

# Fundamentos de Química

# A Base da Química

1ª de 3 Partes

por C.F. “Chubb” Michaud

## Español

**Resumen:** La química del agua es fundamental, pero algunas personas eluden este tema porque sienten que es demasiado complicado. Sin embargo, es necesario comprender los fundamentos de química para entender la manera en que funcionan ciertos aspectos del filtrado de agua—especialmente el intercambio iónico. La primera parte de esta serie señala el proceso básico de ionización y las relaciones que existen entre una especie de constituyentes iónicos y otra. Asimismo introduce al lector a la gran cantidad de información que se encuentra disponible en la tabla periódica de los elementos, la guía universal para las propiedades químicas. La segunda parte examina las instrucciones para el uso apropiado de un análisis de agua y señala algunas trampas en las que hay que evitar caer. Por último, la tercera parte describe cómo utilizar la química y la selectividad del intercambio iónico para resolver ciertos problemas de tratamiento de agua.

La Madre Naturaleza mantiene su casa en orden. Existen menos de 100 elementos “en la naturaleza” y, por definición, todos se encuentran separados y son distintos el uno del otro. El cobre, níquel, estaño, zinc, sodio y oxígeno son todos elementos. Los elementos están formados de un número balanceado de partículas de carga positiva y negativa llamadas protones (+) y electrones (-), que, junto con los neutrones (que son de carga neutra), forman un átomo de dicho elemento. El átomo es la partícula más pequeña que presenta las propiedades del elemento.

Todos los elementos son de carga neutra, es decir, están balanceados con el mismo número de electrones y protones. Todos los elementos pueden tener—y tienen—diferentes números de protones con un número igual de electrones. El hidrógeno (H) tiene solamente uno, mientras que el helio (He) tiene dos, el litio (Li) tiene tres y así sucesivamente, hasta el uranio (U), el cual tiene 92. El plutonio (Pu), un elemento que es hecho por el hombre, el cual no existe en la naturaleza, tiene 94 electrones y protones. El elemento más pesado que se conoce, el unihexio (Unh), que también es hecho por el hombre, tiene 106. De tal manera que todos los números del 1 al 106 están tomados en cuenta. Cada uno difiere del siguiente solamente por un protón y cada uno es una sustancia totalmente separada con sus propias propiedades únicas.

Utilizamos el término Número Atómico (NA) para identificar a cada uno de los elementos y este número corresponde al número de protones del elemento. Estos varios elementos se encuentran convenientemente arreglados en una gráfica a la cual nos referimos como Tabla Periódica de los Elementos (ver Figura 1). La tabla periódica contiene una gran cantidad de información tal como la densidad, el punto de fusión y punto de ebullición, al igual que la valencia, el peso atómico y el número atómico. Los elementos se encuentran agrupados en “familias” las cuales tienen similitudes y predicción de reacción.

## Português

**Resumo:** A química da água é básica, mas algumas pessoas fogem desse assunto porque acham que está muito acima de sua capacidade. Contudo, é necessário entender os fundamentos da química para entender completamente como funcionam certos aspectos do trabalho de filtração da água—principalmente a troca iônica. A primeira parte desta série aborda o processo básico de ionização e as relações que existem entre uma espécie de constituintes iônicos e outra. Ela também apresenta ao leitor uma gama de informações disponíveis na Tabela Periódica dos Elementos, o guia universal das propriedades químicas. A segunda parte examina as diretrizes para o uso adequado de uma análise de água e aponta algumas armadilhas a serem evitadas. A terceira parte descreve, então, como usar a química e a seletividade de troca iônica para resolver certos problemas de tratamento de água.

A mãe-natureza mantém a casa arrumada. Há menos de 100 elementos “na natureza” e, por definição, todos eles são separados e distintos uns dos outros. O cobre, níquel, estanho, zinco, sódio e oxigênio são todos elementos. Os elementos são formados por um número balanceado de partículas carregadas positiva e negativamente chamadas prótons (+) e elétrons (-), que, juntamente com os nêutrons (que são neutros), formam um átomo desse elemento. O átomo é a menor partícula ainda identificável que possui as propriedades do elemento.

Todos os elementos, por serem balanceados com o mesmo número de elétrons e prótons, têm carga neutra. Todos os elementos podem ter—como de fato têm—números diferentes de prótons com um número correspondente de elétrons. O hidrogênio (H) tem apenas um, ao passo que o hélio (He) tem dois, o lítio (Li) tem três, e assim por diante até o urânio (U), que tem 92. O plutônio (Pu), elemento feito pelo homem e inexistente na natureza, possui 94 elétrons e prótons. O elemento mais pesado conhecido, o unihéxio (Unh), também feito pelo homem, tem 106. Assim, todos os números de 1 a 106 são utilizados. Cada um difere por apenas um próton e cada um é uma substância totalmente separada com suas próprias características singulares.

