



Reflexiones epistemológicas sobre el concepto de *sustancia pura*

Manuel Fernández-González
Universidad de Granada

El concepto de *sustancia pura* es central en la química, y muy particularmente en ESO y bachillerato. La forma de presentación en manuales suele ser una versión empírica que puede provocar contradicciones. Hemos contemplado la situación bajo el punto de vista epistemológico, recalcando el carácter ideal del concepto de *sustancia pura* frente al carácter real del producto de laboratorio. En relación con su enseñanza se señala la conveniencia de mantener la versión empírica, pese a ser menos rigurosa que la teórica, si bien alertando de esta circunstancia.

PALABRAS CLAVE

- SUSTANCIA PURA
- MEZCLA
- SUSTANCIA DE LABORATORIO
- EPISTEMOLOGÍA DE LA QUÍMICA



EL CONCEPTO Y EL PROBLEMA

Las materias en bruto que ofrece la naturaleza, aunque útiles al hombre para fines diversos no pueden, por su complejidad, ser sustento de la teoría química. Para ello es más fácil apoyarse en las sustancias químicas, que proceden de las anteriores y representan un intento de desmenuzar la materia en sus bloques más sencillos.

Bien puede comprenderse que en el arranque de la disciplina estén situados dos conceptos básicos que se corresponden a dos ya citados: el de *sustancia pura* y el de *mezcla*, presentados en contraposición uno a otro. El modelo atómico-molecular fundamenta esta división insistiendo en que las sustancias puras (simples o elementales y compuestas), contrariamente a las mezclas, están constituidas por partículas siempre iguales entre sí. Esta constancia es precisamente la que posibilita la asignación de una fórmula química a una *sustancia pura*.

En sentido estricto, la *sustancia pura* está caracterizada por una absoluta homogeneidad química entre sus partes, lo que a nivel macro se traduce en una pureza del 100% y una composición porcentual de elementos (en %) invariable. La fórmula, a su vez, representa a una *sustancia pura* 100% pura.

Descendamos ahora a la realidad. ¿Dónde están las *sustancias puras* así definidas? ¿En el laboratorio? Si esto es así, cuando en un manual

En los inicios de cualquier curso de química es habitual encontrarse con una noción fundamental: la de *sustancia pura*, también llamada *sustancia química* o, simplemente, *sustancia* (Caamaño, 2003; Sánchez y Valcárcel, 2003). Se trata de un concepto de apariencia intuitiva, pero esta impresión es engañosa. El significado con que suele presentarse manifiesta ciertas incoherencias, extensibles a otros conceptos de su entorno.

Vamos a comenzar el estudio por los manuales, dada su innegable influencia en el ámbito escolar (Cañal y Criado, 2002). Analizaremos cómo exponen en 1.º de bachillerato el concepto de *sustancia pura*, junto a otros antagónicos (*mezcla*) o fronterizos (*sustancia de laboratorio*). La *sustancia pura*, como suele ocurrir, tiene su base empírica en la realidad, pero nuestra enseñanza habitual, muy libresca, no es propicia a establecer esas conexiones (Millar y Hunt, 2002).

Nos proponemos, además, clarificar su significado recurriendo a esquemas del ámbito epistemológico. Concretamente, trataremos de las relaciones teoría-realidad (Gaidioz y otros, 2004), sujeto básico para entender el significado de teorías y modelos, y evitar el error frecuente de confundir teoría con realidad. Nuestro trabajo va a insistir en la separación entre ambos niveles para interpretar mejor el problema.

Para el profesor es interesante conocer en profundidad el significado de estos conceptos, así como el enfoque a adoptar para exponerlos en el aula. Hemos elegido el nivel de bachillerato, pues trata con más detenimiento estos contenidos y se dirige a alumnos ya iniciados en la rama de ciencias.

Las *sustancias puras* están constituidas por partículas siempre iguales entre sí

aparece, por ejemplo, la fórmula ZnO , se está refiriendo al óxido de cinc del laboratorio. Pero entonces, si vamos al laboratorio, tomamos el frasco (Panreac, 2011) y leemos su etiqueta, podremos constatar que no está constituido por una sola sustancia (imagen 1). Todo lo contrario. Su composición es plural, incluso en las mejores calidades.

