

La química que se esconde en las piscinas

The chemistry hidden in swimming pools

Fernando I. de Prada Pérez de Azpeitia

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (RSEF y RSEQ).

PALABRAS CLAVE:

Química y piscina
Cloro libre
Test de cloro
Cloración salina
Test de salinidad

KEYWORDS:

Pool chemistry
Free chlorine
Chlorine test
Salt chlorination
Salinity test

RESUMEN:

Las piscinas son instalaciones acuáticas destinadas al deporte y al ocio que favorecen la salud física y mental, promoviendo un estilo de vida activo y saludable. Para disfrutar de sus beneficios con seguridad y prevenir infecciones, es imprescindible mantener el agua en condiciones óptimas. Esto es posible gracias a métodos químicos y al control de diversos parámetros de calidad empleando sencillos kits, que se describen desde una perspectiva didáctica y divulgativa.

ABSTRACT:

Swimming pools are water facilities intended for sport and leisure that promote physical and mental health, promoting an active and healthy lifestyle. To safely enjoy its benefits safely and prevent infections, it is essential to keep the water in optimal conditions. This is possible thanks to chemical methods and the control of various quality parameters using simple kits, which are described from an didactic and informative perspective.

Introducción

El agua de las piscinas y de otras instalaciones acuáticas (parques acuáticos, spas, etc.) generalmente procede de la red de abastecimiento pública y cumple con todos los parámetros sanitarios y de seguridad establecidos por la normativa (Figura 1). Sin embargo, al entrar en contacto con los bañistas, se contamina debido a residuos corporales (pelo, piel, sudor, orina, etc.), restos de cosméticos (cremas faciales y solares) y diversos microorganismos patógenos (virus, bacterias, parásitos y hongos). Para reducir esta carga contaminante, se recomiendan una serie de prácticas higiénicas, como ducharse cuidadosamente antes de entrar al agua, ponerse el gorro de baño, incluso en piscinas al aire libre, y utilizar bañadores limpios. Aun así, estas medidas por sí solas no son suficientes para garantizar la calidad del agua y proteger totalmente la salud de los bañistas.

A través del agua de las piscinas se pueden contraer infecciones en el oído (otitis), piel (dermatitis), mucosa nasal (rinitis) y aparato digestivo (gastroenteritis). Los agentes responsables de las infecciones suelen ser parásitos microscópicos, como *Cryptosporidium* o *Giardia*, o gérmenes patógenos, como el virus de la hepatitis A, Norovirus, *Salmonella*, *Shigella* o *E. coli*.^[1] Algunos de estos se transmiten desde la piel, mientras que otros proceden del tracto gastrointestinal y se excretan en pequeñas

cantidades de materia fecal que pasa al agua y, posteriormente, al resto de usuarios. Investigaciones realizadas indican que un bañista puede llegar a ingerir una media de 14 mL de agua después de nadar en una piscina durante una hora.^[2]

Como consecuencia, resulta imprescindible mantener limpia el agua de las piscinas y así poder disfrutar del baño con total seguridad. Para conseguirlo, se aplican métodos en los



Figura 1. Piscinas de verano de la UCM.

que la química desempeña un papel fundamental: desinfecta el agua y evita la proliferación de microorganismos, protegiendo a los bañistas de infecciones y enfermedades.

Desde el punto de vista didáctico, la revisión de los métodos químicos empleados en el tratamiento del agua de las piscinas ofrece un atractivo recurso para que el docente aplique competencias específicas y saberes básicos del actual currículo de química en distintas etapas de la enseñanza preuniversitaria, p. ej.: trabajo en el laboratorio y elaboración de informes, formulación y nomenclatura, sustancias químicas y aplicaciones, disoluciones y concentración, reacciones y equilibrio químico, ácidos y bases, escala de pH, número de oxidación, procesos redox, celdas electrolíticas, etc. Material didáctico que se complementa con métodos analíticos muy sencillos basados en la colorimetría visual, susceptibles de ser aprovechados en cualquier laboratorio escolar como introducción a la investigación científica.

Métodos de desinfección del agua de las piscinas

Según datos del Ministerio de Sanidad, en España y durante el año 2023, el 85 % de los sistemas empleados para desinfectar el agua de las piscinas públicas, parques acuáticos y spas (excluyendo las piscinas comunitarias y unifamiliares), fueron de tipo químico. Un 12 % aplicó un método físico-químico (electrólisis salina) y el 3 % restante recurrió a métodos físicos (radiación UV o tecnología de membranas) que habitualmente se combinan con tratamientos químicos para mejorar su eficacia (Figura 2).^[3]

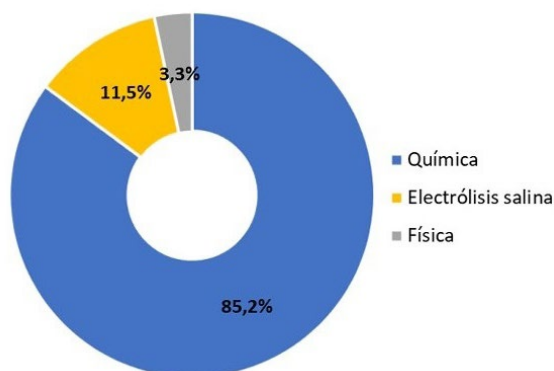


Figura 2. Distribución del tipo de desinfección en España.

Entre los métodos exclusivamente químicos, el biocida más empleado (77 %) es el hipoclorito de sodio en disolución. Seguido a distancia del ácido tricloroisocianúrico en pastillas (12 %) y de otros productos utilizados en menor proporción: compuestos de bromo (6 %), hipoclorito de calcio (3 %), dióxido de cloro (0,6 %) y ozono (0,4 %).

