



Chemistry and Industry for Teachers in European Schools

QUÍMICA: MOTOR DE LA SOCIEDAD

Los secretos de la Coca-Cola

Leo Gros, Keith Healey

Traducción y adaptación llevada a cabo por:

IQS

Universitat Ramon Llull



Education and Culture

Socrates
Comenius

CITIES (*Chemistry and Industry for Teachers in European Schools*) es un proyecto COMENIUS cuyo cometido es el desarrollo de materiales educativos que ayuden a los profesores a hacer sus clases más atractivas colocando la química en el contexto de la industria química y la vida cotidiana.

Forman parte del proyecto CITIES las instituciones siguientes:

- Goethe-Universität Frankfurt, Germany, <http://www.chemiedidaktik.uni-frankfurt.de>
- Czech Chemical Society, Prague, Czech Republic, <http://www.csch.cz/>
- Jagiellonian University, Kraków, Poland, http://www.chemia.uj.edu.pl/index_en.html
- Hochschule Fresenius, Idstein, Germany, <http://www.fh-fresenius.de>
- European Chemical Employers Group (ECEG), Brussels, Belgium, <http://www.eceg.org>
- Royal Society of Chemistry, London, United Kingdom, <http://www.rsc.org/>
- European Mine, Chemical and Energy Workers' Federation (EMCEF), Brussels, Belgium, <http://www.emcef.org>
- Nottingham Trent University, Nottingham, United Kingdom, <http://www.ntu.ac.uk>
- Gesellschaft Deutscher Chemiker GDCh, Frankfurt/Main, Germany, <http://www.gdch.de>
- Institut Químic de Sarriá (IQS), Universitat Ramon Llull, Barcelona, Spain, <http://www.iqs.url.edu>

Otras instituciones asociadas al proyecto CITIES son:

- Newcastle-under-Lyme School, Staffordshire, United Kingdom
- Masaryk Secondary School of Chemistry, Prague, Czech Republic
- Astyle linguistic competence, Vienna, Austria
- Charles University in Prague, Prague, Czech Republic



Este proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación solo refleja los puntos de vista de su/s autor/es, la Comisión Europea no puede ser considerada responsable de cualquier uso que pueda hacer con la información contenida en el mismo. El equipo CITIES advierte a cualquiera que use los materiales experimentales de CITIES, que debe conocer y respetar las medidas de seguridad adecuadas de acuerdo con una práctica profesional responsable y con las regulaciones nacionales y de su institución. CITIES no es responsable de los daños que puedan resultar de un uso incorrecto de los procedimientos descritos.

LOS SECRETOS DE LA COCA-COLA

- al menos algunos...

Introducción

¿Cuál es el secreto del refresco -probablemente- más popular del mundo? No nos referimos al agua, no, sino a la Coca-Cola.

Este refresco existe desde hace más de cien años durante los que ha sufrido algunos cambios: de ingredientes, de tipo y forma de envase e, incluso, de nombre.

¿Cómo nació la Coca-Cola?



John Stith Pemberton -farmacéutico- fue quien creó la bebida original: un elixir medicinal en base alcohólica -el componente mayoritario era una solución acuosa de alcohol, hoy en día es el agua- que contenía extracto de hoja de coca -del que pueden obtenerse fármacos y drogas-, extracto de nueces de cola -ricas en cafeína- y damiana -una planta conocida por sus propiedades excitantes-. Esta extraña combinación de ingredientes era la que confería propiedades analgésicas y estimulantes al elixir.

Se ha especulado largamente sobre si Pemberton incluyó el extracto de coca en el jarabe original a causa de su adicción a los opiáceos, adicción adquirida -seguramente- hacia el final de la Guerra Civil Norteamericana, cuando fue herido en combate.

El mismo Pemberton fue el primero en fabricar la bebida en cantidad suficiente como para comercializarla. En 1886 la vendía mediante un dispensador en forma de fuente en la tienda de ultramarinos Jacob's, pero ya no era un elixir alcohólico si no una bebida gaseosa.

