

# **Frits H. Julius “Grundlagen einer phänomenologischen Chemie” (Fundamentos de una química fenomenológica) Parte II 1988**

## **Sales, ácidos y bases**

*Sinopsis de la enseñanza de química en el 10º año escolar*

### *Cristalización en las sales*

En este año escolar se parte de las sales, o sea de las sustancias que en su estado cristalizado son totalmente tierra, pero tierra fuerte y regularmente conformada y totalmente transparente.

Con ello ya tenemos el tema que es particularmente importante para los niños de esta edad. Ellos han atravesado la pubertad, los delicados lazos que aún tenían con el cosmos han sido cortados en su mayor parte. Ahora se han hecho ciudadanos plenos de la Tierra y tienen que aprender a orientarse con pensamientos claros en este ámbito que aún es nuevo para ellos. Su vida, que para su conciencia ahora se desarrolla en primera instancia sobre la Tierra, tiene que ser compenetrada por el pensar. Su pensar se tiene que tornar tan potente como para poder ordenar el caos de los fenómenos individuales, pero también tiene que ser tan sutil, tan “dócil”, como para poder captar verdaderamente la noble estructuración del universo en su conjunto.

Toda la época debería tener el siguiente estilo: una estructura del pensar clara, fuertemente resaltada, que ordena la multiplicidad de fenómenos, lo que permite iluminarla conceptualmente e incluso manejarla. Al reflexionar sobre el estilo de esta época realmente podemos poner frente a nosotros a modo de ideal un cristal de sal de forma noble y bella coloración.

Comenzamos por presentar una serie de sales. Es bueno utilizar desde el comienzo ciertos artilugios como para que la impresión sea lo más elocuente y característica posible. Una sustancia transparente como ésta con sus superficies brillantes se destaca menos sobre un fondo de papel blanco. Sobre papel negro y con iluminación de costado muestra una belleza conmovedora.

Quizás antes de eso aún podamos dejar cristalizar algunas sales: sal de cocina, sulfato de cobre, nitrato potásico y otras. Nos presentarán un brillo maravillosamente fresco y bello si aplicamos la iluminación correcta.

Si ahora nos referimos a la esencia de la sal, debemos recalcar la forma magníficamente rigurosa, la transparencia y claridad. Sin embargo, el verdadero milagro recién se manifiesta notoriamente si contemplamos a la sal

en relación con la totalidad de la naturaleza. La sal es tierra, es materia pesada, inmóvil, y a pesar de ello se abre en gran medida al juego de la luz. En realidad lo terrestre, el ámbito que está debajo de nosotros, es apático, oscuro y agobiante, mientras que la luz, que está por arriba, teje en un mundo muy sutil, claro. Existe el mayor contraste imaginable entre el ámbito de la luz allí arriba y el ámbito de la gravedad, allí abajo. El cristal de sal, que en realidad pertenece al ámbito de la pesadez, con todo está abierto en gran medida a las radiaciones del ámbito lumínico.

Para nosotros mismos podemos tener en cuenta lo siguiente: en tiempos muy remotos la materia fue secretada por el ámbito de la luz y densificada. La luz se ha hecho delgada, la materia ha perdido su capacidad de irradiar luz desde dentro y está a merced de la gravedad. Tales cristales muestran en medida extrema ese haber sido abandonados por la luz. En su esencia son portadores del recuerdo de la luz; pero justamente por eso pueden causarnos una impresión hueca, vacía. Si se los ilumina como para que parezca que se iluminan desde dentro, se logra un gran efecto. En cierta manera se los rescata de su caída y se los devuelve a su origen. Eso se puede lograr de diferentes maneras. Por ejemplo se puede tomar una tira de papel negro y cortar en ella pequeñas aberturas. Frente a cada abertura se coloca un bello cristal. Si se oscurece la habitación y se iluminan sucesivamente las aberturas, los cristales irradian una luz maravillosa. También se puede provocar una cristalización frente a un fondo oscuro con una potente iluminación lateral. Se toma por ejemplo una solución saturada de sal de mesa y se le agrega ácido clorhídrico concentrado. Eso puede producir un espléndido refulgir, a pesar de que los cristales frecuentemente son tan pequeños que no se los puede diferenciar claramente. Si los cristales son un poco más grandes, se ve cómo nacen conformando una delicada nubecita y descendiendo lentamente al fondo, relucientes y delicados como nieve recién caída.

Si se quiere experimentar en grande, se puede tomar un matraz de Erlenmeyer de 3 litros de contenido y verter en él una solución más o menos saturada de solución de nitrato potásico caliente. Si se la deja enfriar muy lentamente dentro del matraz bien envuelto, los cristales asumen formas fascinantes con delicados juegos de colores y gran transparencia.

En la cristalización en general, pero en especial en la de sal de cocina, se tiene ante la vista una imagen del primer surgimiento de la materia, de la condensación primigenia del espíritu en materia. Se produce una especie de caída, una expulsión de un mundo originario, pero en la maravillosa pureza queda conservado el recuerdo del origen.

Es bueno hacer que los alumnos sientan plenamente cómo en el estado líquido todo está en movimiento fluyente, arremolinado, y cómo la cristalización es como una protesta eternamente reiterada contra el estado líquido. Una y otra vez sale abruptamente del líquido un poco de sal y adquiere una forma sólida y filosa, delimitada por superficies planas; o sea que una y otra vez el movimiento fluyente es interceptado. En particular en los cristales cúbicos como los tiene la sal de cocina, esto es bien evidente. Una cristalización así se compone de muchos saltos de un estado al otro, los cuales son especialmente dramáticos. Siempre de nuevo se produce una transición que en realidad parece imposible, pero que con todo se produce.

Ahora es tiempo de buscar la sal en nuestro cuerpo. La encontramos ante todo en el esqueleto. También éste se forma mediante el depósito permanente y la fijación de materia salina de la sangre en circulación. Pero lo asombroso es que en este caso la sal no asume su propia forma, sino que se adapta plenamente a los requerimientos del cuerpo.

Si uno cree poder hacerse cargo de ello, se puede señalar específicamente en el caso de la cristalización de sal de mesa, que aquí tenemos frente a nosotros algo que se cumple en modo muy sutil en nuestro organismo, cuando formamos un pensamiento. Así como en el exterior la tierra se abre a la luz en el cristal de sal, del mismo modo en nuestro interior la materia tiene que asumir forma cristalina, si nuestros órganos corporales quieren en cierta manera hacerse transparentes para la realidad espiritual, cuya expresión son los pensamientos.

### *Fenómenos en la disolución de sales*

Una vez que uno se ha dedicado intensivamente a estos temas durante algunos días, se pasa a la disolución de sales. Por ejemplo se introduce un cristal en un vaso de precipitados con agua y se insta a los alumnos a observar lo que ocurre. El cristal se va achicando progresivamente y asume formas redondeadas. A su alrededor el agua se tiñe del color del cristal. La sal que primero estaba atrapada en sus paredes ahora se suelta y derrama en el entorno. Es como un anhelo del infinito, de una propagación y dilución incontenibles.

La cristalización es una constante desintegración en la multiplicidad, una especie de fragmentación, pero también un retrotraerse a la delimitación de las propias formas específicas. Si se tienen distintas sales en la solución, se verá que al cristalizarse cada una de ellas por separado asumirá su propia forma. Al

disolverse ocurre el proceso inverso. Los numerosos cristales de una sal se funden con el agua en una unidad. E incluso hay sales muy diferentes que pasan conjuntamente a la solución sin entorpecerse mutuamente.

Un proceso de disolución particularmente hermoso se produce si en un recipiente cilíndrico de vidrio lleno de agua se cuelgan desde arriba algunos cristales de permanganato de potasio. Por ejemplo se los puede pegar con un poco de vaselina a un corcho flotante o a lo sumo colgarlos envueltos en un trozo de papel de filtro. La solución intensamente violeta bajará al fondo, provocando cantidad de delicados remolinos. Lo mejor es colocar todo frente a un fondo blanco fuertemente iluminado. Entonces también se puede ver el efecto desde una distancia mayor.

Ahora es el momento de tratar en forma provisoria toda una serie de conceptos, que más adelante se tienen que desarrollar con mayor exactitud, para que, a su tiempo, también se puedan realizar cálculos. Solubilidad, concentración, solución saturada, insaturada, sobresaturada, agua de cristalización, difusión, ósmosis, calor de disolución y de cristalización, elevación del punto de ebullición, depresión del punto de fusión. Al respecto cabe señalar que todos estos conceptos pueden ser asociados con la vivencia anímica de la dinámica interna de los fenómenos, y que recién más adelante se debería deducir de allí la denominación matemática. Si en ello no se procede con mucha precaución, sólo se brinda un aporte a algo que ya de por sí se está cultivando en demasía: se conforman conceptos que son muy exactos y que ofrecen la posibilidad de manejar prácticamente los fenómenos, pero que son poco apropiados para crear una imagen viva de la realidad. Con este tipo de conceptos en los últimos siglos el ser humano se ha alejado cada vez más de la naturaleza, se ha convertido cada vez más en prisionero de su propia vida racional. Nuestra meta es conservar en el niño algo del vínculo que él tiene con el mundo que lo rodea. Tenemos que enseñarles a los alumnos a desarrollar pensamientos de tal índole, que no escindan el vínculo con el mundo, sino que lo eleven de la esfera de las sensaciones puramente instintivas a una esfera en la que reina la exactitud consciente.

En todo esto naturalmente es bueno y necesario no perder de vista las manifestaciones vitales, ante todo las del ser humano. Algunas menciones pueden mostrar en qué dirección se puede buscar este objetivo.

Ya hemos tratado la relación entre el pensar y la cristalización, también la formación del esqueleto. También se puede hacer referencia a cómo el envejecimiento va acompañado de un permanente depósito de sales en el esqueleto y finalmente también en las paredes de los vasos sanguíneos.

Al dormir se disuelve mucho de lo que se depositó durante la vigilia. Durante el crecimiento del esqueleto se produce una constante disolución de determinadas partes, mientras que en otros sitios se vuelve a depositar sustancia nueva.

Se puede hablar de la sangre como de una solución salina, de los riñones como de severos reguladores de la salinidad. Este nivel fijo de sales a su vez está íntimamente relacionado con el hecho de que los tejidos, y en especial los glóbulos rojos, dependen de una presión osmótica muy exacta. Eso tiene que ser tenido en cuenta en caso de transfusión de sangre después de una hemorragia intensa. Se puede hacer referencia a los problemas de ósmosis que enfrenta un salmón al pasar de agua dulce al agua salada y viceversa. Se puede decir que una rana no bebe, pero que no hay más que sumergir en agua un dedo de una rana semideshidratada, para restablecerla por completo.

Así existen muchos ítems, una parte de los cuales es importante y debería ser tratada indispensablemente, mientras que otros pueden ser elegidos a voluntad.

#### *Descomposición de las sales por fuego. Base y ácido*

Una vez que de esta manera se han analizado exhaustivamente los fenómenos relacionados con las sales, en especial aquellos que se presentan en la interacción con el agua, se puede investigar cómo actúa el fuego sobre las sales. Por ejemplo se sostiene un pedacito de sulfato de cobre azul en la llama de gas. Se verá que poco a poco va perdiendo su transparencia. Primero se torna blanco mate, luego marrón y hasta negro. Se convierte en una masa inerte, terrestre, insoluble. Si se calienta el cristal dentro de un tubo de ensayo resistente al fuego, se observa cómo primero se desprende el agua de cristalización en forma de vapor. De esa manera surge la masa color blanco lechoso. Luego emana un gas ácido burbujeante. Ese gas tiñe de rojo el papel de tornasol azul.

Si se calienta una sal como afronitro, nitrato de calcio, se desprenden vapores marrones, ácidos, y queda una masa químicamente activa, bastante soluble, de color blanquecino. Esa masa tiñe de azul el papel de tornasol rojo. Estamos en presencia de descomposiciones de sustancias. De una única sustancia, que para nuestra percepción forma una unidad completa, surgieron otras sustancias muy dispares. La sustancia inicial desapareció en la medida en que se generaron sustancias nuevas. Éstos son ejemplos típicos de la descomposición de sales. Ahora debemos dirigir nuestra atención a la

transición, al “intervalo” entre el primer estado de la sustancia y el subsiguiente, tal como ya lo hicimos en la cristalización. Pero en este caso nos limitamos a lo más importante, en la medida en que aquí no tenemos en cuenta al agua de cristalización. O sea que vemos cómo una sustancia transparente, bien conformada, pasa a ser una masa amorfa. El “recuerdo de la luz” del que hablamos desaparece, y en su lugar aparece algo que nos causa una impresión terrosa.

Si dirigimos nuestra atención específicamente al “intervalo” en la formación de vapor, veremos cómo una sustancia pesada, inerte, muy demarcada, libera una sustancia aeriforme, que se esparce finamente. La sal en reposo se transforma en parte en un gas en movimiento, activo, en este caso incluso agresivo.

Primero teníamos un trozo de tierra que se abría a la luz. Ahora por un lado tenemos tierra que se cierra a la luz, y por otro lado una sustancia que busca el ámbito lumínico y se identifica con él. La sustancia que permanece en reposo ha conservado la solidez de la sal. Por ello se la llama la base. La sustancia que se libera se ha llevado la transparencia.

Ya hemos hablado anteriormente de que resulta económico diferenciar entre aquellos puntos que se tratarán con mayor detenimiento, y otros en los que no se hace mucho más que enumerar los hechos. Ese principio se puede aplicar aquí.

