M., & al, e. (2018). Early life swimming pool exposure and asthma onset in children – a case-control study. *Environ Health*, 17(4).
- Barrett & Newman, J. (2012). *Centre for Aquatic Plant Management Information Sheet 1: Control of Algae with Barley Straw*. Wallingford: Centre for Ecology and Hydrology.
- Beddowes, E., Faux, S., & Chipman, J. (2003). Chloroform, carbon tetrachloride and glutathione depletion induce secondary genotoxicity in liver cells via oxidative stress. *Toxicology*, 101-115.
- Beech, J., Diaz, R., Ordaz, C., & Palomeque, B. (1980). Nitrates, chlorates and trihalomethanes in swimming pool water. *Am J Public Health*, 70(1), 79-82.
- Brotherhood, M. (2013). A viabilidade da implantação de piscinas biológicas no Brasil. *IX Congresso Nacional de Excelencia Em Gestão*. Rio de Janeiro.
- Bus, A., & Agnieszka, K. (2015). Kinetic and sorption equilibrium studies on phosphorus removal from natural swimming ponds by selected reactive materials. *Fresenius Environmental Bulletin* 24, 2736-2741.
- Carter, R., & Joll, C. (2017). Occurrence and formation of disinfection by-products in the swimming pool environment: A critical review. *J Environ Sci* , 19-50.
- Casanovas-Massana, A., & Blanch, A. (2013). Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 216(2), 132-137.
- Chu, H., & Nieuwenhuijsen, M. (2002). Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occup Environ Med*, 59(4), 243-247.
- Cirujano, S., Meco, A., García Murillo, P., & Chirino Argenta, M. (2014). *Flora acuática española. Hidrófitos vasculares*. Madrid: Ed. Gráficas Arias Montano.

- Daiber, E., DeMarini, D., Ravuri, S., Liberatore, H., Cuthbertson, A., Thompson-Klemish, A., . . . Richardson, S. (2016). Progressive Increase in Disinfection Byproducts and Mutagenicity from Source to Tap to Swimming Pool and Spa Water: Impact of Human Inputs. *Environ. Sci. Technol.*, 6652–6662.
- Dark, S., & Bram, D. (2007). The modifiable areal unit problem (MAUP) in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 31(5), 471-479.
- DGfnB. (5 de Abril de 2021). *Deutsche Gesellschaft für naturnahe Badegewässer e.V.* Obtenido de <http://www.dgfnb.de/>
- Du, H., Li, J., Moe, B., McGuigan, C., Shen, S., & Li, X. (2013). Cytotoxicity and oxidative damage induced by halobenzoquinones to T24 bladder cancer cells. *Environ Sci Technol.*, 2823-2830.
- Durrant, C., Correia, E., Golding, G., & Bola, S. (2007). Natural Swimming Pool Design. En W. D. Medhat Moussa, *Proceedings of the ENGG 3100: Design III Projects, 2007* (págs. 81-82). Guelph: University of Guelph.
- Ferreira, A. (2007). *Piscinas Biológicas - O Prazer Natural da Água*. Portugal: Biopiscinas Lda.
- Ferreira, A. (2013). *Piscinas em Portugal – Conceção Arquitectónica das Piscinas Municipais de São João da Madeira*, 95. Lisboa., Portugal: Universidade Lusófona.
- Fitofilter Water Ecosilution. (15 de 4 de 2021). *Fitofilter Water Ecosilution*. Obtenido de <https://www.lafitodepuracion.com/>
- FLL. (2013). *Recommendations for Planning, Construction, Servicing and Operating of Outdoor Swimming Pools with Biological Water Purification (Swimming and Bathing Ponds)*. Bonn, Alemania: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau.
- Florentin, A., Hautemanière, A., & Hartmann, P. (2011). Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(6), Volume , Issue 6, Pages 461-469.
- Fondu, L., Decoster, M., Bo, I., & Hulle, S. (2010). Phosphate sorption capacities of different substrates in view of application in water treatment systems for ponds. *7th IWA World Water Congress and Exhibition, International Water Association (IWA)*. Montreal.

