

ESTUDIO COSTE-EFICACIA EN DESINFECCIÓN DE AGUAS RECREATIVAS



**Universitat de les
Illes Balears**
Departament de Química



Clúster de la Indústria Química de les Illes Balears



**Govern
de les Illes Balears**

Conselleria d'Innovació, Recerca i Turisme
Direcció General d'Innovació i Recerca



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"

CRÉDITOS

DESINFECCIÓN DE AGUAS RECREATIVAS (2013-2014)

Joan Miquel Matas - Director Clúster de la Industria Química de les Illes Balears
Dr. Miquel Adrover - Departamento de Química Universitat de les Illes Balears
Dr. Juan Frau - Departamento de Química Universitat de les Illes Balears
Alfonso Martí - Director de Calidad de Casa Gaillard, S.A.
Dr. Antoni Doménech - Director Técnico de Saniconsult Ibérica S.L.
Pilar Muntaner - Técnico de proyectos Clúster de la Industria Química de les Illes Balears
Cristina Reolid - Técnico de proyectos Clúster de la Industria Química de les Illes Balears

ISBN-10 84-695-8686-6

ISBN-13 978-84-695-8686-0

ESTUDIO DE LA EFICACIA-COSTE DE DIVERSOS TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE DESINFECCIÓN DE AGUAS RECREATIVAS (2015)

Dra. María Rosende - Departamento de Química Universitat de les Illes Balears
Antonio Salinas - Departamento de Química Universitat de les Illes Balears
Toni Palerm - Técnico de Saniconsult Ibérica S.L.
Elena Laso - Técnico de Saniconsult Ibérica S.L.
Dr. Juan Frau - Departamento de Química Universitat de les Illes Balears
Joan Puig - Presidente Clúster de la Industria Química de les Illes Balears
Joan Miquel Matas - Director Clúster de la Industria Química de les Illes Balears
Dr. Antoni Doménech - Director Técnico Saniconsult Ibérica S.L.
Dr. Manuel Miró - Departamento de Química Universitat de les Illes Balears

ÍNDICE

• Introducción	4
• Objetivos	5
• Métodos de desinfección	7
• Productos estratégicos en Baleares	11
• Alternativas al hipoclorito de sodio	12
• Efectos secundarios de los productos de desinfección	13
• Diseño experimental para la determinación de la eficacia-coste	14
• Conclusiones	22
• Eficacia-Coste	25

INTRODUCCIÓN

El **Clúster de la Indústria Química de les Illes Balears** es una entidad sin ánimo de lucro, inscrita en el Registro de Asociaciones de la Conselleria de Presidència del Govern de les Illes Balears.

La Asociación fue creada en el 1982 agrupando a los fabricantes y distribuidores de productos químicos de Mallorca. El Clúster mantiene acuerdos institucionales con el Col·legi Oficial de Químics de les Illes Balears, la Universitat de les Illes Balears, la Fundació Bit (Parc Bit), y laboratorios de análisis químico y microbiológico, además de empresas de consultoría y prestación de servicios especializados.

La misión del Clúster es impulsar el desarrollo empresarial del sector químico de les Illes Balears, especialmente de las pequeñas y medianas empresas, informando y formando a empresarios y trabajadores, fomentando la cooperación en competencia y colaborando en la mejora de su gestión, aumentando así su competitividad. En un sentido más concreto, identificamos y facilitamos la implantación de normativa química, promovemos la innovación para la solución de problemas higiénicos en turismo y lanzamos proyectos colaborativos entre nuestras empresas y entidades colaboradoras.

La **industria balear de productos químicos** esta centrada en tres grandes líneas de actividad:

- El tratamiento de aguas y los servicios vinculados
- Los productos de limpieza institucional destinados al sector turístico.
- Los productos de consumo final (detergentes, lejías y auxiliares de limpieza).

En la actualidad existen en Mallorca cerca de 2.600 piscinas clasificadas como turísticas y 250 spas o centros termales. La cifra de piscinas particulares o comunitarias no se conoce con exactitud, pero según el IBESTAT¹, su número se puede estimar en unas 60.000. El cloro es el producto más habitual para la desinfección del agua en las piscinas (más o menos mantiene una cuota de mercado del 70% en las Islas Baleares, con más de 10.000 toneladas al año de demanda). A pesar que es un producto estratégico en la desinfección de aguas de recreo en las Islas Baleares, presenta la problemática de que su fabricación no se realiza en la comunidad autónoma dando como consecuencia una dependencia externa total.



¹IBESTAT: Institut Balear d'Estadística. Conselleria de Economia i Competitivitat. Govern Balear.



OBJETIVOS

La razón fundamental que avala la necesidad de desinfectar el agua destinada al consumo humano y uso recreativo es asegurar la inactivación de los agentes patógenos para el hombre. Así, el tratamiento adecuado y la desinfección fiable del agua constituyen una intervención fundamental de la salud pública y un campo de trabajo prioritario para la industria química local.

Los microorganismos patógenos en el agua se pueden dividir en tres categorías: bacterias, virus y protozoos parásitos. También se tienen en cuenta las algas, ya que sin ser fuertemente patógenas, son un problema cuando aparecen en el agua y pueden ser levemente tóxicas.

Tabla1. Bacterias patógenas presentes en el agua

Microorganismo	Localización	Patología
<i>Escherichia Coli</i>	Heces humanas y animales	Gastroenteritis. Diarrea.
<i>Helicobacter pylori</i>	Saliva y heces humanas	Úlcera péptica. Gastritis.
<i>Legionella pneumófila</i>	Agua caliente	Legionelosis. Enfermedad respiratoria aguda. Fiebre de Pontiac.
<i>Pseudomonas</i>	Aguas naturales, piscinas, redes de distribución	Dermatitis. Bacterias oportunistas: bebes, enfermos de SIDA.
<i>Salmonella typhi</i>	Heces humanas	Fiebre tifoidea. Fiebre alta, diarrea, úlceras.
<i>Salmonella paratyphi</i>	Heces humanas	Fiebre paratifoidea. Fiebre alta, diarrea, úlceras.
<i>Shigella</i>	Heces humanas	Shigelosis. Disentería bacilar.
<i>Vibrio Cholerae</i>	Heces humanas, aguas de costa	Cólera. Diarreas fuertes, deshidratación.
<i>Yersinia enterolítica</i>	Heces humanas y animales	Gastroenteritis. Diarrea.

Tabla 2. Virus patógenos presentes en el agua

Microorganismo	Localización	Patología
<i>Adenovirus (47 tipos)</i>	Heces humanas	Respiratorias y gastrointestinales.
<i>Agente Norwalk</i>	Heces humanas	Gastroenteritis. Vómitos.
<i>Astrovirus</i>	Heces humanas	Gastroenteritis. Sobre todo a niños y enfermos de SIDA.
<i>Enterovirus (70 tipos)</i>	Heces humanas	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis. Comprende <i>poliovirus</i> , <i>echovirus</i> y <i>coxsackievirus</i> .
<i>Hepatitis A</i>	Heces humanas	Hepatitis infecciosa. Necrosis del hígado, fiebre, nauseas, vómitos.
<i>Hepatitis E</i>	Heces humanas	Hepatitis. Necrosis del hígado, fiebre, nauseas, vómitos.
<i>Rotavirus</i>	Heces humanas	Gastroenteritis. Sobre todo a niños, puede provocar incluso la muerte.

Tabla 3. Protozoos patógenos presentes en el agua

Microorganismo	Localización	Patología
<i>Cryptosporidium</i>	Heces humanas y animales	Criptosporidiosis. Diarrea.
<i>Entameba histolítica</i>	Heces humanas y animales	Amebiasis (disentería amebiana). Diarrea prolongada con sangre, abscesos en el hígado e intestino.
<i>Giardia lamblia</i>	Heces humanas y animales	Giardiasis. Diarrea, náuseas, indigestión.

El objetivo prioritario del trabajo "Desinfección de Aguas Recreativas"* fue realizar un estudio a nivel teórico de las características fundamentales de los métodos utilizados para la desinfección de aguas, tanto de consumo como de recreo, así como las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, su repercusión sobre el sistema de salud, la oferta turística y la industria química local. Asimismo, y habida cuenta de la característica estratégica de los productos líquidos como el hipoclorito de sodio, investigar alternativas para la desinfección. Se trabajó también en aspectos de gestión económica y potencialidad de aplicación, relacionados con la industria local y los productos de desinfección: capacidad de producción, capacidad de transporte, sistemas de dosificación, relación coste-eficacia bactericida, estabilidad y almacenamiento.

En el trabajo sobre "Eficacia-Coste"* se desarrolló un protocolo experimental para determinar la relación eficacia/coste de varios sistemas de desinfección aplicables a piscinas.

MARCO LEGAL

La norma vigente estatal por la cual se regulan las piscinas públicas es el **Real Decreto 742/2013**, de 27 de septiembre, por el que se establecen los criterios técnicos-sanitarios de las piscinas, que tiene por objeto armonizar la legislación en el ámbito nacional y actualizar los criterios básicos técnicos sanitarios de la calidad del agua y del aire, para proteger la salud de los usuarios de posibles riesgos físicos, químicos o microbiológicos derivados del uso de las piscinas.

Desde los años 90, cada comunidad tiene una normativa específica en la que se regulan las condiciones técnico-sanitarias de las piscinas. En Baleares se obedece al **Decreto 53/95**, de 18 de mayo, por el que se regulan las condiciones higiénico sanitarias de las piscinas de los establecimientos de alojamientos turísticos y de las de uso colectivo.