Una vez que se ha analizado detenidamente la formación del estado ácido y básico de las sustancias a partir de la descomposición de la sal, enseguida se pueden enumerar los nombres de los ácidos y las bases más importantes:

Algunas de las bases más importantes      Algunos de los ácidos más importantes

soda cáustica	ácido sulfúrico
potasa cáustica	ácido sulfuroso
cal hidratada	ácido nítrico
magnesia	ácido nitroso
amoníaco	ácido clorhídrico
óxido de hierro	ácido fosfórico
óxido de cobre	ácido fosforoso
etc.	ácido carbónico
	ácido silícico      etc.

Se puede presentar estas sustancias y a la vez, si se dispone de tiempo suficiente, caracterizarlas un poco sobre la base de manifestaciones típicas.

Luego se analiza más extensamente el estado ácido y básico. Por ejemplo se colocan tres vasos de precipitados llenos de agua, teñida con solución de tornasol. En el vaso izquierdo se vierte un poco de soda cáustica, de manera que el líquido se torne azul, en el vaso derecho, ácido clorhídrico, de manera que el líquido se vuelva rojo. Luego se agrega ácido clorhídrico a la izquierda y soda cáustica en el derecho, con lo cual se intercambian los colores.

Se les puede hacer entender a los alumnos que el rojo es una manifestación característica del ácido activo, agresivo, y el azul de la base, que es más pasiva. En este contexto tiene menor importancia que existen otros indicadores que señalan el grado de acidez a través del color y con los cuales aparecen colores muy diferentes; son productos artificiales que tienen poca relación con la vida en la naturaleza. En cambio el tornasol nos muestra la manifestación original y típica que hemos desprendido de la naturaleza viva y que presentamos ahora en la mesa de laboratorio.

A pesar de que el tornasol se obtiene a partir de un líquen, de todos modos tiene el carácter de un pigmento floral. Ahora se hace referencia al frecuente cambio de pigmentación en flores, por ejemplo en las nomeolvides de rojo a azul. Quizás se pueda mostrar que también se puede utilizar jugo de repollo colorado en lugar de tornasol.

A continuación podemos aprontar tres recipientes: soda cáustica diluida, ácido clorhídrico diluido y agua de red. Si se desea, se puede agregar un poco de solución de tornasol a cada uno de los tres. Luego se puede hacer pasar a toda la clase y sentir cómo la primera sustancia deja los dedos resbaladizos, la segunda, ásperos. El tercer recipiente sirve para enjuagar los dedos. Se les recuerda a los alumnos cómo, al sumergir la mano en una solución de detergente o carbonato de sodio, se tiene la misma sensación resbalosa.

Luego buscamos dónde en nuestro cuerpo se encuentran ácidos y bases. Toda nuestra piel es levemente ácida debido a la transpiración. En cambio nuestra sangre tiene que ser levemente básica. Nuestra saliva es algo básica, nuestro estómago es bastante ácido, el intestino vuelve a ser básico. En general podemos decir que todo lo dirigido hacia fuera es ácido en mayor o menor medida, todo lo dirigido hacia adentro, básico. El estómago, además de su función recolectora, en primera línea también tiene la misión de rechazar influencias nocivas provenientes de la alimentación ingerida. Prácticamente ningún nutriente ingresa a la sangre a través de la pared del estómago. Un músculo que se tensa tiende más en dirección ácida; al relajarse vuelve a preponderar lo básico.

En el año 1929 apareció un librito “Diez años de Escuela Libre Waldorf”<sup>1</sup>. En él se encuentra un artículo muy sugestivo de Eugen Kolisko “Devenir y configuración de la enseñanza de las ciencias naturales en la Escuela Waldorf”<sup>2</sup>. En él Kolisko cita una afirmación de Rudolf Steiner en una clase en la que justamente se estaba tratando la formación de ácidos y bases: “Han visto todo esto que se les ha mostrado. Ahora piensen también qué de todo ello ocurre en sus cuerpos. Si mueven sus extremidades, siempre se forma un poco de ácido; pero cuando están totalmente quietos y sólo se esfuerzan con la cabeza, entonces se forma algo semejante a lejía en sus cerebros.” Un comentario como éste es casi más importante para el docente que para los alumnos. Indica en qué dirección hay que orientar la búsqueda.

Luego también se pueden identificar los ácidos y las bases en los animales. Diversos animales combaten con la ayuda de ácidos. Las hormigas incluso los lanzan como chorro al enemigo desde una considerable distancia.

En las indicaciones curriculares Rudolf Steiner pone especial énfasis en el tema de las abejas, en la contraposición entre el jugo alimenticio ácido y la sangre alcalina<sup>3</sup>.

En este contexto también es particularmente interesante el contraste entre tipos de suelos ácidos y básicos.

### *Formación de sales a partir de ácidos y bases*

Ahora pasamos a la acción recíproca de ácidos y bases. Tomamos por ejemplo un vaso de precipitados lleno de agua, vertemos óxido de cobre en él, con lo cual el agua clara se vuelve oscura y turbia. (Se puede producir el óxido de cobre previamente a partir de solución de sulfato de cobre caliente y soda cáustica caliente. El óxido de cobre obtenido de esta manera reacciona más rápido.) A continuación se agrega ácido sulfúrico diluido. Se observará cómo se aclara la masa oscura, convirtiéndose en un líquido azul cristalino. También se puede calentar previamente el agua, entonces todo ocurre más rápido aún. Si

---

<sup>1</sup> Número extraordinario de la revista “Zur Pädagogik Rudolf Steiners” (“La pedagogía de Rudolf Steiner”), Año III 1929, Nº 3/4.

<sup>2</sup> Contenido también en la presente compilación de textos (Nota de D. Rohde).

<sup>3</sup> Conferencias de Rudolf Steiner con los docentes de la Escuela Libre Waldorf en Stuttgart 1919-1924. Impresión de manuscrito, Nº 3, enero-noviembre 1921. Stuttgart 1962. Ver 17.6, página 41 (ahora también en la edición general GA 300b).

se ilumina desde abajo el vaso de precipitados, que no debe ser demasiado pequeño, entonces el proceso también se puede ver desde una distancia mayor y muchos detalles apasionantes se pueden observar con mayor claridad. Este ensayo nuevamente nos permite reconocer determinada característica de los ácidos. Tienen la capacidad especial de devorar lo que es demasiado terrestre y abrirle un camino a la luz. Precisamente a través de la iluminación se pone bien de manifiesto este efecto del ácido. Si se evaporara la solución azul, se obtendrían las laminillas transparentes, de forma noble y color azul intenso, de los cristales de sulfato de cobre. Se ha producido un proceso de un dramatismo similar al de la descomposición de la sal. Aquí una masa sin brillo y sin forma se convierte en cristales brillantes. Y un ácido activo, agresivo se convierte en una sal inactiva, estática.

Ahora podemos verter ácido clorhídrico concentrado en un tubo de ensayo; en la superficie se lo pone en contacto con un pedacito de soda cáustica. Se escuchará un fuerte chisporroteo, mientras que una cantidad de cristales salinos se desparraman y caen hacia abajo como nieve. También se puede realizar el ensayo de manera tal que llegue a provocar cierta sensación. Para ello se coloca el tubo de ensayo con el ácido clorhídrico en el soporte y se deja caer en el ácido el trozo de soda cáustica. El líquido comienza a hervir fuertemente y el tubo de ensayo comienza a bailar hacia arriba y abajo.

Una vez que de este modo se han tratado exhaustivamente diversos casos de formación de sal, se puede volver a dar muchos contenidos de la materia en forma sinóptica.

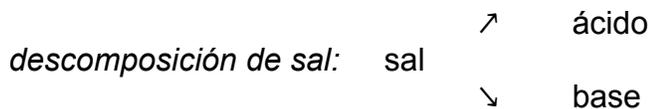
Se habla de la regla según la cual en principio se puede combinar cualquier ácido con cualquier base obteniendo siempre una sal. Eso se puede representar esquemáticamente de la siguiente manera:



Después se habla de la denominación de las sales y se confecciona una lista de los ácidos y las sales correspondientes. Luego se hace una lista de los nombres usuales en la vida cotidiana junto con sus nombres científicos.

### *Pasaje a las ecuaciones químicas*

Ahora se muestra cómo las reglas generales para la descomposición y la formación de sales pueden ser llevadas a esquemas simples:



o más abstracto aún:  $\text{sal} \rightarrow \text{base} + \text{ácido}$



De estos esquemas generales luego se pueden deducir reacciones especiales, insertando los nombres correspondientes. Como por ejemplo



o una descomposición de sal:



Así se van sentando paso a paso las bases para el posterior trabajo con ecuaciones y fórmulas químicas.

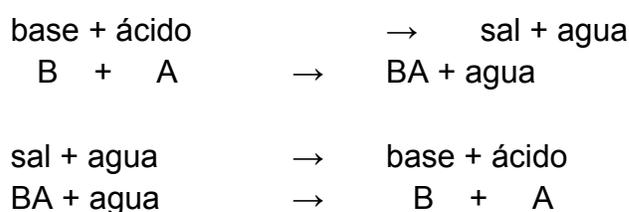
En realidad no es posible introducir ya las fórmulas en el programa del 10º año. Si se transita consecuentemente el camino del todo a las partes, si se considera el todo como lo primario y las partes resultantes del mismo como lo secundario, simplemente no se llega tan lejos. Además no es posible aún tratar los elementos químicos en forma tan exhaustiva y vívida como para poder contraponerle una abstracción tan avanzada. Si se hace de todos modos, fácilmente podrá aparecer una separación entre los alumnos. Los más intelectuales quizás caigan en la ilusión de que recién ahora lo han comprendido plenamente, siendo que en verdad han perdido la conexión con la realidad y además no han captado a fondo la problemática de las fórmulas. El sistema de fórmulas pasa a ser un juego intelectual. Para los menos intelectuales las fórmulas se convierten en una barrera más o menos incomprensible e infranqueable, que les quita el coraje de profundizar verdaderamente en el mundo de las sustancias.

A ello se suma otro punto importante. Al comienzo de las exposiciones sobre el 10º año habíamos visto que debemos prestar especial atención a una secuencia del pensar clara y transparente. Las ecuaciones generales como las

de la descomposición y la formación de sal satisfacen plenamente esta exigencia, mientras que las fórmulas completas llevan incorporadas tantas circunstancias que decae considerablemente la clara visión de conjunto.

Veremos que es mejor demorar el tratamiento de las fórmulas hasta el 11º año. Las fórmulas además tienen la desventaja de que involuntariamente desvían la atención del hecho de que cada substancia, sea un elemento o un compuesto, se presenta como unidad completa. Si se expresa la denominación “ácido sulfúrico”, ella está en armonía con esa unidad. Si se escribe la fórmula  $H_2SO_4$ , la atención se centra en que esa substancia puede ser compuesta a partir de otras substancias.

Con todo es posible acortar un poco más nuestras ecuaciones generales y así hacerlas más abarcables. Lo hacemos de la siguiente manera:



La fórmula BA para una sal en realidad también ya es demasiado analítica, pero en última instancia toda abstracción, incluso la más cautelosa, conduce fuera del ámbito de la realidad. Probablemente haya que condescender con eso.

Si en el tratamiento del contenido hemos arribado a este punto, hemos llegado a un hito muy importante. Ahora los alumnos tienen a su disposición el bagaje necesario para no sólo poder aprehender claramente los procesos, sino también saber de antemano cómo va a transcurrir un proceso químico. Incluso pueden hacer que los procesos transcurran de acuerdo a una planificación previa. Si por ejemplo se quiere obtener nitrato de cobre, hay que dejar interactuar hidróxido de cobre y ácido nítrico. Los alumnos pueden hacer predicciones en este campo y comprobar mediante el experimento si estaban en lo cierto.

### *Relaciones de peso*

Si se tiene la intención de introducir más tarde los conceptos de peso atómico y peso molecular, no me parece inapropiado señalar en este punto que todos estos procesos se cumplen de acuerdo a relaciones fijas de peso. Cuando todavía no hace falta hacer cálculos rápidos, este hecho puede ser tratado con mayor facilidad como expresión de una armonía estricta de la naturaleza; en

cambio más adelante ya no sería posible. Se puede partir convenientemente de los pesos equivalentes, por ejemplo:

soda cáustica	40
ácido sulfúrico	49
sulfato de sodio	71
agua	9

soda cáustica + ácido sulfúrico	sulfato de sodio + agua
40 + 49	71 + 2 x 9

Me parece imprescindible permanecer estrictamente en el ámbito de los números abstractos, pues sólo así se hace evidente que se trata de relaciones de peso y no de pesos absolutos. Ateniéndose a esto, se pueden realizar cálculos sencillos. Por ejemplo se pregunta cuánto sulfato de sodio se obtiene si se toman 80 gramos o se toman 2 gramos de soda cáustica.

soda cáustica + ácido sulfúrico	→	sulfato de sodio + agua
40 : 49	:	71 : 18
80 : 2 x 49	:	2 x 71 : 2 x 18
2 : $\frac{49}{20}$	:	$\frac{71}{20}$ : $\frac{18}{20}$

Si a los alumnos se les da una lista de los pesos equivalentes, se puede realizar todo tipo de cálculos.

### *Oxígeno – oxidación – combustión y formación de óxido*

Ahora mostraremos que los ácidos se forman a través de la combustión de diferentes sustancias, y las bases a través de la oxidación de los metales. O sea que tenemos que analizar más a fondo el papel que desempeña el oxígeno en la formación de ácidos y bases.

Al respecto se puede proceder históricamente y exponer cómo el oxígeno fue descubierto por Priestley. Así no sólo se tiene la gran ventaja de poder seguir el curso de la evolución histórica, que por lo general va de la mano de una instructiva lucha por el esclarecimiento de los conceptos, sino que además se

obtiene la oportunidad de intercalar biografías. Esto es importante, en particular para las niñas, que tienen una mayor necesidad que los varones de absorber todo desde lo anímico y relacionarlo con lo humano.