Las ventas de esta zarzaparrilla no fueron especialmente prometedoras al principio: sólo se vendían nueve vasos al día y la recaudación al cabo de un año no sobrepasó el equivalente a 50€ de los de hoy en día.

Pero desde estos humildes inicios, Coca-Cola se fue convirtiendo paulatinamente en la que es -muy probablemente- la bebida refrescante más popular de toda la

historia: en 1894 ya se vendía en botellines de vidrio y, a partir de 1955, en un revolucionario envase, la lata metálica. Hoy en día sus cifras de ventas son todo un récord: se compran más de mil millones de envases al día en todo el mundo.

Pero, ¿dónde interviene la química?

Para saberlo es tan fácil como leer la etiqueta de cualquier envase de Coca-Cola y detenerse en el apartado donde se especifica la composición del refresco: agua, azúcar, dióxido de carbono, colorante de caramelo, ácido fosfórico, cafeína y aromas.

Cada componente de Coca-Cola contribuye de manera concreta al sabor, al aspecto, al color y al gusto del refresco:

- el ácido fosfórico proporciona sabor agrio y amargo,
- el colorante le confiere su característico color oscuro,
- el azúcar y los aromas ayudan a mejorar el sabor,
- el dióxido de carbono la convierte en una bebida fresca y burbujeante, y
- la cafeína crea sensación de satisfacción y hace que sea un refresco estimulante.

Pero aunque esta composición es real, el gran misterio de Coca-Cola -uno de los mayores enigmas industriales de la historia- es la proporción y naturaleza exacta de las sustancias englobadas bajo la etiqueta de aromas: se ha llegado a hablar, incluso, del ingrediente secreto.

Este enigma ha provocado la aparición de multitud de productos que intentan imitar a la Coca-Cola: el más famoso y el que más se le parece es la Pepsi-Cola o, simplemente, Pepsi. Pero lo más probable es que nunca se haga pública la composición exacta de Coca-Cola, a menos que los espías industriales consigan desvelar el secreto.

Un pequeño experimento

Comprobar la naturaleza ácida de la Coca-Cola es muy sencillo e incluso puede hacerse en casa mediante un pequeño experimento. Solamente se necesita un poco de refresco y una moneda de cobre sucia -un penique del Reino Unido, un céntimo de dólar estadounidense o un céntimo de euro-.

Se sumerge la moneda en la Coca-Cola durante algunos minutos, se retira del líquido, se enjuaga y se observa que queda limpia y reluciente.

La explicación es bien simple: el ácido fosfórico de la bebida reacciona con los compuestos de cobre que ensucian la moneda y así quedan disueltos en el líquido. Por tanto, despojado del recubrimiento que lo mantenía oscuro y sucio, el metal original queda limpio y la moneda como nueva. PRECAUCIÓN: no debe beberse la Coca-Cola tras el experimento, pues contiene sales de cobre tóxicas. También puede verificarse la acidez del refresco sumergiendo una pequeña tira de papel indicador: desarrollará color rojo, que significa que la Coca-Cola tiene un pH de 2 o menos.

La misteriosa fabricación de Coca-Cola

Hoy en día se vende Coca-Cola en todo el mundo: llega hasta el lugar más remoto del planeta. Llegar hasta tan lejos no sería posible si sólo se fabricará este refresco en una única fábrica: los costes de transporte serían enormes!

Así pues, para mantener bajos estos costes y para preservar el secreto de su composición, Coca-Cola Company fabrica en lugares escogidos un sirope concentrado -la esencia de su famoso refresco- y lo transporta al resto del mundo. Al llegar al país de destino un socio comercial le añade el azúcar, el dióxido de carbono, el agua y la envasa para poder venderla.

Pero, ¿la Coca-Cola es buena o mala para la salud?

Durante todos los años que hace que se vende ha habido millones -incluso billones- de clientes satisfechos. Ha habido algunos que incluso han afirmado que la ingesta regular de este refresco produce ciertos beneficios para la salud: efectos curativos, paliación de dolores insufribles, etc. Lo cierto es que ninguno de estos supuestos beneficios no ha podido ser probado científicamente, pero resulta innegable que produce una gran sensación refrescante que ha seducido a generaciones enteras de consumidores a los que ha apasionado su sabor.