Con la aparición del nuevo Real Decreto 742/2013, cabe esperar que la normativa autonómica se modifique adaptándose a este RD, aunque a día de hoy la normativa vigente en Baleares es la del 95, en todos aquellos aspectos en los que no entre en contradicción con la normativa nacional.

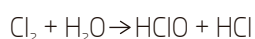
*Estudio coste-eficacia en desinfección de aguas recreativas. Ver créditos.

MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

Los métodos o tratamientos químicos usados en las piscinas tienen por objeto la desinfección del agua y la eliminación de los microorganismos patógenos. Se pueden aplicar de distintas maneras: vertiendo el producto directamente en el vaso, usado generalmente en piscinas particulares, y mediante sistemas de dosificación automatizados usados en las piscinas públicas, cubiertas o más complejas.

Cloro

El cloro disuelto en agua genera ácido hipocloroso (HClO):



que, debido a su reducido tamaño, es capaz de penetrar en las membranas de los microorganismos y posee el poder desinfectante. Una vez dentro, oxida los grupos funcionales de los enzimas alterando las funciones de las proteínas e inhibe los procesos metabólicos de las bacterias y virus. La membrana del patógeno queda alterada y provoca la pérdida de material celular causando la muerte del microorganismo.

Los compuestos clorados más utilizados en la desinfección del agua de piscinas son:

- *Cloro gas*: prácticamente en desuso en la actualidad. Se inyecta en la salida de los filtros del agua.
- *Hipoclorito de sodio*: el más usado. Se debe tener en cuenta que al utilizar NaClO en piscinas aumenta el pH del agua debido a la formación de NaOH, por lo que se debe tener un control de este y añadir un minorador de pH. A altas temperaturas se descompone, lo que implica un aumento de consumo del producto. Se suele aplicar mediante bombas dosificadoras.
- *Hipoclorito de calcio*: muy similar al hipoclorito de sodio. Forma, además del ácido hipocloroso, el hidróxido de calcio que aumenta el pH del agua y la dureza de ésta. Se aplica a través de una bomba dosificadora.
- *Dicloroisocianurato de sodio (dicloro)*: sólido blanco granulado, con un 65% de cloro activo. Altera poco el pH y se suele utilizar como tratamiento de choque (descuido de mantenimiento, gran afluencia de bañistas, después de una tormenta...).
- *Ácido tricloroisocianúrico (tricloro)*: tiene características muy similares al dicloro, pero su concentración en cloro activo es superior ya que contiene un 90%.

Aunque las ventajas de utilizar cloro como desinfectante son múltiples (tiene una gran capacidad residual respecto a otros compuestos, un fácil control de pH, se puede combinar con otros tratamientos, es de bajo coste y gran poder bactericida) presenta una serie de inconvenientes. El principal problema del cloro son los efectos secundarios que pueden aparecer por el simple hecho de nadar en una piscina con cloro (irritación de los ojos, de la piel y, en situaciones extremas, problemas respiratorios). Además, el cloro es una sustancia tóxica que presenta riesgos en su manipulación y almacenamiento.

Bromo

El bromo con el agua forma el ácido hipobromoso que es el que actúa como desinfectante, oxidando la materia orgánica y destruyendo los microorganismos y las algas. El mecanismo de desinfección, al tratarse de un halógeno, es muy similar al del cloro.

El producto a partir del cual se obtiene el bromo es la bromo-cloro-dimetilhidantoina, que se presenta comercialmente en forma de pastillas de color blanco.

Como ventaja frente al cloro, el bromo se disuelve mejor en agua y tiene el mismo poder desinfectante, pero presenta un gran inconveniente: su concentración residual es mucho menor que la del cloro, por lo cual la cantidad de producto añadido debe ser alta o se debe combinar con otro compuesto.

Ozono

El ozono es un gas desinfectante muy activo que actúa por oxidación o destrucción directa de la pared celular y la consecuente pérdida de los componentes celulares.

El ozono se debe generar *in situ* con un generador eléctrico que transforma parte del oxígeno en ozono.

El vaso de la piscina, por normativa, no puede contener ozono, de modo que la inyección se hace en la sala de máquinas y después del tratamiento se debe proceder a una desozonización mediante filtros de carbón activo.

Este tratamiento presenta la ventaja de tener un alto poder oxidante y una baja formación de subproductos de desinfección (productos generalmente nocivos para la salud), pero al no dejar desinfectante residual es necesario complementarlo con otro tratamiento.

Dióxido de cloro

El dióxido de cloro es un gas que, además de tener propiedades desinfectantes, neutraliza olores, oxidando al hierro y manganeso, y proporciona así una mayor calidad al agua.

El dióxido de cloro, al ser un gas inestable, debe generarse *in situ* mediante la reacción del clorito de sodio con cloro.

Este compuesto presenta varias ventajas: es más potente que el cloro, ya que tiene mayor capacidad de desinfección en menor tiempo de contacto, y reduce la formación de subproductos de la desinfección. Por otra parte, el inconveniente que presenta, además de ser un sistema costoso, es que forma subproductos de clorito y clorato que deberán ser eliminados, ya que oxidan la hemoglobina.

Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno utilizado como desinfectante de aguas es un sistema muy novedoso, y no es agresivo para la piel. El peróxido de hidrógeno oxida y reduce los grupos funcionales de los enzimas, alterando las funciones de las proteínas e inhibiendo los procesos metabólicos de los microorganismos.

Peroxono

El peroxono es un sistema de oxidación avanzada que combina el peróxido de hidrógeno y el ozono. Durante el proceso se forman radicales hidroxilo que aceleran el proceso de oxidación.

Aunque es un método interesante para el tratamiento de aguas recreativas ya que aumenta la efectividad de los tratamientos con ozono, actualmente es utilizado en procesos de preparación de agua potable.

Ácido peracético

El ácido peracético (APA) se presenta como una alternativa para procesos de desinfección de aguas. Una de las ventajas que presenta el APA, además de tener un alto poder oxidante, es que no genera subproductos de desinfección tóxicos y es compatible con otros tratamientos, pero se debe tener en cuenta que no presenta concentración de desinfectante residual por lo que se tendrá que combinar con otros tratamientos.

Electrólisis salina

La electrólisis salina es un proceso electrolítico por el cual se genera cloro a partir de agua salada o sal. El cloruro de sodio disuelto en agua se ioniza, generando sodio y cloro gas. Como esta reacción ocurre en medio acuoso se produce el ácido hipocloroso y hidróxido sódico (sosa). El ácido hipocloroso, como ya hemos visto con anterioridad, es el que tiene el poder desinfectante. El ácido clorhídrico resultante reaccionará con la sosa generando de nuevo sal y agua. Así pues, el proceso se puede esquematizar de la siguiente manera:

- Producción de cloro: $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2 + \text{Cl}_2$
- Hidrólisis del cloro para producir ácido hipocloroso: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HClO} + \text{HCl}$
- Desinfección: $\text{HClO} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$
- Regeneración de la sal por reacción con la sosa: $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

Una de las ventajas que presenta este método es que elimina los riesgos de manipulación y almacenaje de productos peligrosos (como podía ser el hipoclorito de sodio), disminuye olores y se presenta mediante sistemas de dosificación automática asociado a reguladores de pH.

Ionización cobre-plata

Es un sistema muy eficaz y capaz de destruir microorganismos resistentes a otros procesos químicos. El agua se hace circular a través de una unidad ionizadora en la cual hay electrodos de cobre y plata. En el agua se liberan los iones de estos dos metales. El cobre inactiva a los microorganismos al combinarse con las proteínas de las células bacterianas.

Radiación Ultravioleta

Mediante el uso de radiación ultravioleta a una determinada longitud de onda (entre 240-280nm, siendo la más eficaz a 265nm) penetra en las células de los microorganismos destruyendo el ADN y ARN de éstas e impidiendo su reproducción.

Este tratamiento necesita ser complementado con otro, ya que no deja residual, así pues debe utilizarse junto al cloro o bromo.

Procesos fotoquímicos

Podemos considerar algunos procesos fotoquímicos avanzados de oxidación, donde se combina la fotólisis directa (UV) con otros métodos:

- Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV)
- Foto-Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{UVvis}$) y relacionadas
- UV+ H_2O_2
- UV + O_3
- Fotocatálisis heterogénea (UV+semiconductor)
- Fotosensibilización (UVvis + cromóforo)

Algunos de estos procesos están más desarrollados que otros y su comercialización es variada (Foto-Fenton, UV+ H_2O_2 , UV+ O_3 están totalmente comercializadas).

Plasma

Es un sistema muy novedoso desarrollado en el laboratorio y sometido a un estudio piloto, pero sin publicaciones científicas al respecto.

El sistema somete el agua a alta presión, luego es atomizada y acelerada a altas velocidades y posteriormente es expuesta a un campo eléctrico. Convierte el agua en partículas de plasma, eliminando los microorganismos para luego convertirse en agua potable.

Vidrio Sodocálcico

El vidrio sodocálcico es un polvo vítreo que se compone de sílice, óxido de calcio y óxido de sodio. Científicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) junto al Instituto de Ciencias de los Materiales de Madrid (ICMM) y el centro Nacional de Biotecnología han demostrado recientemente los efectos biocidas de este polvo.



