

### Reacciones espectaculares y de Química recreativa

Lluís Nadal y Balandras. lnadal@xtec.cat  
 Instituto Lluís de Requesens (Molins de Rei).  
 (Última revisión: 16 de enero de 2015).

Para que éste dossier sea breve, solamente se dan unas normas generales de seguridad y no se mencionan las fuentes de las reacciones. Una parte de éstas proviene de artículos del "Journal of Chemical Education". Otras se han tomado de los 5 volúmenes (especialmente del 1º) de "Chemical Demonstrations" de Bassam Z. Shakhashiri (en estos libros, aparte de información detallada sobre seguridad, hay datos y cálculos termodinámicos y mecanismos de reacción). Otro libro muy interesante es "Chemical Curiosities" de H.W. Roesky y K. Möckel. Algunas reacciones las conozco a través de compañeros y amigos y sólo 3 o 4 son de cosecha propia.

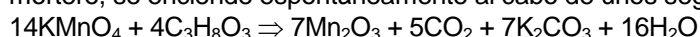
#### Precauciones generales:

- Las mezclas sólidas de oxidantes con reductores energéticos, no deben hacerse nunca en un mortero pues existe el riesgo de que se enciendan o exploten por la fricción o los golpes. Los ingredientes se pulverizan por separado y se mezclan suavemente encima de un papel.
- Es necesario el uso de gafas protectoras en todas las reacciones violentas o cuando se usen reactivos cáusticos, y nunca hay que poner la cara encima de donde se hace la reacción.
- Las reacciones que son muy exotérmicas no deben realizarse en una cápsula de porcelana, pues suele romperse, es mejor hacerlas encima de una tela cerámica, un ladrillo, una teja...
- Las reacciones explosivas han de realizarse de manera que no pueda salir metralla disparada: por ejemplo se puede hacer un petardo envolviendo la pólvora en papel, pero nunca debe ponerse la pólvora dentro de un recipiente metálico o de vidrio... y evidentemente los petardos o cohetes no deben encenderse sujetándolos con la mano.

**1) Volcán.** Se hace un montoncito de dicromato de amonio (5 cucharaditas) y se le prende fuego tocándolo en el centro con un alfiler calentado al rojo o bien poniéndole un papel mojado en alcohol y encendiéndolo. Se producen chispas que parecen regueros de lava y finalmente queda un cráter.  
 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \Rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

**2)** Si se dejan caer una o dos gotas de etanol sobre un poco de óxido de cromo(VI), previamente pulverizado en un mortero, se enciende instantáneamente con una llama muy luminosa. (Se ponen 2 o 5 mL de etanol en un vaso de precipitados y se dejan caer gotas con un cuentagotas desde cierta altura para evitar quemarse las manos. La botella de etanol debe mantenerse alejada y tapada).  
 $4\text{CrO}_3 + \text{C}_2\text{H}_6\text{O} \Rightarrow 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$  (El etanol también puede encenderse con mezclas de ácido sulfúrico y permanganato de potasio, clorato de potasio o dicromato de potasio, pero son peligrosas. En cambio sí que puede encenderse sin peligro un mechero de alcohol poniendo un cristal de clorato de potasio o de permanganato de potasio en la mecha y tocándolo con una varita mojada con ácido sulfúrico).

**3) Reacción temporizada del permanganato de potasio con el glicerol.** Cuando se dejan caer unas gotas de glicerol (propanotriol) encima de permanganato de potasio, previamente pulverizado en un mortero, se enciende espontáneamente al cabo de unos segundos.



**4)** Un trozo de cinta de magnesio cuando quema da una luz muy intensa (además se producen rayos UV y como es lógico IR). La cinta se enciende fácilmente con una llama oxidante como la de un Bunsen pero es difícil encenderla con una cerilla o un encendedor).  $2\text{Mg} + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{MgO}$

**5)** Si se pone un poco de magnesio en **polvo** encima de una hoja de papel y se sopla con un tubo hacia

la llama de un Bunsen, el magnesio arde instantáneamente produciendo un "flash" deslumbrante.  
 $2\text{Mg} + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{MgO}$

**6)** Se mezclan encima de una hoja de papel, 3,5 g de clorato de potasio previamente pulverizado, con 2 g de magnesio en polvo. Cuando se enciende la mezcla mediante una mecha o palo largo (conviene apartarse un poco), se produce una luz blanca deslumbradora. Si se utiliza aluminio en polvo en vez de magnesio (4,8 g de clorato de potasio y 2 g de aluminio), la reacción es mas rápida pero la luz es menos intensa.  $3\text{Mg} + \text{KClO}_3 \Rightarrow 3\text{MgO} + \text{KCl}$ ;  $2\text{Al} + \text{KClO}_3 \Rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{KCl}$

**7) Reacción de los metales alcalinos con el agua.** Un trozo de sodio de la medida de un guisante produce chispas cuando se tira sobre agua y a veces (especialmente si el trozo es más grande) produce una explosión capaz de romper el recipiente saliendo disparados pequeños fragmentos de sodio. El potasio es menos peligroso pues cuando entra en contacto con el agua produce una llama instantáneamente. El litio reacciona suavemente. La reactividad coincide con lo que cabe esperar del tamaño de los distintos átomos. Esta reacción no la deben realizar nunca los alumnos si no el profesor. Los espectadores deben mantenerse alejados y llevar gafas de protección.  $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$ ;  $2\text{K} + 2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2\text{KOH} + \text{H}_2$ ;  $2\text{Li} + 2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2\text{LiOH} + \text{H}_2$

**8) Hierro pirofórico.** Calentando el oxalato de hierro(II) se obtiene una mezcla de hierro y óxido de hierro(II) en polvo que se enciende espontáneamente en contacto con el aire. Se llena un tubo de ensayo de vidrio corriente hasta la cuarta parte o hasta la mitad con oxalato de hierro(II). Se calienta a la llama el extremo superior del tubo de ensayo y se estira formando un tubo delgado. Se calienta el tubo por la base hasta que el oxalato que inicialmente era de color amarillo-marrón, tenga color negro. Se cierra el tubo a la llama (se ha de cerrar mientras salgan gases del tubo) y se deja enfriar. Cuando se quiera hacer la demostración, se rompe la punta del tubo dejando caer el contenido a cierta altura sobre una hoja de papel de filtro colocado sobre el suelo y se observaran chispas en el aire y brasas encima del papel que acabará encendiéndose. Al ser tan fino, el hierro reacciona rápidamente con el oxígeno del aire. Muchos metales presenten este comportamiento si se preparan de la manera adecuada. Las reacciones son:  $\text{Fe}(\text{COO})_2 \Rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{Fe}$ ;  $\text{Fe}(\text{COO})_2 \Rightarrow \text{FeO} + \text{CO} + \text{CO}_2$ ;  $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \Rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $4\text{FeO} + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$  (algunos granos de hierro sólo se oxidan superficialmente). Conviene recordar que con un imán no se puede distinguir entre hierro en polvo y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (tetraóxido de trihierro) puesto que ambos son de color negro y ferromagnéticos.

**9) Silano.** El primer paso consiste en obtener el siliciuro de magnesio: se mezcla una pequeña cantidad de arena fina o cuarzo en polvo con magnesio en polvo en la proporción de 5:8 en masa (si se mezclan en la proporción de 5:4 se obtiene silicio;  $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} \Rightarrow \text{Si} + 2\text{MgO}$ ). Si se ha utilizado arena fina, simplemente se introduce la mezcla en un tubo de ensayo y se calienta hasta que reacciona. Si se ha utilizado cuarzo en polvo, se van añadiendo pequeñas cantidades de la mezcla al tubo de ensayo y se calienta hasta que se "encienda" como la pólvora y así sucesivamente hasta que haya reaccionado todo. Una vez frío, se rompe el tubo de ensayo y el contenido se introduce en un vaso de precipitados con ácido clorhídrico diluido. De cuando en cuando se verán unas pequeñas llamas debidas a la reacción entre el silano (tetrahidruro de silicio) que se forma y el oxígeno del aire.  $\text{SiO}_2 + 4\text{Mg} \Rightarrow \text{Mg}_2\text{Si} + 2\text{MgO}$ ;  $\text{Mg}_2\text{Si} + 4\text{HCl} \Rightarrow 2\text{MgCl}_2 + \text{SiH}_4$ ;  $\text{SiH}_4 + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

**10) Hielo que arde o alcohol sólido.** Se mezclan 27 ml de etanol del 96% con 3 ml de disolución saturada de acetato de calcio en agua. Una vez haya solidificado la mezcla, tiene un aspecto parecido al hielo y arde si se le prende fuego. También se puede hacer un alcohol "sólido" útil como combustible pero sin el aspecto de hielo, disolviendo al baño maria 30 g de jabón puro en 100 cm<sup>3</sup> de etanol.

**11) Pólvora negra.** 75% en peso de nitrato de potasio, 15% de carbón vegetal y 10% de azufre. Los ingredientes se pulverizan por separado en un mortero y despues se mezclan encima de una hoja de papel. Para petardos es mejor la siguiente composición pero es más peligrosa puesto que es sensible al choque y la fricción.

**12) Petardos.** Se prepara un pólvora de clorato de potasio, carbón y azufre en la proporción 2:2:1 **en volumen**. Los ingredientes se pulverizan en un mortero **por separado**, se miden (conviene utilizar

cantidades pequeñas, por ejemplo una cucharadita **llana** de clorato de potasio, una de carbón y media de azufre) y se mezclan suavemente encima de una hoja de papel (**nunca en un mortero! las pólvoras con clorato de potasio son muy sensibles a la fricción y a los golpes**). La proporción en peso es 9:3:2. La pólvora se envuelve con un hoja de papel como si fuera un cigarrillo, dejando poca pólvora en el extremo por donde ha de encenderse y se sujeta con cinta adhesiva. El petardo se puede encender sin peligro con una cerilla encendida sujeta al extremo de un palo pero **nunca debe encenderse un petardo sujetándolo con la mano y tampoco se ha de encender directamente a no ser que se le haya puesto una mecha lenta**). Ésta pólvora también se puede encender tocándola con una varita impregnada de ácido sulfúrico. Si los petardos se han de utilizar en un lugar cerrado, conviene que la pólvora no contenga azufre, se puede emplear una mezcla a partes iguales en volumen de benzoato de sodio y clorato de potasio o una mezcla de clorato de potasio, azúcar y hexacianoferrato(II) de potasio en la proporción de 2:1:1 en volumen.

**13) Cohetes.** La pólvora para cohetes no ha de explotar como en el caso de los petardos y conseguirlo no es trivial: muchas pólvoras que queman lentamente al aire, explotan cuando están encerradas. En los cohetes “profesionales” la pólvora se comprime dejando un cilindro hueco interno. Se puede utilizar la fórmula siguiente: nitrato de potasio, carbón vegetal, harina y azufre en la proporción en peso 4:2:1:1. Se pueden hacer pequeños cohetes envolviendo la pólvora con varias vueltas de papel como si se hiciera un cigarrillo. Con éste sistema también se puede usar una mezcla de 6 g de zinc y 1 g de azufre en polvo.

**14) Mecha de hilo.** Se disuelven 2 g de poliestireno (aproximadamente 1/4 de un vaso de plástico transparente) en 20 cm<sup>3</sup> de tolueno o benceno, se añaden 18 g de clorato de potasio y 3 g de azufre previamente pulverizados, se remueve, se introduce un hilo grueso de algodón y cuando está bien impregnado, se saca y se deja secar.