Pero en todos estos años, ¿sólo se ha hablado de efectos beneficiosos, nunca de posibles efectos adversos? Lo cierto es que en los primeros años de comercialización de Coca-Cola, muchos expertos advirtieron sobre su contenido en cocaína -que atraía a cierto tipo de clientes-, pero desde 1903 esta sustancia ya no figura en la fórmula.

Hoy en día varios expertos en alimentación han alertado sobre su alto contenido en azúcar: típicamente, una lata de 330 mL contiene 35 gramos de azúcar. Por tanto, su consumo abusivo junto a una dieta poco equilibrada puede llegar a provocar problemas de obesidad, caries e, incluso, diabetes.

También se ha advertido de su relativamente alto contenido en ácido fosfórico que -con un consumo abusivo- puede erosionar el esmalte dental, provocar problemas de riñón u osteoporosis.

En resumen, sin un consumo abusivo, Coca-Cola no perjudicará nuestra salud, isino que nos proporcionará una agradable sensación refrescante!

Perspectivas de futuro

La fórmula original de Coca-Cola, aparecida en el mercado hace más de 100 años, ha cambiado en multitud de ocasiones. Pero, además de las nuevas versiones del refresco de toda la vida, han aparecido multitud de nuevas variantes:

- Cherry coke
- Coca-Cola con limón
- Coca-cola con lima
- Coca-Cola con vainilla
- Coca-Cola Zero, sin azúcar y con cero calorías

Sin embargo, la que en su día supuso una auténtica revolución fue la Coca-Cola *light*. Era la primera versión de este refresco que no contenía nada de azúcar, sino que empleaba edulcorantes artificiales como, por ejemplo, aspartamo. A partir de ese momento se abrió la puerta a la invención de nuevas versiones del refresco con multitud de nuevos aditivos que incluso cambian el sabor original.

Hoy en día siguen apareciendo nuevos productos basados en la Coca-Cola: el consumidor reclama que aparezcan refrescos con sabores hasta ahora jamás imaginados. ¿Quién sabe si Coca-Cola seguirá el camino de las patatas fritas y creará productos alternativos con sabor a chile, a chocolate o, incluso, a café? En última instancia será el público quien decida cuáles son las novedades que quiere que se comercialicen y cuáles las que deben desaparecer sin pena ni gloria del mercado.

¿Deseas saber más?

Si aún no has saciado tu curiosidad, existe multitud de información sobre Coca-Cola disponible en Internet. A continuación se presenta una pequeña selección.

- <http://www.coca-cola.com>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Coca-cola>
- <http://www.youtube.com/watch?v=hKoB0MHVBvM>

Las siguientes páginas hablan de los problemas de salud relacionados con el consumo abusivo de refrescos de cola:

- <http://www.youtube.com/watch?v=yKZ2ZqBYlrI>
- <http://www.youtube.com/watch?v=BkrLoQj71Kc> (versión del vídeo en chino)
- <http://recipes.howstuffworks.com/coca-cola.htm>
- <http://www.medindia.net/news/Sugar-sweetened-Drinks-Boost-Type-2-Diabetes-Risk-39912-1.htm>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Diabetes>
- <http://www.naturalnews.com/004416.html>
- <http://www.cspinet.org/liquidcandy/>
- <http://www.beverageinstitute.org/ingredients/glossary.shtml>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Osteoporosis>



- <http://yourtotalhealth.ivillage.com/soft-drinks-hazardous-your-health.html>
- <http://www.webmd.com/osteoporosis/features/soda-osteoporosis>
- <http://joshmadison.com/article/will-coke-dissolve-a-nail-experiment/>

¿CUÁNTO ÁCIDO TIENE UN REFRESCO DE COLA?