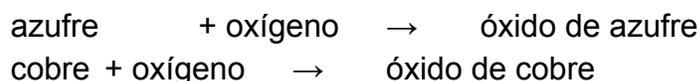
Priestley produjo un gas desconocido calentando óxido de mercurio y constató que promueve el proceso respiratorio y mantiene activa la combustión. O sea que se trataba de un gas con propiedades aéreas incrementadas.

Ahora por ejemplo podemos quemar azufre o fósforo y mostrar cómo el vapor y el humo ascendentes tiñen de rojo un papel de tornasol azul humedecido. Para completar podemos mostrar que esas sustancias sólo arden, si hay suficiente oxígeno en el entorno. Eventualmente todavía podemos intensificar la combustión suministrándole oxígeno puro.

Luego ponemos un pedazo de hierro en un lugar húmedo para dejar que se oxide. El metal duro y brillante lentamente se va volviendo opaco, se deformará y desintegrará, convirtiéndose en una masa costrosa, de color marrón rojizo. Lo que es particularmente interesante en este proceso es que se cumple tan lenta y flemáticamente. Eso les resultará poco atractivo a los alumnos, o sea que lo mejor es mostrar a la vez un trozo de hierro bien oxidado.

Además se puede calentar un pedazo de hierro reluciente y un pedazo de cobre reluciente. Se verá que la superficie brillante pronto se pone opaca. Luego podemos comentar y eventualmente mostrar que el óxido de cobre formado es la misma sustancia que la base que obtuvimos por descomposición (calentamiento) de sulfato de cobre.

Ahora comparamos los dos procesos, la combustión y la oxidación. Ambas en principio provienen de la acción del oxígeno. Si se los expresa en ecuaciones químicas, también tienen exactamente el mismo aspecto:



En cuanto a la dinámica y a la imagen que nos muestran, sin embargo, ambos procesos son de índole absolutamente opuesta.

La combustión se produce en forma rápida. Es uno de los procesos especialmente llamativos y brillantes debido a su producción de luz y calor y por los olores irritantes que normalmente aparecen. La sustancia que primero está frente a nosotros como un objeto sólido, es consumida por completo y convertida en un gas que se mueve y llena todo el espacio. Todo el proceso está dirigido en primera línea hacia arriba.

La oxidación se produce lentamente. El metal de superficie lisa y brillante en cierta manera se aparta de la luz y se torna opaco y semejante a la tierra. No hay mayores indicios de generación de calor. Mientras que la sustancia en

combustión ingresa junto con el oxígeno en la esfera del mismo, la substancia en oxidación atrae hacia sí el oxígeno.

Algo misterioso es que la combustión recién comienza cuando se ha alcanzado una determinada temperatura de combustión, mientras que la oxidación también se realiza con frío. No obstante, este enigma puede convertirse en la clave para comprender el orden subyacente a todo esto. La combustión es estimulada por el calor, la oxidación por la humedad. Durante la combustión por lo general se producen gases y otras substancias volátiles. Durante la oxidación se generan substancias terrosas.

combustión	producida por calor. . . . .	fuego
	resultado: gas – vapor . . . . .	aire
oxidación	producida por humedad . . . . .	agua
	resultado: substancia terrosa . . .	tierra

Vemos que ambos procesos comienzan a translucir su interrelación mutua, ni bien uno visualiza los cuatro elementos como trasfondo. De ese modo también se torna particularmente interesante el hecho de que se puede proceder contra la oxidación con grasas y aceites, o sea con substancias combustibles “fogosas”, mientras que un incendio se combate con agua.

En este momento podemos mostrar cómo los productos de la combustión de substancias como carbono, fósforo y azufre se convierten en ácidos mediante el agua, mientras que los óxidos de metal aparecen como bases. Todo esto a su vez constituye un aporte a la explicitación de las propiedades características de ácidos y bases. El ácido es, por así decirlo, la avanzada química de los dos elementos superiores calor y aire. Esto explica mucho de su movilidad agresiva y de su capacidad de abrirle camino a la luz.

La base es la avanzada química de los dos elementos inferiores. Eso explica su capacidad de atraer ávidamente los vapores ácidos y de fijarlos. Las bases fuertes como la soda cáustica tienen más conexión con el elemento acuoso; las bases insolubles, los óxidos de los metales pesados, tienen más conexión con el elemento terrestre.

Más adelante veremos cómo las cualidades del ácido silícico están en gran medida en contradicción con esto; pues ese ácido hace un considerable aporte a la solidez de la corteza terrestre, pero tiene a la vez una relación especial con el lado cósmico de la naturaleza. El amoníaco también es una excepción entre las bases: es muy volátil.

*La importancia del camino emprendido*  
*La lucha por la imagen en química*

En este punto podríamos volver a preguntarnos por qué todo esto tiene que ser tratado en forma tan complicada, por qué no se pueden deducir desde el comienzo de la época los ácidos y las bases a partir de la combustión y la oxidación y desde allí volver a componer las sales. De la estructuración tal como la hemos descrito se pueden obtener varias respuestas. Si se comienza con la sustancia en proceso de combustión y oxidación, éste es un método analítico, a pesar de que aparentemente se procede en forma constructiva, sintetizadora. Pero el objetivo último siempre es centrarse en las sustancias que componen las unidades superiores como ácidos, bases y sales, y tratarlas como si fueran parte de una construcción. Sin querer se pierde de vista el conjunto. Si se emprende el camino inverso, tal como lo hemos hecho, uno se mantiene constantemente atado a la totalidad, aun cuando se descienda profundamente a la descomposición analítica.

De allí surge que este método está en sintonía con las leyes evolutivas de un ser vivo. Pues éste siempre comienza como un todo relativamente poco diferenciado y de allí va evolucionando hacia una diferenciación cada vez más sutil. Con nuestro método se trabaja pues en concordancia con el desarrollo del niño, el cual también sigue las leyes generales de la vida.

A través de los métodos analíticos, tal como son usados en general en las ciencias naturales, siempre se corre el riesgo de desintegrar la imagen del mundo en detalles poco coherentes. Es cierto que uno se forma conceptos muy precisos en relación con los fenómenos, pero se presta poca atención a esos fenómenos como expresión del verdadero contexto en el cual están inmersos.

Con la precisión de los conceptos, con las definiciones infalibles, en verdad constantemente se escinden partes de la totalidad del universo. Muchas veces la claridad de los conceptos resulta tan imponente, que se comienza a considerar los detalles como un todo independiente. Los creadores de teorías mecánicas, por ejemplo, padecen este mal. Quieren explicar la realidad a partir de aquellos componentes sobre los cuales se pueden desarrollar las ideas más claras. En cambio si se parte del todo, así como intentamos hacerlo nosotros, los conceptos de los detalles que se desarrollan a partir de la totalidad siempre se mantienen en una conexión equilibrada entre sí y con el mundo. Entonces adquieren un aspecto que nos remite a los órganos de un ser vivo. De esa manera se forma en los alumnos una orientación totalmente distinta en la vida. Ellos desarrollan el hábito de mantener la visión orientada hacia la totalidad del universo, determinando su propio juicio y su lugar en el mundo desde allí.

Puede resultar especialmente fructífero tratar la formación de ácidos y bases en combinación con el gran investigador francés del siglo 18, Lavoisier. Él es el

verdadero descubridor del papel del oxígeno en la formación de ácidos y bases. Para hacer comprensible la tendencia de su obra, en realidad hay que meterse un poco en el tema de los alquimistas. Se puede exponer cómo los más serios entre ellos en el fondo no buscaban un provecho material, sino cómo su búsqueda estaba orientada hacia el desarrollo interior con la ayuda del experimento químico. Con ello también se relaciona la extraña elección de denominaciones, que es una especie de lenguaje metafórico. Las mismas son alusiones a sustancias y estados de las sustancias así como también a perífrasis de procesos evolutivos internos del ser humano. En los experimentos, su mirada estaba puesta ante todo en la imagen del proceso, de la cual también nos hemos ocupado nosotros. Para ellos las imágenes y la transformación de las imágenes eran expresión de lo divino en la naturaleza.

En la época de Lavoisier, la corriente alquímica había dejado muy atrás su momento de apogeo, cayendo en confusión y decadencia. Y él contribuyó notablemente a terminar de erradicar a fondo los restos de la concepción alquímica.

Para Lavoisier la balanza era el instrumento más importante, quiere decir que intentaba aproximarse a todos los fenómenos desde el lado del peso. De esa manera se excluía por completo la imagen. Es sumamente extraño que pudiera pesar el oxígeno antes de saber que el mismo existe. Dejó oxidar estaño en un recipiente cerrado y pudo mostrar que algo del aire pasaba al metal en proceso de oxidación. El peso total se mantenía constante, mientras que el metal se hacía más pesado. Cuando escuchó a Priestley hablando de su combustión de oxígeno, después de un breve lapso pudo desarrollar su teoría de la combustión.

También hizo un aporte importante a las denominaciones modernas carentes de imágenes. El nombre Oxygenium – formador de ácido, oxígeno, proviene de él, así como “óxido” para un compuesto de oxígeno.

También se lo suele relacionar con la ley de la conservación de la materia. Como hombre práctico que era, probablemente se haya centrado en primera línea en el método de trabajo. Él basó sus experimentos en la convicción de que el peso total de las sustancias que participan de una reacción siempre se mantiene constante. Ésta en realidad sólo es una hipótesis de trabajo. Seguramente nunca habría sacado de allí la conclusión, como más adelante lo hicieron los materialistas, que el ser eterno no es propio de un ser divino y menos aún del alma humana, sino de la materia. Si ésta no puede generarse ni desaparecer, entonces no hay creación posible. O sea que tales elucubraciones le quitaron su poder a la divinidad y pusieron a la materia en el trono de Dios.

A Lavoisier se lo considera el fundador de la química moderna. Y efectivamente ésta contempla al mundo de las sustancias en primera línea desde los puntos

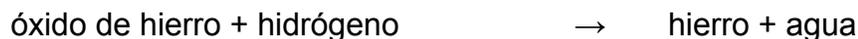
de vista de la materia y la energía. Quizás sea bueno tratar estos temas con los alumnos, siendo que en el ínterin se ha llegado a la conclusión de que efectivamente la materia puede ser aniquilada y que también puede generarse, o sea que el materialismo ha sido refutado en este contexto. Además podemos señalar la unilateralidad de tales observaciones precisamente a través de la combustión y la oxidación. Si sólo se presta atención al peso, desaparecen las diferencias entre ambos procesos. Si se presta atención a la imagen y a la dinámica, se descubren los mayores contrastes. Hasta cierto grado resulta sensato considerar la oxidación sólo desde el punto de vista de la gravedad. En cambio el fuego está en permanente contraposición con la gravedad. Está tan en sintonía con el lado lumínico radiante e imponderable del mundo como el proceso de oxidación está en sintonía con la pesadez. Con tales pensamientos no sólo se le puede transmitir al joven una cosmovisión armónica, sino que incluso debe ser posible brindarle una ayuda en su búsqueda de una actitud propia frente al mundo. Él acaba de atravesar como experiencia profunda la escisión del ser humano en el sexo masculino y femenino. A la vez ha ingresado en un juego de fuerzas que por un lado lo puede elevar y llenar de idealismo, pero que en parte también lo puede tirar hacia abajo. Se siente desgarrado.

Una especie de imagen de este drama se presenta ante él en forma objetivada en la descomposición de sales en ácidos y bases, en los procesos de la combustión y la oxidación y todo lo que se puede asociar con esto. Mientras él se siente en mayor o menor medida expulsado de la protección de la unidad universal divina, esta imagen puede contribuir a la sensación: también lo que él tiene que atravesar en esta etapa de su vida está fundado sobre profundas leyes universales. Su propio drama se convierte en parte del drama universal. Él está frente a la tarea de encontrar, a través de la lucha interna, una actitud nueva, digna del ser humano, en medio del juego de fuerzas que recién ahora se le revela. En el pasado tuvo que conquistar físicamente la actitud erguida entre el mundo de la luz encima de él y el mundo de la pesadez debajo de él. A esta edad se percata interiormente de que hay algo que lo quiere tironear hacia arriba a mundos ilusorios y algo que lo quiere tirar hacia abajo, atándolo a fuerzas sombrías. Tiene que aprender a erguirse interiormente en este campo espiritual, tal como lo ha hecho antes a nivel corporal. Tiene que encontrar conscientemente una nueva posición de equilibrio espiritual. Los contenidos de las clases acá descriptos pueden servirle de apoyo en este camino.

## Reducción

Hemos llegado entonces al punto en el que se pueden tratar más de cerca los fenómenos de la reducción.

Se echa óxido de hierro marrón, pulverizado, en un tubo de vidrio resistente al fuego. Luego se hace pasar por él gas de alumbrado o hidrógeno y se calienta el tubo en el lugar donde está el óxido. Se ve cómo el polvo se torna color negro grisáceo, mientras se precipita agua en las paredes. Esto se puede trasladar inmediatamente a una ecuación química. Primero teníamos hidrógeno y óxido de hierro, ahora hierro y agua.



Lo mismo también podría expresarse de la siguiente manera:



Una vez enfriado, se puede mover el polvo hacia arriba dentro del tubo, con un imán, una clara demostración de que se ha formado hierro metálico. También se puede, mientras el tubo siga caliente, hacer pasar aire. Entonces se observará que el polvo en seguida vuelve a cambiar de color. Retorna a ser óxido de hierro.

De un modo especialmente impactante se puede mostrar el cambio entre oxidación y reducción, calentando bastante intensamente una placa de cobre y luego dejando que la llama de gas juguete en su superficie. Dentro del ámbito de la llama, el metal se torna reluciente; donde la llama se aleja, se produce una rápida oxidación, que primero se expresa en un maravilloso juego de colores y finalmente termina en una capa negra. Cuanto más tiempo se mueve la llama de un lado al otro, tanto más espléndidamente relucen los colores.