Zinc Oxido PRS	
ZnO	
M.: 81,39	CAS: 1314-13-2 EINECS: 215-222-5 NC: 2817
IMDG: 9/III	ADR: 9/III IATA: 9/III PAX: 911 CAO: 911
PALABRA DE ADVERTENCIA: Atención	
H410	
ESPECIFICACIONES:	
Riqueza (Compl.)	98 %
Insoluble en H_2SO_4	0,05 %
Compuestos de S (en SO_4)	0,05 %
Cloruro (Cl)	0,005 %
As	0,0005 %
Cs	0,1 %
Cu	0,01 %
Fe	0,003 %
Mg	0,1 %
Ni	0,01 %
Pb	0,01 %

Imagen 1. Composición del ZnO de laboratorio

LA PRESENTACIÓN EN MANUALES

¿Cómo solucionar el problema? Veamos lo que hacen los manuales. El significado que suelen asignar a la *sustancia pura* difiere del anterior. Adoptan una definición operativa basada en la constancia de la composición y propiedades. Así, pueden incluir a las sustancias de laboratorio como sustancias puras.

Hemos llevado a cabo un análisis de diez manuales de 1.º de bachillerato,¹ constatando que la definición que más aparece (9 veces) es la ya citada. Con frecuencia (6 veces) viene complementada por otra basada en la separación de mezclas: las sustancias puras aparecen como término del proceso. Sólo en una ocasión se uti-

Los manuales suelen definir la sustancia pura basándose en la constancia de la composición y propiedades

liza la definición teórica, pero al lado de las de carácter empírico.

¿Y la cuestión de las impurezas? Pocos manuales la abordan. Por tanto, no desaparece la idea de que la sustancia pura es siempre 100% pura. Entre los que sí lo hacen, varios (3) advierten que, debido a las impurezas, cualquier sustancia pura es en realidad una mezcla, y otros (2), en la misma línea, señalan que las sustancias de laboratorio nunca son totalmente puras.

Es evidente que la definición expuesta en los manuales es menos rigurosa que la teórica, porque la constancia citada (¿hasta qué precisión se mantiene?) y la existencia de impurezas (¿cuál es su límite para que una sustancia sea considerada como pura?) no parece, además, del todo coherente con el nombre del término (*sustancia pura*), ni con el empleo de una fórmula para ella, ni con las representaciones a nivel atómico.

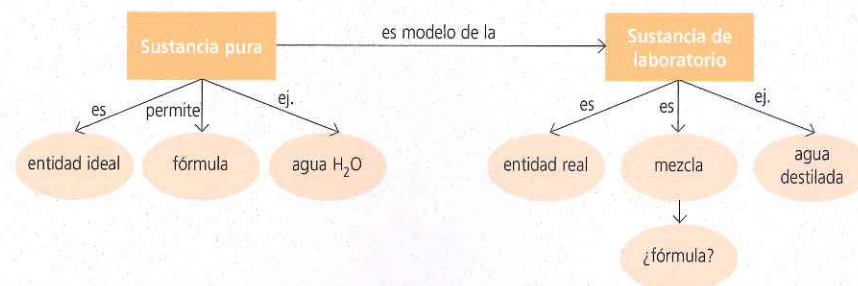
Hace más de medio siglo Pauling (1949), en su celebrada *Química General*, se refirió a estas cuestiones. Apuntó que el término *sustancia pura* es difícil de definir exactamente y recomendó seguir el uso aceptado, pues aun reconociendo que le falta precisión, se entiende bien en la práctica. Señaló además que «el concepto de *sustancia* [pura] es una idealización, ya que todas las sustancias son más o menos impuras». Sin embargo es útil porque «las propiedades

de diversas muestras de sustancias impuras [...] son casi las mismas, si [las impurezas] están presentes sólo en pequeñas cantidades» (Pauling, 1949, p. 20).

LA VISIÓN EPISTEMOLÓGICA

Desde el punto de vista epistemológico debe abordarse el problema subrayando la separación existente entre los ámbitos ideal y real. En este esquema el concepto de *sustancia pura* en sentido estricto (identidad absoluta de todas sus partes en átomos y estructura) se sitúa en el ámbito ideal, porque ninguna sustancia real, ni incluso las clasificadas en el laboratorio como «purísimas», responden a una composición única. Son en realidad mezclas (imagen 1).

El concepto va asociado al de *fórmula química*, que es propio de la sustancia pura. En general, las fórmulas de todas las sustancias químicas, interpretadas a nivel macro, tienen este mismo significado: designan una sustancia pura ideal. En cambio, en una sustancia real, por ejemplo en el óxido de cinc de laboratorio pueden encontrarse desviaciones de lo que marca la fórmula ZnO .