PRODUCTOS ESTRATÉGICOS EN BALEARES

Los productos estratégicos que podemos considerar para los consumidores y la sociedad balear en su conjunto son los siguientes:

Hipoclorito de sodio. Utilizado en procesos relacionados con la desinfección de aguas y en la obtención de productos de limpieza (lejías). Se utiliza de forma intensiva en los sistemas de potabilización, control de la calidad de aguas de aljibes y piscinas, y en servicios de limpieza.

Hidróxido de calcio. Utilizado en el tratamiento de aguas residuales y para la remineralización del agua desalada para que sea apta para el consumo.

Ácido Clorhídrico y Sosa Cáustica. Utilizados ambos en el control del pH del agua de las piscinas y fundamentalmente asociados a los sistemas de desinfección basados en el cloro, en tanto que la efectividad de este método depende de los valores de pH.

Tensioactivos generales. Utilizados en la fabricación de detergentes destinados al sector turístico. Garantizan la limpieza de locales e instalaciones privadas y públicas.

Amonio Cuaternario. Utilizados como detergentes y antimicrobianos de eficacia potente con aplicación en hospitales y material sanitario, lavandería, sistemas de aire acondicionado e industria alimentaria.

De entre los productos estratégicos aplicados al tratamiento de aguas de piscina, (entre los cuales hemos incorporado la sal por su relevante incremento), el hipoclorito de sodio resulta el más utilizado, tal y como se desprende de la gráfica siguiente:

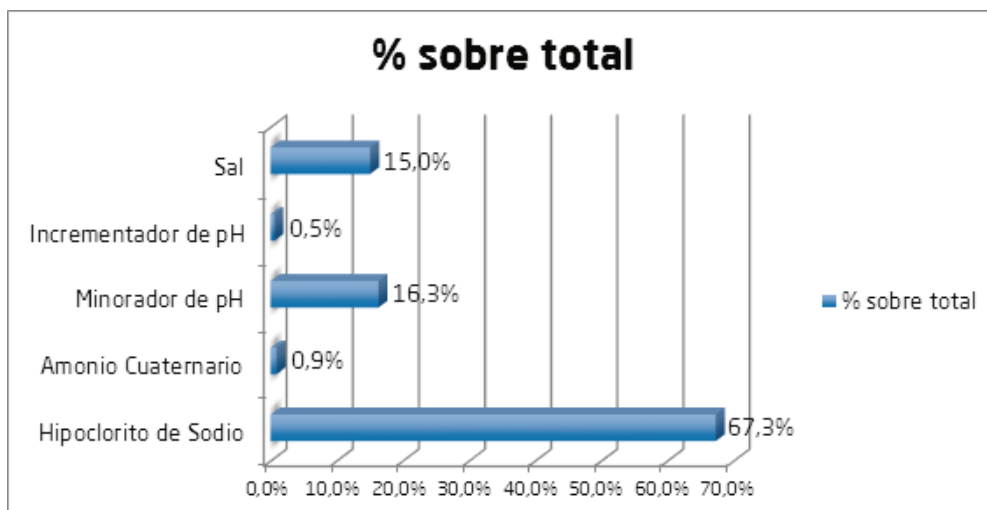


Figura 1. Productos aplicados en el tratamiento de piscinas



Sin embargo, el hipoclorito de sodio no se produce en las Islas Baleares. Y vale la pena destacar que el sector ya ha manifestado en diversas ocasiones que una rotura de la cadena de suministro del hipoclorito de sodio supondría importantes impactos, tanto en la salud pública como en los sistemas de limpieza y calidad de las aguas.

España cuenta con el 5,3% de la producción mundial de hipoclorito de sodio (aprox. 531.000 tn/año). La industria química balear se aprovisiona del hipoclorito proveniente de varios centros de producción de la península mediante importación en su forma líquida. El hipoclorito de sodio tiene limitaciones de transporte derivadas de su clasificación como mercancía peligrosa, tanto por el IMDG (transporte Marítimo) como por el ADR (transporte terrestre), por lo que la logística y la distribución presenta serias dificultades que se agravan en los meses de temporada alta.

La disponibilidad de hipoclorito de sodio en cantidad suficiente en las Islas Baleares depende de factores limitantes, tales como:

- la cantidad de barcos destinados al transporte de mercancía peligrosa.
- la capacidad logística (camiones de arrastre y cisternas homologadas) de la industria local.
- la capacidad de almacenamiento en depósitos y aljibes para su transformación en producto comercial y su distribución a los usuarios finales.



ALTERNATIVAS AL HIPOCLORITO DE SODIO

Con una demanda superior a las 10.000 toneladas, cabe plantearse esta producción en forma local mediante electrólisis salina o buscar alternativas a la desinfección con hipoclorito de sodio.

El desinfectante ideal escogido para el tratamiento del agua de una piscina debe cumplir los criterios siguientes:

- Inactivación rápida y efectiva de los microorganismos.
- Capacidad de oxidación.
- Mantener una concentración efectiva de biocida que no produzca efectos adversos contra la salud.
- Control de la concentración del desinfectante en la piscina con métodos analíticos o equipos de fácil manejo.
- Poder monitorizar la concentración de desinfectante en cualquier momento y permitir, si es posible, la dosificación automática.

Existen una gran variedad de sistemas de desinfección alternativos al cloro (vistos en el apartado “Métodos de desinfección”, pág 7). La necesidad de buscar alternativas al cloro y a sus derivados ha propiciado que aparezcan nuevos métodos de desinfección que mejoran la eficacia del cloro y reducen los efectos secundarios producidos por los subproductos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la normativa actual de piscinas de cualquier comunidad, incluso el nuevo Real Decreto 742/2013 de piscinas, contempla la necesidad de tener un desinfectante residual en el agua para garantizar la desinfección. Por eso, si un nuevo método no deja residual, tendrá que ser complementado con alguna sustancia clorada o bromada.

En el estudio, se hizo una comparativa de costes en la utilización de los principales sistemas de desinfección, si bien se debe considerar la gran variedad de factores que influyen en estos cálculos (temperatura, pH, características analíticas, tamaño del vaso de la piscina, etc.) lo que hace imposible una valoración cuantitativa rigurosa y reproducible.

En la figura 2 se puede observar una aproximación a la relación coste eficacia de los desinfectantes más utilizados actualmente. A efectos de intentar estandarizar, se ha supuesto un escenario consistente en una piscina de 500m³, con una afluencia de 500 personas y un consumo de cloro estimado de 4,5 Kg/día. Los costes estimados son: materia prima consumida, consumo energético de los equipos, coste de amortización de los equipos a 10 años, coste del control de pH, coste de renovación de agua.

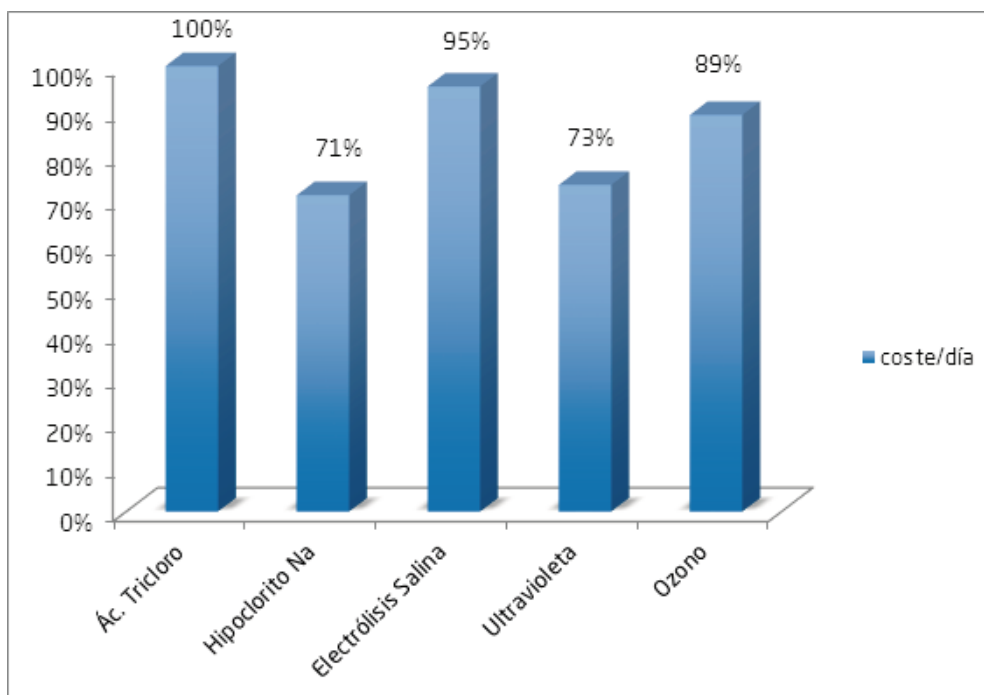


Figura 2. Coste por día de diferentes desinfectantes para una piscina de 500 m³

La comparativa entre sistemas sigue otorgando la mejor relación coste/eficacia al hipoclorito, si bien se observan mejoras en la eficiencia con sistemas como UV, ozono, y combinaciones de éstos.



EFFECTOS SECUNDARIOS DE LOS PRODUCTOS DE DESINFECCIÓN

Los desinfectantes utilizados en el tratamiento de aguas recreativas pueden reaccionar con la materia orgánica presente generando subproductos de desinfección (SPD). Estas materias orgánicas presentes en las piscinas son compuestos nitrogenados procedentes de saliva, pelo, orina, piel, sudor, materia corporal y lociones corporales.