¿Cómo nos puede ayudar la química? Las valoraciones

Las valoraciones son una herramienta química fundamental para el análisis cuantitativo y cualitativo de muestras. A menudo se emplea para determinar la concentración de una sustancia -conocida como analito- contenida en un volumen determinado de muestra. Se trata de adicionar volúmenes sucesivos de una sustancia determinada -agente valorante- en una concentración concreta y que reaccione en proporción definida con la sustancia analizada. En un determinado momento se alcanza el *punto de equivalencia*, instante en que se ha añadido a la solución analizada suficiente agente valorante como para hacer reaccionar todo el analito.

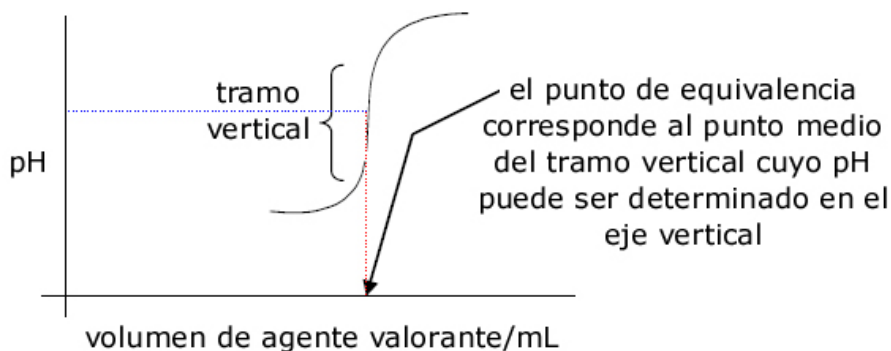
Existen diferentes métodos para identificar el punto de equivalencia. El más simple es emplear unas sustancias concretas que se sabe que reaccionan casi en el mismo punto de equivalencia desarrollando un notorio cambio de color; los indicadores, en el caso que nos ocupa indicadores ácido/base. De esta manera, al ir añadiendo a la muestra el agente de valoración, debería mantenerse el mismo color; sin embargo, al llegar al punto de equivalencia, el color cambiaría bruscamente.

Desgraciadamente, no todas las personas aprecian de manera idéntica los cambios de colores. Además, la exactitud depende mucho del indicador escogido: cuanto más disten entre sí el punto en que cambia de color y el punto de equivalencia, mayor será el error de la valoración.

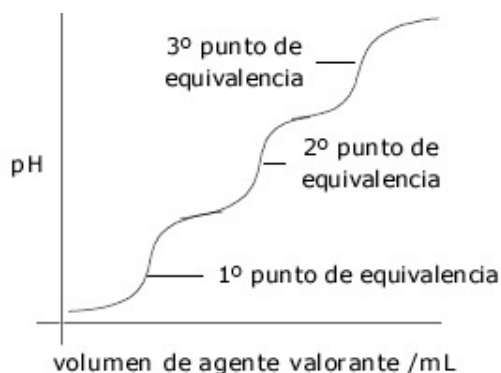
Por estos y otros motivos se han desarrollado métodos de detección del punto de equivalencia más objetivos: métodos instrumentales. Uno de éstos es la potenciometría, que en el caso de las valoraciones ácido/base emplea las lecturas de pH del medio: según se aproxima el punto de equivalencia la lectura varía dramáticamente con una pequeña adición de agente valorante. El punto de máximo cambio se conoce como punto de inflexión y será más cercano al punto de equivalencia cuanto mejor sea el método de determinación.

El punto de inflexión corresponde al punto donde la curva de valoración cambia su aspecto de cóncava a convexa o viceversa: se trata de un punto situado en medio de las dos regiones de la curva -observar la figura adjunta-. En el correspondiente gráfico de la curva de valoración es relativamente fácil de determinar.

En el caso de la valoración ácido/base de un ácido monoprótico la curva de valoración -pH en las ordenadas y volumen de agente valorante en las abscisas- presenta una curva como la de la siguiente figura.