- Geraldes A., S. C. (2014). Piscinas biológicas e serviços ecossistémicos: que relação? *Ciencia e Medio Ambiente para Todos*, vol.5, no.2, 27-36.
- Geraldes, A. (2015). Alternativas sustentáveis: o caso das piscinas biológicas. *7.º Encontro de Educação Ambiental: Livro de ATA*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- Geraldes, A., Schwarzer, C., & Schwarzer, U. (2014). Piscinas Biológicas e Serviços Ecossistémicos: Que Relação? *CAPTAR ciência e ambiente para todos*, volume 5, n.º 2, p. 27-36.
- Geraldes, A., Schwarzer, C., & Schwarzer, U. (2015). Alternativas sustentáveis: o caso das piscinas biológicas. *7º Encuentro de Educación Ambiental* (págs. 77-90). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- Giampaoli, S., Garrec, N., Donzé, G., Valeriani, F., Erdinger, L., & Spica, V. (2014). Regulations concerning natural swimming ponds in Europe: consideration on public health issues. *Journal of water and health* 12, 3, 564-572.
- Glauner, T., & al, e. (2005). Swimming pool water—fractionation and genotoxicological characterization of organic constituents. *Water Res*, 4494–4502.
- Gomà, A., de Lluís, R., Roca-Ferrer, J., Lafuente, J., & Picado, C. (2017). Respiratory, ocular and skin health in recreational and competitive swimmers: Beneficial effect of a new method to reduce chlorine oxidant derivatives. *Environ Res.*, 315-321.
- Goodman, M., & Hays, S. (2008). Asthma and swimming: a meta-analysis. *J Asthma*, 639-647.
- Greig-Smith, P. (1983). *Quantitative Plant Ecology* (3ª ed.). Berkeley: University of California Press.
- Haag, J., & Gieser, R. (1983). Effects of Swimming Pool Water on the Cornea. *JAMA*, 249(18), 2507–2508.
- HCMA. (2016). *Natural Swimming Pools Report - The Future of Public Swimming without Chlorine*. Canadá: HCMA Architecture + Design.
- Honer, W., Ashwood-Smith, M., & Warby, C. (1980). Mutagenic activity of swimming-pool water. *Mutat Res*, 137–144.
- IOB. (2016). *Naturally Clean Water Through Biological Water Purification*. Alemanha: Internationale Organisation für naturnahe Badegewässer Press.
- IOB. (9 de Abril de 2021). *International Organization for natural bathing waters*. Obtenido de <https://iob-ev.com/en/>

- Judd, S., & Jeffrey, J. (1995). Trihalomethane formation during swimming pool water disinfection using hypobromous and hypochlorous acids. *Water Res*, 29, 1203-1206.
- Karczmarczyk, A., Bus, A., & Baryla, A. (2019). Influence of operation time, hydraulic load and drying on phosphate retention capacity of mineral filters treating natural swimming pool water. *Ecological Engineering*, 176-183.
- Keuten, M., Peters, M., Daanen, H., Kreuk, M., Rietveld, L., & Dijk, J. (2014). Quantification of continual anthropogenic pollutants released in swimming pools. *Water Res*, 259-270.
- Kircher, W. (2018). *Pflanzenverwendung in privaten Schwimmteichen –Teichtypen, Filtermethoden, Bepflanzungsbeispiele*. Alemania: Universidad de Ciencias Aplicadas de Anhalt. Obtenido de https://www.gartenbau.sachsen.de/download/Schwimmteich_Kircher.pdf
- Kircher, W., & Thon, A. (2007). Marginal Wetland Planting for Oligotrophic Swimming Ponds. *Formation of Urban Green Areas* (págs. 65-69). Lituania: Klaipeda Business and Technical College.
- Kircher, W., & Thon, A. (2016). *How to Build a Natural Swimming Pool*. London: Filbert Press.
- Kircher, W., & Thon, A. (2016). Vegetation on Filter Bodies of Natural Swimming Pools (NSPs) with P- or C- Limitation. *Miestų želdynų formavimas 1(13)*, 191-201.
- Kircher, W., & Thon, A. (2018). Natural Swimming Pools (NSPs)-Principles and Trials with Site-Conform Vegetation. *CELA Conference (Council of Educators in Landscape Architecture)* (pág. 82). Pequín: Council of Educators in Landscape Architecture.
- Kogevinas, M., Villanueva, C., Font-Ribera, L., Liviach, D., Bustamante, M., Espinoza, F., . . . Marcos, R. (2010). Genotoxic effects in swimmers exposed to disinfection by-products in indoor swimming pools. *Environ Health Perspect*, 1531-1537.
- Lecoq, N. (2014). *Comunicações orais no âmbito da Cadeira de Vegetação no Espaço Urbano da Licenciatura em Arquitectura Paisagista*. Lisboa, Portugal: Universidad de Lisboa.
- Lee, J., Ha, K., & Zoh, K. (2009). Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Sci Total Environ*, 1990-7.