Usamos o termo número atômico (NA) para identificar cada um dos elementos, e esse número corresponde ao número de prótons do elemento. Esses vários elementos são convenientemente arranjados num quadro chamado de Tabela Periódica dos Elementos (ver Figura 1). A tabela periódica contém uma variedade de informações tais como densidade, ponto de fusão e ponto de ebulição, além de valência, peso atômico e número atômico. Os elementos são agrupados em “familias”, que possuem semelhanças e previsibilidade de reação.

O peso atômico (PA) representa a massa de um elemento e é o total de seus prótons e nêutrons. É possível ter elementos de diferentes pesos atômicos mas com o mesmo número atômico, uma vez que o número de nêutrons pode variar. Referimo-nos a essas variações como isótopos.

Figura 1. Tabla Periódica de los Elementos Químicos

|                         |                           |                                                                                                                                                                       |                           |                         |                        |                       |                      |                        |                       |                      |                        |                       |                      |                         |                      |                        |                     |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| 1<br>H<br>HIDROGENO     | METALES ALCALINOS TERREOS |                                                                                                                                                                       |                           |                         |                        |                       |                      |                        |                       |                      |                        |                       |                      |                         |                      |                        | 2<br>He<br>HELIO    |
| 3<br>Li<br>LITIO        | 4<br>Be<br>BERILIO        | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           H GAS      Li SOLIDO<br/>           Hg LIQUIDO      Tc SINTETICO         </div> |                           |                         |                        |                       |                      |                        |                       |                      |                        | 5<br>B<br>BORO        | 6<br>C<br>CARBONO    | 7<br>N<br>NITROGENO     | 8<br>O<br>OXIGENO    | 9<br>F<br>FLUOR        | 10<br>Ne<br>NEON    |
| 11<br>Na<br>SODIO       | 12<br>Mg<br>MAGNESIO      | METALES PESADOS                                                                                                                                                       |                           |                         |                        |                       |                      |                        |                       |                      |                        | 13<br>Al<br>ALUMINIO  | 14<br>Si<br>SILICIO  | 15<br>P<br>FOSFORO      | 16<br>S<br>AZUFRE    | 17<br>Cl<br>CLORO      | 18<br>Ar<br>ARGON   |
| 19<br>K<br>POTASIO      | 20<br>Ca<br>CALCIO        | 21<br>Sc<br>ESCANDIO                                                                                                                                                  | 22<br>Ti<br>TITANIO       | 23<br>V<br>VANADIO      | 24<br>Cr<br>CROMO      | 25<br>Mn<br>MANGANESO | 26<br>Fe<br>HIERRO   | 27<br>Co<br>COBALTO    | 28<br>Ni<br>NIQUEL    | 29<br>Cu<br>COBRE    | 30<br>Zn<br>ZINC       | 31<br>Ga<br>GALIO     | 32<br>Ge<br>GERMANIO | 33<br>As<br>ARSENICO    | 34<br>Se<br>SELENIO  | 35<br>Br<br>BROMO      | 36<br>Kr<br>KRIPTON |
| 37<br>Rb<br>RUBIDIO     | 38<br>Sr<br>ESTRONCIO     | 39<br>Y<br>ITRIO                                                                                                                                                      | 40<br>Zr<br>ZIRCONIO      | 41<br>Nb<br>NIOBIO      | 42<br>Mo<br>MOLIBDENO  | 43<br>Tc<br>TECNECIO  | 44<br>Ru<br>RUTENIO  | 45<br>Rh<br>RODIO      | 46<br>Pd<br>PALADIO   | 47<br>Ag<br>PLATA    | 48<br>Cd<br>CADMIO     | 49<br>In<br>INDIO     | 50<br>Sn<br>ESTAÑO   | 51<br>Sb<br>ANTIMONIO   | 52<br>Te<br>TELURIO  | 53<br>I<br>YODO        | 54<br>Xe<br>XENON   |
| 55<br>Cs<br>CESIO       | 56<br>Ba<br>BARIO         | 57-71<br>★<br>SERIE DEL LANTANIO                                                                                                                                      | 72<br>Hf<br>HAFNIO        | 73<br>Ta<br>TANTALO     | 74<br>W<br>TUNGSTENO   | 75<br>Re<br>RENIIO    | 76<br>Os<br>OSMIO    | 77<br>Ir<br>IRIDIO     | 78<br>Pt<br>PLATINO   | 79<br>Au<br>ORO      | 80<br>Hg<br>MERCURIO   | 81<br>Tl<br>TALIO     | 82<br>Pb<br>PLOMO    | 83<br>Bi<br>BISMUTO     | 84<br>Po<br>POLONIO  | 85<br>At<br>ASTATANO   | 86<br>Rn<br>RADON   |
| 87<br>Fr<br>FRANCIO     | 88<br>Ra<br>RADIO         | 89-103<br>★<br>SERIE DEL ACTINIO                                                                                                                                      | 104<br>Rf<br>RUTHERFORDIO | 105<br>Db<br>DUBNIO     | 106<br>Sg<br>SEABORGIO | 107<br>Bh<br>BOHRIO   | 108<br>Hs<br>HASSIO  | 109<br>Mt<br>MEITNERIO | 110<br>*              | 111<br>*             | 112<br>*               | 113<br>**             | 114<br>**            | 115<br>**               | 116<br>**            | 117<br>**              | 118<br>**           |
| SERIE DE LOS LANTANIDOS |                           | 57<br>La<br>LANTANO                                                                                                                                                   | 58<br>Ce<br>CERIO         | 59<br>Pr<br>PRASEODIMIO | 60<br>Nd<br>NEODIMIO   | 61<br>Pm<br>PROMETIO  | 62<br>Sm<br>SAMARIO  | 63<br>Eu<br>EUROPIO    | 64<br>Gd<br>GADOLINIO | 65<br>Tb<br>TERBIO   | 66<br>Dy<br>DISPROSIO  | 67<br>Ho<br>HOLMIO    | 68<br>Er<br>ERBIO    | 69<br>Tm<br>TULIO       | 70<br>Yb<br>ITERBIO  | 71<br>Lu<br>LUTECIO    |                     |
| SERIE DE LOS ACTINIDOS  |                           | 89<br>Ac<br>ACTINIO                                                                                                                                                   | 90<br>Th<br>TORIO         | 91<br>Pa<br>PROTACTINIO | 92<br>U<br>URANIO      | 93<br>Np<br>NEPTUNIO  | 94<br>Pu<br>PLUTONIO | 95<br>Am<br>AMERICIO   | 96<br>Cm<br>CURIO     | 97<br>Bk<br>BERKELIO | 98<br>Cf<br>CALIFORNIO | 99<br>Es<br>EINSTENIO | 100<br>Fm<br>FERMIO  | 101<br>Md<br>MENDELEVIO | 102<br>No<br>NOBELIO | 103<br>Lr<br>LAWRENCIO |                     |