**15) Mecha de hoja de papel.** Se disuelve en caliente nitrato de potasio y benzoato de sodio en agua en la proporción 3:1:5 o si se quiere que la mecha sea una poco más lenta 3:1:10. Se empapa una hoja de papel de filtro con ésta disolución y se deja secar. Cuando se quiera utilizar, se corta un trozo de la hoja de papel y se enrolla de forma que haya 3 o 4 capas.

**16) Dibujos formados con fuego.** Con un pincel, se pinta un dibujo sencillo con trazos gruesos en un hoja de papel de filtro, empleando una disolución caliente de nitrato de potasio y benzoato de sodio en agua en la proporción 3:1:5 y se deja secar. Una vez seco si se prende fuego en un punto que forme parte del dibujo, el fuego continuará dibujando el resto. Se puede emplear una disolución saturada de nitrato de potasio pero el resultado es inferior.

**17)** Una mezcla aproximadamente a partes iguales en volumen de clorato de potasio y azufre (una punta de espátula cada vez como máximo!) explota con mucho ruido cuando se golpea o cuando se frota con fuerza en un mortero.

**18)** Una punta de espátula de clorato de potasio, colocada **dejándola caer con cuidado** encima de una punta de espátula de fósforo rojo (sin mezclarlos ni tocarlos con la espátula!), explota con mucho ruido cuando se golpea o se roza.

**19) Explosivo de yodo (triioduro de nitrógeno).** Se añaden unos cuantos cristales de yodo en un tubo de ensayo y se llena hasta la mitad con amoníaco concentrado. Después de 5 minutos se filtra para separar los cristales. El único cambio aparente es que ahora los cristales son más oscuros. Mientras todavía esté húmedo, se puede manipular sin peligro. Si se esparce por el suelo en pequeñas porciones, éstas son casi invisibles y si al cabo de un rato alguien pasa por encima, explota sin peligro haciendo bastante ruido (éste explosivo es tan sensible que si se roza con una pluma cuando está seco, explota). Cuando explota se descompone en yodo y nitrógeno:  $2 \text{NI}_3(\text{s}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{I}_2(\text{g}) \Delta H = -290 \text{ kJ/mol.}$  Es útil para introducir el concepto de energía de activación. A baja temperatura se puede formar el compuesto  $\text{NH}_3 \cdot \text{NI}_3$  que se forma de acuerdo a la reacción:  $3 \text{I}_2(\text{c}) + 5 \text{NH}_3(\text{aq}) \Rightarrow \text{NH}_3 \cdot \text{NI}_3(\text{s}) + 3 \text{NH}_4\text{I}(\text{aq})$  y cuando explota se descomponen así:  $8 \text{NH}_3 \cdot \text{NI}_3 \Rightarrow 5 \text{N}_2 + 6 \text{NH}_4\text{I} + 9 \text{I}_2$

**20) Peroxiacetona.** Se introducen 5 cm<sup>3</sup> de acetona, 5 cm<sup>3</sup> de peróxido de hidrógeno del 30% y 4 gotas

de ácido clorhídrico concentrado en un tubo de ensayo. Después de media hora empiezan a precipitar unos cristales blancos, pero es mejor dejarlo hasta el día siguiente. Se filtran los cristales, se lavan con un poco de agua y se dejan secar. Ésta sustancia arde a gran velocidad (más que el nitrato de celulosa) y se puede encender (con una llama) encima de la mano sin que se note (una punta de espátula). Si se le da un golpe explota haciendo mucho ruido. También explota por fricción. Si se calienta bruscamente con un soldador de estaño, una resistencia eléctrica, una brasa,... explota en vez de encenderse. Una cantidad igual o mayor de 4g explota cuando se enciende en el aire.

**21) Reacción explosiva entre el hidrógeno y el cloro activada per la luz.** Se obtienen hidrógeno y cloro por cualquiera de los métodos habituales (no es necesario que estén secos) o mejor por electrólisis de ácido clorhídrico aproximadamente 8M. Con una jeringuilla de plástico de 5 cm<sup>3</sup> se cogen 2,5 cm<sup>3</sup> de hidrógeno y 2,5 cm<sup>3</sup> de cloro o 5 cm<sup>3</sup> de la mezcla (por electrólisis pueden obtenerse mezclados o separados). Rápidament se acerca un flash cargado (de fotografía) hasta que esté casi tocando a la jeringuilla y se dispara. Instantáneament se produce una fuerte explosión saliendo disparados el émbolo y la jeringuilla en sentidos contrarios. Si no funciona, se debería utilizar un flash más potente o eliminar el difusor que suele llevar (el destello del flash produce desde ondas de radio hasta luz ultravioleta, pasando por luz infrarroja y visible).  $H_2 + Cl_2 \Rightarrow 2HCl$

**22) Reacción del cloro con el antimonio, el cobre y el hierro.** Se llena un matraz de 250 cm<sup>3</sup> o 500 cm<sup>3</sup> de cloro obtenido por cualquiera de los métodos habituales (no es necesario que esté seco) o simplemente poniendo lejía y ácido clorhídrico en el matraz. Si se dejan caer limaduras de antimonio en el matraz (limando un trozo de antimonio con una lima) se verán chispas y se formará un humo blanco espeso. Si se calienta al rojo un hilo grueso de cobre y se introduce en el matraz, se formará un humo espeso amarillo-marrón y el hilo se mantendrá incandescente. Si se introduce lana de acero encendida, continuará ardiendo dando un humo rojo-marrón.  $2Sb + 5Cl_2 \Rightarrow 2SbCl_5$ ;  $Cu + Cl_2 \Rightarrow CuCl_2$ ;  $2Fe + 3Cl_2 \Rightarrow 2FeCl_3$

**23) Reacción entre el yodo y el aluminio iniciada con agua.** Se pulveriza un poco de yodo en un mortero, se le añade aluminio en polvo y la mezcla se traslada a una cápsula de porcelana o mejor se deja en el mortero si es de porcelana. De momento no ocurre nada pero si se añaden una o varias gotas de agua, al cabo de unos segundos se forma una nube de vapores violeta de yodo, después el color es amarillo-marrón mientras la mezcla comienza a arder y se mantiene incandescente durante varios segundos.  $3I_2 + 2Al \Rightarrow 2AlI_3$

Una parte del aluminio arde con el oxígeno del aire:  $2Al + 3O_2 \Rightarrow 2Al_2O_3$

**24) Reacción entre el aluminio y el peróxido de sodio, iniciada con agua.** Encima de una hoja de papel se mezclan 1 g de peróxido de sodio y 0,5 g de aluminio en polvo. Cuando se añaden una o dos gotas de agua, la mezcla arde produciendo una luz intensa. Una parte del aluminio reacciona con el oxígeno del peróxido de sodio y el resto reacciona con el oxígeno del aire:  $2Al + 3Na_2O_2 + 3H_2O \Rightarrow Al_2O_3 + 6NaOH$ ;  $2Al + 3O_2 \Rightarrow 2Al_2O_3$

**25) Reacción explosiva entre el peróxido de sodio y el magnesio, iniciada con agua.** Cuando se dejan caer una o dos gotas de agua sobre una mezcla de 1 g de peróxido de sodio y 0,32 g de magnesio en polvo, la mezcla explota casi inmediatamente aunque sin peligro si se llevan gafas de seguridad. Parte del magnesio se oxida con el peróxido de sodio y el resto con el oxígeno del aire:  $Mg + Na_2O_2 + H_2O \Rightarrow MgO + 2NaOH$ ;  $2Mg + O_2 \Rightarrow 2MgO$

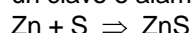
**26) Reacción de una mezcla de zinc, nitrato de amonio y cloruro de amonio iniciada con agua.** Cuando se añaden unas gotas de agua a una mezcla de 4 g de zinc, 4 g de nitrato de amonio y 0,5 g de cloruro de amonio, arde con un humo blanco. Los iones cloruro catalizan la descomposición del nitrato de amonio y entonces se produce la reacción:  $Zn + NH_4NO_3 \Rightarrow ZnO + N_2 + 2H_2O$

**27) Reacción entre el azufre y el peróxido de sodio, iniciada con agua.** Añadiendo unas gotas de agua a una mezcla de 0,1 g de azufre y 1 g de peróxido de sodio, la mezcla arde.  $S + 2Na_2O_2 + 2H_2O \Rightarrow SO_2 + 4NaOH$

**28) Reacción entre el bromo y el aluminio.** Se introducen entre 0,5 y 1 g de bromo en un tubo de ensayo. Después se le añade un trocito de aluminio y al cabo de unos segundos arde con una luz

blanca.  $3\text{Br}_2 + 2\text{Al} \Rightarrow 2\text{AlBr}_3$

**29) Reacción entre el zinc y el azufre.** Cuando se toca una mezcla de 6 g de zinc y 1 g de azufre con un clavo o alambre calentado al rojo, reacciona instantáneamente dando luz, ruido y humo.



**30) Reacción entre el bromo y el fósforo rojo.** Se introducen 0,5 o 1 g de bromo en un vaso de precipitados pequeño y se le añade un poco de fósforo rojo. La mezcla arde formando un humo blanco de tribromuro de fósforo.  $3\text{Br}_2 + 2\text{P} \Rightarrow 2\text{PBr}_3$

**31) La termita.** Muchos metales se pueden obtener encendiendo una mezcla en la proporción estequiométrica de su óxido (el óxido debe ser puro y estar seco) con aluminio en polvo como reductor. La temperatura de la reacción normalmente es tan alta que el metal funde. Mezclando óxidos se pueden obtener aleaciones. Para obtener la alta temperatura necesaria para iniciar la reacción se puede introducir un trozo de cinta de magnesio en la mezcla y encenderlo o bien cubrir la mezcla de reacción con otra mezcla de clorato de potasio y aluminio o clorato de potasio y azúcar, que se pueden encender con una mecha o poniendo encima permanganato de potasio en polvo y unas gotas de glicerol (ésta mezcla tarda unos segundos en encenderse dando tiempo a alejarse).