Sin embargo, las curvas de valoración de muestras que contengan, o bien más de un ácido, o bien ácidos polipróticos -dipróticos o tripróticos-, pueden ser más complejas: puesto que cada protón ácido tiene su punto de equivalencia, deberían observarse sucesivamente tantos como protones ácidos haya. Así pues, por ejemplo, la curva de valoración -figura adjunta- del ácido fosfórico -triprótico- debería mostrar tres puntos de equivalencia.



No obstante, en realidad únicamente pueden detectarse dos puntos de equivalencia en la valoración del ácido fosfórico: los dos primeros son fácilmente detectables porque corresponden a protones muy ácidos, pero el tercero cuesta mucho de distinguir porque se debe a un protón muy poco ácido -ácido muy débil- y porque en esos medios tan básicos el electrodo de pH no mide correctamente.

A partir de los valores que definen el punto de equivalencia -pH y volumen de agente valorante- y la concentración del agente valorante es posible calcular la cantidad de analito presente en la muestra analizada. Por ejemplo, en el caso del ácido fosfórico sería posible determinar la cantidad de analito en cada uno de los puntos de equivalencia, siempre que se tenga en cuenta correctamente la estequiometría de la reacción implicada en cada caso.

Otra información que puede obtenerse de esta curva es el pKa de un ácido -corresponde a menos el logaritmo de su constante de disociación K_a - y sirve para determinar su fuerza, para calcular el pH resultante de disolverlo en agua, para preparar disoluciones tampón, etc. Calcularlo es muy simple: el pH justo en el punto de equivalencia.

Sin embargo, cuando en una muestra hay más de un tipo de ácido, la forma de la curva puede ser muy diferente y más complicada. Además, si los ácidos tienen pKa similares, los puntos de equivalencia pueden ser muy cercanos e incluso influenciarse entre sí. Por tanto, conocer previamente los valores de los pKa de los distintos ácidos puede servir para interpretar las curvas de valoración más complejas.

Las bebidas refrescantes de cola contienen varios ácidos con más de un protón. Los mayoritarios son el ácido carbónico -que proviene del dióxido de carbono añadido para crear burbujas- y el ácido fosfórico -que actúa como tampón, para estabilizar el pH-. Los pKa de estos ácidos se reflejan en la siguiente tabla - fuente: http://www.sanderkok.com/techniques/laboratory/pka_pkb.html.

	pK _{a1}	pK _{a2}	pK _{a3}
Ácido fosfórico	2,12	7,21	12,67
Ácido carbónico	6,37	10,25	

El pK_{a2} del ácido fosfórico y el pK_{a1} del ácido carbónico son muy similares entre sí. Por tanto, el punto de equivalencia de un ácido se interfiere con el del otro, es decir, la presencia del ácido carbónico influencia el del ácido fosfórico. Por el contrario, si se hierve el refresco, el ácido carbónico es eliminado y la curva de valoración sólo corresponde al ácido fosfórico. Pero a pesar de la complejidad de la muestra, con la curva de valoración de la cola hervida y sin hervir es posible calcular su contenido en ácido fosfórico, en ácido carbónico y en dióxido de carbono.

¿Cómo analizar una cola? - Procedimiento

OBJETIVO

Mediante valoración ácido-base, determinar y comparar la acidez de un refresco de cola acabado de abrir, uno hervido y otro abierto días atrás.

Con los datos de las valoraciones se trazarán las correspondientes curvas y se intentará deducir -o calcular aproximadamente- la cantidad de dióxido de carbono -en la cola recién abierta- y de ácido fosfórico -en las tres-.

