

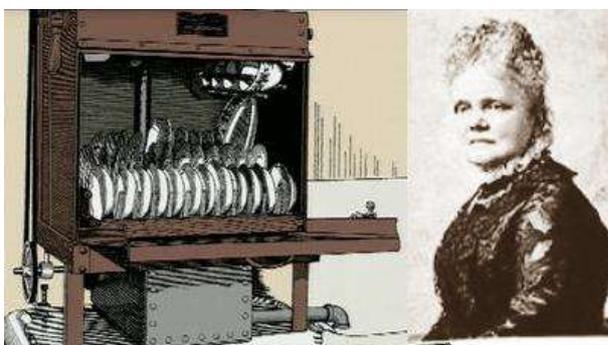
## Química en el hogar

### Lavavajillas

*Los aparatos lavavajillas son cada vez más frecuentes en los hogares de todo el mundo. Uno se siente tentado a considerarlos un capricho tecnológico, que consumen demasiada energía y que, al fin y al cabo, no agregan mucho al tradicional lavado manual. Aun simpatizando con estas críticas, debemos destacar que el proceso de lavado automatizado de la vajilla es sumamente complejo y requiere de muchos conocimientos de Química.*

El lavado manual requiere mayormente de esfuerzo mecánico: fregar con esponja o cepillo con la ayuda de agua y detergente hasta que los platos, vasos, etc., parezcan limpios. Con los lavavajillas automáticos, la mecánica le cede a la química el lugar más importante en el trabajo de limpieza. Por fortuna, las condiciones de trabajo que soportan las máquinas son más rigurosas que las toleradas por nuestras manos: temperaturas más altas y un medio más alcalino.

Veamos entonces algunos de los fenómenos químicos que ocurren en el interior del lavavajillas, no sin antes aclarar, que la ciencia de los productos de limpieza utilizados es tan compleja, que sólo podremos abordarla en sus aspectos más básicos.



El lavavajillas y su inventora

#### ¿Lo sabías?

Ya en 1850, Joel Houghton había patentado una máquina manual para lavar vajilla pero por su funcionamiento no se la puede considerar antecedente de las actuales. En 1893 una dama rica de Ohio llamada Josephine Cochrane<sup>1</sup> patentó la primera lavadora de vajilla automática. Se comenta que un día -harta de que sus sirvientes le rompieran piezas de sus

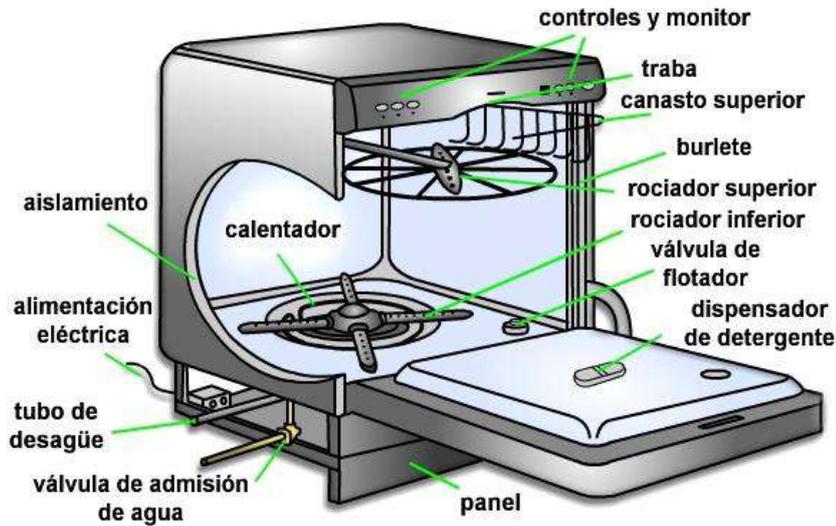
juegos de vajilla china- exclamó “¡Si nadie más está interesado en inventar un lavavajillas, tendré que hacerlo yo!”... lo hizo, y creó el mecanismo que en esencia utilizan los lavavajillas modernos. Su invento fue presentado en la Feria Mundial de Chicago de 1893. Cochrane fundó su propia compañía y fabricó máquinas lavavajillas que vendió –fundamentalmente- a hoteles y restaurantes. Josephine murió en 1919, pero la empresa que fundara sigue operando hasta nuestros días: es la conocida KitchenAid.

---

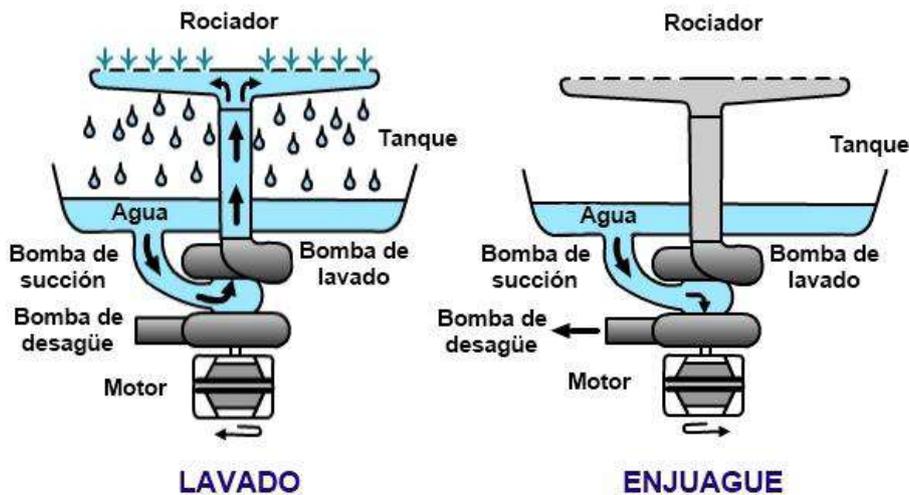
<sup>1</sup> Su verdadero apellido era Corchran, pero ella le agregó una “e” al final para darle un aire francés, habida cuenta del refinamiento asociado a la cultura francesa en el siglo XIX