Los SPD que se producen en mayor cantidad son los que se generan a partir de desinfectantes halogenados, pero los desinfectantes alternativos como el dióxido de cloro y el ozono también producen subproductos. Los SPD actualmente conocidos son:

- Los trihalometanos (THM), entre los cuales el cloroformo es el que se encuentra en mayor concentración: cloroformo (CHCl₃), bromodiclorometano (CHBrCl₂), dibromoclorometano (CHBr₂Cl) y bromoformo (CHBr₃)
- Los ácidos haloacéticos (AHAs), entre los cuales el ácido tricloroacético es el más presente, son: ácido monocloroacético (CH₂ClCOOH), dicloroacético (CHCl₂COOH), tricloroacético (CCl₃COOH), monobromoacético (CH₂BrCOOH) y dibromoacético (CHBr₂COOH).
- Las cloraminas y bromaminas se forman al reaccionar cloro o bromo con el amoníaco del agua para formar monocloraminas, dicloroaminas o tricloroaminas y bromaminas. El amoníaco procede de la orina y de la hidrólisis de la urea. Los compuestos orgánicos como los aminoácidos pueden reaccionar también con el hipoclorito para formar cloraminas orgánicas.
- Los haloacetonas o haloaldehídos se han detectado aunque en menos cantidad: dicloroacetonitrilo, tricloroacetonitrilo, bromocloroacetonitrilo, etc.
- Cloritos y cloratos.
- Otros como bromatos aldehídos, ácidos acetoaldehídos, bromoformos, peróxidos etc.



DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA-COSTE

Como continuación del trabajo realizado en la elaboración del documento “Desinfección de Aguas Recreativas”, el Dpto. de Química Analítica de la UIB, ha desarrollado un protocolo experimental para determinar la relación eficacia/coste de varios sistemas de desinfección aplicables a piscinas, como piloto hacia una infraestructura estable de demostración de tecnologías turísticas y ambientales. La colaboración de las empresas de CLIQIB en el piloto facilitaría la aplicabilidad real de estos sistemas de desinfección por parte de la industria local.

El modelo experimental para alcanzar el objetivo planteado consistió en un recipiente plástico (en adelante, piscina) con una capacidad de 250 L y sistemas que permitieron la instalación de los distintos sistemas de desinfección (véase Fig. 1 y Fig. 2) y instrumentos de control in-situ.

Fig. 1



Fig. 2



Fig 1: Fotografía en la que se observa el calentador de agua y el sistema de electrólisis salina.

Fig 2: Fotografía del sistema de carbón activo para la eliminación del cloro del sistema de red y la instalación de recirculación.

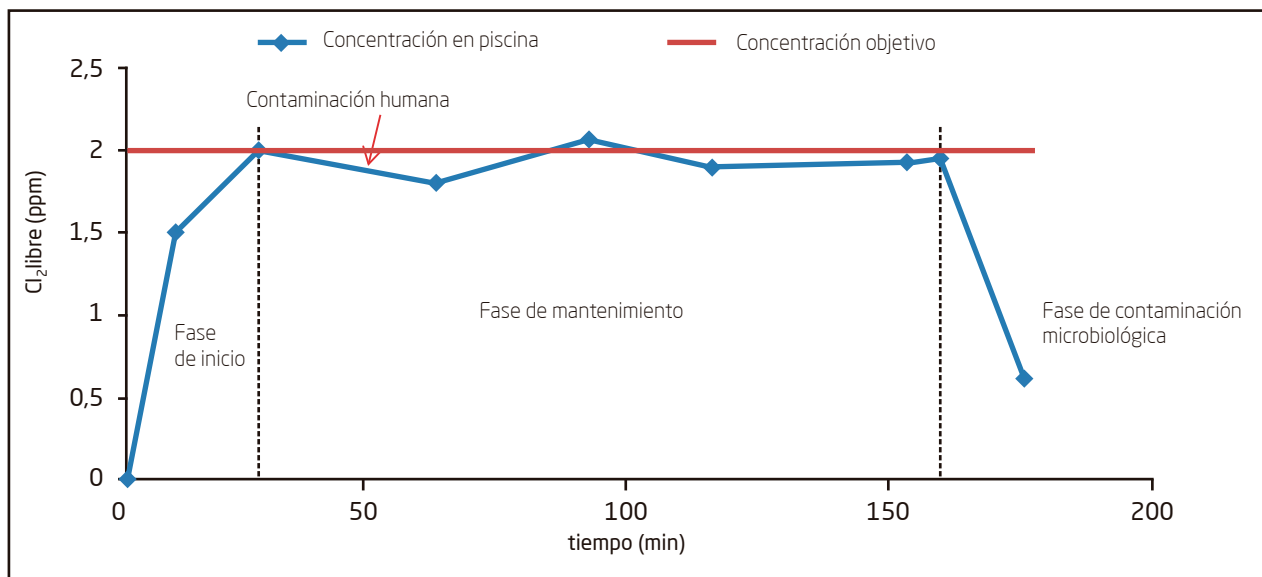
Los microorganismos utilizados para contaminar la piscina fueron *Escherichia coli* ATCC 11775 (*E. coli*) y *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25668 (*P. aeruginosa*). Para simular la contaminación humana se optó por la adición de urea por ser un compuesto muy habitual en las aguas recreativas, debido a que este compuesto forma parte de la saliva, el sudor y la orina humana. La concentración seleccionada fue de 1.2 ppm de urea por ser esta la media de concentración hallada en un estudio reciente de 50 piscinas en uso².

²J. De Laat, W. Feng, D.A. Freyfer, F. Dossier-Berne, Water Research 45(2011)1139-1146.

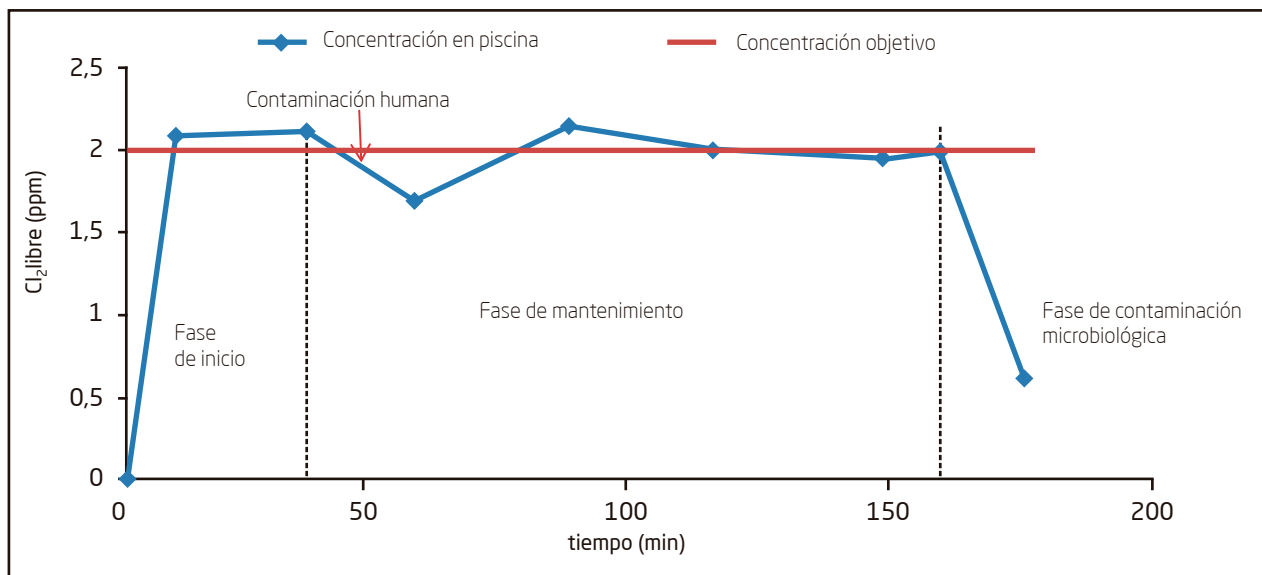
A continuació se representen de forma esquemàtica els resultats experimentals de les diferents fases per a cada un dels desinfectants i pH analitzats una vegada superada la fase d'estabilització.