El Peso Atómico (PA) representa la masa de un elemento y consiste en el total de sus protones y neutrones. Es posible tener elementos de distinto peso atómico, pero con el mismo número atómico, puesto que el número de neutrones puede variar. Nos referimos a estas variaciones como isótopos. Por ejemplo, el cloro, el cual es el elemento 17, puede tener 18 o 19 neutrones. Por lo tanto, tiene un número atómico de 35 o 36. Debido a que estos dos isótopos comunes existen en casi el mismo porcentaje, le asignamos al cloro un peso atómico de 35.5.

La línea dentada dibujada a través de la gráfica en la Figura 1 separa los metales de los no metales (a la derecha). Esto nos ayuda a determinar la manera en que dicha sustancia reaccionará con el oxígeno y subsiguientemente, la forma en que dicho compuesto reaccionará con el agua. Usted podrá haber notado que el boro (B), carbono (C), nitrógeno (N), flúor (F), silicio (Si), fósforo (P), azufre (S), cloro (Cl), arsénico (As), etc.—del lado de los metales—todos parecen terminar del mismo lado de la molécula de sal. En otras palabras, estos son los formadores de ácidos, mientras que los metales tales como el sodio, potasio, calcio, etc., son los formadores de bases.

Al estar sujetos al calor bajo la presencia de oxígeno, la mayoría de los metales formará un óxido de metal. El resultado más común de esta oxidación es el óxido de hierro. La cal es óxido de calcio (CaO) y el cáustico (Na<sub>2</sub>O) es óxido de sodio. Si creemos en la teoría de una creación ardiente (es decir, el “Big-Bang” o Gran Explosión), podemos ver fácilmente de dónde se originó el calor. Cuando un óxido de metal se disuelve en agua, se forma una solución básica o alcalina, como puede observarse en la Reacción 1 en la Figura 3. Los no metales, tales como el azufre (S) y el nitrógeno (N) también forman óxidos, pero al disolverse en el agua, forman ácidos (ver “Reacción 2” en la Figura 3).

Cuando los elementos se combinan para formar compuestos, la naturaleza preserva las leyes de neutralidad. El amoníaco (NH<sub>3</sub>) es un compuesto gaseoso formado de un átomo de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno. El cloruro de sodio (NaCl) es un compuesto que se conoce como una sal. A pesar de conocerse como sal “común”, ésta no es la única sal. El sulfato de magnesio es una sal; el citrato de potasio también

Por ejemplo, el cloro, que es el elemento 17, puede tener 18 o 19 neutrones. Por tanto, posee un peso atómico de 35 o 36. Una vez que esos dos isótopos comunes existen casi que en la misma proporción, atribuímos al cloro un peso atómico de 35.5.