## ¿Cómo funciona?

Antes de entrar en los aspectos químicos debemos ocuparnos de la mecánica de un lavavajillas. La figura de abajo nos resultará de gran utilidad.

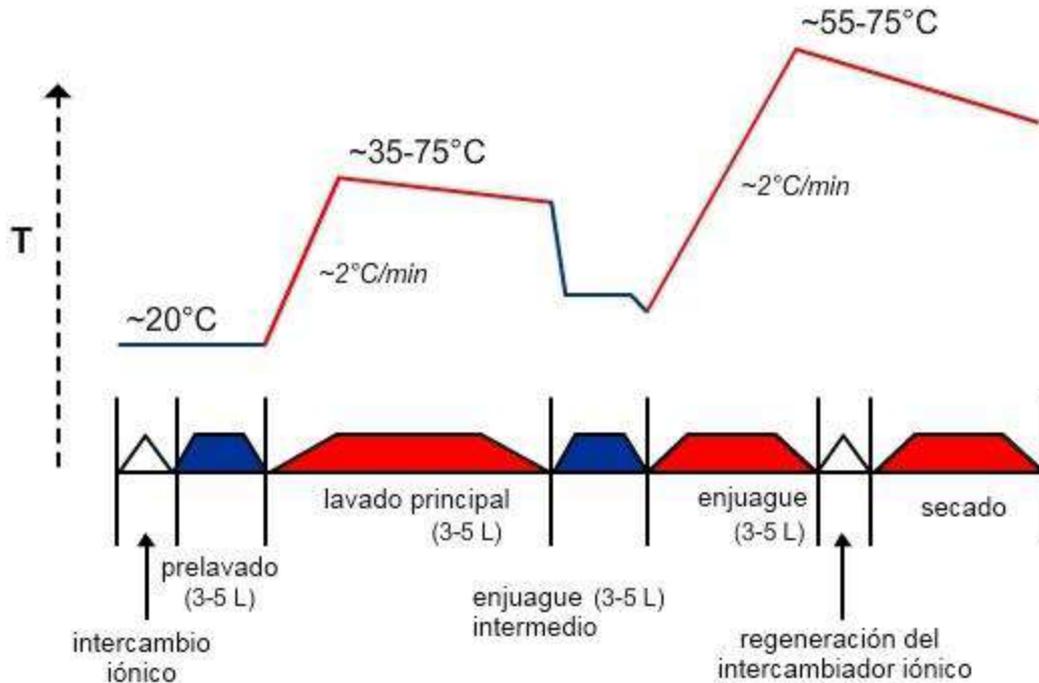


Primero una bomba impulsa el agua hacia la unidad de ablandamiento por intercambio iónico -el agua dura es aquella que contiene cantidades considerables de cationes bivalentes como el  $\text{Ca}^{2+}$ . No siempre es necesario que el equipo cuente con una unidad de ablandamiento ya que la dureza del agua de la red domiciliaria varía según la fuente. De ahí se dirige a la base de la máquina, donde un calentador eleva la temperatura del agua, al tiempo que se abre el dispensador para que la tableta, polvo o líquido detergente, se mezcle con el agua “caliente”. Entonces, una bomba fuerza al agua a salir a presión por dos rociadores rotatorios, bañando así a la vajilla acomodada en los canastos. El agua sucia es evacuada y se produce el recambio por el agua limpia que actuará en el enjuague.



## La importancia de la temperatura

En varios momentos del ciclo, el agua es “calentada” hasta una temperatura adecuada para que el proceso de limpieza ocurra con éxito. El perfil de un ciclo típico de lavado es mostrado en el siguiente gráfico en el que se representa el tiempo en el eje horizontal y la temperatura en el vertical. El agua “caliente” es representada en rojo, el agua “fría” (a temperatura ambiente), en azul, y los tramos en los que se efectúa el intercambio iónico, en blanco.



*Ciclo típico de un lavavajillas automático*

*Sólo los programas de lavado intensivo incluyen el prelavado. Los lavados normales o los llamados “ecológicos” comienzan directamente con el lavado principal. En cualquier caso, el detergente sólo se agrega en esta etapa.*

## Ablandando el agua

Cuando es necesario, el primer proceso químico del lavado es el ablandamiento del agua. En muchas regiones el agua de las cañerías contiene niveles significativos de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y en algunos casos,  $\text{Fe}^{2+}$ . Esto se debe a que los cursos de agua de esas regiones corren sobre rocas de piedra caliza y disuelven los carbonatos que poseen esos cationes. Esto es favorecido por el hecho de que el agua de lluvia es naturalmente ácida ( $\text{pH} = 5,6$ ) debido a la presencia de dióxido de carbono disuelto. Por este motivo, el agua de la canilla contiene sales disueltas tales como *hidrógeno carbonato de calcio* (también conocido como *bicarbonato de calcio*) –  $\text{NaHCO}_3$ , y *sulfato de magnesio* –  $\text{MgSO}_4$ . Estos iones metálicos en el agua pesada, pueden interferir en numerosos procesos químicos involucrados en el lavado de la vajilla que explicaremos más adelante; por lo tanto es conveniente eliminarlos. Incluso podrían formar depósitos de carbonato sólido en el interior de la máquina lavavajillas.