Ácido tricloroisocianúrico

Ensayo realizado a pH 8.0 y temperatura de 30 °C

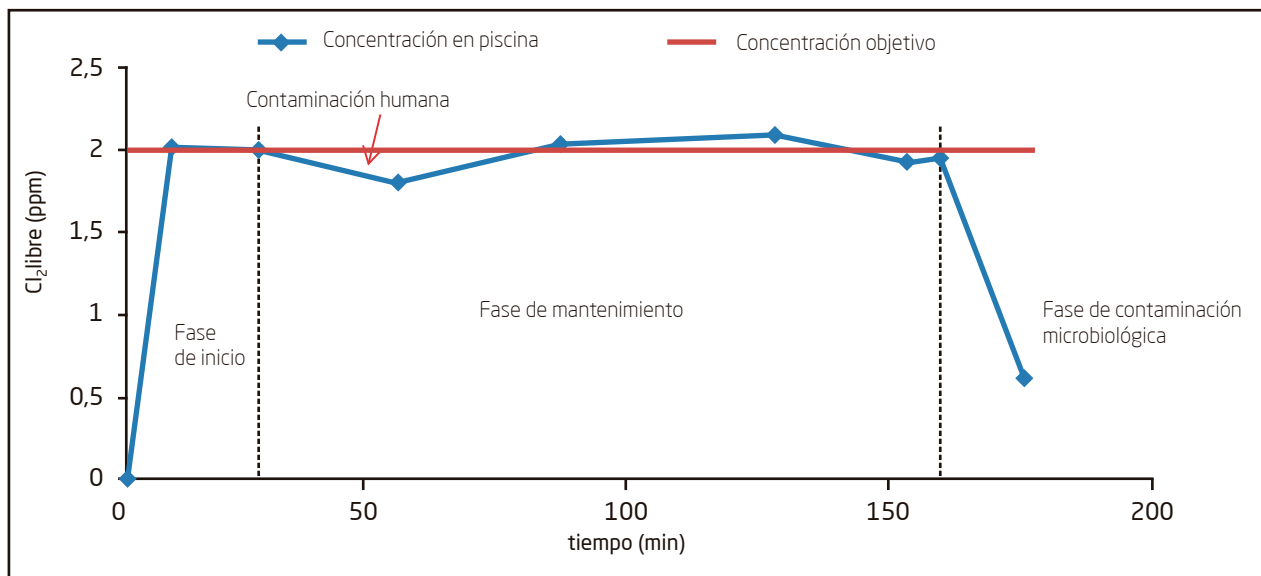


Ensayo realizado a pH 7.2 y temperatura de 30 °C

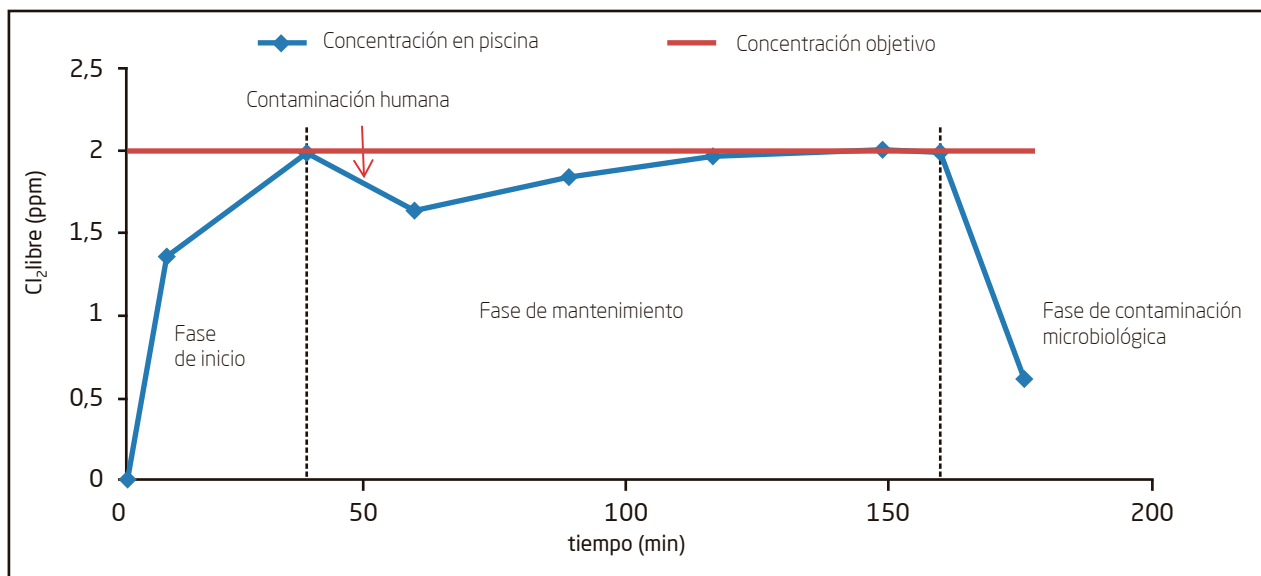


Hipoclorito sódico (cloro líquido)