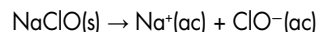
A continuación, se presentan los tres principales métodos de desinfección, basados en productos químicos aplicados al tratamiento del agua de las piscinas: hipoclorito de sodio, ácido tricloroisocianúrico y cloración salina.

1.º sistema de desinfección: hipoclorito de sodio

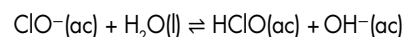
El hipoclorito de sodio (NaClO) fue sintetizado por primera vez en 1785 por Claude Louis Berthollet y, gracias a su poder oxidante, ha contribuido de manera significativa a reducir la mortalidad causada por enfermedades infecciosas a lo largo de los últimos siglos. En estado sólido es muy inestable, puede experimentar una reacción de dismutación y descomponerse

en cloruro y clorato de sodio. Por esta razón, mayoritariamente se utiliza en disolución acuosa, una forma mucho más estable, como la popular lejía, el desinfectante más empleado tanto en hogares como en hospitales. El hipoclorito de sodio en disolución, coloquialmente conocido como "cloro líquido", constituye además la base del método de desinfección habitual en piscinas de gran tamaño, donde equipos especializados lo distribuyen y dosifican lentamente en el agua.

En una disolución acuosa, el hipoclorito de sodio se disocia en catión sodio (Na^+) y anión hipoclorito (ClO^-):



Seguidamente, se produce la hidrólisis del anión hipoclorito, estableciéndose un equilibrio con el ácido hipocloroso, un ácido débil ($K_a = 3,0 \cdot 10^{-8}$, a 25 °C):



El ácido hipocloroso es un agente desinfectante mucho más eficaz que su forma disociada, el anión hipoclorito. Por ello, conviene desplazar el equilibrio químico hacia la izquierda, y de esta forma aumentar la concentración de HClO . Esto se consigue controlando el pH dentro de un rango que garantice tanto la eficacia del tratamiento como la seguridad de los bañistas. La gráfica muestra cómo a medida que aumenta el pH, disminuye el porcentaje de HClO y aumenta el de ClO^- . Así, con un pH de 7, sobre el 78 % de cloro disponible se encuentra como ácido hipocloroso y el 22 % como hipoclorito; a pH 7,5, ambas especies presentan la misma concentración; y por encima de 7,8, la concentración de HClO disminuye notablemente, reduciendo la capacidad desinfectante. (Figura 3).^[4] Aunque por debajo de pH 6 la proporción de HClO alcanza los valores máximos, y la desinfección es mayor, la acidez resultante es irritante y corrosiva, tanto para el bañista como para las instalaciones. Por tanto, resulta fundamental mantener el pH dentro del rango adecuado (7,2-7,8) para una desinfección eficaz. De esta función se encargan equipos dotados de sistemas automáticos de control y dosificación, que regulan y estabilizan el pH de forma continua.

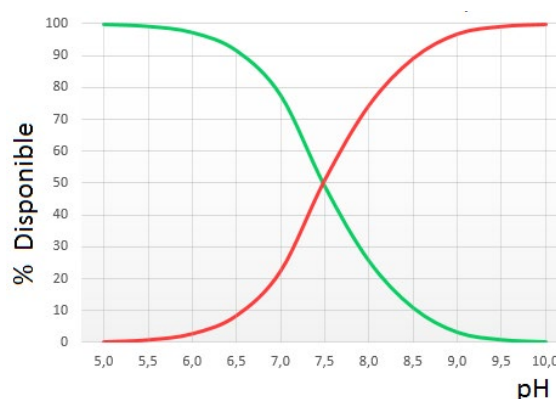
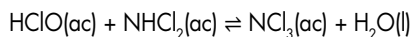
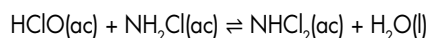
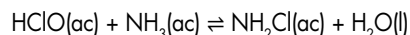


Figura 3. Variación del porcentaje de HClO y ClO^- con el pH, a 20°C.

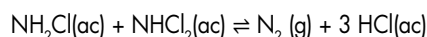
El sistema HClO/ClO^- puede reaccionar con contaminantes aportados por los bañistas, como amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados, formando cloraminas. Estos productos volátiles presentan un bajo poder desinfectante y son perjudiciales para la salud; puede causar irritación en la piel y los ojos. Por ejemplo, a partir del ácido hipocloroso y el amoníaco:

co pueden producirse reacciones de sustitución, que originan mono, di y tricloraminas, como se muestra en las siguientes reacciones sucesivas:

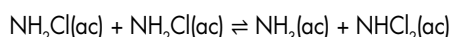


El tricloruro de nitrógeno (NCl_3) es un compuesto muy irritante, principal responsable del característico “olor a cloro” que se percibe en las piscinas cubiertas cuando la ocupación es alta y no están bien ventiladas.

Las cloraminas también pueden reaccionar entre sí, reduciendo de esta forma su peligrosidad:



Asimismo, se puede producir una reacción redox de dismutación, en la que el nitrógeno del NH_2Cl , con número de oxidación -1, simultáneamente se oxida a +1 y se reduce a -3, formando dos productos diferentes:



El cloro que ha reaccionado formando cloraminas, se denomina cloro combinado, y cloro libre al que permanece en el agua sin combinarse, formado por ácido hipocloroso e hipoclorito (principales desinfectantes activos). La suma de ambos tipos de cloro proporciona el cloro total (Esquema 1).



Esquema 1. Tipos de cloro en la desinfección del agua.

Así, por ejemplo, en el análisis del agua la piscina olímpica de la UCM (Figura 4) el cloro total fue de 1,70 ppm y el de cloro libre 1,28 ppm, el cloro combinado se obtiene restando ambos valores, dando como resultado 0,42 ppm.