Se mezclan óxido de hierro(III) y aluminio en polvo en la proporción 3:1 (por ejemplo 36 g de óxido de hierro(III) y 12 g de aluminio) en un pequeño crisol refractario. Se puede hacer un crisol económico amasando con agua una mezcla de arcilla en polvo y óxido de aluminio en la proporción 2:1 en volumen o simplemente arcilla refractaria. No es necesario cocerlo, basta con que esté seco. El crisol se introduce en un tiesto de arcilla y se cubre casi hasta el borde con arena o "tierra de gatos" (sepiolita). Se introduce la mezcla en el crisol y se inicia la reacción con cualquiera de los métodos descritos (en la campana de gases o al aire libre). Se produce una llama amarilla, humo, chispas y finalmente queda una masa que se mantiene incandescente durante 2 o 3 minutos. Una vez frío (al cabo de media hora o una hora), se rompe el crisol y aparece un góbulo de hierro envuelto en escoria junto con otros mucho más pequeños. Se quina la escoria dándole unos martillazos y queda un glóbulo de hierro que puede ser atraído con un imán (ninguno de los productos de partida es atraído). Otro método mejor consiste en usar dos crisoles uno encima de otro. El superior con un agujero en el fondo de unos 10 mm de diámetro. Se tapa el agujero con un papel, se introduce la mezcla y se inicia la reacción. El góbulo de hierro con escoria, se formará en el crisol inferior y buena parte de la escoria quedará en el superior. Con éste método pueden obtenerse otros metales, por ejemplo níquel, pero hay que tener en cuenta que **algunos óxidos metálicos pueden reaccionar explosivamente!**  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \Rightarrow 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$

**32) Oxidación catalítica del amoníaco por el oxígeno del aire.** Se añade amoníaco concentrado (amoníaco de laboratorio) en un Erlenmeyer de 500 cm<sup>3</sup> hasta una altura de 1 cm. Se calienta para que se desprenda amoníaco, se introduce un hilo de cobre grueso calentado al rojo (sin tocar el líquido) y se observa que continúa manteniéndose al rojo (se ve mejor con poca luz ambiente). Otro método más vistoso es el siguiente: primero se prepara óxido de cromo(III) (véase la reacción núm. 1: volcán) a partir de 2 o 4 espátulas de dicromato de amonio. El óxido obtenido se calienta al rojo en una cuchara y se vierte en un recipiente lo más grande posible (2L o 5L) que contenga un poco de disolución concentrada de amoníaco. El óxido de cromo(III) cataliza la oxidación del amoníaco y se calienta formando unas "estrellas" brillantes de color amarillo que se mueven por el recipiente (el óxido preparado así es muy ligero).  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \Rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$

**33) Deshidratación de la sacarosa por el ácido sulfúrico.** Se llena medio vaso de precipitados con azúcar y se le añade el mismo volumen de ácido sulfúrico concentrado. Se forma un residuo negro de carbón que va creciendo saliendo del vaso hasta un volumen 4 veces el del azúcar inicial al mismo tiempo que se desprenden gases y calor. Una parte del azúcar se oxida a dióxido de carbono pero la reacción principal es la deshidratación:  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \Rightarrow 12\text{C} + 11\text{H}_2\text{O}$

**34) Indicador de la humedad del aire.** Se impregna una hoja de papel de filtro con una disolución de 2 g de cloruro de cobalto(II), 1 g de cloruro de sodio y 100 cm<sup>3</sup> de agua y se deja secar. La hoja de papel tendrá color rosa con un ambiente húmedo y azul con ambiente seco.

**35) Tintas invisibles.** Muchos zumos vegetales o la leche se pueden utilizar para escribir en una hoja de papel de manera que una vez secos prácticamente no se puede ver nada pero calentando

fuertemente la hoja de papel con una plancha, el texto se hace visible. Otro método más bonito consiste en utilizar una disolución al 1% en agua de cloruro de cobalto(II) hexahidrato (se le puede añadir un 1% de cloruro de sodio) . Como tiene un ligero color rosa, es mejor escribir en una hoja de papel rosa para que sea realmente invisible. Cuando se calienta, el texto adquiere un bonito color azul de manera que se puede leer perfectamente. Otro método consiste en utilizar un revelador:

a) Se escribe con una disolución al 5% de sulfato de cobre (II) pentahidrato. El texto se hace visible con vapores de amoníaco introduciendo el papel en un recipiente que contenga un poco de amoníaco.

b) Se puede escribir con una disolución al 1% de fenolftaleína en etanol y revelar el mensaje rociando el papel con una disolución diluida de amoníaco o de hidróxido o carbonato de sodio. El texto aparece con un bonito color rosado. Si se ha empleado amoníaco, el texto volverá a ser invisible al cabo de un rato. Lo mismo ocurre con timolftaleína que es incolora en medio ácido o neutro y azul en un medio fuertemente básico.

c) Empleando como revelador una disolución al 1% de cloruro de hierro(III), se pueden emplear distintas sustancias disueltas al 1% para escribir un texto invisible dando distintos colores: 1) el tiocianato de amonio da color rojo; 2) el hexacianoferrato(II) de potasio da color azul; 3) el ácido gálico en etanol añil; 4) la dimetilglioxima, amarillo-ocre, 5) la 8-hidroxiquinoleína en etanol, verde-grisáceo; 6) el ácido salicílico en etanol, violeta; el ácido tánico (al 3%) en agua, añil oscuro.

**36) Jardín químico submarino.** Se llena un bote de vidrio con disolución de silicato de sodio concentrada o diluida en la proporción 1:3 en volumen. Se añaden cristales de diferentes sales solubles en agua (mejor si son grandes): sulfato de cobre(II), sulfato de hierro(II), cloruro de hierro(III), sulfato de aluminio y potasio... Se forman los correspondientes silicatos de distintos colores que van creciendo y ramificándose hacia arriba como si fuesen algas, corales,... dando el aspecto de un fondo submarino.

**37) Nilón 6-6.** Se preparan dos disoluciones. Disolución **A**: 1 ml de cloruro de hexandioilo (cloruro de adipilo) (Merck: Acido adípico dicloruro ref.: 800089.0050) en 50 ml de tetracloruro de carbono. Disolución **B**: 1,1 g de 1,6-hexandiamina (hexametilendiamina) y 0,75 g de hidróxido de sodio en 25 mL de agua. En un vaso de precipitados de 50 o 100 mL se vierte un poco de disolución A (1 o 2 cm de altura) y encima se vierte disolución B resbalando por una varilla de vidrio procurando que no se mezclen. Se introduce un alambre con un gancho pequeño en la punta hasta el fondo y se tira suavemente, el alambre va arrastrando un hilo de nilón. Si se rompe, se vuelve a introducir el alambre y se vuelve a tirar de él. Da la impresión de que se pueda sacar tanto hilo como se quiera. Si se desea conservar el hilo, se lava primero con agua, después con acetona y se deja secar.

**38) Nitrato de celulosa (algodón pólvora).** Se vierten 10 mL de ácido nítrico concentrado en un vaso de precipitados y se añaden lentamente 20 o 25 mL de ácido sulfúrico concentrado agitando con una varilla de vidrio. Se deja enfriar y se añade 1 g de algodón y se remueve de cuando en cuando con una varilla. Transcurridos unos 20 minutos como **mínimo**, se vierte el contenido del vaso a un embudo Buchner montado en un Kitasato, se exprime el algodón pólvora presionando con una botella y se lava con un chorro de agua durante 10 o 20 minutos. El nitrato de celulosa se deja secar al aire y se conserva en un bote junto con un desecante (cloruro de calcio, gel de sílice, óxido de calcio, carburo de calcio...). El nitrato de celulosa tiene el mismo aspecto que el algodón pero es más áspero y cuando se le prende fuego quema instantáneamente casi sin dejar residuo. En éstas condiciones se puede encender encima de la mano sin peligro. Con el tiempo se hidroliza y arde más lentamente, entonces ya no conviene encenderlo encima de la mano pues quema. El nitrato de celulosa es útil cuando se necesite algo que se pueda encender con una temperatura relativamente baja (se inflama entre 160-170°C; véase el experimento 73). También sirve para demostrar que puede haber un cambio químico importante sin ningún cambio aparente.

**39) Humos de colores.** Se mezclan clorato de potasio, azúcar, azufre y colorante en la proporción 6:9:1:1,5 . Cuando se enciende la mezcla se obtiene un humo de color que depende del colorante utilizado (hay que hacerlo al aire libre y vitando respirar el humo). Se puede obtener un color rosa-violeta con rojo brillante, amarillo naftol, verde malaquita, sudán III, rojo de metilo y rojo neutro. Un violeta-morado intenso con rodamina B. Azul con azul de metileno. Amarillo claro con alizarina. Verde con una mezcla de azul de metileno y alizarina.

**40) Una bomba de humo.** Se mezclan formando una pasta, 5 g de clorato de potasio, 8 g de zinc en polvo y 9,5 g de tetracloruro de carbono. Se envuelve la pasta con una hoja de papel como si se hiciera

un cigarrillo, se le prende fuego inmediatamente (al aire libre) y se formará una niebla abundante (no conviene respirar el humo resultante).  $\text{KClO}_3 + 3\text{CCl}_4 + 6\text{Zn} \Rightarrow 2\text{KCl} + 3\text{CO}_2 + 6\text{ZnCl}_2$  (el cloruro de zinc anhidro que se forma se disuelve con el vapor de agua del aire produciendo la niebla). También se puede producir humo encendiendo una mezcla de 4 partes de pólvora de cualquier clase con una parte de cloruro de amonio en volumen (en éste caso el humo son finas partículas de cloruro de amonio). Si se desea que reaccione despacio, se puede fundir una mezcla de nitrato de potasio, azúcar y cloruro de amonio en la proporción 3:2:1 en peso. Se tiene que calentar con un hornillo eléctrico que tenga termostato y removiendo continuamente. La temperatura se tiene que ajustar con cuidado de lo contrario arderá toda la mezcla. Si se mezclan hidróxido de potasio y cloruro de hidroxilamonio a partes iguales en peso, la mezcla reacciona al cabo de unos segundos formando un humo constituido por agua, amoníaco, cloruro de amonio y nitrógeno.

**41) Quimioluminiscencia del luminol.** Dissolución A: se disuelven 0,1 de luminol (**Merck: 5-Amino-1,2,3,4-tetrahydro-1,4-ftalacindiona** ref.: **820071.0010** o bien **Fluka: ref.: 09253, 3-aminophthalhydrazide (5 g)**) en 10 ml de hidróxido de sodio del 10% y se diluye a un litro. Dissolución B: se disuelven 0,5 g de hexacianoferrato(III) de potasio (ferricianuro de potasio) en un litro de agua y se añaden 15 ml de peróxido de hidrógeno al 3%. Meclando las dos dissoluciones a oscuras (o con poca luz), se produce una luz azulada sin que se observe desprendimiento de calor.

**42) Quimioluminiscencia temporizada del luminol con dos colores de luz.** Se prepara una dissolución en este orden: 40 cm<sup>3</sup> de agua destilada, 0,8 g de hidróxido de sodio, 0,005 g de luminol, 25 g de carbonato de potasio, 1 g de pirogalol (ácido pirogálico) y 10 cm<sup>3</sup> de formaldehido (metanal). Ésta dissolución se pone en un vaso de precipitados grande y éste dentro de un recipiente más grande todavía (para recoger el líquido que saldrá debido a la efervescencia que se producirá). En el momento de hacer la demostración (a oscuras) se añaden 30 cm<sup>3</sup> de peróxido de hidrógeno del 30%. Durante unos segundos se verá una luz roja emitida por el oxígeno singlete formado en la oxidación del pirogalol y del formaldehido. A continuación se verá una luz azulada durante unos segundos debida a la oxidación del luminol.

**43) Quimioluminiscencia de la lucigenina.** La lucigenina es bastante cara pero tiene un rendimiento cuántico muy superior al luminol: una dissolución de lucigenina en medio básico da un poco de luz a oscuras por reacción con el oxígeno del aire. Para una demostración más interesante se necesitan las dissoluciones siguientes: **dissolución A:** se disuelven 8 g de hidróxido de sodio en 650 cm<sup>3</sup> de agua destilada, se añaden 300 cm<sup>3</sup> de etanol y 50 cm<sup>3</sup> de peróxido de hidrógeno del 30% (ésta dissolución no se conserva y conviene prepararla el mismo día de la demostración); **dissolución B:** se disuelven 0,2 g de lucigenina en 1 litro de agua destilada (**Fluka: ref.: 39685, N,N'-dimethyl-9,9'-biacridinium dinitrate (1 g)** o bien **Aldrich: B4,920-3**); **dissolución C** (optativa): 0,5 g de rodamina B en 1 litro de etanol; **dissolució D** (optativa): 1 g de fluoresceína en 1 litro de etanol. Cuando se mezclan (a oscuras o con poca luz) las dissoluciones **A y B** se produce una luz blanca. Si se añade **dissolución C** la luz toma color rojo y con **dissolución D**, la luz es más intensa y toma un color amarillo-verdoso. Añadiendo **C i D** la luz es naranja.