Los alumnos ya tienen una idea de lo que pasa en la reducción, ya que en el 9º año se trató detalladamente la asimilación de ácido carbónico. En ella se debe ver justamente la imagen arquetípica de un proceso de reducción.

Al tratar el descubrimiento del oxígeno ya hemos analizado la descomposición del óxido de mercurio por calentamiento.

A menudo la reducción es provocada con la ayuda de sustancias bastante inflamables como hidrógeno, carbono y óxido de carbono. Esto permite reconocer cuál es el quid de la cuestión. Las sustancias combustibles se encuentran en un estado de tensión frente al entorno. En cierta manera están cargadas de energía que al quemarse irradian en forma de luz y calor. Los óxidos, en cambio, están en un estado totalmente relajado. Si se quiere volver

a hacer aparecer la sustancia inicial a partir de un producto de combustión, hay que volver a generar esa tensión suministrando calor y luz.

En la asimilación de ácido carbónico la luz solar hace que se transforme óxido de carbono en carbono.<sup>4</sup> En el análisis de óxido de mercurio se usa el calor de la llama de gas o, como en el caso de Priestley, el calor del sol.

En la reducción de óxido de hierro el gas de hidrógeno atrapa al oxígeno y le da al hierro algo de su energía.

Es apropiado señalar que no sólo la combustión, sino también la oxidación de los metales va acompañada de irradiación de calor. Pero por lo general no se la percibe, porque se produce lentamente. Si se acelera el proceso como en el polvo de hierro esparcido en la llama de gas, también se ve encenderse el metal formando chispas.

De este modo se puede señalar que en todo proceso químico se produce una acción recíproca entre lo ponderable y lo imponderable. Siempre se absorbe o se irradia luz o calor.

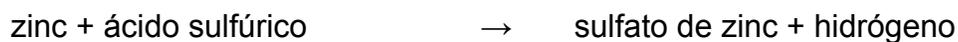
Uno puede tratar este punto al analizar la reducción manteniéndolo todavía totalmente fuera de la esfera de lo cuantitativo y relacionándolo en cambio con los procesos vitales y revistiéndolo de pensamientos que transcurren más en forma de imágenes.

### *Disolución de metales en ácidos fuertes*

A parte de la formación usual de sales a partir de ácido y base, también existe la posibilidad de formar sales disolviendo un metal en un ácido. En ese proceso se producen transformaciones significativas.

Por ejemplo se echa ácido sulfúrico levemente diluido en un tubo de ensayo y se le agregan algunos trocitos de zinc. El zinc es devorado inmediatamente provocando un intenso chisporroteo. Se desprende un gas fácilmente inflamable. Finalmente abajo en el tubo se acumula una masa cristalina clara.

Nuevamente se puede establecer con facilidad la ecuación de reacción del proceso que se ha desarrollado:



A través del ácido, el metal es convertido en cristales de sal.

Aquí estamos frente a una de las transformaciones más extrañas. Ya hemos caracterizado a la materia como aquella parte del universo que ha sido

---

<sup>4</sup> Sin embargo, la liberación de O<sub>2</sub> proviene de la descomposición de H<sub>2</sub>O (Nota de D. Rohde)

abandonada por la luz.<sup>5</sup> En los metales incluso se ha producido una especie de polo opuesto a la luz. Si se sostiene un trozo de metal a contraluz, aparece como masa oscura. Y en verdad carece totalmente de transparencia. A eso se suma que los metales son las sustancias más reflectantes. O sea que rechazan en gran medida la luz. A la vez el efecto reflectante es señal de que, a pesar de todo, los metales están de alguna manera en sintonía con la luz. Esto es tanto más válido, cuanto más reflejan, o sea que la plata es la máxima expresión de este hecho.

Si se disuelve un metal en un ácido, se superan por completo las propiedades de rechazo de la luz. El ácido vuelve a abrirle camino a la luz.

Si se deja que el metal genere inmediatamente los cristales de sal, como en el experimento anteriormente descrito, entonces la plasticidad del metal, la densa docilidad, adquiere una cualidad conformada y rígida.

En este contexto es particularmente interesante que las sustancias sólidas transparentes nunca sean buenos conductores eléctricos, mientras que los mejores conductores, los metales, son los que más rechazan la luz. En este punto se pone de manifiesto con claridad el contraste entre luz y electricidad. Donde una encuentra acceso, la otra es excluida.<sup>6</sup>

Todos estos fenómenos permiten reconocer que también existen estados polares de las sustancias. El estado metálico y el estado cristalino transparente forman un contraste de ese tipo.

### *Electrólisis*

Llegados a este punto, bien podemos introducir los primeros fenómenos de la electrólisis. Pero también esto habrá que hacerlo de un modo particular adaptado al 10º año, sin adelantarse a los contenidos de la teoría de la electricidad del 11º año.

Se puede partir de una solución de sal diluida (no sal de cocina u otras sales halógenas) y teñirla con tornasol. Como electrodos primero se pueden usar varillas de carbono, más adelante también ciertas varillas de metal. Se obtiene lo siguiente:

---

<sup>5</sup> Ver página 1, Cristalización en las sales.

<sup>6</sup> Rudolf Steiner, Primer curso de ciencias naturales ("Curso de la luz"), Stuttgart, 23.12.1919 hasta 3.1.1920. "Impulsos de las ciencias naturales para el desarrollo de la física" GA 320. Ver conferencias 9 y 10.

–	+
<i>Cátodo:</i>	<i>Ánodo:</i>
tendencia a la formación de lejía	tendencia a formación de ácido
eliminación de hidrógeno	eliminación de oxígeno
fenómenos de reducción	fenómenos de oxidación
eliminación de metales	disolución de metales

De este modo se obtiene una fenomenología de los electrodos. Se ve cómo la electricidad en su polaridad está relacionada con los opuestos que ya hemos tratado.

Habría que dejar de lado toda la teoría. Desde el punto de vista de la práctica y la aplicación, en este momento es mucho más importante una caracterización de los fenómenos que las explicaciones abstractas.

De ese modo incluso ya se sientan ciertas bases para la época de física (teoría de la electricidad) en el 11º año.

### *Conclusiones de la época*

#### *Desplazamiento de bases – Desplazamiento de ácidos – Doble conversión*

Sigue una parte de la época en la cual aún se introducen una cantidad de fenómenos nuevos, que incluso pueden estar entre los más sorprendentes, pero que podremos abordar en gran medida con los conceptos que ya hemos adquirido. Eso da la oportunidad de una constante repetición y ejercitación. Los alumnos aprenden, por así decirlo, a jugar con los conceptos. Tienen que ser conducidos a que en muchos casos encuentren la explicación por sí mismos y tienen que imaginar procesos que luego son puestos a prueba en el experimento.

Además se tratan todas las posibilidades que existen para la combinación de sales con ácidos y bases. En esencia son tres las combinaciones abordadas: bases y sales, sales y ácidos, sales y sales; luego se las reúne y se pueden observar los resultados.

Empezamos por ejemplo con agregar una base a una solución salina. Si para ello se usa sal de mesa y óxido de cobre, no pasará nada, al igual que con sal de mesa y soda cáustica. En cambio se presenta un fenómeno asombroso si se vierte soda cáustica en una solución no demasiado diluida de sulfato de cobre celeste. Se obtiene un precipitado azul de una exquisita transparencia apenas velada. Si se observa detenidamente el proceso, se ve cómo se forma una cantidad de burbujitas. En ellas hay soda cáustica; las paredes están compuestas por una delicada substancia gelatinosa, alrededor se encuentra la solución de sulfato de cobre. Tales burbujas, que también pueden presentarse

en otras sales, a veces se parecen a animales inferiores. Si se destruye una de ellas, el contenido se derrama, pero inmediatamente se vuelve a rodear de una nueva piel. Se produce algo parecido a una cicatrización. Por ello estas burbujitas son bastante estables, a pesar de su delicadeza.

Naturalmente el docente probará el experimento por su cuenta, con todas las posibles variantes, para poder mostrar el fenómeno de la manera más impactante posible. Por ejemplo se pueden utilizar diferentes tubos trabajando con diferentes concentraciones. Si se trabaja con recipientes grandes y además se los ilumina desde abajo, se obtienen efectos muy cautivantes.

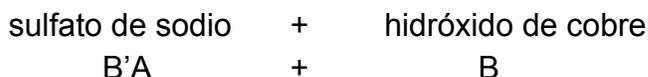
En cierto sentido la imagen se hace más contundente, si se vierte una solución de sulfato de cobre en un poco de soda cáustica. Las escamas azules se forman entonces dentro de un líquido incoloro. Se presenta algo muy sorprendente si se cuelga un cristal de sulfato de cobre en soda cáustica. En ese caso se pueden obtener columnas de precipitado.

Se pueden realizar experimentos parecidos a éstos combinando las sales de otros metales pesados con bases fuertes.

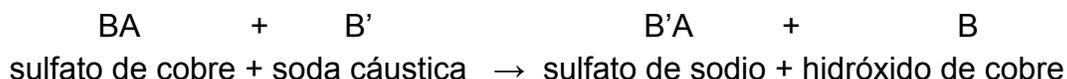
Si ahora les planteamos a los alumnos la pregunta de cuál es el proceso que se cumplió, seguramente habrá algunos que lograrán descubrirlo. Anotamos:



Prácticamente no hay otra opción que la de la formación de una nueva combinación, a saber



Entonces todo el proceso se ve de la siguiente manera:



La base fuerte, muy soluble, ha desplazado a la débil, poco soluble. Si eso es correcto, tenemos que poder disolver nuevamente el precipitado azul con un ácido fuerte. Efectivamente funciona. Al respecto por supuesto no hay que olvidar de prestar debida atención a la llamativa imagen de la disolución.

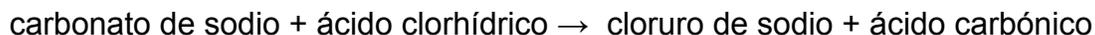
Si nuestro razonamiento fue correcto, en la solución tiene que haber sulfato de sodio, y el precipitado azul tiene que ser una especie de hidróxido de cobre. Demostrar lo primero es difícil, pero los alumnos admitirán que les digamos que realmente se ha formado sulfato de sodio. Lo segundo puede ser fácilmente

demostrado, calentando el precipitado azul gelatinoso. Se forma entonces una masa de color negro amarronado de óxido de cobre. Luego ya no es difícil reconocer que el precipitado azul es óxido de cobre con contenido de agua, o sea hidróxido de cobre. Ese tipo de hidróxidos pueden ser considerados como una base que se ha estancado a mitad de camino entre el estado disuelto y el estado sólido.

Si se junta un ácido con una sal, las manifestaciones nuevamente pueden ser muy dispares. Si se vierte ácido clorhídrico en una solución de sulfato de sodio, no se observará cambio alguno. Pero si se vierte ácido clorhídrico en carbonato de sodio, comienza a sisear y borbotear, se desprende el volátil ácido carbónico. Una vez más no es difícil entrever lo que ocurrió aquí:



La ecuación permite reconocer que también tiene que generarse BA', cloruro de sodio.

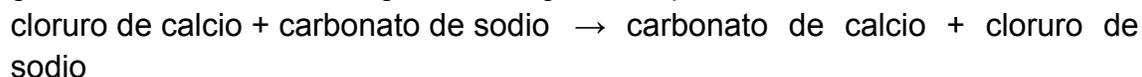


De aquí nuevamente se deriva una regla general: si se agrega un ácido fuerte a la sal de un ácido débil, el ácido débil es desplazado, y se forma una sal del ácido fuerte. A lo sumo se puede señalar que la volatilidad del ácido también desempeña un papel.

El desplazamiento del ácido es de gran significación para la práctica. Quizás sea coherente tratar la obtención de ácido nítrico, ácido clorhídrico, gas de ácido carbónico y otros ácidos a partir de sus sales.

En tales experimentos es importante mostrar cómo en un típico desplazamiento de bases una sustancia es empujada hacia abajo, a la esfera de la gravedad, mientras que en el desplazamiento de ácidos una sustancia es elevada a la esfera de la luz.

Como última posibilidad de una acción recíproca entre ácidos, bases y sales todavía tenemos la interacción de dos sales. Si agregamos solución de sal de mesa a una solución de sulfato de potasio, no pasa nada. En cambio si se toma cloruro de calcio y carbonato de sodio, se forma un precipitado blanco. Resulta extraño ver cómo dos líquidos ultratransparentes producen, al ser mezclados, como por arte de magia, una masa sólida, opaca. Este precipitado no es gelatinoso, sino más bien granulado. ¿Qué ha pasado?



Por ende el precipitado podría ser carbonato de calcio o cloruro de sodio. Como este último es mucho más soluble, la única opción es el carbonato de calcio. A través de la otra combinación de ácidos y bases se formaron dos sales nuevas. De allí se puede deducir la regla: si se mezclan las soluciones de dos sales, se produce la doble conversión con generación de precipitado, cuando una de las combinaciones ácido-base posibles da una sal poco soluble. Ahora se debería dar cierta sinopsis de cuáles son las sales muy solubles y cuáles las menos solubles. Si es que los alumnos no la tienen ya, ahora se les puede mencionar una serie de las más importantes sales poco solubles; y luego también los ácidos y las bases cuyas sales siempre son muy solubles. Entonces los alumnos pueden explicar por sí mismos los fenómenos e incluso predecirlos.

A continuación se puede hacer referencia a la aplicación de la doble conversión en la comprobación de determinadas sales en una solución. Con agua de mar se pueden realizar experimentos bien bonitos al respecto.

También se puede comentar en este contexto el problema del agua dura; porqué el jabón se corta y porqué el carbonato de sodio baja la dureza del agua.