MUESTRAS AGUA PISCINA			
5. AGOSTO. 2025.			
OLÍMPICA		SALTOS	
HORA	9:30H	13:00	
CLORO LIBRE	1.28	1.07	
CLORO TOTAL	1.70	1.24	
PH	7.34	7.63	
AGUA DEPURADA	7075 m³		
AGUA RENOVADA	30 m³		
TURBIDEZ	0.51		

HORA	9:30H	13:00	
CLORO LIBRE	1.41	1.56	
CLORO TOTAL	1.75	1.62	
PH	7.31	7.52	
AGUA DEPURADA	3610 m³		
AGUA RENOVADA	15 m³		
TURBIDEZ	1.48		

Figura 4. Panel informativo de la piscina de verano de la UCM con los resultados de los análisis del cloro, pH y turbidez realizados, en las piscinas olímpica y de saltos, el día 5 de agosto de 2025.

El mayor efecto desinfectante del ácido hipocloroso, respecto al anión hipoclorito, radica en que al ser una especie neutra, puede penetrar más fácilmente a través de las membranas lipídicas de virus y bacterias, oxidando y dañando a las proteínas y el ADN, lo que impide su reproducción. Sin embargo, la carga negativa del anión hipoclorito es repelida por la carga negativa de la membrana de los microorganismos patógenos, impidiendo la oxidación de componentes vitales de los orgánulos (Figura 5).^[5]

De forma natural, los glóbulos blancos de nuestro organismo producen ácido hipocloroso para protegernos de microorganismos nocivos. Este ácido es capaz de atravesar capas mucilaginosas, paredes celulares y capas protectoras de los patógenos para eliminarlos. Incluso es eficaz para neutralizar el efecto de las colonias de microorganismos que se agrupan y adhieren a las paredes y tuberías de las piscinas formando una fina película (*biofilm*).

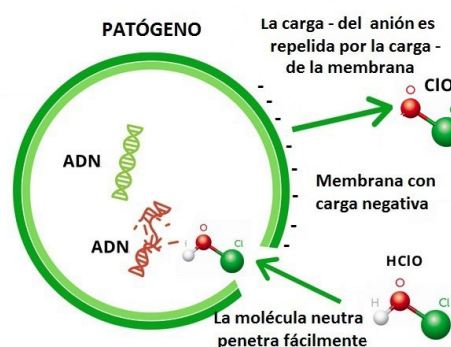
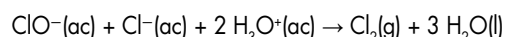


Figura 5. Diagrama del mecanismo de la acción desinfectante del ácido hipocloroso (HClO).

Un incidente peligroso, que sucede con relativa frecuencia en el cuarto de máquinas de las piscinas, es la mezcla accidental de soluciones de hipoclorito de sodio con un reductor del pH, como el ácido clorhídrico. Al reaccionar, se desprende una nube de gas cloro, altamente tóxico y corrosivo, capaz de causar una intensa irritación por vía respiratoria, dérmica y ocular. Proceso que se puede representar mediante la ecuación redox:



Esta misma reacción se produce al mezclar dos productos de limpieza domésticos: la lejía (disolución acuosa de hipoclorito de sodio) con el agua fuerte o sulfuman (disolución acuosa de cloruro de hidrógeno).

Aplicación didáctica: análisis del cloro y del pH

Los parámetros químicos de calidad básicos que deben ser analizados en el agua de todas las piscinas, y que son esenciales para garantizar un baño seguro, son el nivel de pH y el de cloro. Los técnicos de mantenimiento de las piscinas utilizan equipos digitales (fotómetros, turbidímetros...) para analizar y controlar los parámetros de calidad del agua. En las piscinas públicas y comunitarias, es obligatorio exponer al público los resultados de los controles realizados, indicando la fecha y la hora de la toma de muestra.

Con el fin de analizar de una forma sencilla estos parámetros, en la zona de piscinas de los centros comerciales hay disponibles kits de pruebas (con tiras, pastillas o gotas reactivas), muy fáciles de usar, basados en métodos colorimétricos,

donde el cambio de color de la tira reactiva o de la muestra de agua analizada indica la concentración de cloro total y el valor del pH.

El kit seleccionado, de la marca Axton®, utiliza gotas reactivas y es el más económico (sobre 5 €): incluye dos tubos para tomar muestras de agua y los reactivos correspondientes para realizar la prueba colorimétrica (Figura 6). Uno de los tubos mide el cloro total de la muestra de agua de la piscina a partir del reactivo OTO (o-toluidina), que forma una coloración amarillenta en presencia de cloro libre y combinado (en concentraciones entre 0 y 5 ppm). Como la intensidad del color amarillo del agua es proporcional a la cantidad de cloro total de la muestra, comparando este color con el de la escala colorimétrica de referencia se determina la concentración de una forma aproximada.^[6]



Figura 6. Material y reactivos para analizar el cloro total y el pH del agua de la piscina.

La o-toluidina ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$) es una amina (Figura 7a) que reacciona con el ácido hipocloroso, sustituyendo un átomo de hidrógeno del grupo amino por un átomo de cloro para formar compuestos N-clorados (cloraminas), como por ejemplo ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{NHCl}$).

El segundo tubo del kit contiene un indicador ácido-base, el rojo fenol (Figura 7b), que mide el pH de la muestra en el intervalo 6,8-8,0, tornando de amarillo a violeta.

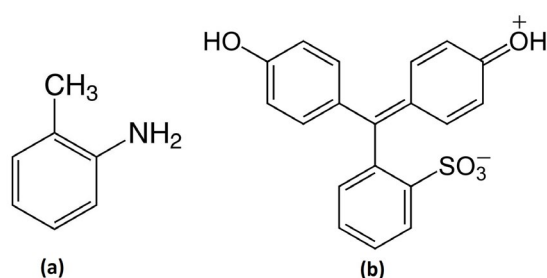


Figura 7. Fórmulas desarrolladas: (a) o-toluidina (2-metilaminilina) y (b) rojo fenol (fenolsulfonftaleína).