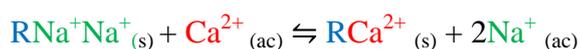
Los lavavajillas ablandan el agua haciéndola pasar a través de resinas de intercambio iónico antes de que ésta entre en el contenedor. Las resinas intercambian - literalmente- cationes di y trivalentes, por cationes monovalentes de sodio  $\text{Na}^+$ ; éstos no interfieren con el proceso de lavado.

### Actividad 1:

#### Explique por qué los metales tienden a formar iones positivos.

Este proceso tiene obviamente un límite: la resina puede quedarse sin cationes sodio para intercambiar. Para prevenir esta eventualidad, se hace correr una solución concentrada de una sal de sodio a través de la resina. Esto reemplaza los iones calcio y magnesio por iones sodio y los elimina definitivamente, regenerándola. De tanto en tanto debe colocarse sal pura (cloruro de sodio –  $\text{NaCl}$ ) en el receptáculo del lavavajillas en el que la solución regeneradora será preparada. No debe utilizarse sal de mesa ya que ésta suele contener sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) como agente contra el apelmazamiento ¡lo que menos necesita un ablandador de agua!

El proceso es en esencia una reacción reversible y puede representarse por la ecuación siguiente, en la que “R” representa a la resina:



A pesar de ser una reacción reversible, el equilibrio nunca se alcanza, debido a que en ambos sentidos –ablandamiento y regeneración- la resina sólida es bañada constantemente por agua que contiene en solución alguno de los cationes mencionados.

### ¿Qué contienen los productos lavavajillas?

El propósito del lavavajillas es remover la suciedad adherida a los utensilios disolviéndola o convirtiéndola en una suspensión o emulsión en el agua de lavado. Debe además prevenir la reposición del depósito sobre la vajilla y las piezas de la máquina y arrastrar la suciedad fuera del aparato.

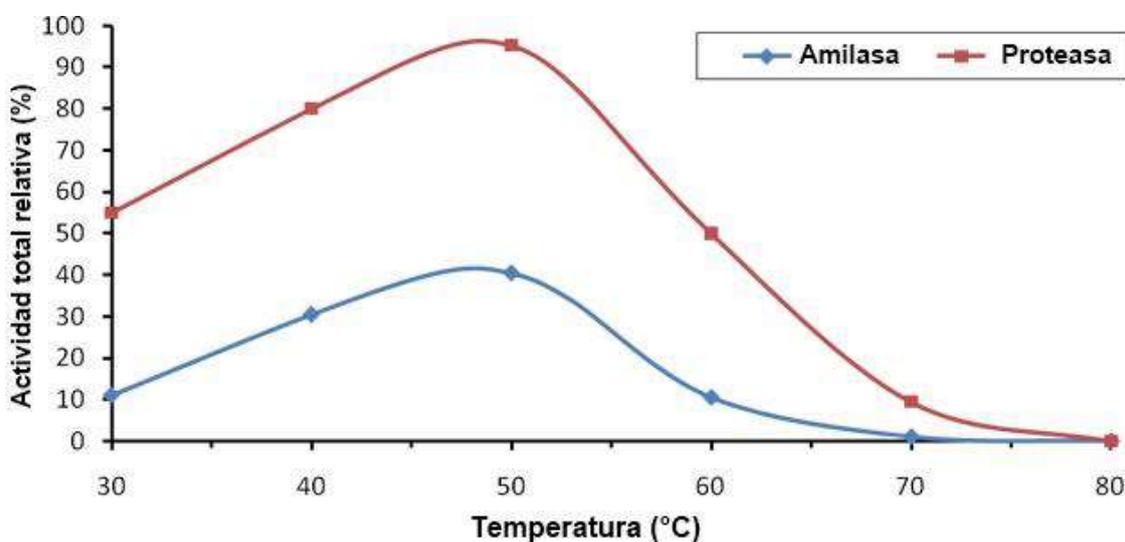
El agente de limpieza debe ser compatible con los materiales que debe limpiar así como con aquellos de los que está fabricada la máquina.

Una tableta, solución o polvo lavavajillas contiene una asombrosa variedad de sustancias químicas; muchas más que las que esperaríamos encontrar en un simple detergente:

- ✓ Detergentes (surfactantes) – favorecen la interacción del agua con la suciedad de tipo graso.
- ✓ Alcalis (sustancias básicas) – reaccionan con las grasas y ajustan el pH del agua de lavado a un valor óptimo para la acción de otros componentes del agente de limpieza.
- ✓ Blanqueadores – generalmente oxidantes que decoloran las sustancias coloreadas.