La línea tracejada que atraviesa a la tabla en la Figura 1 separa los metales de los no metales—metales (a la izquierda). Esto ayuda a determinar cómo esa sustancia reaccionará con el oxígeno y, subsiguientemente, cómo ese compuesto reaccionará con el agua. Tal vez usted haya notado que el boro (B), carbono (C), nitrógeno (N), flúor (F), silicio (Si), fósforo (P), azufre (S), cloro (Cl), arsénico (As), etc.—del lado de los no metales—parecen que terminan todos del mismo lado de la molécula del sal. En otras palabras, ellos son formadores de ácidos, al paso que metales como el sodio, potasio, calcio, etc., son formadores de bases.

Cuando sometidos a calor en la presencia de oxígeno, la mayoría de los metales formarán un óxido metálico. La observación más común de esto es la herrumbre, que es el óxido de hierro. La cal es óxido de calcio (CaO) y el óxido de sodio es Na<sub>2</sub>O. Si aceptáramos la teoría de una creación por fuego (o sea, el Big Bang), podemos ver prontamente de dónde vino el fuego. Cuando un óxido metálico se disuelve en el agua, se crea una solución básica, o alcalina, como se puede ver en la Reacción 1 de la Figura 3. Los no metales, como el azufre (S) y el nitrógeno (N), también forman óxidos, pero cuando se disuelven en el agua, forman ácidos (ver “Reacción 2” de la Figura 3).

Cuando los elementos se combinan para formar compuestos, la naturaleza preserva las leyes de neutralidad. El amoníaco (NH<sub>3</sub>) es un compuesto gaseoso formado por un átomo de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno. El cloruro de sodio (NaCl) es un compuesto que es una sal. Aunque sea normalmente llamado de sal “común”, no es la única sal. El sulfato de magnesio es una sal; el citrato de potasio es una sal. Los nombres de los sales generalmente poseen los sufijos “ato”, “eto” y “ito”. Cuando los ácidos y bases se combinan, ellos se neutralizan mutuamente para formar un sal y agua. Es esto que básicamente acontece en un desmineralizador de intercambio iónico. Lo que determina cuánto se disuelve va a reaccionar con cuánto de aquello para formar tanto de aquello otro también es fijado por la naturaleza del elemento.

es una sal. Los nombres de las sales por lo general tienen las terminaciones “-uro,” “-ito” y “-ato”. Cuando se combinan los ácidos y las bases, se neutralizan el uno al otro para formar una sal y agua. Esto es esencialmente lo que sucede en un desmineralizador de intercambio iónico. Lo que determina cuántos de unos reaccionarán con cuántos de los otros para formar tantos de esos también se encuentra establecido por la naturaleza de la valencia del elemento.

### La importancia de las órbitas

Los electrones contenidos en cada uno de los elementos se encuentran distribuidos en órbitas alrededor del caparazón del núcleo (centro) del átomo. Existe más de una órbita—de hecho, existen muchas. Sin embargo, cada órbita se encuentra llena con solamente un cierto número de electrones y dicho número es más o menos el mismo para todos los elementos. Debido a que el número de electrones difiere solamente por uno entre un elemento y el siguiente en la tabla periódica, solamente la órbita exterior contendrá un número diferente de electrones.

Esta pequeña diferencia determina muchas de las propiedades de dicho elemento y la familia a la cual pertenece. Por ejemplo, el hidrógeno, litio, sodio y potasio tienen solamente un electrón en su órbita exterior. El magnesio, calcio y estroncio tienen dos cada uno. El flúor, cloro, bromo y yodo—la familia de halógenos—tienen siete cada uno. En el extremo derecho de la Tabla Periódica, el helio, neón, argón, kriptón, xenón y el radón constituyen los gases inertes (no reactivos). ¿Comenzamos a darnos cuenta de lo valiosa que puede ser la tabla periódica?

Cuando los electrones reaccionan para formar compuestos, estos tienden a pasar a un estado menos reactivo. En otras palabras, tratan de iniciar el estado “relajado” de los gases inertes llenando completamente sus órbitas. La órbita interior solamente necesita dos electrones (o cero). La órbita exterior por lo general requiere de ocho. Podemos ver, basados en la tabla periódica, que el hidrógeno con un Número Atómico de uno,  $NA=1$ , solamente tiene un electrón en su órbita exterior. El oxígeno,  $NA=8$ , tiene dos en su órbita interior y seis en la exterior. Para quedar “satisfecho,” el hidrógeno entregará su electrón y el oxígeno lo aceptará. Sin embargo, para satisfacer toda la demanda del oxígeno, se requerirá que dos hidrógenos hagan el sacrificio supremo—formando de tal manera la base del agua. Esto se muestra en la Reacción 4 en la Figura 3, al igual que gráficamente con una representación del electrón que fue intercambiado, en la Figura 2.