Para medir el cloro libre de forma más precisa, debido a que la o-toluidina también puede reaccionar con las cloraminas y falsear la medida, se suele utilizar otro método más sensible que emplea pastillas de N,N-diethyl-p-fenilendiamina (DPD). Este reactivo es más selectivo y cuando se combina con el cloro libre, forma un complejo de color rojizo susceptible de ser analizado colorimétricamente, ya sea comparándolo visualmente con una escala de color o, de forma más exacta, con un colorímetro digital.^[7]

La utilización de diferentes kits de piscina en los laboratorios didácticos es un interesante recurso didáctico recomendado como iniciación a los métodos de medida cualitativos basados en la colorimetría. Dada su sencillez, pueden aprovecharse tanto en la ESO como en el bachillerato, no siendo necesario tener práctica en el manejo de material específico de laboratorio. En cualquier caso, la profundización de los contenidos y saberes básicos implicados se adaptarán al currículo propio de cada etapa y curso.

Entre los objetivos generales de este tipo de análisis se incluyen conocer los parámetros fundamentales de calidad del agua de las piscinas, aplicar de forma correcta un método colorimétrico para medirlos y destacar el papel positivo de la química, así como su importancia para que todos los ciudadanos puedan disfrutar de las instalaciones acuáticas sin riesgo de infecciones.

Procedimiento

- Introducir el comparador colorimétrico del kit a unos 30 cm por debajo de la superficie del agua de la piscina y enrasar los tubos hasta la línea marcada (3,5 mL).
- Añadir 4 gotas de rojo fenol al tubo situado junto a la escala de colores de pH.
- Añadir 4 gotas de reactivo OTO en el tubo próximo a la escala del cloro.
- Con las manos limpias, cerrar ambos tubos con su tapa y agitar bien la mezcla.
- Esperar medio minuto y comparar el color de la disolución de cada tubo con la escala de referencia.
- Las medidas del pH y del cloro total (ppm) se obtienen cuando el color de cada disolución coincida con el color de la escala estándar.

Si no se dispone de una muestra de agua de piscina, en el laboratorio se puede preparar a partir de lejía comercial doméstica, que contiene sobre 40 g de cloro activo por litro ($\approx 4\%$), lo que equivale a unas 40.000 ppm. Como el kit utilizado para medir el cloro tiene un rango de medida entre 0,3-3,0 ppm, la concentración buscada es de unas 3 ppm. Para ello, hay que diluir 0,15 mL de la lejía en 2 litros de agua, que equivalen a unas 3 gotas, tomando 0,05 mL como volumen aproximado de una gota. A partir de esta disolución, se pueden preparar concentraciones aproximadas de 2 y 1 ppm realizando las diluciones correspondientes.

Resultados y conclusiones

Una vez obtenidos los resultados, se comparan con los valores de referencia establecidos por normativa: un pH, entre 7,2 y 8,0, y un cloro total entre 0,5 y 2,6 g/L (ppm).^[8] Si los resultados se encuentran dentro de estos rangos, se considera que la calidad del agua de piscina analizada es apta para un baño seguro. En caso de que el pH esté fuera del rango, la eficacia del desinfectante disminuye: si es demasiado alto, habría que añadir un reductor de pH (como ácido clorhídrico), y si es demasiado bajo, un elevador de pH (como hidróxido de sodio). Cuando el cloro total no esté dentro del rango normalizado, habría que ajustar la dosis de hipoclorito de sodio, aumentando su concentración o reduciéndola (por dilución), según corresponda.

2.º sistema de desinfección: ácido tricloroisocianúrico y dicloroisocianurato de sodio

En las piscinas familiares de tamaño medio también se emplean métodos de desinfección basados en el cloro, pero en estos

casos los productos utilizados son de origen orgánico y se presentan generalmente en tabletas de ácido tricloroisocianúrico ($\text{Cl}_3\text{C}_3\text{N}_3\text{O}_3$), conocido comercialmente como "tricloro". Estas pastillas se colocan en dosificadores o flotadores para permitir una liberación, lenta, constante y gradual del desinfectante en el agua.

Cuando se requiere una acción urgente de desinfección, por ejemplo, tras un vertido fecal o cuando la concentración de cloraminas es elevada, se recurre a un tratamiento con "cloro de choque" formado por gránulos de dicloroisocianurato de sodio ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3$), conocido comercialmente como "dicloro", que restablece de manera rápida la higiene del agua.

La disolución del ácido tricloro isocianúrico en agua libera la forma activa del cloro responsable de la desinfección (ácido hipocloroso) y ácido isocianúrico ($\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_3$). Por su parte, la disolución del dicloroisocianurato de sodio produce ácido isocianúrico e hipoclorito de sodio (Figura 8).^[9]

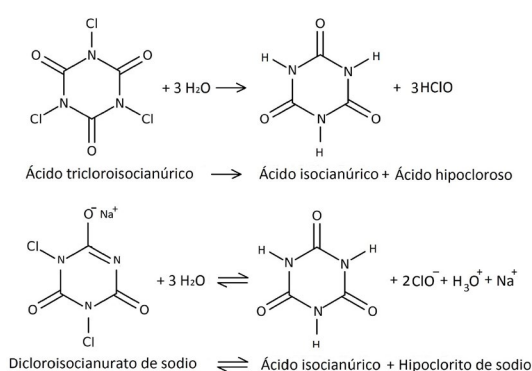
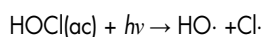
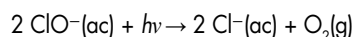
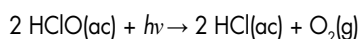


Figura 8. Ecuaciones del "tricloro" y "dicloro" al reaccionar con agua.