- ✓ Enzimas – catalizadores biológicos que aceleran la degradación de las proteínas y el almidón.
- ✓ Secuestrantes – contribuyen a evitar el endurecimiento del agua capturando iones metálicos capaces de interferir con el proceso de limpieza.
- ✓ Auxiliares – incluyen sustancias que cumplen funciones secundarias a las de limpieza como facilitadores de la desintegración de la tableta, perfumes, colorantes, etc.

Uno de los principales desafíos es lograr que todos estos componentes trabajen juntos cuando las condiciones óptimas de cada uno difieren de las del resto. Las enzimas por ejemplo, son más eficientes a temperaturas moderadas (alrededor de 50 °C). Si las sometemos a mayores temperaturas durante tiempos prolongados, sufrirán desnaturalización y perderán su actividad catalítica.



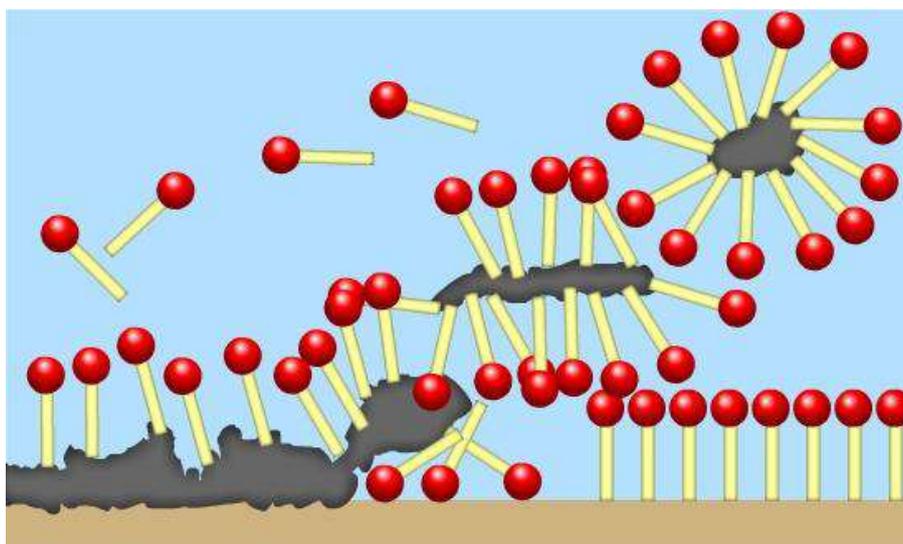
Por otra parte, las grasas son más fácilmente removibles a temperaturas altas ya que funden y fluyen como aceites. Y por supuesto, las reacciones químicas transcurren con mayor rapidez a mayor temperatura: se duplica aproximadamente la rapidez de reacción por cada 10 °C de incremento en la temperatura.

Algo parecido ocurre con el pH. La limpieza es favorecida por valores de pH alcalinos (elevados), pero las enzimas tienen eficiencia óptima a pH neutro o suavemente alcalino y sufren la desnaturalización a valores de pH fuertemente ácidos o básicos. Sin embargo, el pH óptimo de los blanqueadores está en el entorno de 10.

Una complicación adicional que deben resolver los diseñadores de productos para lavavajillas es como ajustarse al comportamiento de los usuarios. A diferencia de los lavarropas, en los que el usuario clasifica las prendas y utiliza diferentes programas de lavado según se trate de algodón, lana, sintéticos, etc., en el lavavajillas se carga todo tipo de utensilios: metálicos, de vidrio, porcelana, plásticos, etc. Las condiciones óptimas de lavado pueden ser muy diferentes para cada material.

## Surfactantes o detergentes

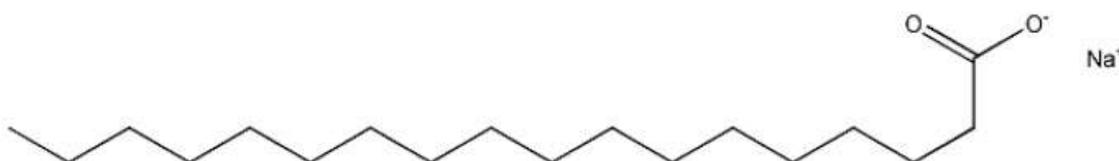
Las manchas y pegotes de grasa no pueden eliminarse con agua. El agua (ver “[El extraño caso del H<sub>2</sub>O](#)”) es una sustancia polar y sus moléculas interactúan entre sí mediante enlaces o puentes de hidrógeno. Las grasas y aceites son no polares e interactúan entre sí mediante fuerzas de Van der Waals. Para lograr que sustancias tan diferentes interactúen en forma cruzada, es necesario utilizar sustancias mediadoras conocidas como detergentes o surfactantes. Se trata de moléculas con forma de renacuajo, que presentan una “cabeza” polar (o iónica) y una “cola” no polar. La “cola” interactúa mediante fuerzas de Van der Waals con las moléculas no polares de grasa, mientras la “cabeza” lo hace, mediante puentes de hidrógeno, con el agua