Finalmente se puede producir toda una serie de sales a través de la doble conversión; por ejemplo cromato de plomo (amarillo de plomo), carbonato de plomo (blanco de plomo), cloruro de mercurio (sublimado) o nitrato de potasio.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> ¡Atención, precaución con sustancias peligrosas! (Nota de D. Rohde)

# **Frits H. Julius “Grundlagen einer phänomenologischen Chemie” (Fundamentos de una química fenomenológica) Parte II 1988**

## **Sales, ácidos y bases**

*Sinopsis de la enseñanza de química en el 10º año escolar*

### *Cristalización en las sales*

En este año escolar se parte de las sales, o sea de las sustancias que en su estado cristalizado son totalmente tierra, pero tierra fuerte y regularmente conformada y totalmente transparente.

Con ello ya tenemos el tema que es particularmente importante para los niños de esta edad. Ellos han atravesado la pubertad, los delicados lazos que aún tenían con el cosmos han sido cortados en su mayor parte. Ahora se han hecho ciudadanos plenos de la Tierra y tienen que aprender a orientarse con pensamientos claros en este ámbito que aún es nuevo para ellos. Su vida, que para su conciencia ahora se desarrolla en primera instancia sobre la Tierra, tiene que ser compenetrada por el pensar. Su pensar se tiene que tornar tan potente como para poder ordenar el caos de los fenómenos individuales, pero también tiene que ser tan sutil, tan “dócil”, como para poder captar verdaderamente la noble estructuración del universo en su conjunto.

Toda la época debería tener el siguiente estilo: una estructura del pensar clara, fuertemente resaltada, que ordena la multiplicidad de fenómenos, lo que permite iluminarla conceptualmente e incluso manejarla. Al reflexionar sobre el estilo de esta época realmente podemos poner frente a nosotros a modo de ideal un cristal de sal de forma noble y bella coloración.

Comenzamos por presentar una serie de sales. Es bueno utilizar desde el comienzo ciertos artilugios como para que la impresión sea lo más elocuente y característica posible. Una sustancia transparente como ésta con sus superficies brillantes se destaca menos sobre un fondo de papel blanco. Sobre papel negro y con iluminación de costado muestra una belleza conmovedora.

Quizás antes de eso aún podamos dejar cristalizar algunas sales: sal de cocina, sulfato de cobre, nitrato potásico y otras. Nos presentarán un brillo maravillosamente fresco y bello si aplicamos la iluminación correcta.

Si ahora nos referimos a la esencia de la sal, debemos recalcar la forma magníficamente rigurosa, la transparencia y claridad. Sin embargo, el verdadero milagro recién se manifiesta notoriamente si contemplamos a la sal

en relación con la totalidad de la naturaleza. La sal es tierra, es materia pesada, inmóvil, y a pesar de ello se abre en gran medida al juego de la luz. En realidad lo terrestre, el ámbito que está debajo de nosotros, es apático, oscuro y agobiante, mientras que la luz, que está por arriba, teje en un mundo muy sutil, claro. Existe el mayor contraste imaginable entre el ámbito de la luz allí arriba y el ámbito de la gravedad, allí abajo. El cristal de sal, que en realidad pertenece al ámbito de la pesadez, con todo está abierto en gran medida a las radiaciones del ámbito lumínico.

Para nosotros mismos podemos tener en cuenta lo siguiente: en tiempos muy remotos la materia fue secretada por el ámbito de la luz y densificada. La luz se ha hecho delgada, la materia ha perdido su capacidad de irradiar luz desde dentro y está a merced de la gravedad. Tales cristales muestran en medida extrema ese haber sido abandonados por la luz. En su esencia son portadores del recuerdo de la luz; pero justamente por eso pueden causarnos una impresión hueca, vacía. Si se los ilumina como para que parezca que se iluminan desde dentro, se logra un gran efecto. En cierta manera se los rescata de su caída y se los devuelve a su origen. Eso se puede lograr de diferentes maneras. Por ejemplo se puede tomar una tira de papel negro y cortar en ella pequeñas aberturas. Frente a cada abertura se coloca un bello cristal. Si se oscurece la habitación y se iluminan sucesivamente las aberturas, los cristales irradian una luz maravillosa. También se puede provocar una cristalización frente a un fondo oscuro con una potente iluminación lateral. Se toma por ejemplo una solución saturada de sal de mesa y se le agrega ácido clorhídrico concentrado. Eso puede producir un espléndido refulgir, a pesar de que los cristales frecuentemente son tan pequeños que no se los puede diferenciar claramente. Si los cristales son un poco más grandes, se ve cómo nacen conformando una delicada nubecita y descendiendo lentamente al fondo, relucientes y delicados como nieve recién caída.

Si se quiere experimentar en grande, se puede tomar un matraz de Erlenmeyer de 3 litros de contenido y verter en él una solución más o menos saturada de solución de nitrato potásico caliente. Si se la deja enfriar muy lentamente dentro del matraz bien envuelto, los cristales asumen formas fascinantes con delicados juegos de colores y gran transparencia.

En la cristalización en general, pero en especial en la de sal de cocina, se tiene ante la vista una imagen del primer surgimiento de la materia, de la condensación primigenia del espíritu en materia. Se produce una especie de caída, una expulsión de un mundo originario, pero en la maravillosa pureza queda conservado el recuerdo del origen.

Es bueno hacer que los alumnos sientan plenamente cómo en el estado líquido todo está en movimiento fluyente, arremolinado, y cómo la cristalización es como una protesta eternamente reiterada contra el estado líquido. Una y otra vez sale abruptamente del líquido un poco de sal y adquiere una forma sólida y filosa, delimitada por superficies planas; o sea que una y otra vez el movimiento fluyente es interceptado. En particular en los cristales cúbicos como los tiene la sal de cocina, esto es bien evidente. Una cristalización así se compone de muchos saltos de un estado al otro, los cuales son especialmente dramáticos. Siempre de nuevo se produce una transición que en realidad parece imposible, pero que con todo se produce.

Ahora es tiempo de buscar la sal en nuestro cuerpo. La encontramos ante todo en el esqueleto. También éste se forma mediante el depósito permanente y la fijación de materia salina de la sangre en circulación. Pero lo asombroso es que en este caso la sal no asume su propia forma, sino que se adapta plenamente a los requerimientos del cuerpo.

Si uno cree poder hacerse cargo de ello, se puede señalar específicamente en el caso de la cristalización de sal de mesa, que aquí tenemos frente a nosotros algo que se cumple en modo muy sutil en nuestro organismo, cuando formamos un pensamiento. Así como en el exterior la tierra se abre a la luz en el cristal de sal, del mismo modo en nuestro interior la materia tiene que asumir forma cristalina, si nuestros órganos corporales quieren en cierta manera hacerse transparentes para la realidad espiritual, cuya expresión son los pensamientos.

### *Fenómenos en la disolución de sales*

Una vez que uno se ha dedicado intensivamente a estos temas durante algunos días, se pasa a la disolución de sales. Por ejemplo se introduce un cristal en un vaso de precipitados con agua y se insta a los alumnos a observar lo que ocurre. El cristal se va achicando progresivamente y asume formas redondeadas. A su alrededor el agua se tiñe del color del cristal. La sal que primero estaba atrapada en sus paredes ahora se suelta y derrama en el entorno. Es como un anhelo del infinito, de una propagación y dilución incontenibles.

La cristalización es una constante desintegración en la multiplicidad, una especie de fragmentación, pero también un retrotraerse a la delimitación de las propias formas específicas. Si se tienen distintas sales en la solución, se verá que al cristalizarse cada una de ellas por separado asumirá su propia forma. Al

disolverse ocurre el proceso inverso. Los numerosos cristales de una sal se funden con el agua en una unidad. E incluso hay sales muy diferentes que pasan conjuntamente a la solución sin entorpecerse mutuamente.

Un proceso de disolución particularmente hermoso se produce si en un recipiente cilíndrico de vidrio lleno de agua se cuelgan desde arriba algunos cristales de permanganato de potasio. Por ejemplo se los puede pegar con un poco de vaselina a un corcho flotante o a lo sumo colgarlos envueltos en un trozo de papel de filtro. La solución intensamente violeta bajará al fondo, provocando cantidad de delicados remolinos. Lo mejor es colocar todo frente a un fondo blanco fuertemente iluminado. Entonces también se puede ver el efecto desde una distancia mayor.

Ahora es el momento de tratar en forma provisoria toda una serie de conceptos, que más adelante se tienen que desarrollar con mayor exactitud, para que, a su tiempo, también se puedan realizar cálculos. Solubilidad, concentración, solución saturada, insaturada, sobresaturada, agua de cristalización, difusión, ósmosis, calor de disolución y de cristalización, elevación del punto de ebullición, depresión del punto de fusión. Al respecto cabe señalar que todos estos conceptos pueden ser asociados con la vivencia anímica de la dinámica interna de los fenómenos, y que recién más adelante se debería deducir de allí la denominación matemática. Si en ello no se procede con mucha precaución, sólo se brinda un aporte a algo que ya de por sí se está cultivando en demasía: se conforman conceptos que son muy exactos y que ofrecen la posibilidad de manejar prácticamente los fenómenos, pero que son poco apropiados para crear una imagen viva de la realidad. Con este tipo de conceptos en los últimos siglos el ser humano se ha alejado cada vez más de la naturaleza, se ha convertido cada vez más en prisionero de su propia vida racional. Nuestra meta es conservar en el niño algo del vínculo que él tiene con el mundo que lo rodea. Tenemos que enseñarles a los alumnos a desarrollar pensamientos de tal índole, que no escindan el vínculo con el mundo, sino que lo eleven de la esfera de las sensaciones puramente instintivas a una esfera en la que reina la exactitud consciente.

En todo esto naturalmente es bueno y necesario no perder de vista las manifestaciones vitales, ante todo las del ser humano. Algunas menciones pueden mostrar en qué dirección se puede buscar este objetivo.

Ya hemos tratado la relación entre el pensar y la cristalización, también la formación del esqueleto. También se puede hacer referencia a cómo el envejecimiento va acompañado de un permanente depósito de sales en el esqueleto y finalmente también en las paredes de los vasos sanguíneos.

Al dormir se disuelve mucho de lo que se depositó durante la vigilia. Durante el crecimiento del esqueleto se produce una constante disolución de determinadas partes, mientras que en otros sitios se vuelve a depositar sustancia nueva.

Se puede hablar de la sangre como de una solución salina, de los riñones como de severos reguladores de la salinidad. Este nivel fijo de sales a su vez está íntimamente relacionado con el hecho de que los tejidos, y en especial los glóbulos rojos, dependen de una presión osmótica muy exacta. Eso tiene que ser tenido en cuenta en caso de transfusión de sangre después de una hemorragia intensa. Se puede hacer referencia a los problemas de ósmosis que enfrenta un salmón al pasar de agua dulce al agua salada y viceversa. Se puede decir que una rana no bebe, pero que no hay más que sumergir en agua un dedo de una rana semideshidratada, para restablecerla por completo.

Así existen muchos ítems, una parte de los cuales es importante y debería ser tratada indispensablemente, mientras que otros pueden ser elegidos a voluntad.

#### *Descomposición de las sales por fuego. Base y ácido*

Una vez que de esta manera se han analizado exhaustivamente los fenómenos relacionados con las sales, en especial aquellos que se presentan en la interacción con el agua, se puede investigar cómo actúa el fuego sobre las sales. Por ejemplo se sostiene un pedacito de sulfato de cobre azul en la llama de gas. Se verá que poco a poco va perdiendo su transparencia. Primero se torna blanco mate, luego marrón y hasta negro. Se convierte en una masa inerte, terrestre, insoluble. Si se calienta el cristal dentro de un tubo de ensayo resistente al fuego, se observa cómo primero se desprende el agua de cristalización en forma de vapor. De esa manera surge la masa color blanco lechoso. Luego emana un gas ácido burbujeante. Ese gas tiñe de rojo el papel de tornasol azul.

Si se calienta una sal como afronitro, nitrato de calcio, se desprenden vapores marrones, ácidos, y queda una masa químicamente activa, bastante soluble, de color blanquecino. Esa masa tiñe de azul el papel de tornasol rojo. Estamos en presencia de descomposiciones de sustancias. De una única sustancia, que para nuestra percepción forma una unidad completa, surgieron otras sustancias muy dispares. La sustancia inicial desapareció en la medida en que se generaron sustancias nuevas. Éstos son ejemplos típicos de la descomposición de sales. Ahora debemos dirigir nuestra atención a la

transición, al “intervalo” entre el primer estado de la sustancia y el subsiguiente, tal como ya lo hicimos en la cristalización. Pero en este caso nos limitamos a lo más importante, en la medida en que aquí no tenemos en cuenta al agua de cristalización. O sea que vemos cómo una sustancia transparente, bien conformada, pasa a ser una masa amorfa. El “recuerdo de la luz” del que hablamos desaparece, y en su lugar aparece algo que nos causa una impresión terrosa.

Si dirigimos nuestra atención específicamente al “intervalo” en la formación de vapor, veremos cómo una sustancia pesada, inerte, muy demarcada, libera una sustancia aeriforme, que se esparce finamente. La sal en reposo se transforma en parte en un gas en movimiento, activo, en este caso incluso agresivo.

Primero teníamos un trozo de tierra que se abría a la luz. Ahora por un lado tenemos tierra que se cierra a la luz, y por otro lado una sustancia que busca el ámbito lumínico y se identifica con él. La sustancia que permanece en reposo ha conservado la solidez de la sal. Por ello se la llama la base. La sustancia que se libera se ha llevado la transparencia.

Ya hemos hablado anteriormente de que resulta económico diferenciar entre aquellos puntos que se tratarán con mayor detenimiento, y otros en los que no se hace mucho más que enumerar los hechos. Ese principio se puede aplicar aquí.