En las piscinas al aire libre que reciben la luz solar directa, el ácido hipocloroso puede captar fotones de alta energía procedentes de la radiación solar ultravioleta ($\lambda = 290\text{-}350\text{ nm}$) y disociarse mediante fotólisis, formando en un principio radicales hidroxilo y cloro:^[10]



Seguidamente, a través de una serie de reacciones, se forman oxígeno y ácido clorhídrico:



Para reponer la pérdida de ácido hipocloroso, se añade un estabilizador de cloro, el ácido isocianúrico, que actúa como un "protector solar".^[11] Este ácido establece enlaces débiles con el anión hipoclorito, formando ácido dicloroisocianúrico ($\text{C}_3\text{HCl}_2\text{N}_3\text{O}_3$) en un proceso reversible: a medida que la fotólisis disminuye la concentración de ácido hipocloroso, el equilibrio se desplaza y el ácido dicloroisocianúrico reacciona con el agua para formar ácido hipocloroso y ácido isocianúrico (Figura 9).

De esta forma, el estabilizador actúa como una reserva de cloro que repone los iones de hipoclorito descompuestos por la luz ultravioleta. Sin este compuesto, en solo un par de horas de exposición solar puede perderse hasta un 90 % del cloro

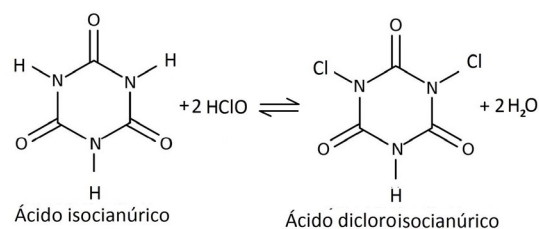


Figura 9. Equilibrio entre el ácido isocianúrico y el ácido dicloroisocianúrico.

activo.^[12] Sin embargo, el ácido isocianúrico, al ser muy poco volátil, tiende a acumularse en el agua y aumentar su concentración en la piscina, disminuyendo la concentración de cloro libre disponible y, en consecuencia, su capacidad desinfectante. Por esta razón, es recomendable controlarlo periódicamente.

Aplicación didáctica: análisis del ácido isocianúrico

Para evaluar de una forma sencilla y aproximada la concentración de ácido isocianúrico, se emplean test como el de Taylor-ACN[®], basado en la turbidez que aparece en el agua de la piscina al añadir el reactivo R-0013, formado por una disolución al 5 % de melamina ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$). El método se basa en la reacción entre la melamina y el ácido isocianúrico ($\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_3$), formándose un aducto insoluble, denominado cianurato de melamina ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\cdot\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_3$). Este complejo está formado por una red bidimensional de enlaces de hidrógeno entre ambas moléculas (Figura 10), responsable de que aparezca una turbidez blanquecina en el agua, cuya intensidad es proporcional a la concentración de ácido isocianúrico presente.

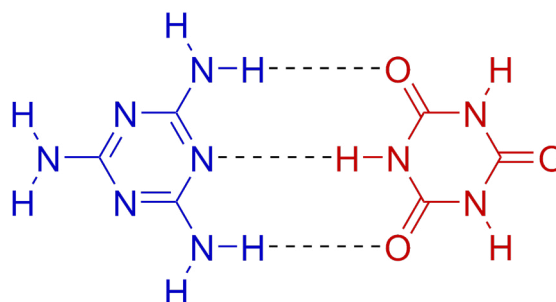


Figura 10. Aducto de melamina (en azul) - ácido isocianúrico (en rojo).

Procedimiento

La prueba consiste en añadir, dentro del pequeño bote de medida, 7 mL del reactivo melamina y otros 7 mL de la muestra de agua de la piscina. Después de agitar la mezcla, se vierte lentamente a un tubo visualizador, en cuyo fondo hay marcado un punto negro como referencia (Figura 11). Cuando, mirando desde arriba del tubo, deja de verse el punto, el nivel al que alcanza el líquido en la escala indica la concentración (en ppm) de ácido isocianúrico en el agua. En el caso de que el tubo se llenase y el punto negro siguiese siendo visible, indicaría que no hay ácido isocianúrico o que su concentración es muy pequeña.

Resultados y conclusiones

En las piscinas al aire libre tratadas con cloro, la concentración óptima de ácido isocianúrico se encuentra entre 30 y 50 ppm.

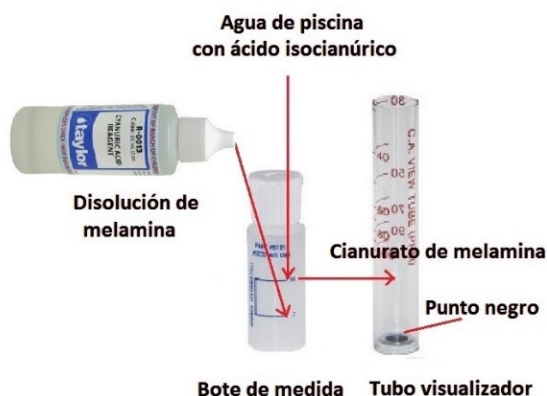


Figura 11. Materiales y reactivo del test Taylor-ACN®.

Por encima de 70 ppm, el cloro libre pierde gran parte de su eficacia y la única manera de reducir su concentración es añadir más agua a la piscina o drenarla (renovarla total o parcialmente).

3.º sistema de desinfección: cloración salina

La cloración salina en piscinas emplea una sustancia común y económica para desinfectar el agua: el cloruro de sodio. Aunque este compuesto no es un biocida *per se*, actúa como un precursor del agente activo –el gas cloro– cuya generación requiere de la actuación de un equipo de electrolisis.