**44) Quimioluminiscencia del siloxeno.** El siloxeno Si<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub> tiene una estructura cíclica incierta y se obtiene fácilmente a partir del siliciuro de calcio (Fluka: Calcium silicide, ref.: 21240).  $6\text{H}^+ + 3\text{CaSi}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Si}_6\text{H}_6\text{O}_3 + 3\text{H}_2 + 3\text{Ca}^{2+}$ . Se introducen 5 g de siliciuro de calcio y 50 cm<sup>3</sup> de ácido clorhídrico concentrado en un matraz y se agita. Como subproductos de la reacción se forman silanos que van explotando sin peligro. Una vez terminada la reacción, se añaden 25 cm<sup>3</sup> más de ácido clorhídrico y se hierve agitando durante 5 minutos. Se añaden 150 cm<sup>3</sup> más de agua y se hierve 5 minutos más. El siloxeno formado, de color amarillento, se separa por filtración. Cuando el siloxeno se oxida con un oxidante energético, por ejemplo una dissolución de permanganato, produce una luz amarilla.

**45) Quimioluminiscencia del fósforo blanco.** Se introduce un poco de fósforo blanco (muy tóxico!) en un matraz con agua y se tapa con un tapón atravesado por un tubo de vidrio que no sea demasiado estrecho. Se calienta hasta que hierva y a oscuras, se verá que el vapor que sale es luminoso (de un color blanco azulado) debido a que arrastra pequeñas cantidades de fósforo que se oxidan en contacto con el aire. Dentro del matraz también se ven luces.

**46) Reacción temporizada entre el yodato de potasio y el hidrogenosulfito de sodio.** Se preparan dos disoluciones: **disolución A:** 2 g de  $\text{KIO}_3$  en 1 litro de agua destilada; **disolución B:** se disuelven 2 g de almidón soluble (calentando lo justo para que se disuelva) en  $500 \text{ cm}^3$  de agua destilada, se añaden 0,4 g de hidrogenosulfito de sodio ( $\text{NaHSO}_3$ ),  $5 \text{ cm}^3$  d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M y finalmente agua hasta un volumen total de 1 litro. Se mezclan  $5 \text{ cm}^3$  de disolución A con disolución B (entre  $1 \text{ cm}^3$  y  $5 \text{ cm}^3$ ), al cabo de unos segundos (según la proporción empleada) la mezcla tomará color azul.

**47) Reacción temporizada de Nassau.** Se preparan 3 disoluciones: **disolución A:** 15 g de yodato de potasio ( $\text{KIO}_3$ ) en 1 litro de agua; **disolución B:** se disuelven 4 g de almidón soluble (calentando lo justo para que se disuelva) en  $500 \text{ cm}^3$  d'agua, se añaden 15 g de hidrogenosulfito de sodio ( $\text{NaHSO}_3$ ) y se completa con agua hasta 1 litro; **disolución C:** se disuelven 33 g de cloruro de mercurio(II) ( $\text{HgCl}_2$ ) en 1 litro de agua. Se mezclan 1 volumen de **disolución A**, 2 volúmenes de **disolución C** y 1 volumen de **disolución B** (en éste orden). Primero la mezcla toma un color naranja y después un color azul.

**48) Reacción oscilante de Briggs-Rauscher.** (Los iones cloruro inhiben ésta reacción de manera que se tiene que emplear agua destilada). Se preparan 5 disoluciones: **A)** 5,74 g de yodato de potasio en 100 ml de agua; **B)** 0,45 g de sulfato de manganeso(II) monohidrato, 0,56 ml de ácido sulfúrico concentrado y 100 ml de agua; **C)** 2,08 g de ácido malónico (Merck: Acido malónico ref.: 800387.0100) en 100 ml de agua; **D)** 50 ml de peróxido de hidrógeno del 30% y 50 ml de agua; **E)** 1 g de almidón en 100 ml de agua. Para la reacción se toman, por orden, 10 ml de cada disolución excepto de la última de la que se que se cogen 10 gotas. Después de unos segundos empiezan las oscilaciones de color entre el incoloro y un azul que cada vez es más oscuro hasta que no deja pasar la luz.

**49) Reacción oscilante de Belousov-Zhabotinsky.** Se preparan 4 disoluciones: **A)** se disuelven 0,22 g de sulfato de cerio(IV) tetrahidrato (o 0,3 g de nitrato de amonio y cerio(IV)) en 75 ml de agua, a continuación lentamente y agitando, se añaden 25 ml de ácido sulfúrico concentrado y finalmente se añade peróxido de hidrógeno del 3%, gota a gota hasta que desaparezca el color amarillo del cerio(IV). **B)** Se disuelven 3,12 g de bromato de potasio en 100 ml de agua. **C)** Disolución de ferroina aproximadamente 0,01M que se puede preparar así: 0,55 g de sulfato de hierro(II) heptahidrato se disuelven en 200 ml de agua y después se añaden 1,18 g de 1,10-fenantrolina, se agita y se filtra. **D)** Se disuelven 8,58 g de ácido malónico (Merck: Ácido malónico ref.: 800387.0100) en 100 ml de agua. Para la reacción, se mezclan por orden 10 ml de cada disolución excepto de la C de la que se cogen 10 gotas. Se mantiene la mezcla agitada con un agitador magnético y se verá una oscilación periódica de color entre el rojo y el azul claros.

**50) Polimerización por acción de la luz.** En primer lugar hay que preparar una disolución saturada de acrilato de calcio: se introducen en un vaso de precipitados 80 g (uns 80 ml) de ácido acrílico (Merck: Acido acrílico ref.: 800181.0500 (500 ml) o 800181.1000 (1000 ml)), 300 ml de agua y 41 g de hidróxido de calcio, se agita, se deja reposar un rato, se filtra para separar el exceso de hidróxido de calcio y se le añade un 2% de tiosulfato de sodio pentahidrato. La mezcla sensible a la luz (sensible a la zona roja del espectro) se prepara con un volumen de disolución saturada de acrilato de calcio, un cuarto de éste volumen de trietanolamina y unas gotas de disolución de azul de metileno al 1% en agua. La mezcla se calienta a unos  $50^\circ\text{C}$  cuando se quiera usar. Cuando se ilumina, solidifica en las zonas iluminadas. Se puede preparar la mezcla con luz fluorescente siempre y cuando no se la tenga mucho rato expuesta a la luz. Se pueden reproducir imágenes poniendo una diapositiva con poco detalle y buen contraste en un proyector de diapositivas y proyectando (directamente o con la ayuda de un espejo) la luz debajo de una cápsula de Petri conteniendo la mezcla.

**51) Acción de la luz sobre el cloruro de plata.** Se sumerge una hoja de papel de filtro en una disolución diluida de nitrato de plata y a continuación se sumerge en una disolución concentrada de cloruro de sodio. Se saca la hoja, se le pone encima un objeto opaco y se ilumina con una luz intensa,. Después de unos segundos o minutos, se quita el objeto y se verá su silueta: las partes iluminadas se han vuelto de color negro y el resto continua de color blanco.

**52) Otras maneras de obtener imágenes. A)** Se sumerge una hoja de papel primero en una disolución conteniendo 10 g d'hexacianoferrato(III) de potasio (ferricianuro de potasio) en 50 ml d'agua y después en otra disolución conteniendo 10 g de citrato de amonio y hierro(III) (Merck: Amonio y hierro(III) citrato



ref.: 3762.1000). Se saca el papel y se deja secar en la oscuridad. Poniendo algún objeto encima del papel y exponiéndolo a la luz del sol o de una lámpara ultravioleta, se verá su silueta (las partes iluminadas quedarán de color azul). Para fijar la imagen hay que lavar el papel en agua (para eliminar los reactivos que no han reaccionado) y dejarlo secar. (Éstas hojas de papel sensible se pueden conseguir ya preparadas a "Educational Innovations" <http://www.teachersource.com/>).

**B)** Se sumerge una hoja de papel en una disolución conteniendo 1 g de nitrato de hierro(III) y 1 g de ácido oxálico en 25 mL de agua. Se saca y se deja secar a oscuras. Para obtener una silueta se coloca algún objeto encima de la hoja y se expone unos 2 minutos a la luz del sol o varios minutos a una luz ultravioleta. Se revela sumergiéndolo en una disolución 0,03M de ferricianuro de potasio [hexacianoferrato(III) de potasio] lavándolo a continuación con agua (mejor con agua destilada). Como antes, las partes iluminadas quedarán de color azul.

**C)** Una disolución de gelatina y dicromato de potasio se puede aplicar encima de diversas superficies. Si se expone a la luz del sol a la luz ultravioleta, las zonas iluminadas endurecen y llega un momento en que son insolubles en agua. **D)** En las tiendas de componentes electrónicos se pueden encontrar unos sprays de resina fotosensible per a hacer circuitos impresos. La resina se puede aplicar sobre cualquier superficie y es sensible a la luz ultravioleta. La superficie impregnada se tiene que dejar secar en la oscuridad antes de usarla. Después de la exposición se revela con disolución diluida de hidróxido de sodio que disuelve la resina que no ha recibido luz. Se pueden hacer imágenes sobre metales e incluso sobre vidrio (en éste caso cuando ya se ha revelado la placa de vidrio, se ataca con una disolución diluida de fluoruro de hidrógeno (ácido fluorhídrico). Los metales se pueden atacar con ácido clorhídrico y si se trata de cobre, con una mezcla de ácido clorhídrico y agua oxigenada o con disolución concentrada de cloruro de hierro(III).

**53) Imagen que desaparece.** Con luz tenue o poco intensa y calentando, se prepara una disolución con 0,78 g de sulfato de amonio y hierro(II) hexahidrato, 0,6 cm<sup>3</sup> de ácido fosfórico del 60% (0,4 cm<sup>3</sup> del 85%), 10 g de gelatina (la gelatina es opcional, simplemente se usa para que la disolución solidifique) y 3,42 mg de tionina en 100 cm<sup>3</sup> d'agua. Una vez disueltos todos los ingredientes, la disolución debe tener color azul (con luz intensa será incolora). Se pone parte de la disolución en una cápsula de Petri y se deja solidificar. Si se proyecta una imagen simple sobre la cápsula, las zonas iluminadas quedarán incoloras mientras que las oscuras permanecerán de color azul. Dejando la cápsula en la oscuridad o con poca luz, la imagen se desvanecerá y la cápsula se podrá volver a usar.

Reacciones a la luz: tionina (azul) + luz  $\Rightarrow$  tionina excitada,

tionina excitada + Fe<sup>2+</sup>  $\Rightarrow$  leucotionina (incolora) + Fe<sup>3+</sup>.

Reacción en la oscuridad:

leucotionina (incolora) + Fe<sup>3+</sup>  $\Rightarrow$  tionina (azul) + Fe<sup>2+</sup>

**54) Disolución sobresaturada.** Se ponen 5 g de tiosulfato de sodio pentahidrato y 5 gotas de agua en un tubo de ensayo. Se calienta suavemente hasta obtener una disolución perfectamente transparente. Se enfría bajo el chorro del grifo. Cuando está frío se le deja caer un cristalito de tiosulfato de sodio pentahidrato. Instantáneamente empieza a cristalizar toda la disolución y al mismo tiempo puede apreciarse cómo se calienta (la cristalización es exotérmica).