Con excepción de los gases inertes, todos los elementos tendrán entre uno y siete electrones en sus órbitas exteriores. Pueden ya sea entregarlos o tomar electrones adicionales para satisfacer una órbita total. El sodio, el cual tiene uno, se lo entregará al cloro, que tiene siete. De tal manera, tanto el cloro como el sodio quedan satisfechos y el compuesto resultante,  $NaCl$ , es neutro. El potasio tiene uno y el oxígeno tiene seis. Por lo tanto, el oxígeno necesita dos y el compuesto resultante de óxido de potasio es balanceado como  $K_2O$ .

### El papel de la sal y el agua en el intercambio iónico

Cuando la sal se disuelve en agua, los dos componentes de la sal se separan. Sin embargo, no recobran sus números originales de electrones y por lo tanto ya no tienen carga neutra. Debido a que ahora han ganado o perdido electrones (los cuales tienen carga negativa), tendrán ya sea una carga neta positiva (pérdida de electrones) o neta negativa (ganancia de electrones). Estas partículas cargadas se conocen como iones. Un ion positivo se conoce como catión, mientras que uno negativo se conoce como anión. El número de electrones ganados o perdidos por el elemento

### A importância das órbitas

Os elétrons contidos em cada um dos elementos são dispostos em órbitas de elétrons em torno da “casca” do núcleo (centro) do átomo. Existe mais de uma órbita—na verdade, há muitas. Entretanto, cada órbita é preenchida com apenas um certo número de elétrons, e esse número é mais ou menos o mesmo para todos os elementos. Como o número de elétrons difere por apenas um de um elemento para o próximo na tabela periódica, somente a órbita mais externa conterá um número diferente de elétrons.

Essa minúscula diferença determina muitas das propriedades desse elemento e da família à qual pertence. Por exemplo, o hidrogênio, lítio, sódio e potássio têm todos apenas um elétron em sua órbita mais externa. O magnésio, cálcio e estrôncio possuem dois cada. O flúor, cloro, bromo e iodo—a família dos halogênios—possuem sete cada. Na extrema direita da tabela periódica, o hélio, neônio, argônio, criptônio, xenônio e radônio formam os gases inertes (isto é, não reativos). Será que estamos começando a ter uma idéia de quão importante pode ser a tabela periódica?

Quando reagem para formar compostos, os elétrons tendem a passar para um estado menos reativo. Em outras palavras, eles tentam imitar o estado “relaxado” dos gases inertes ao preencherem suas órbitas mais externas até ficarem completas. A órbita mais interna só precisa de dois elétrons (ou nenhum). A mais externa geralmente quer oito. Podemos ver da tabela periódica que o hidrogênio, com um número atômico um,  $NA = 1$ , tem apenas um elétron em sua órbita externa. O oxigênio,  $NA = 8$ , possui dois em sua órbita interna e seis na externa. Para ficar “satisfeito”, o hidrogênio doará o seu elétron, e o oxigênio o pegará. Entretanto, para satisfazer a demanda total do oxigênio, serão necessários dois hidrogênios para fazer o supremo sacrifício—formando, assim, a base da água. Isso aparece na Reação 4 da Figura 3, bem como graficamente com uma representação do elétron trocado na Figura 2.

Exceto os gases inertes, todos os elementos terão de um a sete elétrons em suas órbitas externas. Eles podem ou doar esses elétrons ou receber elétrons adicionais para satisfazer uma órbita completa. O sódio, que tem um, o doará ao cloro, que tem sete. Assim, tanto o cloro como o sódio ficam satisfeitos, e o composto resultante,  $NaCl$ , fica neutro. O potássio tem um elétron e o oxigênio, seis. Portanto, o oxigênio precisa de dois, e o composto resultante, óxido de potássio, fica balanceado como  $K_2O$ .

### O papel do sal e da água na troca iônica.

Quando se dissolve o sal na água, os dois componentes do sal se separam. Contudo, eles não readquirem suas contagens originais de elétrons e, portanto, não são mais neutros. Como agora eles ganharam ou perderam elétrons (que possuem uma carga negativa), eles terão uma carga final positiva (perda de elétrons) ou negativa (ganho de elétrons). Chamamos essas partículas carregadas de íons. O íon positivo é chamado de cátion, e o íon negativo, de ânion. O número de elétrons ganhos ou perdidos pelo elemento determina a força da carga. Chamamos essa sua carga de valência, representada escrevendo-se o símbolo do elemento ou composto com um número correspondente para significar sua carga iônica. Assim, o sódio é  $Na$ , e seu íon é  $Na^+$ . O cloro é  $Cl$ , e seu íon é  $Cl^-$ . A Tabela 1 traz alguns dos elementos mais comuns encontrados na água de torneira, a forma mais provável do composto e sua valência.