En el ámbito industrial, la electrolisis del cloruro de sodio es un proceso físico-químico de gran interés. La sal extraída del mar se transforma en productos de interés comercial, como hidrógeno, cloro e hidróxido de sodio. Este mismo proceso se utiliza en las piscinas que emplean sistemas sostenibles de cloración salina, como etapa previa a la desinfección del agua. Su principal ventaja es que, después de cumplir su función, las sustancias generadas se vuelven a reconvertir en sal, creando así un ciclo autosostenido.

El sistema de cloración encargado de generar cloro se compone de tres elementos: regulador de pH, panel de control y célula electrolítica, instalados detrás de la bomba y del filtro (Figura 12). El panel de control se encarga de regular durante cuánto tiempo debe funcionar la célula electrolítica.^[13] Este elemento clave en la cloración, se encuentra recubierto con un polímero termoplástico (policarbonato) y su interior contiene los electrodos, formados por placas de titanio. El ánodo suele estar

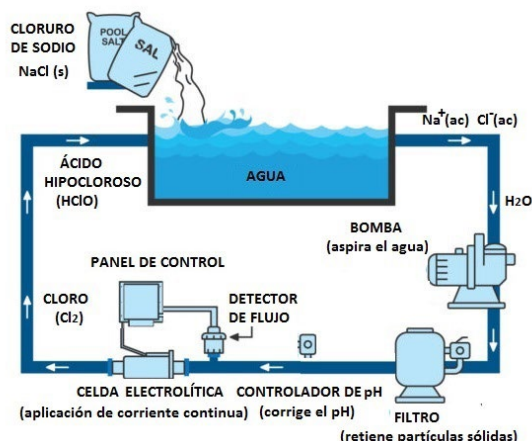


Figura 12. Esquema del método de cloración salina en piscinas (Figura adaptada de la ref. [13]).

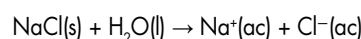
recubierto de platino, o de óxidos metálicos mixtos (MMO), como óxido de rutenio (RuO_2) y óxido de iridio (IrO_2), que actúan como catalizadores en la generación de cloro y, a la vez, protegen al electrodo de la corrosión.

A fin de evitar residuos (sales de calcio y de magnesio, metales, etc.) que pueden dañar los electrodos y garantizar el óptimo funcionamiento de las células electrolíticas, la norma europea UNE-EN 16401:2014 establece que la pureza de la sal de sodio utilizada en las piscinas debe ser superior al 99 %. Por lo que es recomendable utilizar sal de tipo A, que garantiza una pureza entre el 99,0 y el 99,9 %.

La cloración salina puede dividirse en cuatro fases:

• Fase 1ª. Disolución y filtración del NaCl

La sal se añade directamente al agua de la piscina hasta alcanzar una concentración de entre 3000 y 5000 ppm, un valor similar al de una lágrima y muy por debajo de la concentración del agua del mar (aprox. 35.000 ppm). Una vez añadida, el cloruro de sodio se disuelve y disocia en iones:

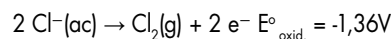


La solución salina es aspirada por la bomba de la piscina, la hace pasar por un filtro para eliminar impurezas y la conduce hasta la célula electrolítica.

• Fase 2ª. Electrólisis de la disolución salina

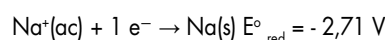
Cuando la disolución salina llega a la célula electrolítica y se aplica una corriente eléctrica mediante una fuente de alimentación de corriente continua de bajo voltaje (entre 5 y 12 V), se produce la electrolisis (Figura 13).

Los aniones se desplazan hacia el ánodo (+), donde el anión cloruro (Cl^-) se oxida y genera cloro gaseoso (Cl_2):

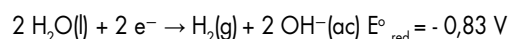


Esta oxidación es predominante frente a la del agua, que presenta un potencial de oxidación negativo de 1,23 V.

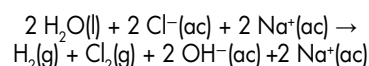
Por otro lado, los cationes se dirigen hacia el cátodo (-), donde tiene lugar la siguiente reducción:



El agua también puede reducirse, desprendiéndose hidrógeno e iones hidróxido:



Dado que esta segunda reducción presenta un potencial mayor que el de la primera, tendrá mayor tendencia a producirse. Así, el catión Na^+ permanece en la disolución, sin participar en la reacción redox. Los aniones OH^- formados se combinan con los cationes Na^+ para formar hidróxido de sodio, lo que provoca un aumento en el pH.



El panel de control cuenta con un regulador de pH que, cuando se superan los valores óptimos para la desinfección eficaz, añade a la disolución un reductor de pH.

A diferencia del gas cloro, el hidrógeno generado se escapa de la disolución rápidamente debido a su baja masa molar, característica que le confiere una alta velocidad de difusión y efusión (Ley de Graham).

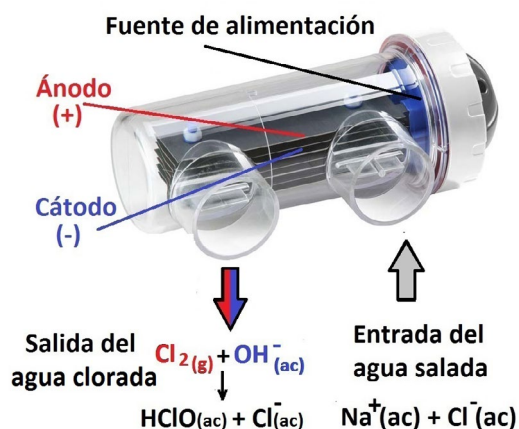
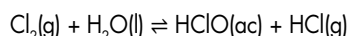


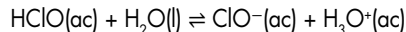
Figura 13. Esquema del funcionamiento de una célula electrolítica.