Una vez que se ha analizado detenidamente la formación del estado ácido y básico de las sustancias a partir de la descomposición de la sal, enseguida se pueden enumerar los nombres de los ácidos y las bases más importantes:

Algunas de las bases más importantes      Algunos de los ácidos más importantes

soda cáustica	ácido sulfúrico
potasa cáustica	ácido sulfuroso
cal hidratada	ácido nítrico
magnesia	ácido nitroso
amoníaco	ácido clorhídrico
óxido de hierro	ácido fosfórico
óxido de cobre	ácido fosforoso
etc.	ácido carbónico
	ácido silícico      etc.

Se puede presentar estas sustancias y a la vez, si se dispone de tiempo suficiente, caracterizarlas un poco sobre la base de manifestaciones típicas.

Luego se analiza más extensamente el estado ácido y básico. Por ejemplo se colocan tres vasos de precipitados llenos de agua, teñida con solución de tornasol. En el vaso izquierdo se vierte un poco de soda cáustica, de manera que el líquido se torne azul, en el vaso derecho, ácido clorhídrico, de manera que el líquido se vuelva rojo. Luego se agrega ácido clorhídrico a la izquierda y soda cáustica en el derecho, con lo cual se intercambian los colores.

Se les puede hacer entender a los alumnos que el rojo es una manifestación característica del ácido activo, agresivo, y el azul de la base, que es más pasiva. En este contexto tiene menor importancia que existen otros indicadores que señalan el grado de acidez a través del color y con los cuales aparecen colores muy diferentes; son productos artificiales que tienen poca relación con la vida en la naturaleza. En cambio el tornasol nos muestra la manifestación original y típica que hemos desprendido de la naturaleza viva y que presentamos ahora en la mesa de laboratorio.

A pesar de que el tornasol se obtiene a partir de un líquen, de todos modos tiene el carácter de un pigmento floral. Ahora se hace referencia al frecuente cambio de pigmentación en flores, por ejemplo en las nomeolvides de rojo a azul. Quizás se pueda mostrar que también se puede utilizar jugo de repollo colorado en lugar de tornasol.

A continuación podemos aprontar tres recipientes: soda cáustica diluida, ácido clorhídrico diluido y agua de red. Si se desea, se puede agregar un poco de solución de tornasol a cada uno de los tres. Luego se puede hacer pasar a toda la clase y sentir cómo la primera sustancia deja los dedos resbaladizos, la segunda, ásperos. El tercer recipiente sirve para enjuagar los dedos. Se les recuerda a los alumnos cómo, al sumergir la mano en una solución de detergente o carbonato de sodio, se tiene la misma sensación resbalosa.

Luego buscamos dónde en nuestro cuerpo se encuentran ácidos y bases. Toda nuestra piel es levemente ácida debido a la transpiración. En cambio nuestra sangre tiene que ser levemente básica. Nuestra saliva es algo básica, nuestro estómago es bastante ácido, el intestino vuelve a ser básico. En general podemos decir que todo lo dirigido hacia fuera es ácido en mayor o menor medida, todo lo dirigido hacia adentro, básico. El estómago, además de su función recolectora, en primera línea también tiene la misión de rechazar influencias nocivas provenientes de la alimentación ingerida. Prácticamente ningún nutriente ingresa a la sangre a través de la pared del estómago. Un músculo que se tensa tiende más en dirección ácida; al relajarse vuelve a preponderar lo básico.

En el año 1929 apareció un librito “Diez años de Escuela Libre Waldorf”<sup>1</sup>. En él se encuentra un artículo muy sugestivo de Eugen Kolisko “Devenir y configuración de la enseñanza de las ciencias naturales en la Escuela Waldorf”<sup>2</sup>. En él Kolisko cita una afirmación de Rudolf Steiner en una clase en la que justamente se estaba tratando la formación de ácidos y bases: “Han visto todo esto que se les ha mostrado. Ahora piensen también qué de todo ello ocurre en sus cuerpos. Si mueven sus extremidades, siempre se forma un poco de ácido; pero cuando están totalmente quietos y sólo se esfuerzan con la cabeza, entonces se forma algo semejante a lejía en sus cerebros.” Un comentario como éste es casi más importante para el docente que para los alumnos. Indica en qué dirección hay que orientar la búsqueda.

Luego también se pueden identificar los ácidos y las bases en los animales. Diversos animales combaten con la ayuda de ácidos. Las hormigas incluso los lanzan como chorro al enemigo desde una considerable distancia.

En las indicaciones curriculares Rudolf Steiner pone especial énfasis en el tema de las abejas, en la contraposición entre el jugo alimenticio ácido y la sangre alcalina<sup>3</sup>.

En este contexto también es particularmente interesante el contraste entre tipos de suelos ácidos y básicos.

### *Formación de sales a partir de ácidos y bases*

Ahora pasamos a la acción recíproca de ácidos y bases. Tomamos por ejemplo un vaso de precipitados lleno de agua, vertemos óxido de cobre en él, con lo cual el agua clara se vuelve oscura y turbia. (Se puede producir el óxido de cobre previamente a partir de solución de sulfato de cobre caliente y soda cáustica caliente. El óxido de cobre obtenido de esta manera reacciona más rápido.) A continuación se agrega ácido sulfúrico diluido. Se observará cómo se aclara la masa oscura, convirtiéndose en un líquido azul cristalino. También se puede calentar previamente el agua, entonces todo ocurre más rápido aún. Si

---

<sup>1</sup> Número extraordinario de la revista “Zur Pädagogik Rudolf Steiners” (“La pedagogía de Rudolf Steiner”), Año III 1929, Nº 3/4.

<sup>2</sup> Contenido también en la presente compilación de textos (Nota de D. Rohde).

<sup>3</sup> Conferencias de Rudolf Steiner con los docentes de la Escuela Libre Waldorf en Stuttgart 1919-1924. Impresión de manuscrito, Nº 3, enero-noviembre 1921. Stuttgart 1962. Ver 17.6, página 41 (ahora también en la edición general GA 300b).

se ilumina desde abajo el vaso de precipitados, que no debe ser demasiado pequeño, entonces el proceso también se puede ver desde una distancia mayor y muchos detalles apasionantes se pueden observar con mayor claridad. Este ensayo nuevamente nos permite reconocer determinada característica de los ácidos. Tienen la capacidad especial de devorar lo que es demasiado terrestre y abrirle un camino a la luz. Precisamente a través de la iluminación se pone bien de manifiesto este efecto del ácido. Si se evaporara la solución azul, se obtendrían las laminillas transparentes, de forma noble y color azul intenso, de los cristales de sulfato de cobre. Se ha producido un proceso de un dramatismo similar al de la descomposición de la sal. Aquí una masa sin brillo y sin forma se convierte en cristales brillantes. Y un ácido activo, agresivo se convierte en una sal inactiva, estática.

Ahora podemos verter ácido clorhídrico concentrado en un tubo de ensayo; en la superficie se lo pone en contacto con un pedacito de soda cáustica. Se escuchará un fuerte chisporroteo, mientras que una cantidad de cristales salinos se desparraman y caen hacia abajo como nieve. También se puede realizar el ensayo de manera tal que llegue a provocar cierta sensación. Para ello se coloca el tubo de ensayo con el ácido clorhídrico en el soporte y se deja caer en el ácido el trozo de soda cáustica. El líquido comienza a hervir fuertemente y el tubo de ensayo comienza a bailar hacia arriba y abajo.

Una vez que de este modo se han tratado exhaustivamente diversos casos de formación de sal, se puede volver a dar muchos contenidos de la materia en forma sinóptica.

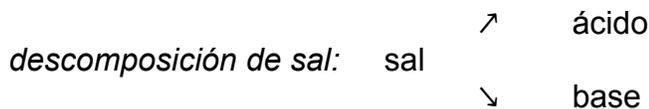
Se habla de la regla según la cual en principio se puede combinar cualquier ácido con cualquier base obteniendo siempre una sal. Eso se puede representar esquemáticamente de la siguiente manera:



Después se habla de la denominación de las sales y se confecciona una lista de los ácidos y las sales correspondientes. Luego se hace una lista de los nombres usuales en la vida cotidiana junto con sus nombres científicos.

### *Pasaje a las ecuaciones químicas*

Ahora se muestra cómo las reglas generales para la descomposición y la formación de sales pueden ser llevadas a esquemas simples:



o más abstracto aún:  $\text{sal} \rightarrow \text{base} + \text{ácido}$



De estos esquemas generales luego se pueden deducir reacciones especiales, insertando los nombres correspondientes. Como por ejemplo



o una descomposición de sal:



Así se van sentando paso a paso las bases para el posterior trabajo con ecuaciones y fórmulas químicas.

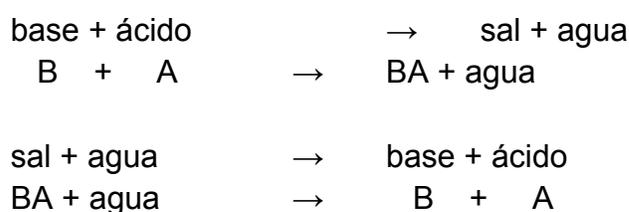
En realidad no es posible introducir ya las fórmulas en el programa del 10º año. Si se transita consecuentemente el camino del todo a las partes, si se considera el todo como lo primario y las partes resultantes del mismo como lo secundario, simplemente no se llega tan lejos. Además no es posible aún tratar los elementos químicos en forma tan exhaustiva y vívida como para poder contraponerle una abstracción tan avanzada. Si se hace de todos modos, fácilmente podrá aparecer una separación entre los alumnos. Los más intelectuales quizás caigan en la ilusión de que recién ahora lo han comprendido plenamente, siendo que en verdad han perdido la conexión con la realidad y además no han captado a fondo la problemática de las fórmulas. El sistema de fórmulas pasa a ser un juego intelectual. Para los menos intelectuales las fórmulas se convierten en una barrera más o menos incomprensible e infranqueable, que les quita el coraje de profundizar verdaderamente en el mundo de las sustancias.

A ello se suma otro punto importante. Al comienzo de las exposiciones sobre el 10º año habíamos visto que debemos prestar especial atención a una secuencia del pensar clara y transparente. Las ecuaciones generales como las

de la descomposición y la formación de sal satisfacen plenamente esta exigencia, mientras que las fórmulas completas llevan incorporadas tantas circunstancias que decae considerablemente la clara visión de conjunto.

Veremos que es mejor demorar el tratamiento de las fórmulas hasta el 11º año. Las fórmulas además tienen la desventaja de que involuntariamente desvían la atención del hecho de que cada substancia, sea un elemento o un compuesto, se presenta como unidad completa. Si se expresa la denominación “ácido sulfúrico”, ella está en armonía con esa unidad. Si se escribe la fórmula  $H_2SO_4$ , la atención se centra en que esa substancia puede ser compuesta a partir de otras substancias.

Con todo es posible acortar un poco más nuestras ecuaciones generales y así hacerlas más abarcables. Lo hacemos de la siguiente manera:



La fórmula BA para una sal en realidad también ya es demasiado analítica, pero en última instancia toda abstracción, incluso la más cautelosa, conduce fuera del ámbito de la realidad. Probablemente haya que condescender con eso.

Si en el tratamiento del contenido hemos arribado a este punto, hemos llegado a un hito muy importante. Ahora los alumnos tienen a su disposición el bagaje necesario para no sólo poder aprehender claramente los procesos, sino también saber de antemano cómo va a transcurrir un proceso químico. Incluso pueden hacer que los procesos transcurran de acuerdo a una planificación previa. Si por ejemplo se quiere obtener nitrato de cobre, hay que dejar interactuar hidróxido de cobre y ácido nítrico. Los alumnos pueden hacer predicciones en este campo y comprobar mediante el experimento si estaban en lo cierto.

### *Relaciones de peso*

Si se tiene la intención de introducir más tarde los conceptos de peso atómico y peso molecular, no me parece inapropiado señalar en este punto que todos estos procesos se cumplen de acuerdo a relaciones fijas de peso. Cuando todavía no hace falta hacer cálculos rápidos, este hecho puede ser tratado con mayor facilidad como expresión de una armonía estricta de la naturaleza; en

cambio más adelante ya no sería posible. Se puede partir convenientemente de los pesos equivalentes, por ejemplo:

soda cáustica	40
ácido sulfúrico	49
sulfato de sodio	71
agua	9

soda cáustica + ácido sulfúrico	sulfato de sodio + agua
40 + 49	71 + 2 x 9

Me parece imprescindible permanecer estrictamente en el ámbito de los números abstractos, pues sólo así se hace evidente que se trata de relaciones de peso y no de pesos absolutos. Ateniéndose a esto, se pueden realizar cálculos sencillos. Por ejemplo se pregunta cuánto sulfato de sodio se obtiene si se toman 80 gramos o se toman 2 gramos de soda cáustica.

soda cáustica + ácido sulfúrico	→	sulfato de sodio + agua
40 : 49	:	71 : 18
80 : 2 x 49	:	2 x 71 : 2 x 18
2 : $\frac{49}{20}$	:	$\frac{71}{20}$ : $\frac{18}{20}$

Si a los alumnos se les da una lista de los pesos equivalentes, se puede realizar todo tipo de cálculos.

### *Oxígeno – oxidación – combustión y formación de óxido*

Ahora mostraremos que los ácidos se forman a través de la combustión de diferentes sustancias, y las bases a través de la oxidación de los metales. O sea que tenemos que analizar más a fondo el papel que desempeña el oxígeno en la formación de ácidos y bases.

Al respecto se puede proceder históricamente y exponer cómo el oxígeno fue descubierto por Priestley. Así no sólo se tiene la gran ventaja de poder seguir el curso de la evolución histórica, que por lo general va de la mano de una instructiva lucha por el esclarecimiento de los conceptos, sino que además se

obtiene la oportunidad de intercalar biografías. Esto es importante, en particular para las niñas, que tienen una mayor necesidad que los varones de absorber todo desde lo anímico y relacionarlo con lo humano.