Em geral, todos os metais—até o ouro—formarão óxidos e, portanto, bases. A maioria dos não-metais formarão ácidos. Os ácidos neutralizam as bases para formar sal e água. Essa é a reação mais fundamental da química e, talvez, a mais importante para a função da troca iônica. Essa

determina la fuerza de la carga. A esta carga la llamamos su valencia y designamos esto escribiendo el símbolo para el elemento o compuesto con un número correspondiente para representar su carga iónica. Por dicha razón, el sodio se designa como Na y su catión como  $\text{Na}^+$ . El cloro se designa como Cl, mientras que su anión es  $\text{Cl}^-$ . La Tabla 1 provee una lista de los elementos más comunes que se encuentran en el agua de la llave, la forma más común del compuesto y su valencia.

En general, todos los metales—aun el oro—formarán óxidos y, por consiguiente, bases. La mayoría de los no metales formarán ácidos. Los ácidos neutralizan a las bases para formar sal y agua. Esta es la reacción más fundamental de la química y quizás, la más importante para la función del intercambio iónico. Esta reacción se muestra en la Reacción 3 en la Figura 3.

El agua,  $\text{H}_2\text{O}$ , no se ioniza como  $2\text{H}^+$  y  $\text{O}^-$ . En lugar de ello, se convierte en  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ . El ion  $\text{OH}^-$  se conoce como hidroxilo u oxhidrilo y lo designamos con una carga de uno negativo. Estos dos iones son el fundamento de la reacción desmineralizadora de intercambio iónico, la cual es sencillamente una aplicación comercial de la ley más básica de la química que se muestra, nuevamente, en la Reacción 3 en la Figura 3.

### Selectividad

Si añadimos dos sales solubles al agua, digamos carbonato de sodio y cloruro de calcio, producimos cuatro iones diferentes:  $\text{Ca}^{++}$  (calcio),  $\text{Na}^+$  (sodio),  $\text{Cl}^-$  (cloruro) y  $\text{CO}_3^{=}$  (carbonato). El hecho de que el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{CO}_3^{=}$  se encuentran más fuertemente cargados es una indicación de que se atraen más fuertemente el uno al otro. El ser más fuertemente atraído significa una menor solubilidad. De hecho, si añadimos suficiente  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (carbonato de sodio) al  $\text{CaCl}_2$ , precipitamos  $\text{CaCO}_3$ , dejando como

reação aparece na Reação 3 da Figura 3.

A água,  $\text{H}_2\text{O}$ , não se ioniza como  $2\text{H}^+$  e  $\text{O}^-$ . Em vez disso, torna-se  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ . Chamamos o íon  $\text{OH}^-$  de íon hidroxila, representado com uma carga negativa de um. Esses dois íons são a espinha dorsal da reação do desmineralizador de troca iônica, que é, de forma bastante simples, uma aplicação comercial da lei mais básica da química, mostrada novamente na reação 3 da Figura 3.

### Seletividade

Se adicionarmos dois sais solúveis diferentes à água, digamos, carbonato de sódio e cloreto de cálcio, produziremos quatro íons diferentes:  $\text{Ca}^{++}$  (cálcio),  $\text{Na}^+$  (sódio),  $\text{Cl}^-$  (cloreto) e  $\text{CO}_3^{=}$  (carbonato). O fato de o  $\text{Ca}^{++}$  e o  $\text{CO}_3^{=}$  serem mais fortemente carregados é uma indicação de que eles são mais fortemente atraídos um pelo outro. Ser mais fortemente atraído significa menor solubilidade. De fato, se adicionarmos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (soda) suficiente ao  $\text{CaCl}_2$ , de fato precipitaremos  $\text{CaCO}_3$ , deixando uma solução de sal ( $\text{NaCl}$ ) e, talvez, algum excesso de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e uma leve quantidade de  $\text{CaCO}_3$  solúvel.

Esse processo é utilizado para o abrandamento efetivo da água (remoção da dureza excessiva). Vemos nesse exemplo que os íons trocam de parceiros (daí o nome troca iônica) em ordem de atração e de força iônica.

Isso é conhecido como seletividade iônica e é o fundamento básico do processo da troca iônica. Conforme mostra a Reação 5 da Figura 3, pode-se fazer com que certos elementos ou compostos na água sofram reações seletivas específicas, e essas reações são previsíveis, até certo ponto, de acordo com a associação da família do elemento na tabela periódica. Íons bivalentes (que possuem uma dupla carga positiva) como o cálcio e o magnésio reagirão com o sabão e provocarão o “anel de

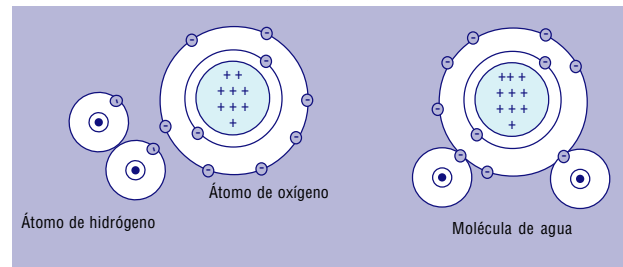
resultado una solución de sal ( $\text{NaCl}$ ) y quizás algún exceso de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y una cantidad menor de  $\text{CaCO}_3$  soluble.