Ensayo realizado a pH 8.0 y temperatura de 30 °C

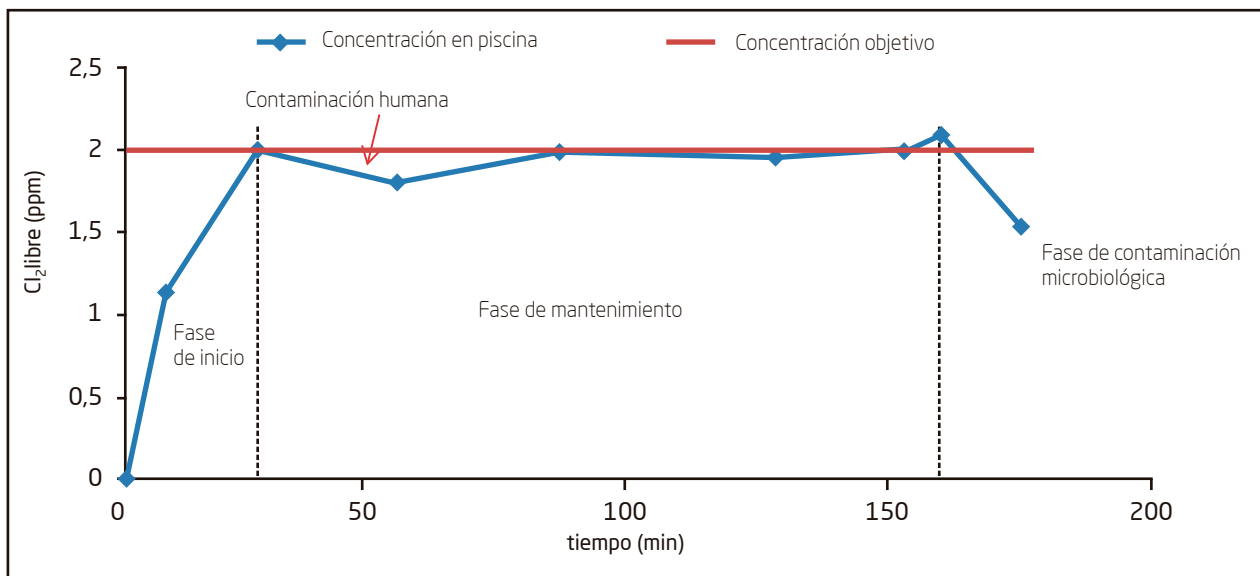


Ensayo realizado a pH 7.2 y temperatura de 30 °C

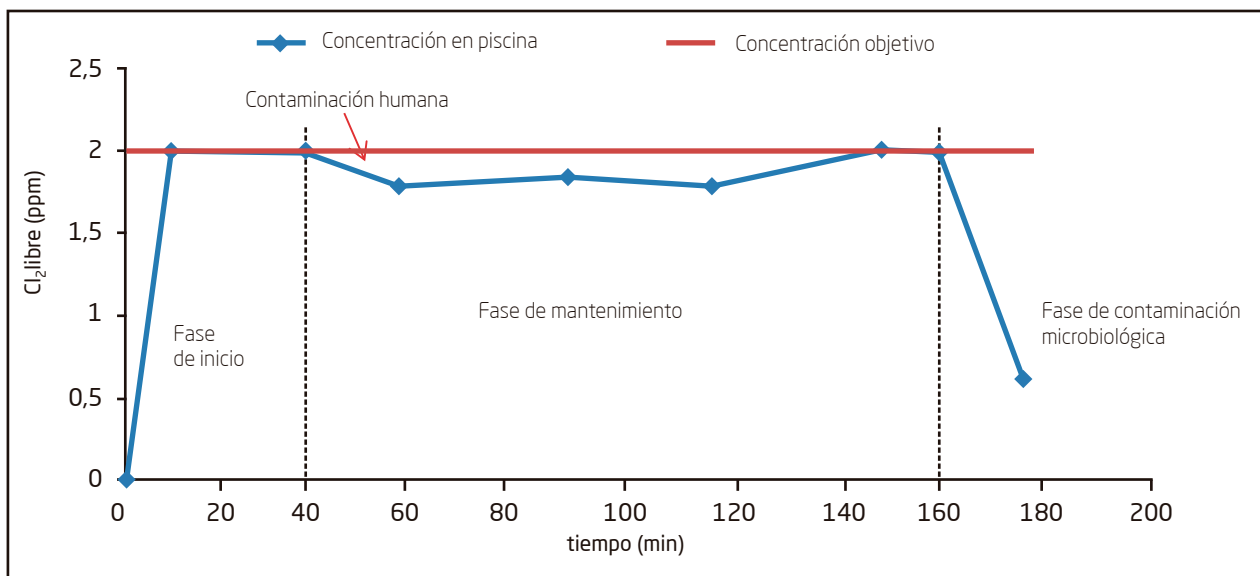


Hipoclorito sódico (cloro líquido) + 75 ppm de ácido isocianúrico

Ensayo realizado a pH 8.0 y temperatura de 30 °C

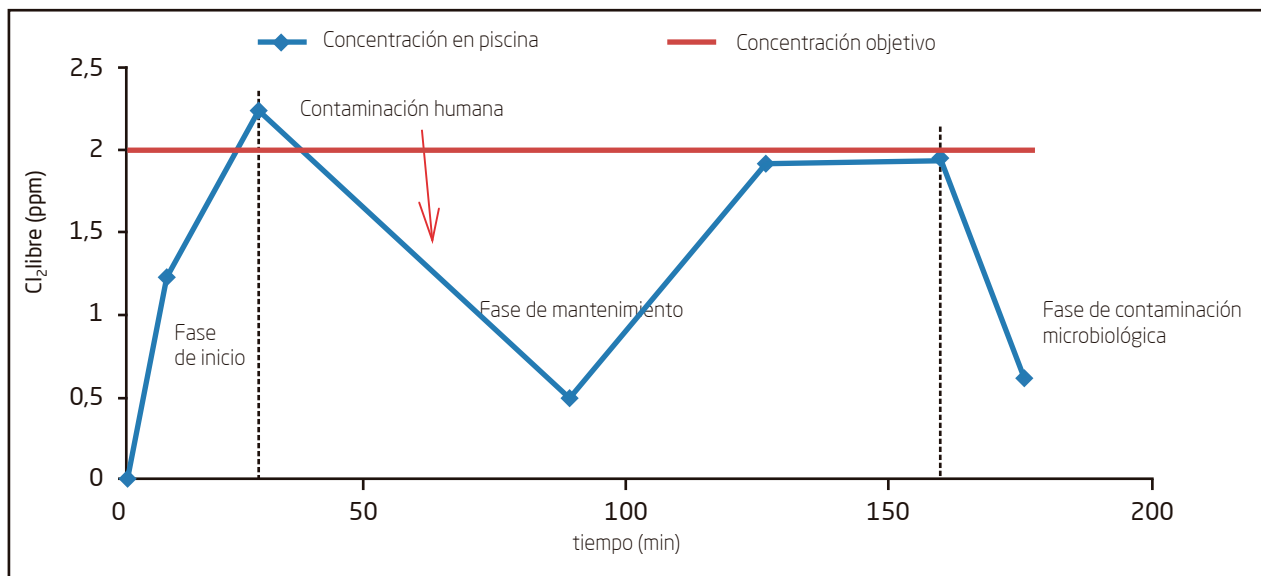


Ensayo realizado a pH 7.2 y temperatura de 30 °C

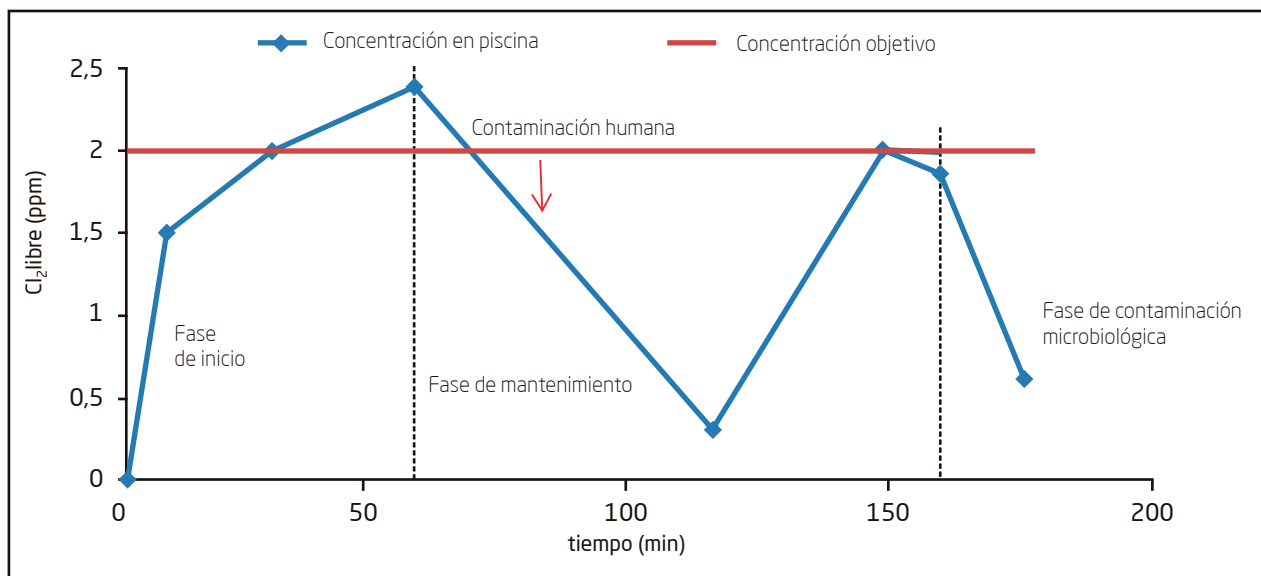


Electrólisis salina

Ensayo realizado a pH 8.0 y temperatura de 30 °C

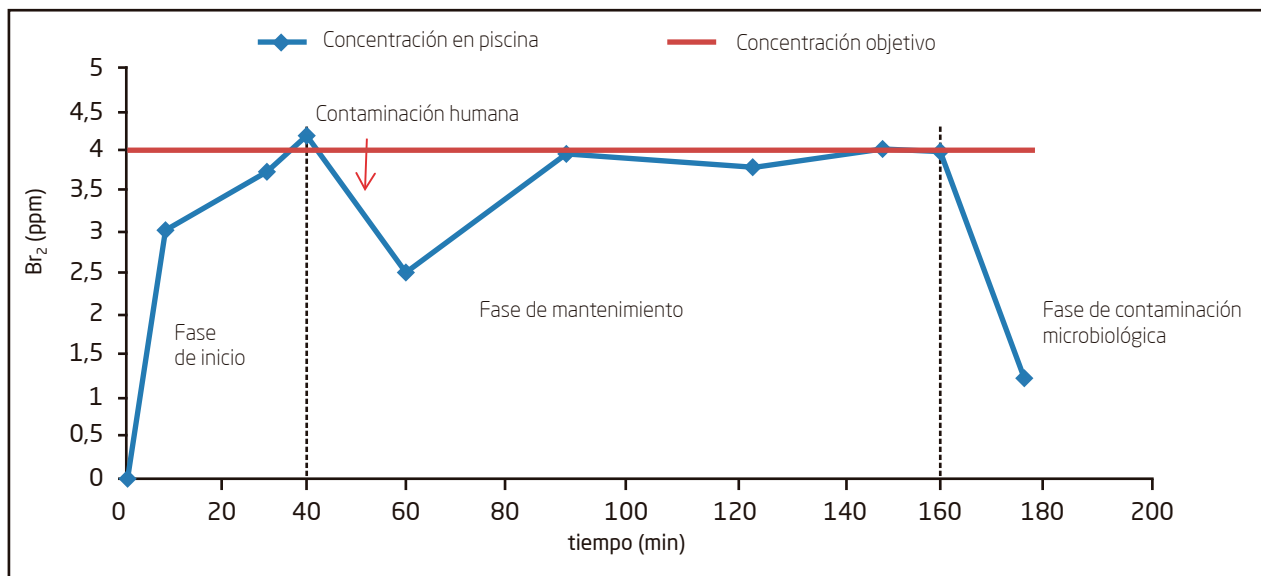


Ensayo realizado a pH 7.2 y temperatura de 30 °C

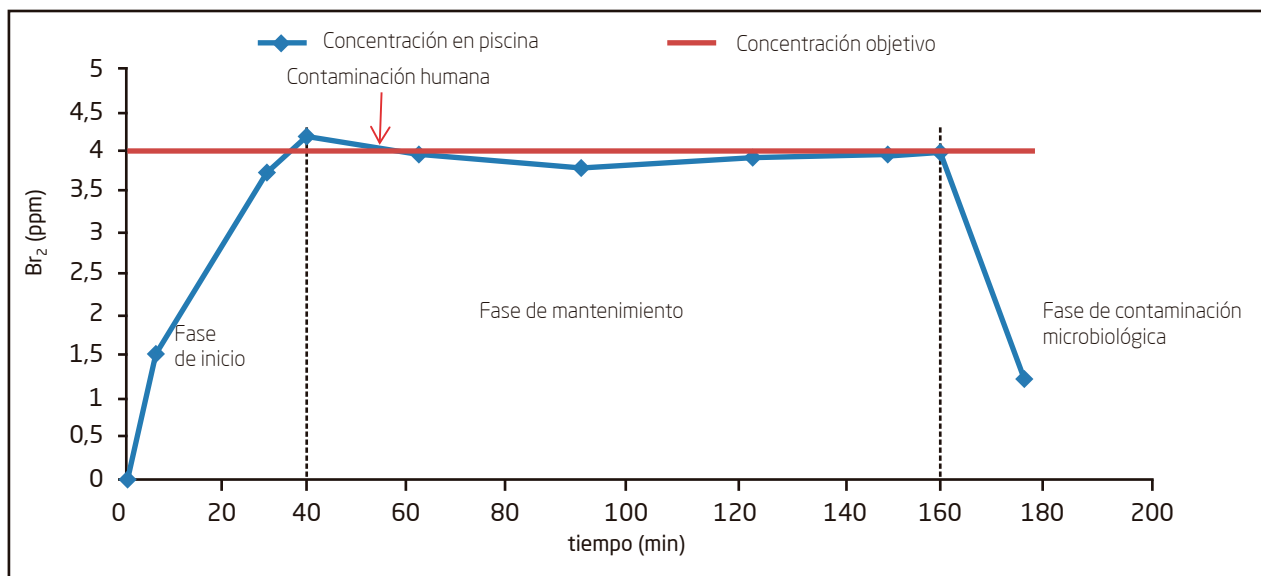