**55)** Si se introduce un trozo de cinta de magnesio en una disolución que contenga iones hierro(II), por ejemplo sulfato de hierro(II), se saca al cabo de unos segundos (en caliente la reacción será más rápida) y se seca con cuidado, se podrá comprobar que es atraída por un imán. También se pueden utilizar disoluciones de níquel(II) o cobalto(II). En todos éstos casos se deposita el metal correspondiente, que es ferromagnético, encima de la cinta y por ello es atraída por el imán.  $Mg + Fe^{2+} \Rightarrow Mg^{2+} + Fe$

**56) Lápiz que escribe en dos colores.** Se prepara una disolución en agua conteniendo 10% de sulfato de sodio, 1% de almidón (se tiene que disolver calentando), 0,4% de yoduro de potasio y 0,2% de fenoltaleina (previamente disuelta en etanol). Se impregna un hoja de papel de filtro con ésta disolución, se escurre o se seca un poco con otra hoja y se pone encima de una hoja de papel de aluminio. Se conecta una pila de 4,5 V (o dos pilas en serie) entre la hoja de papel de aluminio y la mina de un lápiz o una varilla de acero inoxidable. Cuando el lápiz (o la varilla) está conectado al polo positivo, escribe con un color marrón azulado sobre la hoja de papel. Por el contrario, si está conectado al polo negativo, escribe de color rosa. También se puede utilizar una disolución concentrada de sulfato de sodio con bastante indicador universal. Entonces el lápiz escribe de color rojo cuando se conecta al polo positivo y azul cuando se conecta al polo negativo. Si se utiliza corriente alterna (6 o 12 V obtenidos mediante un

transformador), el lápiz no dibuja líneas continuas si no segmentadas alternando los colores. En el polo positivo, la reacción es:  $2I^- \Rightarrow I_2 + 2e^-$ , el yodo da color azul con el almidón a baja concentración, pero si la corriente es muy elevada se forma tanto yodo que sólo se ve su color marrón. En el polo negativo, la reacción es:  $2H_2O + 2e^- \Rightarrow H_2 + 2OH^-$ , los iones hidróxido (medio básico) provocan el cambio de color de la fenolftaleína de incolora a rosa.

**57) Surtidor de agua accionado con cloruro de hidrógeno o amoníaco.** Se llena un matraz redondo de 500 ml con cloro de hidrógeno seco o amoníaco seco (el amoníaco es más ligero que el aire por tanto el matraz se tiene que llenar boca abajo). Se tapa el matraz con un tapón atravesado por un tubo. El extremo del tubo dentro del matraz debe terminar en una punta más o menos fina. Se pone el matraz boca abajo y se introduce el tubo en un recipiente con agua. Después de unos segundos el agua subirá por el tubo y producirá un surtidor dentro del matraz debido a que éstos gases son muy solubles en agua. Un método más seguro para iniciar el surtidor consiste en usar un tapón con dos agujeros, uno con el tubo y el otro con un gotero lleno de agua. Haciendo presión en el gotero, entra agua al matraz e inicia el surtidor. Se puede añadir algún indicador ácido-base al agua de manera que ésta cambie de color cuando entre en el matraz. Con el cloruro de hidrógeno se puede utilizar naranja de metilo (cambiará de amarillo a rojo) y con el amoníaco, fenolftaleína (cambiará de incoloro a rosa). El cloruro de hidrógeno seco se puede obtener con cloruro de sodio y ácido sulfúrico concentrado:  $NaCl + H_2SO_4 \Rightarrow NaHSO_4 + HCl$ . El amoníaco seco se puede obtener por reacción del óxido de calcio y el cloruro de amonio:  $CaO + 2NH_4Cl \Rightarrow CaCl_2 + H_2O + 2NH_3$

**58) Una electroforesis.** Se coge una hoja de papel de filtro de 5x3 cm y se empapa con agua del grifo. Se ponen en el centro del papel, unos cristalitos de dicromato o permanganato de potasio. Se conectan los extremos del papel a una pila mediante cables con pinzas de cocodrilo y al cabo de unos minutos (20 minutos con una pila de 4,5 V) se observará que los iones permanganato o cromato se han movido hacia el polo positivo. Con el cromato de bis(etilendiamina)cobre(II), se puede observar que los iones cromato de color amarillo, se mueven hacia el polo positivo mientras que los iones bis(etilendiamina)cobre(II) de color violeta, se mueven hacia el polo negativo. Si se emplea un fuente de corriente continua de 300V o se rectifica la corriente de la red, el movimiento de los iones se observa en pocos segundos.

**59) Moco sintético ("blandi-blub").** Disolución **A**) alcohol polivinílico (Fluka: Polyvinyl alcohol 100000, ref.: 81386) en agua al 4% (el alcohol polivinílico tiene que tener una masa molecular como mínimo de  $10^5$  g/mol y se tiene que dejar todo un día para que se disuelva o bien usar una batidora de cocina). Los alcoholes polivinílicos de masa molecular más pequeña, por ejemplo 22000, son más solubles y fáciles de disolver pero no funcionan); disolución **B**) borato de sodio tetrahidrato (bórax:  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) en agua al 4%. Se mezclan energícamente en un mortero las disoluciones **A** y **B** en una proporción en volumen que puede variar entre 5:1 y 10:1. El resultado es un "moco" que parece sólido cuando se coge pero fluye como un líquido cuando se deja en reposo. También se puede mezclar cola blanca de carpintero con la disolución de tetraborato añadida gota a gota hasta obtener la consistencia deseada. La cola blanca contiene acetato de polivinilo.

**60) Llama que reaparece.** Si una astilla de madera (o una tira de papel) encendida se apaga soplando y rápidamente, mientras aún tiene brasa, se introduce en un recipiente con oxígeno, se vuelve a encender. Un trozo de carbón vegetal continúa incandescente pero sin llama en oxígeno puro. (El dióxido de nitrógeno también produce el mismo efecto). El oxígeno se puede obtener: a) calentando clorato de potasio mezclado con un poco de óxido de manganeso(IV); b) añadiendo un poco de óxido de manganeso(IV) o de yoduro de potasio al peróxido de hidrógeno (agua oxigenada); c) añadiendo un poco de cloruro de cobalto(II) a la lejía comercial (se forma un óxido de cobalto que actúa de catalizador).

**61) Vela mágica.** Se impregna una hoja de papel de filtro de 8 X 4 cm con parafina fundida. Se prepara una mezcla de zinc y óxido de hierro(III) en la proporción 1,23 : 1. Una pequeña cantidad de esta mezcla se envuelve con el papel parafinado como si fuera un cigarrillo. Si se le prende fuego a la vela y se apaga soplando, continúa dando humo y al cabo de unos segundos se enciende otra vez. Esto puede repetirse mientras quede vela. Para apagarla definitivamente se introduce en agua. La razón de que la vela se vuelva a encender es que en su interior se produce la reacción entre el zinc y el óxido de hierro(III) que es suficientemente exotérmica y lenta:  $3Zn + Fe_2O_3 \Rightarrow 3ZnO + 2Fe$

**62) Colores de interferencia por electrólisis.** Se utiliza un baño de 100 cm<sup>3</sup> d'agua, 2 g de molibdato de amonio y 10 g de nitrato de amonio con una densidad de corriente de unos 5 mA/cm<sup>2</sup>. Como cátodo (polo negativo) se puede utilizar cobre, latón o acero inoxidable... y como ánodo (polo positivo) un electrodo de carbón o mejor de platino. En el cátodo se deposita una capa de un óxido de molibdeno transparente que es más o menos gruesa en función del tiempo de electrólisis lo cual origina distintos colores de interferencia muy vivos y con brillo metálico. En el cobre los colores son más vivos si previamente se ha sumergido en una disolución de polisulfuro de amonio (con lo cual queda de color negro). De todas maneras pierden intensidad con el tiempo. Con titanio como ánodo (polo positivo) en una disolución de fosfato de sodio o borato de sodio al 5%, se obtienen distintos colores variando la tensión aplicada en la electrólisis: a unos 18V aparece un color bronce (la interferencia cancela la parte azul del espectro), aumentando el voltaje aparecen tonos azules (se cancelan el rojo y el verde), a 50V se obtiene un azul blanquecino (se cancela algo de rojo), a 80V aparece el amarillo (se cancela el azul), a continuación aparece el magenta y luego el cián (se cancela el rojo) y finalmente a 110V aparece el verde (se cancelan el rojo y el azul) (éste color se obtiene más fácilmente con niobio en vez de titanio. Los colores en el titanio también se pueden formar oxidándolo directamente con la llama de un bunsen o de un soplete pero no se puede ir más allá del amarillo. El tungsteno y el niobio se comportan de forma parecida. En "Educational Innovations" venden un "kit" para anodizar titanio (<http://www.teachersource.com/>).

**63) Recubrimientos metálicos de objetos no conductores por electrólisis.** En primer lugar hay que conseguir que el objeto sea conductor. Ésto se puede conseguir rociándolo con un spray de grafito o de níquel (se pueden encontrar en las tiendas de componentes electrónicos). Una vez la pintura está bien seca, se conecta el objeto como cátodo (polo negativo) en un baño electrolítico que contenga iones del metal que se quiera depositar. El ánodo (polo positivo), si es posible, ha de ser del mismo metal que se quiere depositar o si no, puede ser de carbón. Para obtener buenos resultados hay que regular la densidad de corriente eléctrica con una resistencia (o emplear una fuente de alimentación con limitador de intensidad) para que no sea demasiado grande. Por ejemplo para el recubrimiento con cobre se puede emplear un baño que contenga 100 cm<sup>3</sup> d'agua, 20 g de sulfato de cobre(II) pentahidrato y 2,7 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico con una densidad de corriente entre 20 mA/cm<sup>2</sup> y 50 mA/cm<sup>2</sup>.

**64) Llamas de colores.** En 5 cápsulas de porcelana, se ponen respectivamente: una punta de espátula de ácido bórico, cloruro de litio, cloruro de cobre(II), cloruro de cobre(II) con unas gotas de ácido clorhídrico diluido y cloruro de sodio. Después se añaden entre 5 y 10 cm<sup>3</sup> de metanol a cada cápsula y se le prende fuego (manténgase la botella de metanol bien lejos y cerrada!). Preferiblemente con poca luz, se verán llamas con los colores siguientes: verde manzana, rojo carmín, verde, azul y amarillo. Los colores son más intensos cuando el metanol se está acabando y en éstos momentos se puede ver el espectro si se mira con un espectroscopio. El metanol va bien porque produce una llama incolora pero no ocurre lo mismo con otros combustibles. También se puede poner un poco de sal y metanol en un frasco pulverizador y pulverizar sobre una llama. Éste método es más espectacular pero se consume más metanol y hay que tener cuidado de no originar un incendio o quemarse.