Este proceso ha sido utilizado para suavizar efectivamente el agua (eliminar el exceso de dureza). En este ejemplo se nota que los iones intercambian compañeros (de lo cual se deriva el nombre, intercambio iónico) en orden de atracción y fuerza iónica.

Esto se conoce como selectividad de iones y es el fundamento básico del proceso de intercambio iónico. Como se muestra en la Reacción 5 en la Figura 3, se puede lograr que ciertos elementos o compuestos en el agua experimenten reacciones selectivas específicas y estas reacciones son predecibles hasta cierto grado de acuerdo a la familia con la cual el elemento está asociado en la tabla periódica. Los iones bivalentes (aquellos con doble carga positiva) tales como el calcio y magnesio, reaccionarán con el jabón para formar un “anillo en la bañera”. Asimismo reaccionarán con el ion de carbonato para formar escamas en las tuberías y calentadores. A pesar de que podemos precipitar estas sales añadiendo iones de carbonato (ver “Reacción 5” en la Figura 3), no tenemos una manera fácil de eliminar el sólido resultante. De igual manera, podemos neutralizar un ácido con una base (ver “Reacción 3” en la Figura 3), pero resultamos con una sal soluble en nuestra agua.

Con las resinas de intercambio iónico, solamente el ion intercambiable es soluble. El ion opuesto, que es la esfera de resina por sí misma, no es soluble. Esto hace que la separación después del intercambio sea muy fácil. En el caso de un suavizador, la resina tiene un  $\text{Na}^+$  intercambiable. La dureza ( $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ) combinada con la resina forma un enlace muy fuerte. El agua, menos la dureza, sigue pasando debido a que la resina es retenida en la columna de intercambio. El sodio (o el potasio) reemplaza a la dureza de manera equivalente. Esto significa que se requerirán dos

**Figura 2. Cómo se forma el agua selectivamente**



banheira”. Eles também reagem com o íon carbonato para formar as crostas dentro dos canos e aquecedores. Embora possamos precipitar esses sais com a adição de íons de carbonato (ver “Reação 5” da Figura 3), não há uma maneira fácil de remover o sólido resultante. Analogamente, podemos neutralizar um ácido com uma base (ver “Reação 3” da Figura 3), mas vamos acabar ficando com um sal solúvel em nossa água.

Com as resinas de troca iônica, somente o íon intercambiável é solúvel. O contra-íon, que é a própria partícula de resina, não é. Isso facilita muito a separação após a troca. No caso de um abrandador, a resina possui um  $\text{Na}^+$  intercambiável. A dureza ( $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ ), combinada com a resina, forma uma ligação muito forte. A água, sem a dureza, segue em frente porque a resina fica retida na coluna de troca. O sódio (ou potássio) substitui a dureza em bases equivalentes. Isso significa que serão necessários dois íons de sódio da partícula de resina para substituir um único íon de cálcio ou magnésio.

No caso de desmineralização, tanto os cátions como os ânions precisam ser trocados. Realiza-se isso utilizando-se duas resinas diferentes

iones de sodio de la esfera de intercambio para reemplazar un solo ion de calcio o magnesio.

En el caso de la desmineralización, tanto los cationes como los aniones deben ser intercambiados. Esto se logra utilizando dos resinas diferentes regeneradas con ácido y cáustico, respectivamente. El agua pasa primero a través del intercambiador de cationes, donde los iones positivos (cationes) son intercambiados por iones de hidrógeno ( $H^+$ ), como se observa en la Reacción 6 en la Figura 3.

Luego se pasa la solución ácida a través de un intercambiador de aniones donde el ácido es neutralizado por el intercambio del ion ácido ( $Cl^-$ ) por el ion hidroxilo ( $OH^-$ ) (Ver Reacción 7 en la Figura 3).

### Conclusión

La tabla periódica de los elementos distribuye a todos los elementos en familias que nos ayudan a predecir sus propiedades y determinar sus similitudes. Hemos mostrado que existe una atracción preferida de ciertos elementos para formar reacciones (tal como la precipitación de  $CaCO_3$ ) que nos llevan a los métodos de eliminación de dichos elementos del agua. Esto puede ocurrir ya sea selectivamente (como en el suavizado) o completamente (como en la desmineralización).

### Referencias

1. *Dictionary of Chemistry*, McGraw-Hill, New York, 1994.
2. Kunin, Robert, *Ion Exchange Resins*, Krieger Publishing, New York, 1972.
3. Wachinski, A.M., and J.E. Etzel, *Environmental Ion Exchange*, Lewis Publishers, New York, 1997.