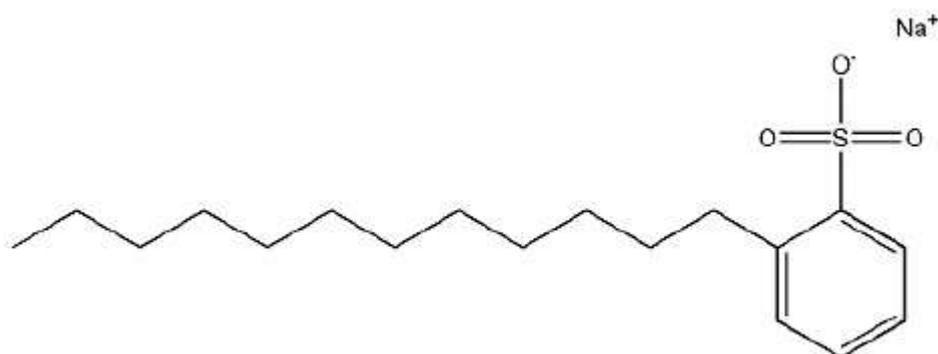
*Las colas no polares (en amarillo) de las moléculas con forma de renacuajo de un detergente, se mezclan con la grasa mientras que las cabezas polares (en rojo), se mezclan con el agua. Así la grasa es forzada a interactuar con el agua a través de una sustancia intermediaria*

Existen esencialmente tres tipos de surfactantes: aniónicos, catiónicos y no-iónicos.

Los **surfactantes aniónicos** tienen una cabeza cargada negativamente. Los tipos más comunes son los jabones y los alquil-benceno sulfonatos.

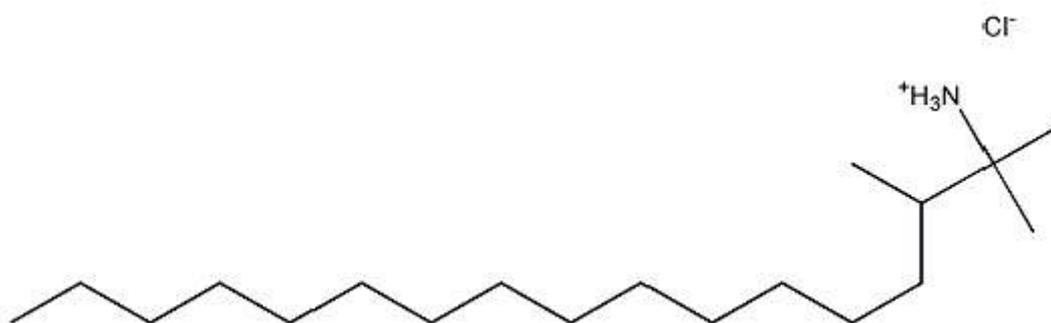


*Estearato de sodio (jabón), un surfactante aniónico*



*Dodecibenceno sulfonato de sodio, un surfactante aniónico*

Los surfactantes catiónicos tienen una cabeza cargada positivamente. Los más comunes son los cloruros de alquil amonio.



*Cloruro de trimetilhexadecil amonio, un surfactante catiónico*

Los surfactantes no iónicos tienen una cabeza polar pero carente de carga eléctrica neta. Un ejemplo es el de los etoxilatos de polietileno

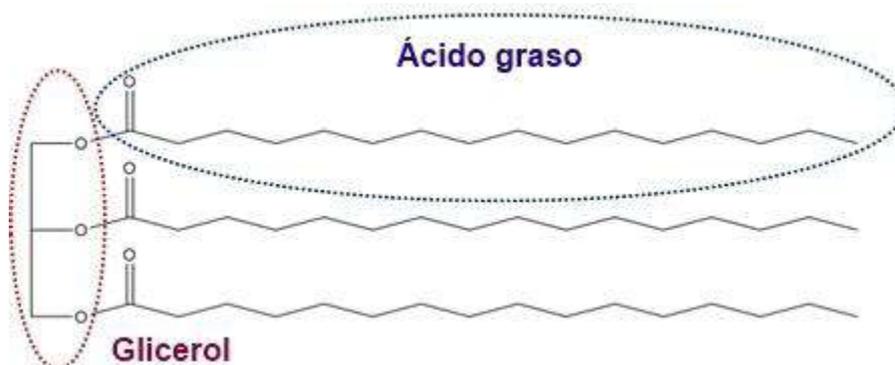


*Etoxilato de polietileno, un surfactante no-iónico*

Los surfactantes son los ingredientes que cualquiera esperaría encontrar en un producto lavavajillas. Sin embargo, cumplen un rol relativamente menor en el producto. Los no iónicos son muy utilizados dado que producen poca espuma.

La principal función de los surfactantes es favorecer la interacción de las grasas con el agua. Buena parte de la suciedad en forma de partículas sólidas se adhiere a la vajilla a través de la grasa. Grasas y aceites son químicamente similares: ambos son ésteres de

ácidos grasos (ácidos carboxílicos de cadena larga) con glicerol. Éstos contienen largas cadenas hidrocarbonadas no polares por lo que no interactúan con el agua.



*Una grasa o aceite típicos*

Cuando se disuelven en agua, las moléculas de los surfactantes suelen agruparse en la superficie (de ahí el nombre); así, las colas no polares se colocan fuera del agua. Las moléculas de surfactante pueden formar agrupamientos llamados micelas: estas son pequeñas esferas formadas por el surfactante que atrapan a las moléculas de grasa permitiendo su dispersión en agua.