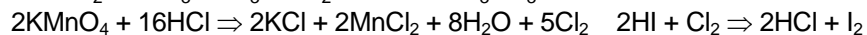
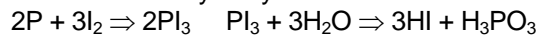
**65) Una demostración rápida de separación per diálisis.** Se prepara una disolución de almidón soluble al 1% aproximadamente (calentando lo justo para que se disuelva) y se le añade un poco de dicromato de sodio que dará color amarillo a la disolución. Una vez fría se vierte en el centro de un cuadrado de celofán incoloro colocado en un embudo sin llenarlo del todo. Se levantan los vértices del cuadrado de celofán y se forma un saquito conteniendo la disolución sujetándolo con cinta adhesiva, una goma elástica o una brida. El saquito se sumerge en un vaso de precipitados conteniendo agua de forma que llegue hasta la mitad de su altura (para asegurarse de que el agua no entre en el saquito por la parte superior). Después de un minuto o dos, el agua del vaso tendrá el color amarillo del dicromato de sodio. Para averiguar si hay o no almidón, se vierte un poco de éste líquido en un tubo de ensayo y se le añade disolución de yodo en yoduro de potasio y agua (lugol). El resultado es que no hay cambio de color (en presencia de almidón el color sería azul oscuro tal como puede comprobarse con el líquido contenido en el saquito). La conclusión es que el catión dicromato pasa por los poros de la celofana mientras que el almidón no puede pasar debido a que sus moléculas son muy grandes (por lo menos más grandes que los poros). Un rayo láser puede poner de manifiesto cuando hay partículas grandes: si se mira perpendicularmente al rayo el rayo se ve. En cambio si las partículas son pequeñas: aire, agua, cloruro de sodio, azúcar..., el rayo no se ve (efecto Tyndall: para dispersar la luz las partículas deben ser del orden de la longitud de onda o mayores). Otra diálisis rápida consiste en utilizar una disolución de

cromato de sodio en leche: el agua que rodea al saquito se vuelve amarilla pero continua transparente de modo que los iones cromato pasan por los poros pero las gotas de grasa (que hacen que la leche no sea transparente), no pueden pasar.

**66) Una reacción muy endotérmica.** Se pulverizan por separado 3 g de tiocianato de amonio y 6 g de hidróxido de bario octahidrato. Se introducen en un vaso de precipitados de 50 cm<sup>3</sup> y se remueven con una varilla. La mezcla se vuelve líquida, se nota el olor a amoníaco y la temperatura desciende unos 40°C, de manera que puede llegar a -20°C. La superficie del vaso se recubre de una capa de hielo formada a partir del vapor de agua contenido en el aire. La causa de que ésta reacción sea espontánea, aún siendo endotérmica, está en el gran aumento de entropía que se produce.  $2\text{NH}_4\text{SCN}_{(s)} + \text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}_{(s)} \Rightarrow \text{Ba}^{2+}_{(aq)} + 2\text{SCN}^{-}_{(aq)} + 2\text{NH}_3_{(g)} + 10\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

**67) Una cristalización en colores.** Se pone una punta de espátula de tiosulfato de sodio pentahidrato en el centro de un portaobjetos, se tapa con otro portaobjetos, se sujetan los extremos de los portaobjetos con pinzas de tender ropa y se calientan los portaobjetos al aire caliente de una llama hasta que funde el tiosulfato haciendo presión para que forme una capa delgada. Se pone el conjunto de los dos portaobjetos entre dos polarizadores cruzados en un retroproyector. Cuando el tiosulfato se enfria va cristalizando y según la orientación y el grosor de los cristales, aparecen de uno u otro color. Si el tiosulfato tarda mucho en cristalizar se puede enfriar con un spray refrigerante.

**68) La reacción entre el cloro y el yoduro de hidrógeno: una reacción entre gases que da sustancias de diferentes colores en distintos estados físicos.** 1) Obtención del yoduro de hidrógeno: se introducen 3 g de yodo y 0,5 g de fósforo rojo (no deben tener humedad) en un tubo de ensayo con tubuladura lateral. Se tapa el tubo con un tapón de un agujero por el que se pasa un cuentagotas lleno de agua. Se conecta un tubo de goma a la tubuladura lateral y se introduce en una probeta de 250 cm<sup>3</sup>. Se dejan caer algunas gotas de agua y se calienta suavemente hasta que aparezca un humo blanco al fondo de la probeta (el yoduro de hidrógeno es incoloro, forma humos blancos con el agua y con el tiempo se oxida por el oxígeno del aire). 2) Obtención del cloro: se introduce una cucharada de espátula bien llena de permanganato de potasio en otro tubo de ensayo con tubuladura lateral. Se tapa con un tapón de un agujero por el que se ha hecho pasar un embudo de decantación. Se llena el embudo de decantación con ácido clorhídrico. Se conecta un tubo de goma (mejor un tubo de vidrio) a la tubuladura lateral y se introduce en una probeta de 500 cm<sup>3</sup>. Se deja caer el ácido clorhídrico gota a gota (si es necesario se calienta suavemente) y la probeta se irá llenando de un gas verde-amarillento más intenso en el fondo que en la parte superior. A continuación se vierte poco a poco el yoduro de hidrógeno en la probeta que contiene el cloro y se forman unos vapores violeta de yodo, que empezará a depositarse en forma de un sólido gris metálico primero y negro después en la parte superior de la probeta. El yodo formado reacciona con el cloro y forma un líquido amarillo-marrón que rezuma por las paredes de la probeta, sigue reaccionando con más cloro y finalmente se forma un sólido amarillo canario que cristaliza en las paredes de la probeta. Así de abajo a arriba se observa: gas cloro de color verde-amarillo, un sólido de color amarillo canario de tricloruro de yodo, un líquido amarillo-marrón de monocloruro de yodo y finalmente un sólido de color gris metálico o negro de yodo. Las reacciones son:



**69) Conversión del cobre primero en "plata" y después en "oro".** Cuando una pieza de cobre se hierve en una disolución de cloruro de zinc concentrada (~1M) conteniendo limaduras de zinc o una disolución de zincato de sodio también conteniendo limaduras de zinc, toma un aspecto de **plata** debido a una capa de zinc que se deposita sobre su superficie (el zinc es más electronegativo y no debería depositarse en el cobre pero por el hecho de difundirse en la red cristalina del cobre, varía su potencial de reducción y entonces la reacción es espontánea). Si ahora la pieza se calienta en una llama o mejor en el aire caliente de una llama, toma un color **dorado** debido a que el zinc difunde dentro del cobre (se forma latón).

**70) Fuegos de Bengala.** Se introducen 6,0 g de almidón soluble en un vaso de precipitados y 15 mL d'agua destilada. Se calienta y cuando se ha disuelto el almidón, se saca del fuego y se le añaden: 25 g de nitrato de bario, 6,0 g de clorato de potasio, 10,0 g de limaduras finas de hierro, 0,5 g de magnesio en polvo y 2,0 g de aluminio en polvo. Se mezcla bien con una varita obteniendo una pasta espesa (si es

necesario se le puede añadir algunas gotas de agua caliente). De un alambre de unos 2 mm de grosor, se cortan trozos de unos 20 cm y con la ayuda de una espátula se recubren con la pasta formando una capa gruesa y dejando unos 5 cm en un extremo sin cubrir. Las "bengalas" obtenidas se dejan secar al aire durante unos días o bien se introducen durante algunas horas en una estufa a 120°C. Una vez secas ya pueden usarse.

**71) Una fluorescencia espectacular.** Se introduce un poco de bromuro de magnesio hexahidrato ( $\text{MgBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y una punta de espátula de cloruro de estaño(II) dihidrato ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en un mortero. En un lugar con poca luz, se ilumina el interior del mortero con una lámpara ultravioleta de luz negra, se empieza a mezclar los componentes haciendo presión con la mano del mortero y va apareciendo una intensa fluorescencia amarilla hasta que todo el sólido se vuelve fluorescente. Terminada la mezcla, si se mira con luz blanca, tendrá el mismo aspecto inicial como si no hubiera ocurrido nada. Muchos cristales sólo son fluorescentes si contienen impurezas. En éste caso la fluorescencia se produce cuando algunos cationes de magnesio del cristal son sustituidos por cationes de estaño(II). El bromuro de magnesio es deliquescente de manera que al cabo de unas horas se habrá disuelto en agua que proviene del vapor de agua del aire y ya no será fluorescente.

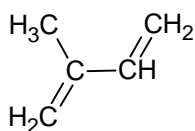
**72) Fuego con una pila.** Si un poco de lana de acero fina ("000" o "0000") se toca con una pila de 9 V o 4,5 V, se pone incandescente inmediatamente reaccionando con el oxígeno del aire. Hay que soplar para que la reacción continúe. En realidad sólo reacciona la superficie y se forma tetraóxido de hierro:  $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ . En un recipiente lleno de oxígeno, la lana de acero arde casi instantáneamente.

**73) Llamas y explosiones con un flash.** Se carga un flash de fotografía, se le pone encima una cápsula de Petri sin tapa y encima de la cápsula un poco de nitrato de celulosa (ver experimento 38). Si se dispara el flash no pasa nada puesto que el nitrato de celulosa prácticamente no absorbe las radiaciones del flash. Ahora se repite lo mismo pero "ensuciando" el nitrato de celulosa con un poco de carbón vegetal, carbón activo o grafito: el nitrato de celulosa arde instantáneamente. Ésto se debe a que los granos de carbón absorben prácticamente todas las radiaciones y elevan su temperatura lo suficiente para inflamar el nitrato de celulosa. También se puede utilizar una pequeñísima cantidad de peroxiacetona mezclada con un poco de carbón (ver experimento 20). La llama producida puede encender un Bunsen si se pone lo bastante cerca. Si el experimento no funciona hay dos alternativas: usar un flash más potente o usar un flash barato quitándole el difusor que lleva. Si el nitrato de celulosa manchado con carbón (o la peroxiacetona mezclada con carbón) se introduce en un tubo de ensayo tapado con un tapón, no demasiado apretado, éste saldrá disparado produciéndose una pequeña explosión, en cuanto se dispare el flash (en vez de emplear un tapón es más seguro tapar el tubo de ensayo con un poco de plastilina). En éste caso conviene usar el flash sin el difusor y poner el tubo cerca de la lámpara. (El flash es capaz de hacer explotar un globo pequeño (de los de agua) hinchado al máximo pero el globo normalmente sólo explota si se ha ensuciado con un poco de carbón).

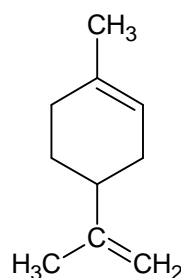
**74) Explosión de un globo mediante una gota.** Si se deja caer una gota de tetracloruro de carbono o benceno encima de un globo pequeño (de los de agua) hinchado al máximo, éste explota. Aunque la goma no se disuelve, se vuelve muy blanda con éstos disolventes. Otra manera más fácil y espectacular consiste en dejar caer una pequeña gota de esencia exprimiendo la piel de un limón, mandarina o naranja.

Todos los aceites esenciales de estas frutas contienen terpenos (derivados del isopreno) entre otras sustancias, que son buenos disolventes. Por ejemplo la esencia de la piel de limón contiene **limoneno** ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$  1-metil-4-(1-metiletenil)ciclohexeno), un monoterpeno formado por dos unidades de isopreno:

isopreno



limoneno



**75) Reacción entre el cloro y el acetileno (etino).** Se añade un terrón de carburo de calcio del tamaño de un garbanzo en un vaso de precipitados conteniendo unos 50 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico 2M o ácido clorhídrico diluido. A continuación se añade 1 cm<sup>3</sup> de lejía. Al cabo de unos segundos se forman llamas amarillas y hollín negro.  $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \Rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{C}_2\text{H}_2$      $\text{NaClO} + \text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \Rightarrow 2\text{NaHSO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \Rightarrow 2\text{C} + 2\text{HCl}$

**76) Arco Iris mediante electrólisis en un tubo en U.** En unos 100 mL de agua se disuelven agitando 20 g de sulfato de sodio decahidrato, 2 g de carboximetilcelulosa sódica previamente dispersada en un poco de etanol y finalmente unas gotas (menos de 0,5 cm<sup>3</sup>) de disolución de indicador universal. Se vierte la disolución preparada en un tubo en U, se introduce un electrodo de platino en cada extremo y se inicia la electrólisis a unos 24 V.