### Acerca del Autor

Chubb Michaud, CWS-VI, obtuvo su licenciatura y maestría en ingeniería química de la Universidad de Maine y tiene más de 30 años de experiencia profesional en procesos de tratamiento de agua y fluidos. Es director técnico de Systematix Co., compañía que fundó en 1982. Además es miembro del Comité de Revisión Técnica de la Revista *WC&P*. Contacto: +1(714) 522-5453, +1(714) 522-5443 (fax), chubb@systematixUSA.com

**Tabla 1. Elementos Comunes Encontrados en el Agua de la Llave**

| Elemento  | Forma Iónica | Valencia                  |
|-----------|--------------|---------------------------|
| Calcio    | $Ca^{++}$    | +2                        |
| Magnesio  | $Mg^{++}$    | +2                        |
| Sodio     | $Na^+$       | +1                        |
| Potasio   | $K^+$        | +1                        |
| Aluminio  | $Al^{+++}$   | +3                        |
| Hierro    | $Fe^{++}$    | +2 (ferroso)              |
|           | $Fe_2O_3$    | 0 (férrico, óxido)        |
| Manganeso | $Mn^{++}$    | +2 (manganoso)            |
| Flúor     | $F^-$        | -1                        |
| Cloruro   | $Cl^-$       | -1                        |
|           | $OCl^-$      | -1 (cloro libre)          |
| Oxígeno   | $OH^-$       | -1 (hidroxilo)            |
| Nitrógeno | $NO_3^-$     | -1 (nitrato)              |
|           | $NO_2^-$     | -1 (nitrito)              |
|           | $NH_4^+$     | +1 (amoníaco)             |
| Azufre    | $SO_4^{=}$   | -2 (sulfato)              |
|           | $SO_3^{=}$   | -2 (sulfito)              |
|           | $S^{=}$      | -2 (sulfuro)              |
| Carbono   | $HCO_3^-$    | -1 (bicarbonato)          |
|           | $CO_3^{=}$   | -2 (carbonato)            |
| Silicio   | $SiO_2$      | 0 (coloidal)              |
|           | $H_2SiO_3^-$ | -1 (ácido de carga débil) |

regeneradas com ácido e óxido de sódio, respectivamente. A água passa primeiro pelo trocador catiônico, onde os íons positivos (cátions) são trocados por íons de hidrogênio ( $H^+$ ), conforme se vê na Reação 6 da Figura 3.

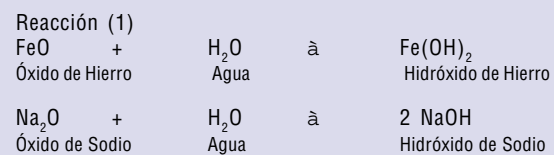
A solução ácida então passa através de um trocador aniônico, onde o ácido é neutralizado pela troca do ion ácido ( $Cl^-$ ) pelo íon hidroxila ( $OH^-$ ) (Ver Reação 7 na Figura 3).

### Conclusão

A tabela periódica dos elementos agrupa todos os elementos em famílias, o que nos ajuda a prever propriedades e determinar semelhanças. Mostramos que existe um acoplamento preferencial de certos elementos para formar reações (como a precipitação do  $CaCO_3$ ) que nos levam a métodos de remoção desses elementos da água. Pode-se fazer isso seletivamente (como no abrandamento) ou completamente (como na desmineralização).

### Figura 3. Reacciones

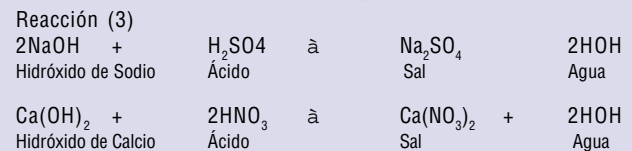
**Quando un metal se dissolve en agua, se forma una solución básica, o alcalina:**



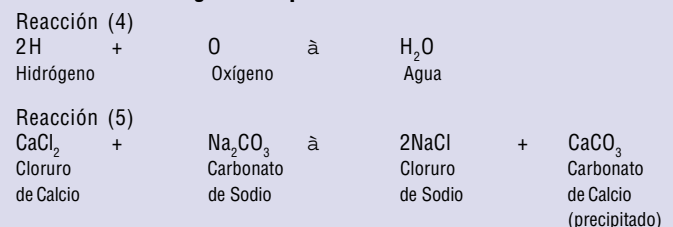
**Los no metales como el azufre y el nitrógeno también forman óxidos, pero al disolverse en agua, forman ácidos:**



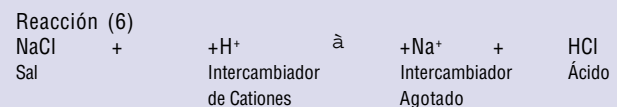
**Los ácidos neutralizan a las bases para formar sal y agua:**



**La formación de agua se expresa como:**



**Intercambio iónico con intercambiador de cationes:**



**Intercambio iónico con intercambiador de aniones:**