La diferencia entre grasas y aceites está en su punto de fusión: a temperatura ambiente las grasas son sólidas y los aceites, líquidos. Las grasas se adhieren a las superficies sólidas mejor que los aceites. Por ello las altas temperaturas -que funden las grasas- son útiles en el lavado.

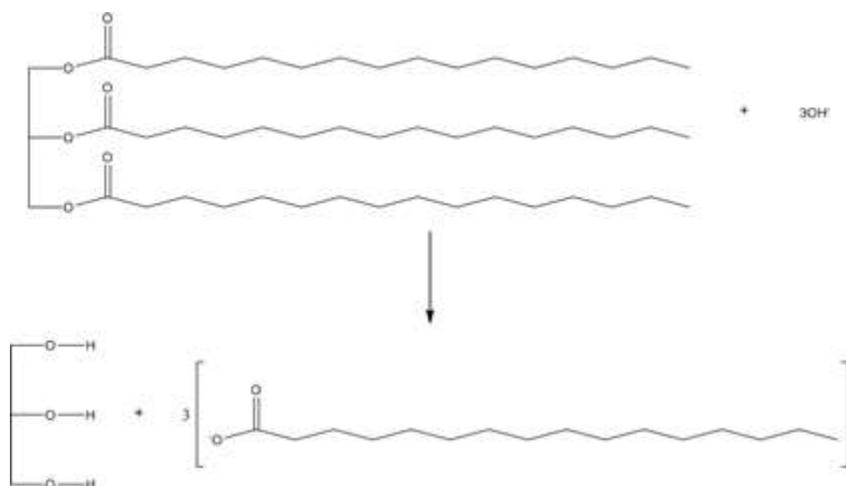
## Álcalis

Muchos productos de limpieza actúan mejor en medio suavemente alcalino (básico). Esto se debe a que:

- ✓ emulsionan las grasas reaccionando con las ellas (y con los aceites), formando sales de ácidos grasos solubles en agua.
- ✓ protegen al metal del lavavajillas de la corrosión debida a los ácidos.
- ✓ previenen el depósito de las partículas de suciedad que fueron removidas en el lavado, cubriéndolas con iones hidróxido. Esto determina que las partículas queden cargadas negativamente y se mantengan alejadas unas de otras por repulsión electrostática. De este modo no son capaces de formar grandes agregados y precipitar sobre los utensilios.
- ✓ los blanqueadores basados en percarbonato de sodio, trabajan mejor en un medio débilmente alcalino.

El agua del lavavajillas es llevada a un pH 10 (significativamente alcalino). A las altas temperaturas del lavado, los aniones hidróxido atacan a las moléculas de grasas y aceites rompiéndolas (hidrólisis alcalina) en sales de ácidos grasos y glicerol. Éste es el mecanismo principal en la remoción de la grasa.

La reacción es representada en la figura; se trata del mismo proceso químico que conduce a la fabricación de jabones a partir de grasa o aceite: la saponificación.



### Actividad 2:

- Explique por qué los productos de la reacción son más solubles en agua que las moléculas de grasa originales.
- Dé el nombre sistemático del glicerol.

El carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), es utilizado en el lavavajillas para garantizar que el medio sea alcalino. Es la sal de la base fuerte hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), y un ácido débil, el carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Se disocia en agua formando aniones carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y cationes sodio ( $\text{Na}^+$ ) y mantiene el pH el medio, en el entorno de 10.

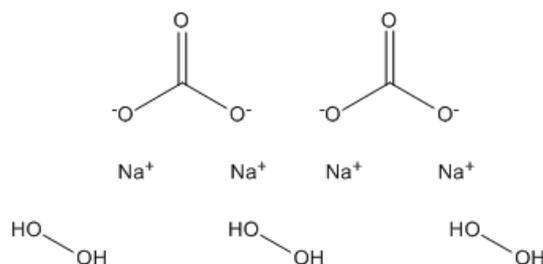
### Actividad 3:

Explique cómo el ion carbonato puede volver alcalino al medio acuoso.

### Blanqueadores

Los blanqueadores se utilizan para oxidar a las sustancias coloreadas y transformarlas en productos incoloros.

El blanqueador más utilizado es el percarbonato de sodio. Este es un polvo granulado de color blanco y fórmula  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$



*Estructura del percarbonato de sodio*

En agua se descompone en carbonato de sodio y peróxido de hidrógeno:



El peróxido de hidrógeno es un agente oxidante muy activo que se descompone espontáneamente en dióxígeno y agua. El encanto de este blanqueador es que el percarbonato de sodio es un sólido relativamente estable (si evitamos que se humedezca) y que sus productos (carbonato de sodio y agua) son inocuos.