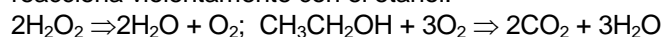
**77) Un surtidor con Coca-Cola light y ultrasonidos o caramelos "Mentos".** Se quita el tapón de una Coca-Cola de 500 mL, se le partica un orificio de unos 4 mm, se enrosca de nuevo, se introduce en un baño de ultrasonidos y se pone en marcha. Casi instantáneamente se libera el dióxido de carbono arrastrando el líquido con él y formando un surtidor (con cava también funciona pero se tiene que aflojar o quitar el tapón y es menos espectacular). Los caramelos "Mentos" producen el mismo efecto sin necesidad de los ultrasonidos. Se taladra un pequeño agujero en 6 caramelos (para una Coca-Cola de 2 litros), se pasan por un alambre con forma de T (para que no se caigan), se pasa el alambre por el agujero del tapón, se tuerce el alambre, se enrosca el tapón en la botella, se endereza el alambre y se suelta. Casi en el mismo instante en que los caramelos entran en contacto con la Coca-Cola, se produce el surtidor.

**78) Partir una lata de refresco por la mitad.** Con un alambre grueso afilado y curvado, se raya un círculo hacia la mitad por el interior de una lata de refresco. Se vierte una disolución de sulfato de cobre(II) al interior y se va vigilando de cuando en cuando. En el momento que parece que ya sólo queda la pintura (media hora), se quita la disolución y se lava la lata. Aparentando realizar un gran esfuerzo y sujetando la lata llevando guantes de jardinería y girando las dos mitades de la lata, ésta se partirá en dos por la zona rayada. También se puede llenar la lata con disolución concentrada de cloruro de sodio, introducir un alambre (o cualquier otro tipo de electrodo: un cable eléctrico, una barra de carbón, una varilla de acero inoxidable,...) conectar éste al polo negativo y la lata al polo positivo de una fuente de alimentación. En pocos segundos se habrá conseguido debilitar la lata. Cuando se raya la lata, se elimina la capa de polietileno (que recubre toda la lata) y deja una circunferencia de metal expuesta. Tanto si la lata es de aluminio como si es de hierro el metal se oxida pasando a la disolución.  $\text{Al} \Rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$ ;  $\text{Fe} \Rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$

**79) Efecto de la temperatura en un bastón de luz (lightstick).** Se introduce un bastón de luz en agua muy caliente durante dos minutos o más, se saca y se flexiona junto a otro bastón (del mismo color) a temperatura ambiente. El bastón caliente emite una luz más intensa como resultado de que la reacción es más rápida y para mantenerlo así se introduce otra vez en el agua caliente. Si se toma el otro bastón y se enfría con un spray refrigerante, no emitirá luz. En vez del baño de agua caliente es más práctico usar una pistola de aire caliente (éstas que se parecen a un secador de cabello).

Más información en: [http://en.wikipedia.org/wiki/Glow\\_stick](http://en.wikipedia.org/wiki/Glow_stick)

**80) Pequeñas explosiones.** Se introducen 10 cm<sup>3</sup> de peróxido de hidrógeno del 30% y 10 cm<sup>3</sup> de etanol en un cristizador y se le prende fuego (atención la llama es casi invisible!). Si se le hecha un poco de permanganato de potasio, preferentemente de grano grueso, se oyen pequeñas explosiones debido a que el permanganato cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno dando oxígeno que reacciona violentamente con el etanol.



**81) Efecto de la polaridad del disolvente en la fluorescencia.** Una disolución de **rosa bengala** en agua, no presenta fluorescencia con un puntero láser verde (532 nm) y su luz apenas es absorbida. En cambio en etanol presenta una intensa fluorescencia amarilla que todavía es más intensa en acetona. Así pues, para éste colorante, la fluorescencia es mayor cuanto menor es la polaridad del disolvente.

**82) Mismo color y distinta fluorescencia.** Una disolución de **rosa bengala** y otra de **rodamina B** en

agua, tienen el mismo color. Sin embargo el **rosa bengala B** no produce fluorescencia con un puntero láser verde (532 nm) mientras que la **rodamina B** produce una intensa fluorescencia amarilla.

**83) El gas de la nata.** Se introduce un espray de nata en la boca de un pequeño matraz de 100 mL y se oprime el espray para que salga el gas. El espray debe inclinarse sólo lo necesario procurando que quede lo más vertical posible para evitar que salga la nata (también se puede conectar un tubo al espray). Inmediatamente se introduce en el matraz un pincho de madera que se había encendido previamente y que se ha soplado justo antes de introducirlo en el matraz para apagar la llama pero manteniendo todavía una brasa ardiendo. Se observará que la llama reaparece. Aunque éste comportamiento es típico del oxígeno, también lo producen los óxidos del nitrógeno, en éste caso el monóxido de dinitrógeno que es muy soluble en las grasas, impide que la nata se enrancie y consigue que la nata montada tenga un volumen 4 veces el de la nata líquida (si se monta con aire el volumen sólo es el doble).  $2\text{N}_2\text{O} + \text{C} \Rightarrow 2\text{N}_2 + \text{CO}_2$ .

Puede prepararse calentando en proporciones estequiométricas nitrato de sodio y sulfato de amonio. El monóxido de dinitrógeno tiene un potente efecto de gas invernadero que es unas 300 veces el del dióxido de carbono. Como fuente de dióxido de nitrógeno, también pueden utilizarse los cartuchos que se venden para montar nata adaptándoles una válvula de las que se emplean para hinchar neumáticos con cartuchos de dióxido de carbono.

**84) Super pelota (un fluido no newtoniano).** Se vierten 10 mL de disolución de silicato de sodio en un mortero y de 1,5 a 2 mL de alcohol isopropílico (metiletanol). Se remueve la mezcla hasta que solidifique. Entonces se coge el sólido con los dedos y se va formando una pelota pequeña apretando y expulsando el exceso de líquido (es conveniente usar guantes). Si se deja caer o se tira la pelota, ésta rebota bastante, en cambio si se deja en reposo, se va aplastando por ser en realidad un fluido (un fluido no newtoniano).

**85) La botella azul y la botella verde.** En una botella de 1L, se introducen unos 500 mL de agua, unos 2 g de glucosa (2 cucharadas de espátula), se agita, se añaden 2 g de hidróxido de sodio, se agita otra vez y finalmente 1 mL de disolución de azul de metileno al 0,1 %. El líquido toma color azul. Si se tapa la botella y se deja reposar unos minutos, será incoloro. Agitando fuerte una o dos veces tomará otra vez color azul que desaparecerá al cabo de unos minutos. El proceso puede repetirse hasta el día siguiente sin abrir la botella pero el líquido se va oscureciendo. Aumentando las concentraciones o la temperatura, la reacción será más rápida. En medio básico la glucosa es oxidada por el oxígeno y también por el azul de metileno, el cual se reduce a una forma incolora. Agitando se introduce otra vez oxígeno en la disolución pero el azul de metileno se oxida más rápidamente recuperando el color azul.

Se obtiene un resultado más espectacular con carmín de índigo. Cuando se ha agotado el oxígeno de la disolución, ésta toma color amarillo. Agitando suavemente el color se vuelve sucesivamente anaranjado, rojo, morado y con agitación fuerte verde. Hay que añadir suficiente colorante para que la disolución tenga un color verde intenso. Se puede emplear una concentración de 4g/L de glucosa y 2g/L de hidróxido de sodio.

**86) Oxígeno a partir de la lejía.** Si se añade un poco de cloruro de cobalto(II) a unos 50 o 100 mL de lejía comercial, se produce oxígeno. El color rosa del cloruro de cobalto(II) desaparece y se forma un óxido de color negro (probablemente  $\text{Co}_2\text{O}_3$ ) que cataliza la descomposición:  $2\text{ClO}^- \Rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{O}_2$

**87) Un catalizador y su complejo activado.** Se disuelven 5 g (3 espátulas de tartrato de sodio y potasio) en 60 mL de agua. Se calienta entre 60 y 70°C y se añaden 4 mL de peróxido de hidrógeno del 33%. Aparentemente no ocurre nada pero con atención se observan algunas burbujas de gas. Si ahora se añade una disolución de 0,2 g (una espátula pequeña) de cloruro de cobalto(II) en 5 mL de agua (ésta disolución tiene color rosa), se produce un cambio de color hasta llegar al verde oscuro y una efervescencia resultado de la oxidación del anión tartrato. Si se separa un poco de disolución en un tubo de ensayo y se introduce en un baño de agua a temperatura ambiente, el color verde se mantiene. El resto de la disolución, cuando termina la reacción, vuelve a tomar el color rosa demostrando que el catalizador no se ha consumido. El ión  $\text{Co}^{2+}$  se oxida a  $\text{Co}^{3+}$  que forma un complejo de color verde con el anión tartrato (el complejo activado). La reacción global es:  $5\text{H}_2\text{O}_2 + \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-} \Rightarrow 4\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- + 6\text{H}_2\text{O}$  Se forma también algo de oxígeno por la descomposición del peróxido de hidrógeno.

**88) Chispas con un imán de neodimio.** Los imanes de neodimio contienen hierro, boro y neodimio.

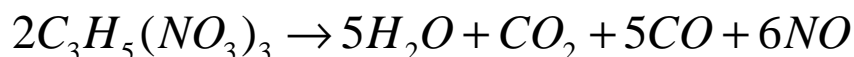
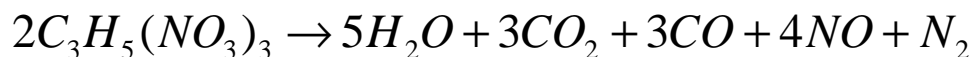
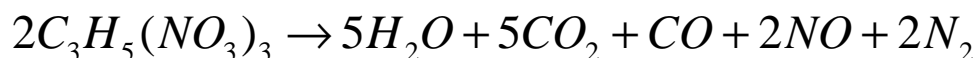
Ésta aleación se oxida con una gran facilidad. Si se rasca un imán de neodimio con una hoja de sierra para metales, se forman muchas chispas de modo parecido a una piedra de encendedor. Ésto es debido a que la sierra arranca pequeños fragmentos de metal que arden con el oxígeno del aire.

**88) Difusión en un globo.** Si se llena un globo con un gas que no sea aire (por ejemplo butano,  $\text{CO}_2$ ...), se deshinchas en pocas horas. La razón de ello es que por una parte el globo es poroso y por otra el potencial químico o lo que es equivalente, la presión parcial del gas en el interior del globo es mucho mayor que su presión parcial en el exterior que será prácticamente nula. Por la misma razón si el gas sale del globo, el aire exterior debe entrar al interior del globo: su presión parcial exterior es 1 atm y dentro del globo es aproximadamente nula. Pero, realmente el aire entra dentro del globo?