- Lévesque, B., Vézina, L., Gauvin, D., & Leroux, P. (2015). Investigation of quality problems in an indoor swimming pool: a case study. *Ann Occup Hyg*, 1085-1089.
- Littlewood, M. (2005). *Natural Swimming Pools: Inspiration For Harmony With Nature*. Pensilvania: Schiffer Publishing.
- Littlewood, M. (2016). *A Guide to Building Natural Swimming Pools*. Pensilvania: Schiffer Publishing.
- Liviac, D., Wagner, E., Mitch, W., Altonji, M., & Plewa, M. (2010). Genotoxicity of water concentrates from recreational pools after various disinfection methods. *Environ Sci Technol*, 3527–3532.
- Llanes-Cedeño, E., Rocha-Hoyos, J., Peralta, D., & Guardia-Puebla, Y. (2019). Effect of hydraulic loading rate and vegetation on phytoremediation with artificial wetlands associated to natural swimming pools. *Journal of Water and Land Development*, 40, 39–51.
- Mariner, R. (2014). *Development of Modular Treatment Systems for Nutrient Control in Natural Swimming Pools*. Cranfield., Reino Unido: Cranfield University.
- Marshallsgarden. (2 de 5 de 2021). Obtenido de <https://marshallsgarden.com/>
- Martínez, A. (2017). *Guía botánica de la Vall de Gallinera (Alicante)*. Alicante: Jolube Consultor, Botánico y Editor.
- McKane, L., & Kandal, J. (1996). *Microbiology - Essentials and application*. California: McGraw-Hill, Inc.
- Mestre, A. (2014). *Contribuição para o Estudo de Propagação e Produção de Plantas Aquáticas*. Lisboa, Portugal: Universidade de Lisboa.
- Michalski, R., & Mathews, B. (2007). Occurrence of Chlorite, Chlorate and Bromate in Disinfected Swimming Pool Water. *Polish J. of Environ. Stud.*(16), 237-241.
- MITECO. (25 de 4 de 2021). *Ministerio para Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/>
- Naturalpools. (9 de 5 de 2021). Obtenido de <https://naturalpoolsnz.com/>
- Newman, J. (2012). *Information Sheet 1: control of algae with barley straw*. Centre for Aquatic Plant Management.
- Pagan Butler, D. (2011). *Natural Swimming Pools*. Reino Unido: Permanent Publications.

- Pagan Butler, D. (2013). *Organic Pools DIY manual*. Reino Unido: Autoeditado. Obtenido de www.organicpools.co.uk
- Pals, J., Attene-Ramos, M., Xia, M., Wagner, E., & Plewa, M. (2013). Human cell toxicogenomic analysis linking reactive oxygen species to the toxicity of monohaloacetic acid drinking water disinfection byproducts. *Environ Sci Technol*, 12514-12523.
- Pals, J., Wagner, E., & Plewa, M. (2011). Biological mechanism for the toxicity of haloacetic acid drinking water disinfection byproducts. *Environ Sci Technol*, 5791-5797.
- Pardo, I. (20 de 11 de 2018). *La naturaleza en un click*. Recuperado el 1 de 5 de 2021, de Agua verde en lagos, ¿Qué la produce?: <https://lanaturalezaenunclik.com/agua-verde-en-lagos-que-la-produce/>
- Peng, F., Peng, J., Li, H., Li, Y., Wang, B., & Yang, Z. (2020). Health risks and predictive modeling of disinfection byproducts in swimming pools. *Environ Int*.
- Plew, a. M., Wagner, E., & Mitch, W. (2011). Comparative Mammalian Cell Cytotoxicity of Water Concentrates from Disinfected Recreational Pools. *Environ. Sci. Technol.*, 4159–4165.
- Quintero, F., Guardia-Puebla, Y., & Rodríguez-Pérez, S. (2017). La fitoremediación para el tratamiento de aguas de piscinas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38, 101-113.
- RHS. (1997). *The Royal Horticultural Society Water Gardening*. Londres, Reino Unido: Dorling Kindersley Limited.
- RHS. (2013). *What Plant Where Encyclopedia*. Londres, Reino Unido: Dorling Kindersley Limited.
- Richardson, S., DeMarini, D., Kogevinas, M., Fernandez, P., Marco, E., Lourencetti, C., . . . Villanueva, C. (2010). What's in the pool? A comprehensive identification of disinfection by-products and assessment of mutagenicity of chlorinated and brominated swimming pool water. *Environ Health Perspect.*, 1523-30.
- Sánchez-Ríos, C., Trejo-Perea, M., Sánchez-Ríos, L., & al., e. (2020). Implementación de piscinas naturales: una alternativa de mejora para los efectos en la vía respiratoria por exposición a piscinas cloradas. *Neumol Cir Torax.*, 197-203.
- Sánchez-Ríos, C., Trejo-Perea, M., Sánchez-Ríos, L., & Sánchez-Ríos, M. (2020). Implementation of natural pools: An alternative of improvement for effects in airway by exposure to chlorinated pools. *Neumol Cir Torax*. 79 (3), 197-203.