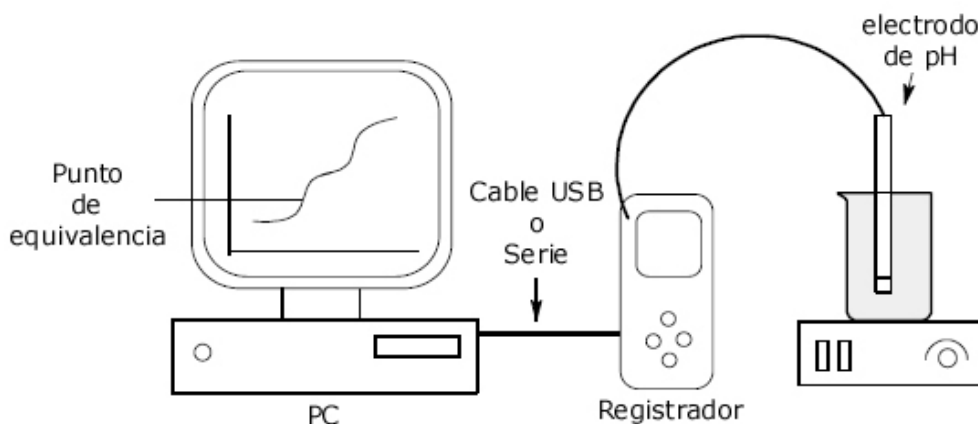
MATERIAL Y APARATOS

Refrescos de cola, hidróxido de sodio 0,2 mol/L, vasos de precipitados de 50 mL y 250 mL, probeta de 100 mL, mechero bunsen, trípode, agitador magnético, micropipeta de 0,3 mL, pHmetro y electrodo de pH.

ESQUEMA DEL MONTAJE

Los registradores son aparatos electrónicos que permiten tomar datos experimentales desde el ordenador al que están conectados.

Son unos instrumentos muy versátiles porque, además de la sonda de pH, se le pueden conectar sondas de temperatura, de absorción de luz, de masa, etc.



CONFIGURACIÓN PC

Medidas continuas, cada 10 s; micropipeta 0,3 mL.

PROCEDIMIENTO

- (1) Dejar abierto un refresco de cola durante unos días antes de realizar el experimento.
- (2) Preparar el montaje como se indicaba más arriba.
- (3) Ajustar los parámetros de toma de lecturas del PC.
- (4) Añadir unos 100 mL de la bebida cuyo envase había sido abierto días atrás a un vaso de precipitados.
- (5) Hervir 100 mL de refresco de cola recién abierto en un vaso de precipitados y dejarlo enfriar.

- (6) Añadir 100 mL de refresco de cola recién abierto a un vaso de precipitados y removerlos en el agitador magnético durante unos 2 minutos.
- (7) Verter la solución valorada de hidróxido de sodio en un pequeño vaso de precipitados.
- (8) Medir el pH de todas las muestras de bebida antes de comenzar añadir la solución valorante de hidróxido de sodio.
- (9) Comenzar la valoración: añadir un volumen constante de solución valorante con la micropipeta -0,3 mL- a la muestra de cola cada 10 s.
- (10) Seguir añadiendo solución básica hasta que se haya registrado la totalidad de la curva de valoración. Es recomendable ir observando la evolución de los datos en la pantalla del PC para poder cerciorarse que se ha superado suficientemente el punto de equivalencia.
- (11) Valorar las otras dos muestras de refresco de cola de la misma manera que la muestra anterior.
- (12) Determinar los puntos de equivalencia de las tres curvas.
- (13) Con los datos de la primera y segunda curvas, calcular la cantidad de ácido fosfórico de la bebida. Con los datos de la tercera curva, teniendo en cuenta la diferencia de consumo de hidróxido de sodio, calcular la cantidad de ácido carbónico y dióxido de carbono.