1-bromo-3-cloro-5,5-dimetilhidantoína

Ensayo realizado a pH 8.0 y temperatura de 30 °C

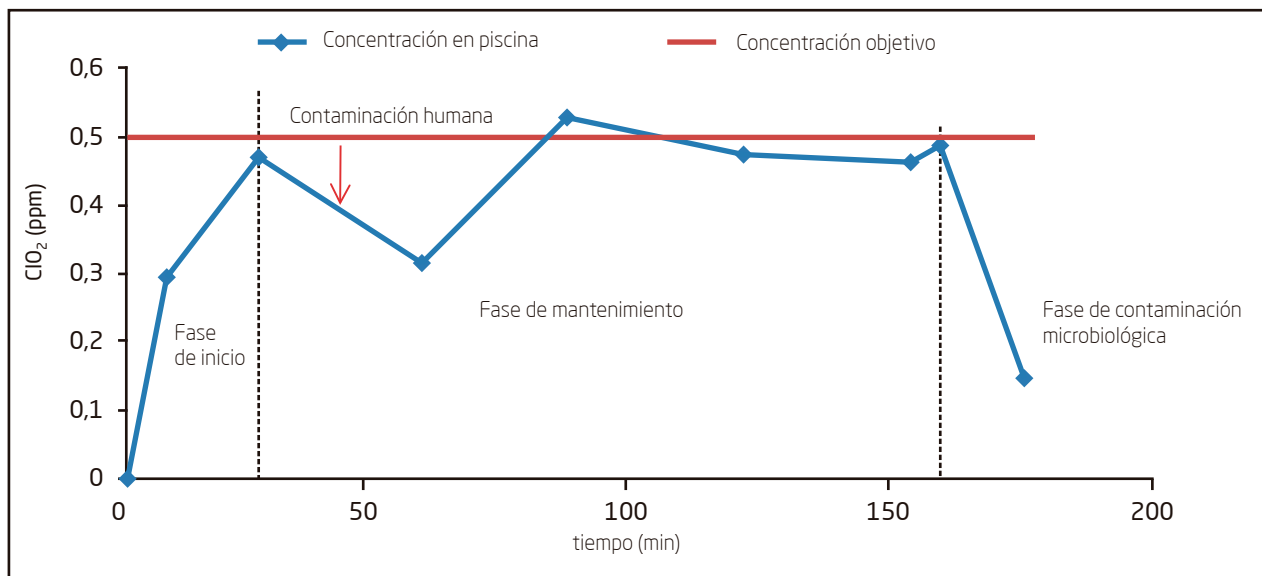


Ensayo realizado a pH 7.2 y temperatura de 30 °C

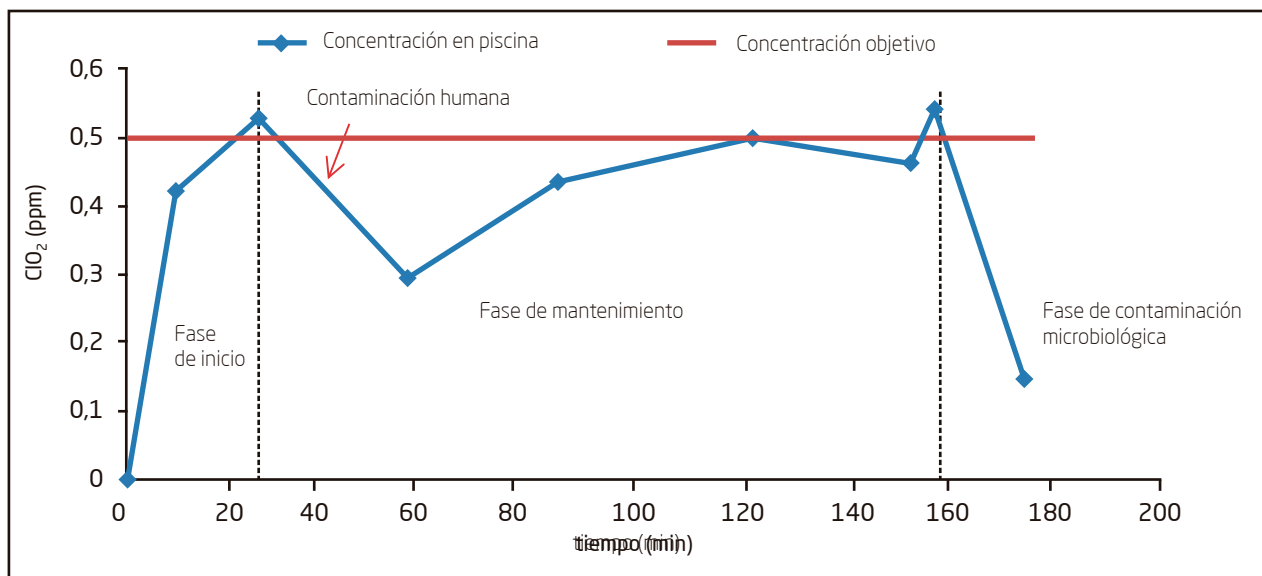


Dióxido de cloro

Ensayo realizado a pH 8.0 y temperatura de 30 °C

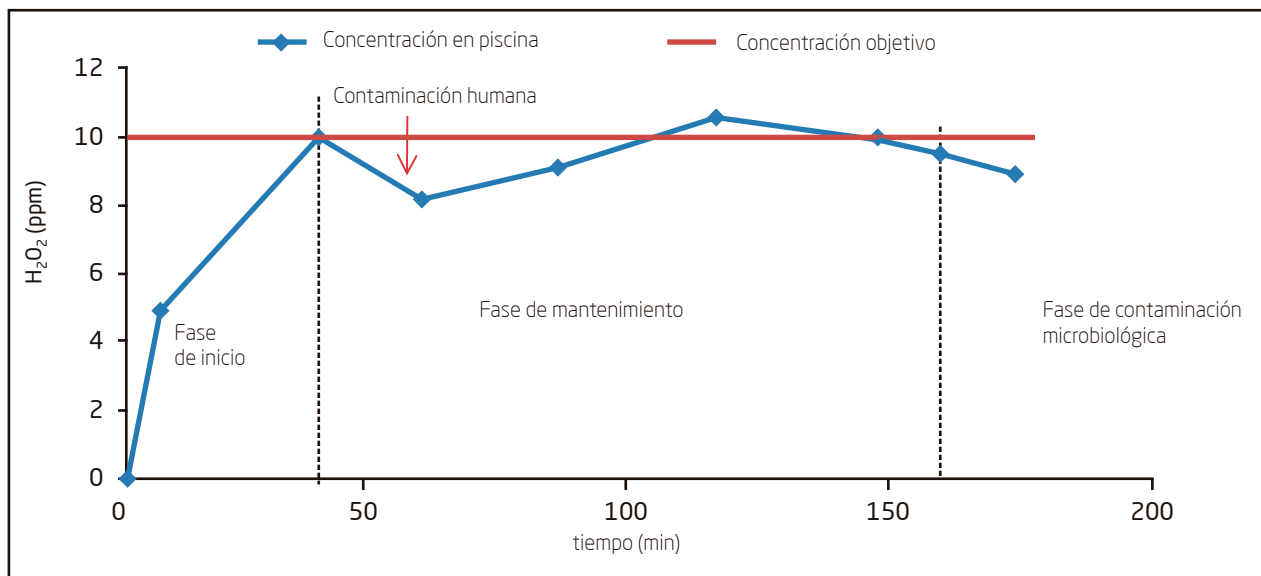


Ensayo realizado a pH 7.2 y temperatura de 30 °C

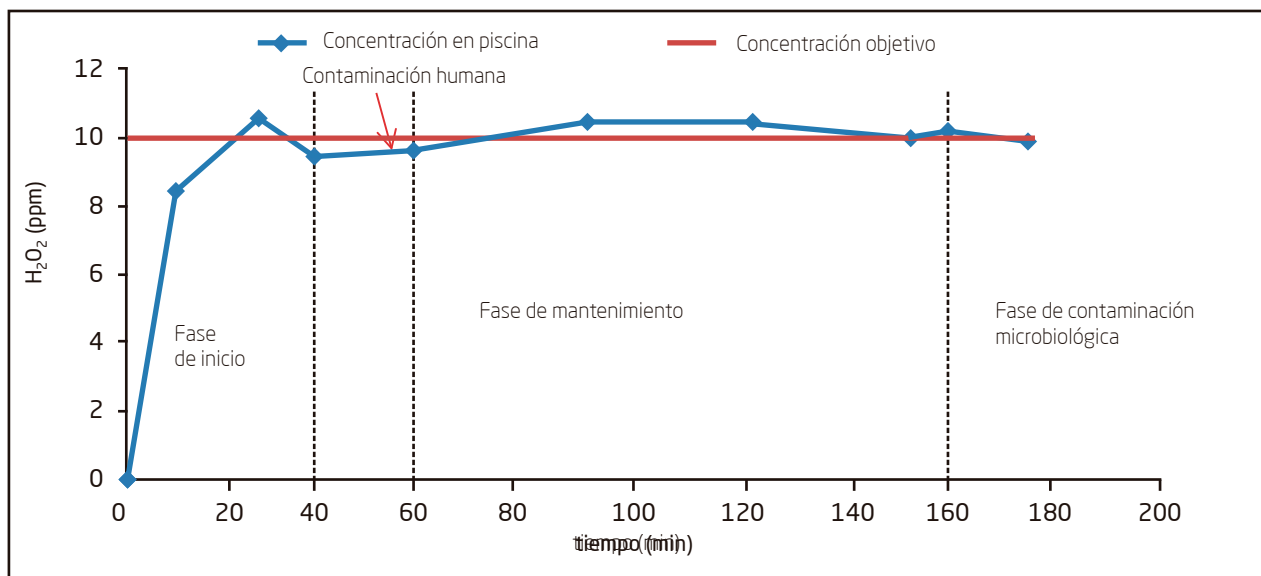


Peróxido de hidrógeno

Ensayo realizado a pH 8.0 y temperatura de 30 °C



Ensayo realizado a pH 7.2 y temperatura de 30 °C



CONCLUSIONES

NORMATIVA

Normativa antigua (1960) y difusa a nivel autonómico (1995)