- Santos, G. (2005). *Piscinas Ecológicas: Conceito, Execução e Manutenção*. Lisboa, Portugal: Universidad de Lisboa.
- SingularGreen. (5 de 4 de 2021). *SingularGreen*. Obtenido de <https://www.singulargreen.com/>
- Stadt + Grün. (2003). *Stadt + Grün*, 29-31.
- Thickett, K., McCoach, J., Gerber, J., Sadhra, S., & Burge, P. (2002). Occupational asthma caused by chloramines in indoor swimming-pool air. *Eur Respir J.*, 827-832.
- Thon, A. (2009). *Shallow Constructed Roof Wetlands für Greywater Treatment*, 58. Bernburg, Germany: Universidad de Anhalt.
- Thon, A., Kircher, W., Pesch, R., Schmidt, G., & Thon, I. (2009). Functionality, Appearance and Water Purification Rates of Perfused Vegetation Mats for Water Treatment at Private Swimming Ponds. *Formation of urban green areas 2009: Environment of Residential Districts International scientific-practical conference*, (págs. 165–172). Klaipeda.
- Urbanarbolismo. (26 de 4 de 2021). Obtenido de <https://www.urbanarbolismo.es/>
- Uyan, Z., Carraro, S., Piacentini, G., & Baraldi, E. (2009). Swimming pool.; respiratory health.; and childhood asthma: should we change our beliefs? *Pediatr Pulmonol*, 31-7.
- Villanueva, C., & Font-Ribera, L. (2012). Health impact of disinfection by-products in swimming pools. *Ann Ist Super Sanità*, 48(4), 387-396.
- Villanueva, C., Cordier, S., Font-Ribera, a. L., Salas, L., & Levallois, P. (2015). Overview of disinfection by-products and associated health effects. *Curr Environ Health Rep*, 107-115.
- Weerawat, O., Kraisin, P., Suksaroj, T., Suksaroj, C., & Rattanapan, C. (2017). Health Risk Assessment from Haloacetic Acids Exposure in indoor and outdoor swimming pool water. *EnvironmentAsia*, 177-185.
- Weng, S., & Blatchley, E. (2011). Disinfection by-product dynamics in a chlorinated, indoor swimming 27 pool under conditions of heavy use: national swimming competition. *Water Res*, 5241–5248.
- Wong, D. W. (1996). Aggregation effects in geo-referenced data. En S. L. Arlinghaus (Ed.), *Practical Handbook of Spatial Statistics* (págs. 83-106). Boca Ratón (Florida): CRC Press.

Worldofwater. (4 de 3 de 2021). Obtenido de <https://worldofwater.com/>

Yuan, J., Wu, X., Lu, W., Cheng, X., Chen, D., Li, X., . . . Mersch-Sundermann, V. (2005). Chlorinated river and lake water extract caused oxidative damage; DNA migration and cytotoxicity in human cells. *Int J Hyg Environ Health*, 481-488.

Zwiener, C., Richardson, S., DeMarini, D., Grummt, T., Glauner, T., & Frimmel, F. (2007). Drowning in disinfection byproducts? Assessing swimming pool water. *Environ Sci Technol*, 363–372.

ANEXOS

ANEXO I - Catálogo español de especies exóticas invasoras (Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto - Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente «BOE» núm. 185, de 03 de agosto de 2013 Referencia: BOE-A-2013-8565)

Especie Flora	Ámbito de aplicación	Nombre común
Acacia dealbata Link.	Excepto Canarias y Baleares	Mimosa, acacia, acacia francesa
Acacia farnesiana (L.) Willd.	Canarias	Acacia, aroma, carambuco, mimosa
Acacia melanoxylon Robert Brown, 1813		Acacia negra
Acacia salicina Lindl.	Canarias	Acacia de hoja de sauce
Agave americana L.		Pitera común
Ageratina adenophora (Spreng.) King & H. Rob.	Canarias	Matoespuma
Ageratina riparia (Regel) R.M.King & H.Rob.,	Canarias	Matoespuma fino
Ailanthus altissima (Miller) Swingle		Ailanto, árbol del cielo, zumaque falso
Alternanthera philoxeroides (Mart.) Griseb.,		Lagunilla, hierba del lagarto, huiro verde
Ambrosia artemisiifolia L.		Ambrosia
Araujia sericifera Brot.		Planta cruel, miraguano
Arbutus unedo L.	Canarias	Madroño
Arundo donax L.	Canarias	Caña, cañavera, bardiza, caña silvestre
Asparagus asparagoides (L.) Druce. (L.) Druce		Esparraguera africana
Atriplex semilunaris Aellen.	Canarias	Amuelle
Azolla spp.		Azolla