#### Actividad 4:

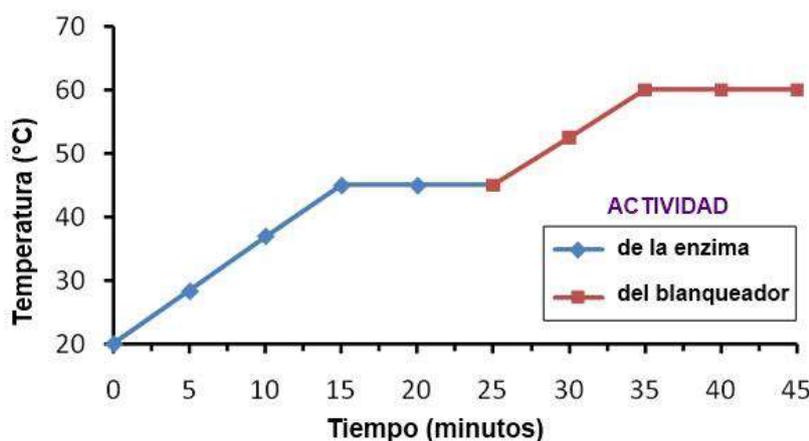
- Escriba la ecuación de descomposición del peróxido de hidrógeno en dióxígeno y agua.
- Use la ecuación anterior para calcular la cantidad de oxígeno que puede obtenerse a partir de 2 mol de percarbonato de sodio.
- Ahora calcule –para el mismo caso- la masa de percarbonato de sodio descompuesto y la de dióxígeno producido en el proceso.
- Una especificación comercial para el percarbonato de sodio garantiza: “contiene no menos de un 13 % de oxígeno activo”. Teniendo en cuenta sus cálculos anteriores, ¿se ajusta este dato a la realidad?

Sustancias conocidas como “activadores” son agregadas a los blanqueadores para que funcionen. Actúan esencialmente como catalizadores que aceleran las reacciones para que ocurran a temperaturas más bajas de las requeridas en su ausencia. Sin embargo, los activadores se consumen estequiométricamente, no así los catalizadores.

El agregado de activadores hace que los blanqueadores sean más compatibles con las enzimas presentes en el producto lavavajillas.

#### Actividad 5:

Explique esta última afirmación: “El agregado de activadores hace que los blanqueadores sean más compatibles con las enzimas presentes en el producto lavavajillas.”



La figura muestra la actividad enzimática y del blanqueador en diferentes estadios del ciclo de lavado

## Biosustancias

Se trata fundamentalmente de enzimas:

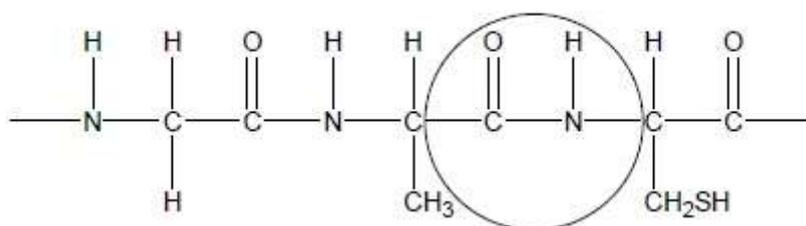
- ✓ proteasas (para la hidrólisis de proteínas)
- ✓ amilasas (para la hidrólisis del almidón)

### Actividad 6:

Mencione alimentos basados en:

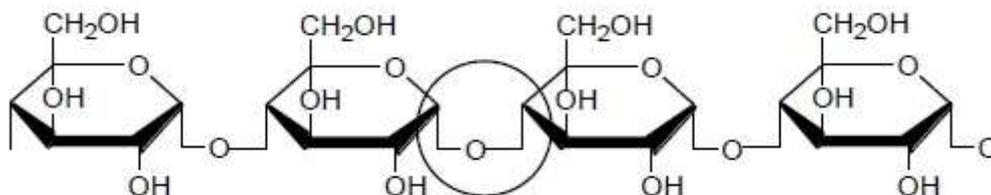
- a) Proteínas
- b) Almidón

Las proteasas catalizan la hidrólisis de grandes moléculas proteicas, insolubles en agua, para producir pequeñas unidades solubles.



*Fragmento de molécula proteica*

Las amilasas catalizan la hidrólisis de grandes moléculas insolubles de almidón en pequeñas unidades solubles.



*Fragmento de una molécula de almidón*

### Actividad 7:

Sugiera cuáles podrían ser las “pequeñas unidades solubles” producidas por la hidrólisis de:

- a) Proteínas
- b) Almidón

### Actividad 8:

a) Observe las dos últimas figuras (molécula proteica y almidón) y señale en cada caso y con un círculo, los lugares en los que ocurre el proceso de hidrólisis.

b) Formule los productos obtenidos por la hidrólisis de una proteína y del almidón.

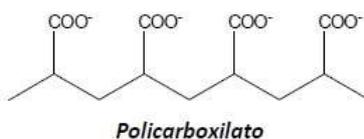
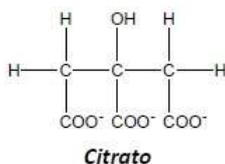
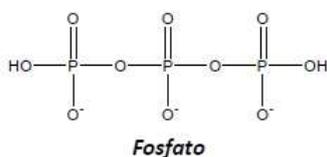
Como se señaló antes, las enzimas tienen valores óptimos de pH y de temperatura y esto debe ser tenido en cuenta en el diseño del ciclo de lavado del lavavajillas. Las enzimas son desnaturalizadas y pierden su actividad una vez finalizado el lavado.

## Constructores

Los “constructores” pueden actuar de maneras diversas: suavizantes, buffers y emulsionantes.

Los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  fueron mayormente removidos del agua por las resinas de intercambio iónico en el comienzo del ciclo de lavado. Sin embargo, pueden haberse producido nuevamente a partir de la suciedad tratada en el lavavajillas; estos podrán ser eliminados por un tipo particular de constructores.