• Fase 3ª. Disolución del cloro

El gas cloro generado se disuelve en el agua y reacciona para formar el verdadero agente desinfectante: el ácido hipocloroso, el mismo compuesto que se obtiene por el método químico que utiliza hipoclorito de sodio.

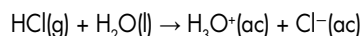


A su vez, el ácido hipocloroso, como ya se mencionó, se disocia parcialmente en iones hipoclorito (ClO^-) e hidronio (H_3O^+), en un equilibrio que depende del pH del agua:



• Fase 4ª. Regeneración de la disolución salina

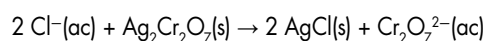
El ácido clorhídrico formado durante la disolución del cloro se disocia totalmente en iones H_3O^+ y Cl^- , según se indica:



Finalmente, los aniones cloruro, junto a los cationes sodio presentes en el agua, vuelven a formar una disolución salina con una concentración semejante a la inicial. De esta forma, mientras el clorador salino esté funcionando, el sistema opera en un ciclo regenerativo y continuo.

Aplicación didáctica: análisis de la salinidad

La concentración de cloruro de sodio de las piscinas debe controlarse periódicamente debido a ciertos factores (evaporación, lluvia...) que pueden modificarla. El sistema más sencillo y rápido para realizarlo es mediante tiras reactivas de cloruro, como las de *Quantab*® y *Aquacheck*®, formadas por una fina columna graduada impregnada con dicromato de plata ($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$) de color marrón (Figura 14).^[14] Cuando la disolución de cloruro de sodio asciende por capilaridad sobre la tira, reacciona con el dicromato formándose un precipitado blanco de cloruro de plata (AgCl):



La distancia recorrida por el pico del precipitado es directamente proporcional a la concentración de iones cloruro en la disolución: cuanto mayor es la concentración, mayor es el avance del precipitado.

Procedimiento

Para efectuar la medida, se introduce la tira reactiva en un vaso que contiene una pequeña cantidad de agua; de esta forma, el líquido asciende. A medida que avanza, los iones cloruro presentes en la disolución salina reaccionan con los iones plata del dicromato, creando en la tira un pico blanco. La lectura en la tira debe realizarse cuando la banda horizontal de control, sensible a la humedad e inicialmente de color amarillo, se vuelve negra, señal de que la columna se ha saturado. Una vez registrado el nivel alcanzado en la escala de la tira de análisis, se compara con la tabla de calibración que se incluye en el propio envase y que es específica para cada marca.

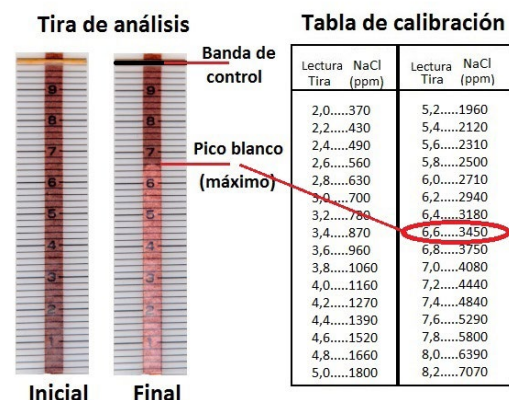


Figura 14. Material para analizar el cloruro de sodio en la piscina: tira reactiva (antes y después de la medida) y tabla de conversión.

Resultados y conclusiones

En la tira analítica mostrada en la figura 14, el pico blanco aparece en la marca 6,6. Al compararlo con la tabla calibrada del envase, corresponde a una concentración de 3450 ppm (mg/L) de NaCl. La concentración recomendada se encuentra entre 4000 y 7000 ppm. Si se adopta como valor óptimo 5000 mg/L, habría que incrementarla en 1550 mg/L. En el caso de que la capacidad de la piscina fuese de 50 m³, se tendría que añadir 77,5 kg de cloruro de sodio al agua del vaso para alcanzar la concentración ideal.

Otros productos químicos indispensables: floculantes, alguicidas y reguladores de pH

Para garantizar la calidad del agua de las piscinas no basta con añadir productos desinfectantes. En la piscina tomada como referencia (UCM), además de hipoclorito de sodio como biocida, se añade como floculante sulfato de aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y sulfato de cobre, CuSO_4 , como alguicida. Estos compuestos suelen incorporarse conjuntamente en las pastillas multifunción, utilizadas principalmente en piscinas particulares. Asimismo, para ajustar el pH del agua, se añaden ácidos (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico o bisulfato de sodio) cuando hay que reducirlo, o bases (hidróxido de sodio o hidrogenocarbonato de sodio) cuando hay que incrementarlo.

En lo que respecta al floculante sulfato de aluminio, su función es evitar la turbidez del agua, otro de los parámetros de calidad, procedente de partículas sólidas en suspensión (polvo, polen, barro...) que reducen la transparencia al absorber y dispersar la luz. Al disociarse el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, se forma el catión aluminio (Al^{3+}), que aglutina las partículas más pequeñas - sus-

pensiones y coloides- que se mueven de forma aleatoria y caótica (movimiento Browniano) y tienden a repelerse por su carga negativa superficial. El Al^{3+} neutraliza estas cargas, permitiendo que las partículas se junten y aglomeren a causa de las fuerzas intermoleculares de Van der Waals. Al unirse, las partículas forman grumos (flóculos) que terminan precipitando al fondo de la piscina, para ser retirados posteriormente por el limpiafondos. De esta forma, el agua queda transparente y libre de pequeñas partículas sólidas (Figura 15).