<i>Baccharis halimifolia</i> L.		Bácaris, chilca, chilca de hoja de orzaga, carqueja
<i>Buddleja davidii</i> Franchet		Budleya, baileya, arbusto de las mariposas
<i>Cabomba caroliniana</i> Gray		Ortiga acuática
<i>Calotropis procera</i> (Aiton) W.T.Aiton	Canarias	Algodón de seda
<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (L.) L. Bolus	Excepto Canarias	Hierba del cuchillo, uña de gato, uña de león
<i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E. Br.		Hierba del cuchillo, uña de gato, uña de león
<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC.	Canarias	Hierba de San Jorge
<i>Cortaderia</i> spp.		Hierba de la pampa, carrizo de la pampa
<i>Cotula coronopifolia</i> L.	Baleares	Cotula
<i>Crassula helmsii</i> (Kirk) Cockayne		
<i>Cylindropuntia</i> spp.		Cylindropuntia
<i>Cyrtomium falcatum</i> (L. f.) C. Presl	Canarias	Helecho acebo
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	Canarias	Escoba negra
<i>Egeria densa</i> Planch.		Elodea densa
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms		Jacinto de agua, camalote
<i>Elodea canadensis</i> Michx.		Broza del Canadá, peste de agua
<i>Elodea nuttallii</i> (Planch.) H. St. John		Broza del Canadá, peste de agua
<i>Eschscholzia californica</i> Champ	Canarias	Amapola de California, Dedal de oro
<i>Fallopia baldschuanica</i> (Regel) Holub		Viña del Tíbet

<i>Fallopia japonica</i> (Houtt.) (= <i>Reynoutria japonica</i> Houtt.)		Hierba nudosa japonesa
<i>Furcraea foetida</i> (L.) Haw.	Canarias	Pitera abierta
<i>Hedychium gardnerianum</i> Shepard ex Ker Gawl.		Jengibre blanco
<i>Helianthus tuberosus</i> L.		Pataca, tupinabo
<i>Heracleum mantegazzianum</i> Somm. & Lev.		Perejil gigante
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.		Redondita de agua
<i>Ipomoea indica</i> (Burn)	Baleares y Canarias	Campanilla morada, batatilla de Indias
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) De wit	Canarias	Aromo blanco
<i>Ludwigia</i> spp. (Excepto <i>L. palustris</i> (L.) Elliott)		Duraznillo de agua
<i>Maireana brevifolia</i> (R.Br.) P.G. Wilson	Canarias	Mato azul
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc		
<i>Nassella neesiana</i> (Trin, & Rupr.) Barkworth	Canarias	Flechilla
<i>Nicotiana glauca</i> Graham.	Canarias	Tabaco moruno
<i>Nymphaea mexicana</i> Zucc.		Lirio amarillo
<i>Opuntia dillenii</i> (Ker-Gawler) Haw.		Tunera india
<i>Opuntia maxima</i> Miller.		Tunera común
<i>Opuntia stricta</i> (Haw.)	Excepto Canarias	Chumbera
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.		Agrio, agrios, vinagrera, vinagreras
<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.	Canarias y Baleares	Quicuyo
<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.	Canarias	Pasto de elefante

<i>Pennisetum setaceum</i> (Forssk.) Chiov.		Plumero, rabogato, pasto de elefante
<i>Pennisetum villosum</i> R. Br. ex Fresen	Baleares	Rabogato albino
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Canarias	Palmera datilera
<i>Pistia stratiotes</i> L. Royle		Lechuga de agua
<i>Ricinus communis</i> L.	Canarias	Tartaguero
<i>Salvinia</i> spp.		Salvinia
<i>Senecio inaequidens</i> DC.		Senecio del Cabo
<i>Spartina alterniflora</i> Loisel.		Borraza
<i>Spartina densiflora</i> Brongn.		Espartillo
<i>Spartina patens</i> (Ait.) Muhl		
<i>Spartium junceum</i> L.	Canarias	Retama de olor
<i>Tradescantia fluminensis</i> Velloso		Amor de hombre, oreja de gato
<i>Ulex europaeus</i> L.	Canarias	Tojo

* spp. Se refiere a todos los niveles taxonómicos infra-genéricos

** Cuando en el ámbito de aplicación no se especifica nada se refiere a todo el territorio español.