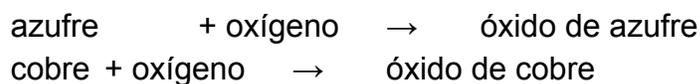
Priestley produjo un gas desconocido calentando óxido de mercurio y constató que promueve el proceso respiratorio y mantiene activa la combustión. O sea que se trataba de un gas con propiedades aéreas incrementadas.

Ahora por ejemplo podemos quemar azufre o fósforo y mostrar cómo el vapor y el humo ascendentes tiñen de rojo un papel de tornasol azul humedecido. Para completar podemos mostrar que esas sustancias sólo arden, si hay suficiente oxígeno en el entorno. Eventualmente todavía podemos intensificar la combustión suministrándole oxígeno puro.

Luego ponemos un pedazo de hierro en un lugar húmedo para dejar que se oxide. El metal duro y brillante lentamente se va volviendo opaco, se deformará y desintegrará, convirtiéndose en una masa costrosa, de color marrón rojizo. Lo que es particularmente interesante en este proceso es que se cumple tan lenta y flemáticamente. Eso les resultará poco atractivo a los alumnos, o sea que lo mejor es mostrar a la vez un trozo de hierro bien oxidado.

Además se puede calentar un pedazo de hierro reluciente y un pedazo de cobre reluciente. Se verá que la superficie brillante pronto se pone opaca. Luego podemos comentar y eventualmente mostrar que el óxido de cobre formado es la misma sustancia que la base que obtuvimos por descomposición (calentamiento) de sulfato de cobre.

Ahora comparamos los dos procesos, la combustión y la oxidación. Ambas en principio provienen de la acción del oxígeno. Si se los expresa en ecuaciones químicas, también tienen exactamente el mismo aspecto:



En cuanto a la dinámica y a la imagen que nos muestran, sin embargo, ambos procesos son de índole absolutamente opuesta.

La combustión se produce en forma rápida. Es uno de los procesos especialmente llamativos y brillantes debido a su producción de luz y calor y por los olores irritantes que normalmente aparecen. La sustancia que primero está frente a nosotros como un objeto sólido, es consumida por completo y convertida en un gas que se mueve y llena todo el espacio. Todo el proceso está dirigido en primera línea hacia arriba.

La oxidación se produce lentamente. El metal de superficie lisa y brillante en cierta manera se aparta de la luz y se torna opaco y semejante a la tierra. No hay mayores indicios de generación de calor. Mientras que la sustancia en

combustión ingresa junto con el oxígeno en la esfera del mismo, la substancia en oxidación atrae hacia sí el oxígeno.

Algo misterioso es que la combustión recién comienza cuando se ha alcanzado una determinada temperatura de combustión, mientras que la oxidación también se realiza con frío. No obstante, este enigma puede convertirse en la clave para comprender el orden subyacente a todo esto. La combustión es estimulada por el calor, la oxidación por la humedad. Durante la combustión por lo general se producen gases y otras substancias volátiles. Durante la oxidación se generan substancias terrosas.

combustión	producida por calor. . . . .	fuego
	resultado: gas – vapor . . . . .	aire
oxidación	producida por humedad . . . . .	agua
	resultado: substancia terrosa . . .	tierra

Vemos que ambos procesos comienzan a translucir su interrelación mutua, ni bien uno visualiza los cuatro elementos como trasfondo. De ese modo también se torna particularmente interesante el hecho de que se puede proceder contra la oxidación con grasas y aceites, o sea con substancias combustibles “fogosas”, mientras que un incendio se combate con agua.

En este momento podemos mostrar cómo los productos de la combustión de substancias como carbono, fósforo y azufre se convierten en ácidos mediante el agua, mientras que los óxidos de metal aparecen como bases. Todo esto a su vez constituye un aporte a la explicitación de las propiedades características de ácidos y bases. El ácido es, por así decirlo, la avanzada química de los dos elementos superiores calor y aire. Esto explica mucho de su movilidad agresiva y de su capacidad de abrirle camino a la luz.

La base es la avanzada química de los dos elementos inferiores. Eso explica su capacidad de atraer ávidamente los vapores ácidos y de fijarlos. Las bases fuertes como la soda cáustica tienen más conexión con el elemento acuoso; las bases insolubles, los óxidos de los metales pesados, tienen más conexión con el elemento terrestre.

Más adelante veremos cómo las cualidades del ácido silícico están en gran medida en contradicción con esto; pues ese ácido hace un considerable aporte a la solidez de la corteza terrestre, pero tiene a la vez una relación especial con el lado cósmico de la naturaleza. El amoníaco también es una excepción entre las bases: es muy volátil.

*La importancia del camino emprendido*  
*La lucha por la imagen en química*

En este punto podríamos volver a preguntarnos por qué todo esto tiene que ser tratado en forma tan complicada, por qué no se pueden deducir desde el comienzo de la época los ácidos y las bases a partir de la combustión y la oxidación y desde allí volver a componer las sales. De la estructuración tal como la hemos descrito se pueden obtener varias respuestas. Si se comienza con la sustancia en proceso de combustión y oxidación, éste es un método analítico, a pesar de que aparentemente se procede en forma constructiva, sintetizadora. Pero el objetivo último siempre es centrarse en las sustancias que componen las unidades superiores como ácidos, bases y sales, y tratarlas como si fueran parte de una construcción. Sin querer se pierde de vista el conjunto. Si se emprende el camino inverso, tal como lo hemos hecho, uno se mantiene constantemente atado a la totalidad, aun cuando se descienda profundamente a la descomposición analítica.

De allí surge que este método está en sintonía con las leyes evolutivas de un ser vivo. Pues éste siempre comienza como un todo relativamente poco diferenciado y de allí va evolucionando hacia una diferenciación cada vez más sutil. Con nuestro método se trabaja pues en concordancia con el desarrollo del niño, el cual también sigue las leyes generales de la vida.

A través de los métodos analíticos, tal como son usados en general en las ciencias naturales, siempre se corre el riesgo de desintegrar la imagen del mundo en detalles poco coherentes. Es cierto que uno se forma conceptos muy precisos en relación con los fenómenos, pero se presta poca atención a esos fenómenos como expresión del verdadero contexto en el cual están inmersos.

Con la precisión de los conceptos, con las definiciones infalibles, en verdad constantemente se escinden partes de la totalidad del universo. Muchas veces la claridad de los conceptos resulta tan imponente, que se comienza a considerar los detalles como un todo independiente. Los creadores de teorías mecánicas, por ejemplo, padecen este mal. Quieren explicar la realidad a partir de aquellos componentes sobre los cuales se pueden desarrollar las ideas más claras. En cambio si se parte del todo, así como intentamos hacerlo nosotros, los conceptos de los detalles que se desarrollan a partir de la totalidad siempre se mantienen en una conexión equilibrada entre sí y con el mundo. Entonces adquieren un aspecto que nos remite a los órganos de un ser vivo. De esa manera se forma en los alumnos una orientación totalmente distinta en la vida. Ellos desarrollan el hábito de mantener la visión orientada hacia la totalidad del universo, determinando su propio juicio y su lugar en el mundo desde allí.

Puede resultar especialmente fructífero tratar la formación de ácidos y bases en combinación con el gran investigador francés del siglo 18, Lavoisier. Él es el

verdadero descubridor del papel del oxígeno en la formación de ácidos y bases. Para hacer comprensible la tendencia de su obra, en realidad hay que meterse un poco en el tema de los alquimistas. Se puede exponer cómo los más serios entre ellos en el fondo no buscaban un provecho material, sino cómo su búsqueda estaba orientada hacia el desarrollo interior con la ayuda del experimento químico. Con ello también se relaciona la extraña elección de denominaciones, que es una especie de lenguaje metafórico. Las mismas son alusiones a sustancias y estados de las sustancias así como también a perífrasis de procesos evolutivos internos del ser humano. En los experimentos, su mirada estaba puesta ante todo en la imagen del proceso, de la cual también nos hemos ocupado nosotros. Para ellos las imágenes y la transformación de las imágenes eran expresión de lo divino en la naturaleza.

En la época de Lavoisier, la corriente alquímica había dejado muy atrás su momento de apogeo, cayendo en confusión y decadencia. Y él contribuyó notablemente a terminar de erradicar a fondo los restos de la concepción alquímica.

Para Lavoisier la balanza era el instrumento más importante, quiere decir que intentaba aproximarse a todos los fenómenos desde el lado del peso. De esa manera se excluía por completo la imagen. Es sumamente extraño que pudiera pesar el oxígeno antes de saber que el mismo existe. Dejó oxidar estaño en un recipiente cerrado y pudo mostrar que algo del aire pasaba al metal en proceso de oxidación. El peso total se mantenía constante, mientras que el metal se hacía más pesado. Cuando escuchó a Priestley hablando de su combustión de oxígeno, después de un breve lapso pudo desarrollar su teoría de la combustión.

También hizo un aporte importante a las denominaciones modernas carentes de imágenes. El nombre Oxygenium – formador de ácido, oxígeno, proviene de él, así como “óxido” para un compuesto de oxígeno.

También se lo suele relacionar con la ley de la conservación de la materia. Como hombre práctico que era, probablemente se haya centrado en primera línea en el método de trabajo. Él basó sus experimentos en la convicción de que el peso total de las sustancias que participan de una reacción siempre se mantiene constante. Ésta en realidad sólo es una hipótesis de trabajo. Seguramente nunca habría sacado de allí la conclusión, como más adelante lo hicieron los materialistas, que el ser eterno no es propio de un ser divino y menos aún del alma humana, sino de la materia. Si ésta no puede generarse ni desaparecer, entonces no hay creación posible. O sea que tales elucubraciones le quitaron su poder a la divinidad y pusieron a la materia en el trono de Dios.

A Lavoisier se lo considera el fundador de la química moderna. Y efectivamente ésta contempla al mundo de las sustancias en primera línea desde los puntos

de vista de la materia y la energía. Quizás sea bueno tratar estos temas con los alumnos, siendo que en el ínterin se ha llegado a la conclusión de que efectivamente la materia puede ser aniquilada y que también puede generarse, o sea que el materialismo ha sido refutado en este contexto. Además podemos señalar la unilateralidad de tales observaciones precisamente a través de la combustión y la oxidación. Si sólo se presta atención al peso, desaparecen las diferencias entre ambos procesos. Si se presta atención a la imagen y a la dinámica, se descubren los mayores contrastes. Hasta cierto grado resulta sensato considerar la oxidación sólo desde el punto de vista de la gravedad. En cambio el fuego está en permanente contraposición con la gravedad. Está tan en sintonía con el lado lumínico radiante e imponderable del mundo como el proceso de oxidación está en sintonía con la pesadez. Con tales pensamientos no sólo se le puede transmitir al joven una cosmovisión armónica, sino que incluso debe ser posible brindarle una ayuda en su búsqueda de una actitud propia frente al mundo. Él acaba de atravesar como experiencia profunda la escisión del ser humano en el sexo masculino y femenino. A la vez ha ingresado en un juego de fuerzas que por un lado lo puede elevar y llenar de idealismo, pero que en parte también lo puede tirar hacia abajo. Se siente desgarrado.

Una especie de imagen de este drama se presenta ante él en forma objetivada en la descomposición de sales en ácidos y bases, en los procesos de la combustión y la oxidación y todo lo que se puede asociar con esto. Mientras él se siente en mayor o menor medida expulsado de la protección de la unidad universal divina, esta imagen puede contribuir a la sensación: también lo que él tiene que atravesar en esta etapa de su vida está fundado sobre profundas leyes universales. Su propio drama se convierte en parte del drama universal. Él está frente a la tarea de encontrar, a través de la lucha interna, una actitud nueva, digna del ser humano, en medio del juego de fuerzas que recién ahora se le revela. En el pasado tuvo que conquistar físicamente la actitud erguida entre el mundo de la luz encima de él y el mundo de la pesadez debajo de él. A esta edad se percata interiormente de que hay algo que lo quiere tironear hacia arriba a mundos ilusorios y algo que lo quiere tirar hacia abajo, atándolo a fuerzas sombrías. Tiene que aprender a erguirse interiormente en este campo espiritual, tal como lo ha hecho antes a nivel corporal. Tiene que encontrar conscientemente una nueva posición de equilibrio espiritual. Los contenidos de las clases acá descriptos pueden servirle de apoyo en este camino.

## Reducción

Hemos llegado entonces al punto en el que se pueden tratar más de cerca los fenómenos de la reducción.

Se echa óxido de hierro marrón, pulverizado, en un tubo de vidrio resistente al fuego. Luego se hace pasar por él gas de alumbrado o hidrógeno y se calienta el tubo en el lugar donde está el óxido. Se ve cómo el polvo se torna color negro grisáceo, mientras se precipita agua en las paredes. Esto se puede trasladar inmediatamente a una ecuación química. Primero teníamos hidrógeno y óxido de hierro, ahora hierro y agua.



Lo mismo también podría expresarse de la siguiente manera:



Una vez enfriado, se puede mover el polvo hacia arriba dentro del tubo, con un imán, una clara demostración de que se ha formado hierro metálico. También se puede, mientras el tubo siga caliente, hacer pasar aire. Entonces se observará que el polvo en seguida vuelve a cambiar de color. Retorna a ser óxido de hierro.

De un modo especialmente impactante se puede mostrar el cambio entre oxidación y reducción, calentando bastante intensamente una placa de cobre y luego dejando que la llama de gas juguete en su superficie. Dentro del ámbito de la llama, el metal se torna reluciente; donde la llama se aleja, se produce una rápida oxidación, que primero se expresa en un maravilloso juego de colores y finalmente termina en una capa negra. Cuanto más tiempo se mueve la llama de un lado al otro, tanto más espléndidamente relucen los colores.