Entre los constructores tenemos los “secuestrantes”; incluyen fosfatos, citratos y policarboxilatos. Todos ellos poseen átomos de oxígeno cargados negativamente. Estos pueden formar complejos con los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  removiéndolos de la solución.



### Actividad 9:

- a) ¿Qué características del oxígeno permiten a los secuestrantes unirse a los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ?
- b) ¿Cómo se denomina este tipo de unión?

Los grupos  $\text{COO}^-$  aceptan protones (cationes  $\text{H}^+$ ) del agua generando un medio alcalino.

A menudo se piensa que los fosfatos han dejado de utilizarse en productos domésticos porque pueden ser arrastrados a los cursos de agua y provocar eutrofización (crecimiento desmedido de plantas y algas debido al efecto fertilizante de los fosfatos). De hecho, no existe una prohibición expresa y en la mayoría de los países siguen adicionándose a los productos lavavajillas, ya que su contribución al aporte total de fosfatos es inferior al 5 %. El principal aporte de fosfatos proviene de la agricultura, el metabolismo humano (a través de las aguas servidas) y los efluentes industriales.

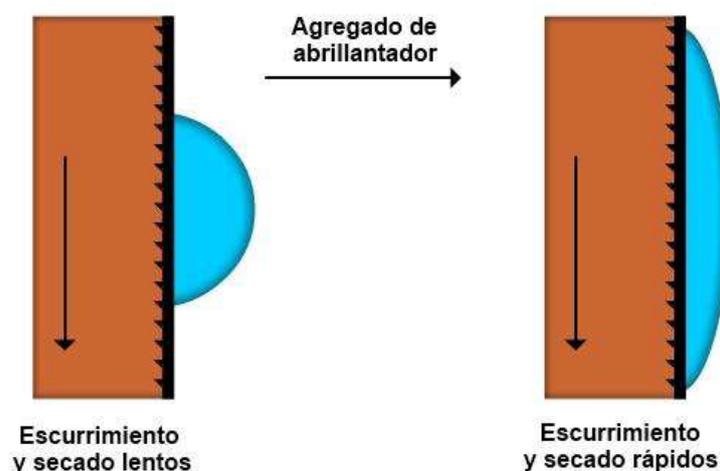
## Abrillantadores

La etapa final del ciclo de lavado es un enjuague con agua limpia, que a menudo, es ablandada previamente por una resina de intercambio iónico. En la mayoría de las máquinas es posible agregar un abrillantador al ciclo mediante un compartimiento especial separado del destinado al producto de limpieza.



El abrillantador es un surfactante que reduce la tensión superficial del agua. La tensión superficial es un fenómeno de superficie por el cual el agua, forma

gotitas sobre las superficies limpias en lugar de formar una fina capa que las cubra totalmente. La elevada tensión superficial del agua es debida a los enlaces o puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas que ocupan la superficie de interfase (por lo general, agua-aire). Las moléculas de surfactante se agrupan en la superficie de las gotitas porque sus “colas” no polares no pueden formar puentes de hidrógeno con el agua. Este agrupamiento tiene efectos disruptivos sobre los puentes de hidrógeno, reduciendo la tensión superficial y permitiendo que el agua se extienda presentando un área de evaporación mayor y reduciendo, consecuentemente, el tiempo de secado. También permiten que el agua escurra más fácilmente de los utensilios, como se muestra en la figura.



## Desarrollos recientes

La tecnología de los lavavajillas continúa avanzando; las máquinas más avanzadas poseen sensores que pueden determinar en cada caso, cuál es el mejor programa de lavado. Esto incluye:

- ✓ determinación de la cantidad de sedimentos en el agua de lavado.
- ✓ medida de la dureza del agua.
- ✓ evaluación de la carga colocada en el aparato.

### Actividad 10:

**Sugiera un mecanismo que permita determinar la dureza total del agua dentro del lavavajillas. Recuerde que la dureza es debida a la presencia de iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , que el resultado debe obtenerse rápida y “electrónicamente” y que la información debe retroalimentar los controles de la máquina, cosa que una titulación convencional, no puede hacer.**

La cantidad de sedimento sólido en el agua puede ser medida usando una fuente de luz brillante y un sensor óptico. A mayor absorción de luz, mayor contenido de sedimentos.

**Autor:** Roberto Calvo (traducción).

### Créditos:

#### ✓ Referencias bibliográficas:

- Royal Society of Chemistry. Learn Chemistry. Enhancing learning and teaching. Chemistry in your cupboard: Finish. Recuperado de: <http://www.rsc.org/learn-chemistry/resource/res00000009/finish?cmpid=CMP00000011>

#### ✓ Imágenes:

- [http://www.umich.edu/~eng217/student\\_projects/Chicago%20Inventions/dishbilo\\_clip\\_image001.jpg](http://www.umich.edu/~eng217/student_projects/Chicago%20Inventions/dishbilo_clip_image001.jpg)
- <https://i.pinimg.com/736x/e0/1c/6b/e01c6ba52b94a736f02d5b172afdfc40--the-dishwasher-josephine.jpg>
- Royal Society of Chemistry. Learn Chemistry. Enhancing learning and teaching. Chemistry in your cupboard: Finish. Recuperado de: <http://www.rsc.org/learn-chemistry/resource/res00000009/finish?cmpid=CMP00000011>

**Fecha de publicación:** 3 de mayo de 2011.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).