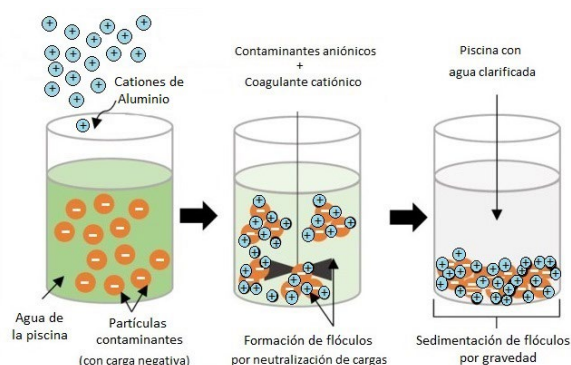


Figura 15. Esquema del efecto floculante del sulfato de aluminio.

Conclusiones

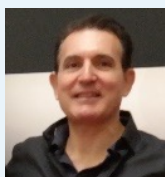
La química es una ciencia fundamental con innumerables aplicaciones que van desde la innovación tecnológica hasta actividades cotidianas, contribuyendo a mejorar nuestra calidad de vida aunque no siempre sea visible. Este es el caso de las piscinas y otras instalaciones acuáticas, donde la mayoría de usuarios desconoce la presencia en el agua de productos químicos con funciones esenciales. Aunque estas sustancias pueden ser clasificadas como peligrosas, su empleo en la dosis adecuada resulta seguro y eficaz para mantener el agua limpia, asegurar su calidad y prevenir infecciones. Gracias a estos productos químicos, podemos disfrutar con tranquilidad del agua mientras realizamos actividades deportivas, lúdicas o de relajación.

Tanto en el ámbito educativo como en el divulgativo, la necesidad de aplicar métodos químicos para mantener en condiciones óptimas el agua de las piscinas constituye un claro ejemplo de las aplicaciones positivas de la química y de su aportación al bienestar de la sociedad. Podría afirmarse que sin química no hay piscina. Al mismo tiempo, comprender la im-

portancia de mantener una adecuada higiene personal - como ducharse antes y después del baño- contribuirá a mejorar la calidad del agua y proteger la salud de todos los usuarios.

Bibliografía

- [1] A. Doménech-Sánchez, F. Olea, C. I. Berrocal, *Enferm. Infecc. Microbiol. Clin.* **2008**, 26(13), 32-37, <https://doi.org/10.1157/13128778>.
- [2] A. P. Dufour, T. D. Behymer, R. Cantú, M. Magnuson, L. J. Wymer, J. *Water Health* **2017**, 15(3), 429-437, <https://doi.org/10.2166/wh.2017.255>.
- [3] Ministerio de Sanidad "Informe nacional calidad sanitaria de las piscinas en España", disponible en <https://www.sanidad.gob.es/areas/sanidadAmbiental/calidadAguas/piscinas/publicaciones/docs/informePiscinas2023.pdf>, **2024** (consultado: 12/12/2025).
- [4] C. Salter, D. L. Langhus, *J. Chem. Educ.* **2007**, 84(7), 1124-1128, <https://doi.org/10.1021/ed084p1124>.
- [5] G. C. White, *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*, John Wiley and Sons Inc., New Jersey, **2010**, 74.
- [6] R. Baxter. *Chem. Matters* **1994**, April, 10-12.
- [7] L. N. Muñoz-Castellanos, A. Borrego-Loya, C. V. Villalba-Berjano, R. González-Escobedo, N. Orduño-Cruz, G. P. Villezas-Villegas, M. J. Rodríguez-Roque, G. D. Avila-Quezada, I. Vargas-Arispuro. *Rev. mex. Fitopatol.* **2021**, 39(4), 198-206, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2021-4>.
- [8] Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscinas, BOE 11 oct. **2023**, n. 244, 83123-83135, disponible en <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/09/27/742> (consultado: 12/12/2025).
- [9] G. Pinto, B. Rohrig, *J. Chem. Educ.* **2003**, 80(1), 41-44, <https://doi.org/10.1021/ed080p41>.
- [10] M. Busch, N. Simica, E. Ahlberg, *Phis. Chem. Chem. Phys.* **2019**, 21, 19342-19348, <https://doi.org/10.1039/C9CP03439K>.
- [11] J. R. Andersen, *Am. J. Public Health* **1965**, 55(10), 1629-1637, <https://doi.org/10.2105/AJPH.55.10.1629>.
- [12] R.W. Lowry. *RJ Communications*, **2003**, 18,151-156.
- [13] Leisure pools "Guide to Salt Water Pools", disponible en <https://leisurepools.co.nz/fibreglass-swimming-pools/definitive-guide-to-salt-water-pools-2020/>, **2020** (consultado: 12/12/2025).
- [14] Gobierno de Canada "Chloride Quantab Test Strips", disponible en <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/test-chloride-ions-iron-treatment.html>, **2017** (consultado: 12/12/2025).



Fernando I. de Prada Pérez de Azpeitia

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (RSEF y RSEQ)

C-e: fernando.pradaperez@educa.madrid.org

ORCID: 0000-0002-4897-2082

Profesor de Física y Química en la Comunidad de Madrid y miembro del GEDH (RSEQ/RSEF) y de la DEDF (RSEF). Participa de forma activa en eventos de divulgación científica: Feria Madrid es Ciencia, Ciencia en Acción, *El Pati de la Ciència* (Universidad de Alicante), *ConCienciarte* (Círculo de Bellas Artes de Madrid), Jornadas de Divulgadores de Ciencia (DDD), etc. Entre sus colaboraciones se encuentran instituciones y empresas, como Aula Mentor (MEFPD), Centro de Innovación y Formación del Profesorado de la Comunidad de Madrid (CTIF), RSEQ, RSEF, Grupo Editorial SM y Museo Nacional del Prado.