Los alumnos ya tienen una idea de lo que pasa en la reducción, ya que en el 9º año se trató detalladamente la asimilación de ácido carbónico. En ella se debe ver justamente la imagen arquetípica de un proceso de reducción.

Al tratar el descubrimiento del oxígeno ya hemos analizado la descomposición del óxido de mercurio por calentamiento.

A menudo la reducción es provocada con la ayuda de sustancias bastante inflamables como hidrógeno, carbono y óxido de carbono. Esto permite reconocer cuál es el quid de la cuestión. Las sustancias combustibles se encuentran en un estado de tensión frente al entorno. En cierta manera están cargadas de energía que al quemarse irradian en forma de luz y calor. Los óxidos, en cambio, están en un estado totalmente relajado. Si se quiere volver

a hacer aparecer la sustancia inicial a partir de un producto de combustión, hay que volver a generar esa tensión suministrando calor y luz.

En la asimilación de ácido carbónico la luz solar hace que se transforme óxido de carbono en carbono.<sup>4</sup> En el análisis de óxido de mercurio se usa el calor de la llama de gas o, como en el caso de Priestley, el calor del sol.

En la reducción de óxido de hierro el gas de hidrógeno atrapa al oxígeno y le da al hierro algo de su energía.

Es apropiado señalar que no sólo la combustión, sino también la oxidación de los metales va acompañada de irradiación de calor. Pero por lo general no se la percibe, porque se produce lentamente. Si se acelera el proceso como en el polvo de hierro esparcido en la llama de gas, también se ve encenderse el metal formando chispas.

De este modo se puede señalar que en todo proceso químico se produce una acción recíproca entre lo ponderable y lo imponderable. Siempre se absorbe o se irradia luz o calor.

Uno puede tratar este punto al analizar la reducción manteniéndolo todavía totalmente fuera de la esfera de lo cuantitativo y relacionándolo en cambio con los procesos vitales y revistiéndolo de pensamientos que transcurren más en forma de imágenes.

### *Disolución de metales en ácidos fuertes*

A parte de la formación usual de sales a partir de ácido y base, también existe la posibilidad de formar sales disolviendo un metal en un ácido. En ese proceso se producen transformaciones significativas.

Por ejemplo se echa ácido sulfúrico levemente diluido en un tubo de ensayo y se le agregan algunos trocitos de zinc. El zinc es devorado inmediatamente provocando un intenso chisporroteo. Se desprende un gas fácilmente inflamable. Finalmente abajo en el tubo se acumula una masa cristalina clara.

Nuevamente se puede establecer con facilidad la ecuación de reacción del proceso que se ha desarrollado:



A través del ácido, el metal es convertido en cristales de sal.

Aquí estamos frente a una de las transformaciones más extrañas. Ya hemos caracterizado a la materia como aquella parte del universo que ha sido

---

<sup>4</sup> Sin embargo, la liberación de O<sub>2</sub> proviene de la descomposición de H<sub>2</sub>O (Nota de D. Rohde)

abandonada por la luz.<sup>5</sup> En los metales incluso se ha producido una especie de polo opuesto a la luz. Si se sostiene un trozo de metal a contraluz, aparece como masa oscura. Y en verdad carece totalmente de transparencia. A eso se suma que los metales son las sustancias más reflectantes. O sea que rechazan en gran medida la luz. A la vez el efecto reflectante es señal de que, a pesar de todo, los metales están de alguna manera en sintonía con la luz. Esto es tanto más válido, cuanto más reflejan, o sea que la plata es la máxima expresión de este hecho.

Si se disuelve un metal en un ácido, se superan por completo las propiedades de rechazo de la luz. El ácido vuelve a abrirle camino a la luz.

Si se deja que el metal genere inmediatamente los cristales de sal, como en el experimento anteriormente descrito, entonces la plasticidad del metal, la densa docilidad, adquiere una cualidad conformada y rígida.

En este contexto es particularmente interesante que las sustancias sólidas transparentes nunca sean buenos conductores eléctricos, mientras que los mejores conductores, los metales, son los que más rechazan la luz. En este punto se pone de manifiesto con claridad el contraste entre luz y electricidad. Donde una encuentra acceso, la otra es excluida.<sup>6</sup>

Todos estos fenómenos permiten reconocer que también existen estados polares de las sustancias. El estado metálico y el estado cristalino transparente forman un contraste de ese tipo.

### *Electrólisis*

Llegados a este punto, bien podemos introducir los primeros fenómenos de la electrólisis. Pero también esto habrá que hacerlo de un modo particular adaptado al 10º año, sin adelantarse a los contenidos de la teoría de la electricidad del 11º año.

Se puede partir de una solución de sal diluida (no sal de cocina u otras sales halógenas) y teñirla con tornasol. Como electrodos primero se pueden usar varillas de carbono, más adelante también ciertas varillas de metal. Se obtiene lo siguiente:

---

<sup>5</sup> Ver página 1, Cristalización en las sales.

<sup>6</sup> Rudolf Steiner, Primer curso de ciencias naturales ("Curso de la luz"), Stuttgart, 23.12.1919 hasta 3.1.1920. "Impulsos de las ciencias naturales para el desarrollo de la física" GA 320. Ver conferencias 9 y 10.

-	+
<i>Cátodo:</i>	<i>Ánodo:</i>
tendencia a la formación de lejía	tendencia a formación de ácido
eliminación de hidrógeno	eliminación de oxígeno
fenómenos de reducción	fenómenos de oxidación
eliminación de metales	disolución de metales

De este modo se obtiene una fenomenología de los electrodos. Se ve cómo la electricidad en su polaridad está relacionada con los opuestos que ya hemos tratado.

Habría que dejar de lado toda la teoría. Desde el punto de vista de la práctica y la aplicación, en este momento es mucho más importante una caracterización de los fenómenos que las explicaciones abstractas.

De ese modo incluso ya se sientan ciertas bases para la época de física (teoría de la electricidad) en el 11º año.

### *Conclusiones de la época*

#### *Desplazamiento de bases – Desplazamiento de ácidos – Doble conversión*

Sigue una parte de la época en la cual aún se introducen una cantidad de fenómenos nuevos, que incluso pueden estar entre los más sorprendentes, pero que podremos abordar en gran medida con los conceptos que ya hemos adquirido. Eso da la oportunidad de una constante repetición y ejercitación. Los alumnos aprenden, por así decirlo, a jugar con los conceptos. Tienen que ser conducidos a que en muchos casos encuentren la explicación por sí mismos y tienen que imaginar procesos que luego son puestos a prueba en el experimento.

Además se tratan todas las posibilidades que existen para la combinación de sales con ácidos y bases. En esencia son tres las combinaciones abordadas: bases y sales, sales y ácidos, sales y sales; luego se las reúne y se pueden observar los resultados.

Empezamos por ejemplo con agregar una base a una solución salina. Si para ello se usa sal de mesa y óxido de cobre, no pasará nada, al igual que con sal de mesa y soda cáustica. En cambio se presenta un fenómeno asombroso si se vierte soda cáustica en una solución no demasiado diluida de sulfato de cobre celeste. Se obtiene un precipitado azul de una exquisita transparencia apenas velada. Si se observa detenidamente el proceso, se ve cómo se forma una cantidad de burbujitas. En ellas hay soda cáustica; las paredes están compuestas por una delicada substancia gelatinosa, alrededor se encuentra la solución de sulfato de cobre. Tales burbujas, que también pueden presentarse

en otras sales, a veces se parecen a animales inferiores. Si se destruye una de ellas, el contenido se derrama, pero inmediatamente se vuelve a rodear de una nueva piel. Se produce algo parecido a una cicatrización. Por ello estas burbujitas son bastante estables, a pesar de su delicadeza.

Naturalmente el docente probará el experimento por su cuenta, con todas las posibles variantes, para poder mostrar el fenómeno de la manera más impactante posible. Por ejemplo se pueden utilizar diferentes tubos trabajando con diferentes concentraciones. Si se trabaja con recipientes grandes y además se los ilumina desde abajo, se obtienen efectos muy cautivantes.

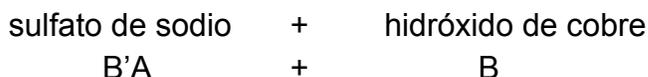
En cierto sentido la imagen se hace más contundente, si se vierte una solución de sulfato de cobre en un poco de soda cáustica. Las escamas azules se forman entonces dentro de un líquido incoloro. Se presenta algo muy sorprendente si se cuelga un cristal de sulfato de cobre en soda cáustica. En ese caso se pueden obtener columnas de precipitado.

Se pueden realizar experimentos parecidos a éstos combinando las sales de otros metales pesados con bases fuertes.

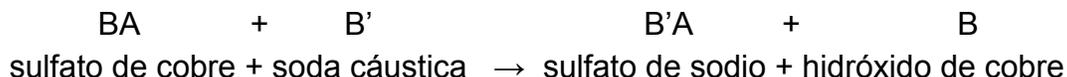
Si ahora les planteamos a los alumnos la pregunta de cuál es el proceso que se cumplió, seguramente habrá algunos que lograrán descubrirlo. Anotamos:



Prácticamente no hay otra opción que la de la formación de una nueva combinación, a saber



Entonces todo el proceso se ve de la siguiente manera:



La base fuerte, muy soluble, ha desplazado a la débil, poco soluble. Si eso es correcto, tenemos que poder disolver nuevamente el precipitado azul con un ácido fuerte. Efectivamente funciona. Al respecto por supuesto no hay que olvidar de prestar debida atención a la llamativa imagen de la disolución.

Si nuestro razonamiento fue correcto, en la solución tiene que haber sulfato de sodio, y el precipitado azul tiene que ser una especie de hidróxido de cobre.

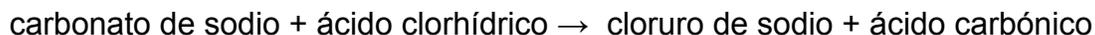
Demostrar lo primero es difícil, pero los alumnos admitirán que les digamos que realmente se ha formado sulfato de sodio. Lo segundo puede ser fácilmente

demostrado, calentando el precipitado azul gelatinoso. Se forma entonces una masa de color negro amarronado de óxido de cobre. Luego ya no es difícil reconocer que el precipitado azul es óxido de cobre con contenido de agua, o sea hidróxido de cobre. Ese tipo de hidróxidos pueden ser considerados como una base que se ha estancado a mitad de camino entre el estado disuelto y el estado sólido.

Si se junta un ácido con una sal, las manifestaciones nuevamente pueden ser muy dispares. Si se vierte ácido clorhídrico en una solución de sulfato de sodio, no se observará cambio alguno. Pero si se vierte ácido clorhídrico en carbonato de sodio, comienza a sisear y borbotea, se desprende el volátil ácido carbónico. Una vez más no es difícil entrever lo que ocurrió aquí:



La ecuación permite reconocer que también tiene que generarse BA', cloruro de sodio.

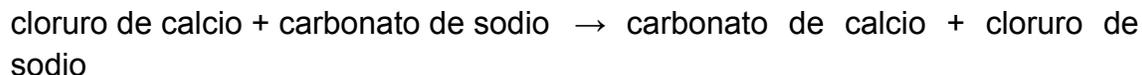


De aquí nuevamente se deriva una regla general: si se agrega un ácido fuerte a la sal de un ácido débil, el ácido débil es desplazado, y se forma una sal del ácido fuerte. A lo sumo se puede señalar que la volatilidad del ácido también desempeña un papel.

El desplazamiento del ácido es de gran significación para la práctica. Quizás sea coherente tratar la obtención de ácido nítrico, ácido clorhídrico, gas de ácido carbónico y otros ácidos a partir de sus sales.

En tales experimentos es importante mostrar cómo en un típico desplazamiento de bases una sustancia es empujada hacia abajo, a la esfera de la gravedad, mientras que en el desplazamiento de ácidos una sustancia es elevada a la esfera de la luz.

Como última posibilidad de una acción recíproca entre ácidos, bases y sales todavía tenemos la interacción de dos sales. Si agregamos solución de sal de mesa a una solución de sulfato de potasio, no pasa nada. En cambio si se toma cloruro de calcio y carbonato de sodio, se forma un precipitado blanco. Resulta extraño ver cómo dos líquidos ultratransparentes producen, al ser mezclados, como por arte de magia, una masa sólida, opaca. Este precipitado no es gelatinoso, sino más bien granulado. ¿Qué ha pasado?



Por ende el precipitado podría ser carbonato de calcio o cloruro de sodio. Como este último es mucho más soluble, la única opción es el carbonato de calcio. A través de la otra combinación de ácidos y bases se formaron dos sales nuevas. De allí se puede deducir la regla: si se mezclan las soluciones de dos sales, se produce la doble conversión con generación de precipitado, cuando una de las combinaciones ácido-base posibles da una sal poco soluble. Ahora se debería dar cierta sinopsis de cuáles son las sales muy solubles y cuáles las menos solubles. Si es que los alumnos no la tienen ya, ahora se les puede mencionar una serie de las más importantes sales poco solubles; y luego también los ácidos y las bases cuyas sales siempre son muy solubles. Entonces los alumnos pueden explicar por sí mismos los fenómenos e incluso predecirlos.

A continuación se puede hacer referencia a la aplicación de la doble conversión en la comprobación de determinadas sales en una solución. Con agua de mar se pueden realizar experimentos bien bonitos al respecto.

También se puede comentar en este contexto el problema del agua dura; porqué el jabón se corta y porqué el carbonato de sodio baja la dureza del agua.

Finalmente se puede producir toda una serie de sales a través de la doble conversión; por ejemplo cromato de plomo (amarillo de plomo), carbonato de plomo (blanco de plomo), cloruro de mercurio (sublimado) o nitrato de potasio.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> ¡Atención, precaución con sustancias peligrosas! (Nota de D. Rohde)