Nueva normativa nacional (2013)

PROPUESTA

Revisión normativa autonómica y comisión técnica sobre piscinas CAIB

La normativa sobre aguas potables es profusa, a la par que actualizada mediante órdenes que revisan la técnica periódicamente. La normativa sobre piscinas, a nivel nacional, es antigua (1960), si bien la publicación del Real Decreto 742/2013 del Ministerio de Sanidad, realiza una necesaria actualización, estamos a la espera de que la modificación de las normativas autonómicas. La normativa balear data de 1995 y presenta discrepancias con otras comunidades. Dada la importancia de esta legislación para el sector turístico balear, para la industria química local, así como para entidades relacionadas con la vigilancia sanitaria, con la investigación e innovación y la respuesta del sistema autonómico de salud, consideramos necesaria la convocatoria de una comisión técnica sobre la aguas recreativas, donde se tomen en consideración todas las posturas que pueden afectar al redactado de la norma autonómica y su repercusión.

NORMATIVA DE PRODUCTO

Implantación CLP³. Desde la antigua homologación hacia una información técnica aplicada al mantenimiento.



Reglamento CLP

PROPUESTA

Sistema TIC / CLOUD para información química a técnicos de mantenimiento de piscinas (peligrosidad / riesgo / manipulación).

La clasificación de los productos químicos homologados para su uso en piscinas, por el Ministerio de Sanidad, está realizada en función del carácter comercial del producto. El reglamento CLP introduce en la Unión Europea un sistema armonizado de etiquetado de las sustancias y productos químicos en función de su peligrosidad para el ser humano y el medio ambiente. De este modo, se ha detectado la carencia de una información sobre peligrosidad, basada en los compuestos activos utilizados en el tratamiento de aguas recreativas, y entre ellos, los productos desinfectantes. CLIQIB está trabajando en un proyecto⁴ que facilitaría disponer de un sistema de información para los técnicos de mantenimiento que trabajan con productos químicos utilizados en piscinas basado en TIC's.

³Reglamento (CE) n° 1272/2008 (en adelante CLP, acrónimo de clasificación, etiquetado y envasado de sus siglas en inglés).

⁴ SDS Mobile (Safety Data Sheet Mobile).

PRODUCTO ESTRATÉGICO: HIPOCLORITO DE SODIO

Hoy día representa casi el 70% del mercado. No se fabrica en Baleares. Es el más barato.



Valoración de salmueras y salinas

PROPUESTA

(A): Estudio de valoración de salmueras de plantas desaladoras

(B): Estudio de viabilidad de una planta de electrólisis salina

Mínimo 10.000 toneladas NaClO

Observamos una serie de productos estratégicos, tanto desde el punto de vista industrial como sanitario, para la comunidad balear. De entre ellos destaca el hipoclorito de sodio, que mantiene el 70% de la cuota de distribución de productos para piscina en Baleares. Este producto no se fabrica en Baleares. Con una demanda superior a las 10.000 toneladas, cabe plantearse esta producción en forma local mediante electrólisis salina.

El escenario de investigación propuesto tiene características de ingeniería química para el estudio viabilidad de una planta de producción en Mallorca, donde tan sólo el consumo interior ya justificaría una instalación de dimensiones moderadas. De forma asociada, se recomienda el estudio de la valorización de salmueras procedentes de plantas desaladoras por ósmosis inversa y por excedentes de la industria salinera local mediante electrólisis de membrana.

ELECTRÓLISIS SALINA

Cambia a tecnología de membrana (menos contaminante). Se prevén cierres de plantas en España durante 2016.



España: 6º fabricante mundial NaClO

PROPUESTA

Incrementar las instalaciones de electrólisis salina en la planta hotelera.

Integrar los avances en nanotecnología aplicables a membranas electrolíticas para mejorar su eficiencia.

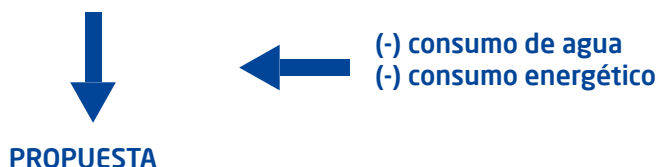
Combinar con UV y otros sistemas

La electrólisis salina, a nivel doméstico y recreativo, ha experimentado una constante pujanza durante los últimos 10 años, de forma que la materia prima que alimenta este sistema de desinfección, el NaCl, ya significa el 15% de los productos distribuidos en Baleares para tratamiento de aguas. La innovación de este sistema debe pasar por la mejora de su rendimiento y el abaratamiento de los costes de los electrodos, así como la combinación con otros sistemas de desinfección (UV). El escenario de investigación que se sugiere debería integrar los avances en nanotecnología aplicables a las membranas electrolíticas con mejoras de resultados.



SISTEMAS ALTERNATIVOS

Aplicabilidad a la planta hotelera mejorada. Reducción de costes



Innovación en la implantación de sistemas alternativos.
Realización de un estudio piloto sobre gestión hídrica de los establecimientos hoteleros.

Existen una gran variedad de sistemas de desinfección alternativos al cloro, limitados todos por la exigencia normativa de una determinada cantidad de cloro/bromo residual en el agua de piscina. La comparativa entre sistemas sigue otorgando la mejor relación coste/eficacia al hipoclorito, si bien observamos mejoras en la eficiencia con sistemas como UV, Ozono, y combinaciones de éstos con otros.

Uno de los aspectos más llamativos es que el coste de renovación del agua (5% del volumen de la piscina en la mayoría de normativas autonómicas) supone casi un 75% de los costes de mantenimiento. Mantenimiento, que traducido a coste económico puede oscilar entre los 60.000 y 100.000 euros diarios para la planta hotelera balear.

El escenario de investigación que se sugiere debería innovar en sistemas alternativos, como la generación de dióxido de cloro "in situ", la sensorización de la eliminación de las aguas de lavado de filtros, etc ... acercándolos a las posibilidades reales de implantación en el sector turístico balear.

CARENCIAS DE CONOCIMIENTO

-  **Eficacia en base a CT**
-  **Eficacia de las dosis**
-  **Incremento Resistencia**
-  **Grado de contaminación microbiana en Baleares**
-  **Efectos secundarios SPD**



Realización de acciones de I+D+i enfocadas a la transferencia de conocimiento al sector químico.

En el marco de la especialización inteligente de la I+D+i en Baleares, se hace necesario intensificar la transferencia de conocimiento desde la Universidad hacia las empresas, en las áreas científicas de la Química, Microbiología, Ingeniería y Salud Pública. El papel del clúster, como canalizador de esta transferencia de conocimiento, ayudará a fortalecer un sector económico basado en la innovación aplicada al turismo.



EFICACIA vs COSTE → COMPROBADO

- El menor Ct (mayor eficacia desinfección) se obtuvo para el dióxido de cloro; sin diferencias en su actuación a los dos pH estudiados de acuerdo a la legislación.
- El menor coste observado ha sido el del hipoclorito sódico, aunque no se ha contemplado degradación por radiación UV en las condiciones experimentales de laboratorio estudiadas.
- No hay diferencias en precio diario del tratamiento con **ácido tricloroisocianúrico (sólido)** y el **hipoclorito combinado con ácido isocianúrico** a concentración de 75 ppm.
- Se ha comprobado la **menor eficacia del cloro** en todas sus modalidades evaluadas **a pH 8.0 en comparación con pH 7.2.**
- Se ha comprobado que el dióxido de cloro tiene **la misma eficacia desinfectante** tanto para la E. coli como para P. aeruginosa. Se aconseja el uso de dióxido de cloro (ClO₂) conjuntamente con otro desinfectante. Las propiedades iocidas convierten al ClO₂ en una solución adecuada para **tratamientos de choque** en situaciones de emergencia.



PROPUESTA

Proponer la puesta en marcha de un Living Lab Hotel.

- Estudiar la contaminación de las aguas de lavado y los filtros.
- Estudiar la eficacia de los desinfectantes en base al cálculo del Contact Time (CT) para más tipos de patógenos que los estudiados.
- Estudiar la eficacia de las dosis liberadas por los sistemas de desinfección, que afecta a la evaluación de Coste/Eficacia.
- Verificar el incremento de la resistencia de los microorganismos a desinfectantes (en concentraciones habituales de uso).
- Evaluar la acción de los desinfectantes sobre el biofilm.
- Evaluar la acción de la radiación solar sobre los desinfectantes, y sobre la evaporación de agua, buscando sistemas o productos que reduzcan el consumo de agua y producto químico.
- Realizar el seguimiento del grado de contaminación microbiana de las aguas recreativas de Baleares.
- Discusión de efectos secundarios sobre la salud de los subproductos de desinfección (SPD).





**Universitat de les
Illes Balears**
Departament de Química



Clúster de la Indústria Química de les Illes Balears



**Govern
de les Illes Balears**

Conselleria d'Innovació, Recerca i Turisme
Direcció General d'Innovació i Recerca



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"