Para comprobarlo llenamos un globo con oxígeno o aire y lo acercamos a la llama de un Bunsen, el globo revienta y muchas veces apaga la llama. Repetimos lo mismo con un globo lleno de butano y observamos que se produce una gran llamarada (una bola de fuego) pero no una explosión. Llenamos otro globo con oxígeno, lo introducimos en un recipiente grande que se pueda cerrar herméticamente (un bote de conserva) y desplazamos el aire del recipiente llenándolo con butano. Cerramos el recipiente y dejamos transcurrir dos horas. Sacamos el globo y lo acercamos a la llama: el resultado es que se produce una bola de fuego demostrando que el butano ha entrado dentro del globo.

Por ello un globo no se puede emplear para contener gases durante varias horas porque parte del gas se habrá reemplazado por aire.

**89) Nitroglicerina (trinitroglicerol).** Se llena un vaso de precipitados de 150 mL con hielo. En un tubo de ensayo se ponen 3 mL de ácido nítrico y 6 mL de ácido sulfúrico (concentrados). Se introduce el tubo en el vaso con hielo y se agita la mezcla con un termómetro. Cuando la temperatura sea inferior a  $10^\circ\text{C}$ , se van introduciendo 10 gotas de glicerol una tras otra, agitando con el termómetro y controlando que la temperatura no suba por encima de  $10^\circ\text{C}$ . La mezcla se pone turbia inmediatamente. Se deja la mezcla un mínimo de 5 minutos (es mejor esperar 10 o 15 minutos) y se vierte sobre el hielo, se remueve con el termómetro y se deja reposar un poco. Con ello se consigue disolver el resto de ácidos y el glicerol que no haya reaccionado mientras que la nitroglicerina que tiene el aspecto de un aceite pálido, se va al fondo. Se quita el hielo con unas pinzas, se decanta la mayor parte del agua y se vierte el resto en un papel de filtro. Se espera un poco hasta que no quede agua en el papel de filtro y se recogen unas muestras de nitroglicerina (no pasa por el papel de filtro mojado) con dos o tres capilares (abiertos por los dos extremos). Para la explosión, se sujeta un capilar con una pinza de madera, se sujeta ésta en un soporte a cierta altura. Debajo del extremo del capilar se pone un Bunsen encendido de tal manera que la llama no llegue directamente al capilar pero sí los gases calientes (para que se caliente lentamente) alejándose a varios metros. Se produce una fuerte explosión al mismo tiempo que se produce un destello de luz azulada. El resto de la nitroglicerina se destruye sin peligro poniendo el papel de filtro en un aro y poniendo un Bunsen encendido debajo (la llama tiene que alcanzar al papel de filtro) con lo cual la nitroglicerina arde suavemente. Las reacciones de descomposición son:



**90) Carrera de difusión del amoníaco y el ácido clorhídrico.** Cuando se conectan dos recipientes conteniendo respectivamente amoníaco y ácido clorhídrico mediante un tubo (pueden ponerse simplemente sendos algodones empapados a cada extremo del tubo), al cabo de cierto tiempo se produce un anillo blanco de cloruro de amonio que siempre está más cerca del ácido que del amoníaco, demostrando que el amoníaco difunde más rápidamente. Así mismo se puede poner una tira de papel indicador universal a lo largo del tubo, para observar el cambio de pH.

Éste experimento siempre sale bien cualitativamente pero no cuantitativamente por distintas razones:

a) Hay que evitar corrientes de aire cuando se comunican los recipientes.

b) En tubos largos y estrechos se forman los anillos de Liesegang que se van moviendo con el tiempo. Por lo tanto si se al cabo de unas horas se observa un anillo en el tubo puede que se hubiera empezado a formar en un sitio distinto.



c) La relación de velocidades no obedece la ley de Graham de la efusión:

$$\frac{d_{HCl}}{d_{NH_3}} = \frac{v_{HCl}}{v_{NH_3}} = \frac{\sqrt{M_{NH_3}}}{\sqrt{M_{HCl}}} = 0,68$$

porque ésta ley se aplica cuando el gas sale al vacío por un agujero mucho menor que el recorrido libre medio de las moléculas del gas y en éste experimento ambos gases difunden en el seno del aire. En éste caso la ecuación que hay que aplicar es:

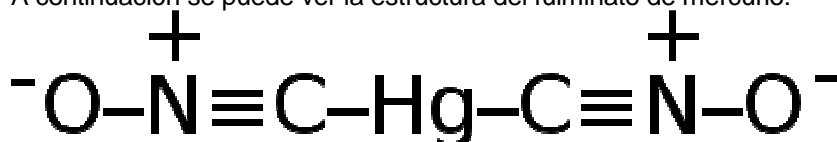
$$\frac{d_{HCl}}{d_{NH_3}} = \frac{v_{HCl}}{v_{NH_3}} = \frac{\sqrt{M_{NH_3}} \sqrt{M_{aire} + M_{HCl}}}{\sqrt{M_{HCl}} \sqrt{M_{aire} + M_{NH_3}}} = 0,81$$

Por supuesto, pueden emplearse otras aminas en vez del amoníaco.

**91) Fulminato de mercurio.** Se ha usado como detonador para provocar la explosión de otros explosivos. Es sensible a la fricción, los golpes y explota cuando se calienta bruscamente. Es tóxico y perjudicial para el medio ambiente. Durante todo el proceso se forman óxidos de nitrógeno y otros vapores de manera que se tiene que realizar en la campana de gases o al aire libre.

Se pesan 5g de mercurio en un vaso de precipitados de 100mL y se añaden 35mL de ácido nítrico concentrado. Cuando todo el mercurio se haya disuelto se añade todo el líquido a 50mL de etanol contenido en un erlenmeyer de 250mL. La reacción tarda unos minutos en iniciarse y se forman abundantes gases y vapores mientras va precipitando el fulminato de mercurio que tiene un color gris claro. Cuando la reacción ha concluido, se añade agua, se filtra, se lava el precipitado varias veces con agua y se deja secar.

A continuación se puede ver la estructura del fulminato de mercurio:



**92) Variación de entropía y energía libre en un globo.** Si se estira un globo de agua bruscamente y se pone rápidamente en contacto con la piel que está entre el labio superior y la nariz, se notará caliente. Si por el contrario, el globo se mantiene estirado durante unos segundos y se afloja rápidamente, se notará frío. La relajación del globo es un proceso espontáneo (basta con soltar un extremo del globo) y endotérmico (se enfria). Vamos a utilizar la conocida ecuación:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Puesto que relajar la goma de un globo estirado es un proceso espontáneo,  $\Delta G$  debe ser negativo, pero puesto que es endotérmico,  $\Delta H$  es positivo, por tanto la única posibilidad es que  $\Delta S$  sea grande y positivo. Esto se justifica porque cuando la goma está estirada, las moléculas de látex están alineadas en su mayoría, hay por lo tanto pocos microestados compatibles con éste estado. Cuando la goma está relajada, las moléculas de látex están retorcidas y pueden estar retorcidas de muchas maneras, hay muchísimos microestados compatibles con éste estado. Por lo tanto cuando se afloja la goma estirada la entropía aumenta muchísimo.

	
Moléculas de látex cuando la goma está estirada.	Moléculas de látex cuando la goma está relajada.

**93) Cohete con botella de refresco de 2 litros.**

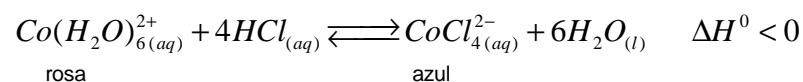
Se practica un agujero de 4 mm de diámetro en el tapón de la botella. Se introducen 1,5 cm<sup>3</sup> de metanol en la botella, se reparte por el interior y se deja evaporar. Si se enciende con un chispa eléctrica una mecha o un pincho de madera, la botella sale disparada. Si se tiene que encender de cerca, conviene usar gafas de seguridad. Para guiar el cohete, se le puede pegar con cinta adhesiva un tubo lateral a la botella e introducir éste en un varilla que haga de guía, por ejemplo un soporte de laboratorio. Otra posibilidad es pasar el tubo por un hilo de nilón. La botella se tiene que dejar secar completamente antes de volver a usarla.

**94) Efecto de la concentración sobre el equilibrio.**

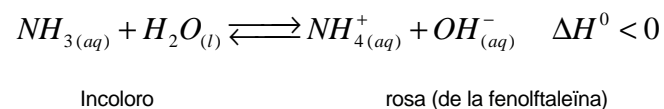
Se añaden 2 mL de Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0,2 M y 2 mL de KSCN 0,1 M a 50 mL de agua destilada. Se introducen 2 mL de ésta disolución en 3 tubos de ensayo. El primero se deja de control. Si se añaden unas gotas de disolución 0,2 M de Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> al 2º tubo, se observará que el color se intensifica. Lo mismo ocurre si se añaden unas gotas de disolución 0,1 M de KSCN al 3º tubo. Si se añade una punta de espátula Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> al 1º tubo, éste se decolora.

**95) Efecto de la temperatura sobre el equilibrio.**

a) Se prepara una disolución 0,5 M de CoCl<sub>2</sub> disolviendo 6,5 g en 100 mL de agua. Se añade ácido clorhídrico hasta que la disolución tenga color púrpura (aproximadamente el mismo volumen de la disolución). Se introducen 2 mL de ésta disolución en un tubo. Si un tubo se calienta, la disolución toma color azul, Si se enfría con agua del grifo, toma color rosa (si es necesario se puede añadir hielo).

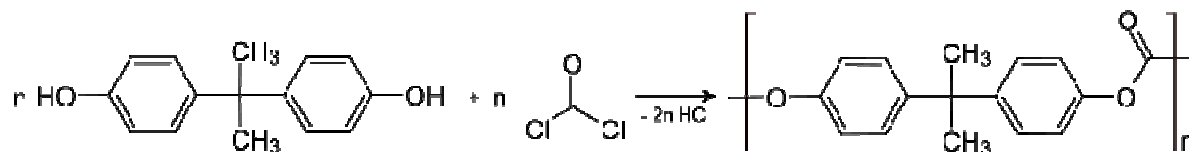


b) Se prepara una disolución diluida de amoníaco (por ejemplo 1:20) y se añaden unas gotas de fenolftaleína con lo cual tomará un color rosado (la fenolftaleína tiene color rosado en medio básico pero es incolora en medio ácido o neutro). Si se calientan 2 mL de ésta disolución en un tubo de ensayo, se vuelve incolora. Enfriando con agua del grifo, recupera el color rosa.

**96) Romper un CD con acetona o con esencia de limón.**

Si se mantiene un CD o DVD combado en un tornillo de banco y se le deja caer una gota de acetona por la parte en tensión, el CD se rompe. Si se mantiene un CD combado con una mano y se les pasa un algodón impregnado con acetona por la parte en tensión, el CD se rompe como si se hubiera cortado con un cuchillo, Esto puede repetirse con fragmentos cada vez más pequeños.

También se puede romper un cd en tensión, si se exprimen algunas gotas, por pequeñas que sean, de esencia contenida en la piel de limón (véase el número 74: "Explosión de un globo mediante una gota"). Los CD estan hechos de policarbonato que suele obtenerse por reacción de un bisfenol con fosgeno:



Las aminas atacan químicamente a los policarbonatos mientras que los ésteres, cetonas, hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos halogenados, los disuelven total o parcialmente lo que explica que les causen rotura cuando estan sometidos a estrés.