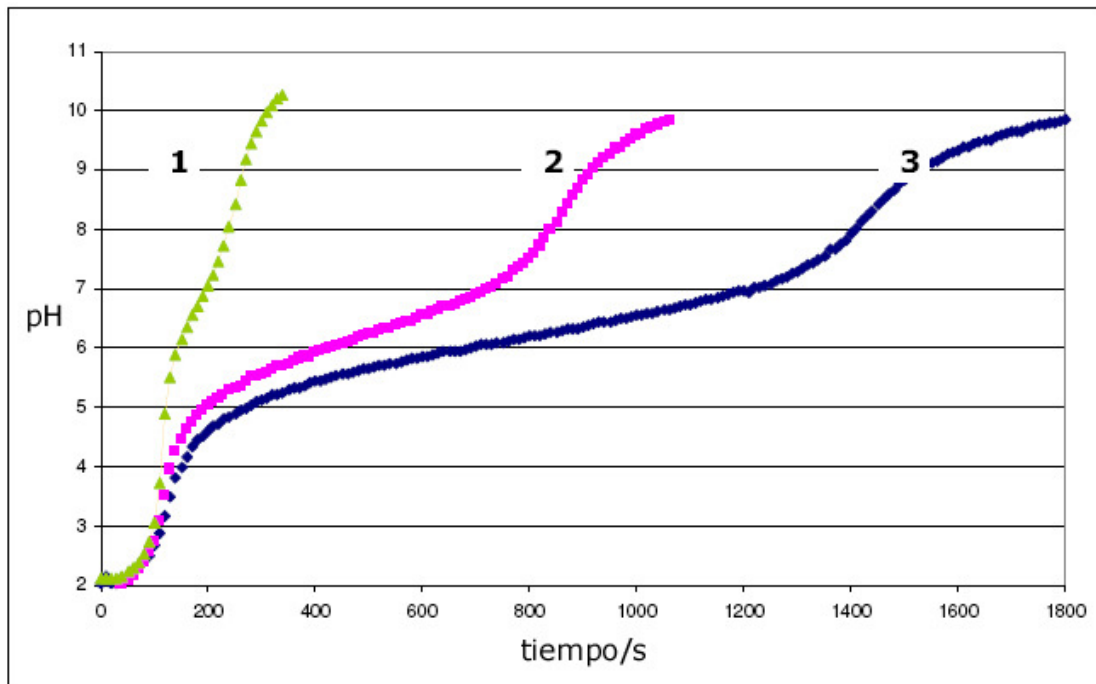


¿Cómo analizar una cola? - Ficha de trabajo

(1) ¿Por qué se hierve una muestra de refresco de cola? ¿Qué ocurre en la cola que lleva tiempo abierta?

(2) Escribe la ecuación química que describe el proceso de disolución del dióxido de carbono en el agua. Según esto ¿qué ocurre cuando valoramos el refresco añadiendo la solución de base fuerte NaOH?

- (3) Describe el siguiente gráfico, que contiene las curvas de valoración de tres muestras distintas de cola: una de un envase acabado de abrir, una de un envase abierto hace días y otra de una muestra hervida. ¿Qué curva corresponde a qué muestra? ¿Qué ácidos contiene cada muestra? Marca en el gráfico los puntos de equivalencia y determina el correspondiente pK_a . Comenta, también, el consumo de agente valorante que ha sido necesario en cada caso y justifica tus observaciones.





- (4) Según los datos de la anterior figura calcula cual es el contenido de ácido carbónico y dióxido de carbono que hay en el refresco abierto desde hace varios días. Expresa el resultado en g/L. Datos: la concentración de la solución de hidróxido de sodio empleada como agente valorante es de 0,201 mol/L, el sistema instrumental añade 0,3 mL de agente valorante cada 10 s.

- (5) Por último, según los datos de la misma figura y los contenidos de ácido carbónico y dióxido de carbono que acabas de calcular, determina cual es el contenido de ácido fosfórico de cualquiera de las muestras de cola. Expresa el resultado en g/L. Datos: la concentración de la solución de hidróxido de sodio empleada como agente valorante es de 0,201 mol/L, el sistema instrumental añade 0,3 mL de agente valorante cada 10 s.

- (6) Como conclusión rellena la tabla adjunta con los contenidos -en g/L- de cada una de las sustancias estudiadas en cada una de las muestras de cola analizadas. Comenta brevemente los resultados.

	Cola recién abierta	Cola abierta hace días	Cola hervida
Ácido fosfórico			
Ácido carbónico			
Dióxido de carbono			

Traducción y adaptación realizada por:

Iñaki Galve,
Jordi Cuadros,
Merche Manresa,

a partir de la traducción inglesa del documento original en alemán, en Barcelona en el mes de setiembre de 2009.



Esta obra está bajo una licencia Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 España de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/> o envíe una carta a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.