Cuadro 1. Sustancia pura y sustancia de laboratorio

Dentro del ámbito real las sustancias de laboratorio son las que más se aproximan al ideal de sustancia pura

En un frasco del producto, aunque la etiqueta ponga ZnO , esta fórmula, en rigor, no representa exactamente el contenido sino el componente principal y casi absoluto de una mezcla.

Lo que sí es cierto es que dentro del ámbito real las sustancias de laboratorio son las que más se aproximan al ideal de sustancia pura (cuadro 1) porque, al contener impurezas en grado muy reducido, el producto se comporta como sustancia pura en la mayor parte de sus aplicaciones. Así por ejemplo, el agua destilada (pureza <100%) tiene como modelo al agua químicamente pura, entidad ideal constituida sólo por moléculas H_2O . Es evidente que la sustancia de laboratorio, siendo una entidad real, roza lo ideal. Por eso podemos calificarla de entidad cuasi-ideal (Fernández-González, 2013).

¿CÓMO ABORDAR LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO?

Según hemos expuesto, el significado teórico de sustancia pura es retocado en aras de un utilitarismo en la práctica científica y una simplificación en su enseñanza. El resultado es que dicho significado se altera para hacerlo coincidir con el de *sustancia de laboratorio*, que por su carácter empírico es más fácil de asumir. Al hacer esto, el antagonismo con el concepto de *mezcla* se atenúa, pues hay que admitir que una «sustancia pura» de laboratorio es en realidad una mezcla, o, si se prefiere, una «sustancia pura con impurezas».

Nos encontramos pues con dos esquemas: uno, más riguroso, basado en el carácter ideal de la sustancia pura, y otro, más operativo, que la asimila con la sustancia de laboratorio. ¿Cuál es más idóneo para nuestra enseñanza? La transposición didáctica (Chevallard, 1997) juega a favor de seguir el esquema operativo habitual. Así se simplifica la enseñanza, pues la ahora «sustancia pura» se convierte en entidad real, se la hace antagonista de mezcla, se le permite tener una fórmula y puede ser ejemplificada por cualquier sustancia química. Todo ello a costa de una pérdida de precisión respecto al término teórico. Las incoherencias vienen por aquí. Para evitarlas, en el esquema empírico debe inculcarse que se admite una cierta permisividad con relación a la pureza, para así desterrar la idea de sustancia pura 100%.

■
El significado teórico de sustancia pura es retocado para una simplificación en su enseñanza

De cualquier modo queda abierta la opción de profundizar posteriormente en el significado de *sustancia pura*. En tal caso es recomendable hacerlo a través de un esquema de base epistemológica que plantee al alumno la existencia de dos ámbitos, el ideal y el real, con la sustancia pura en el primero y la sustancia de laboratorio en el segundo.

SECUENCIA DE CUESTIONES PARA LA EVALUACIÓN

Las cuestiones que siguen pueden ser utilizadas para evaluar la adquisición de conocimientos sobre el concepto de *sustancia pura* y otros afines. Nos situamos en el nivel de 1.º de bachillerato. Los conceptos implicados, más concretamente, son *sustancia pura* y *mezcla*, al que se añade además el de *sustancia de laboratorio*, en relación estrecha con el primero.

Están organizadas en forma de secuencia para permitir, además, su uso como herramienta de aprendizaje. La secuencia, al estilo de un programa-guía, trata de conducir al alumno de forma constructivista al significado de estos conceptos. Las cuestiones se han agrupado en bloques que van siendo entregados por el profesor a los grupos para evitar interferencias o anticipaciones de las respuestas.

Pasamos pues a presentar la secuencia. Comienza con una aproximación al concepto de *sustancia pura*, según el manual (Actividad 1), contraponiéndola con el concepto de *mezcla*, para concluir que las sustancias puras están formadas por partículas iguales (Actividad 2). A continuación se introduce el concepto de *sustancia de laboratorio* y se explora si es considerado como sustancia pura o como mezcla (Actividad 3). Enseguida se busca una situación de conflicto (Actividad 4) respecto a la probable respuesta anterior.

De las respuestas dadas en la actividad 3 y en la actividad 4, tras mostrar la etiqueta, se puede deducir la idea previa de sustancia pura que tiene el alumno. Una opción muy mayoritaria es que en la actividad 3 asimile la sustancia de laboratorio a una sustancia pura, y luego en la actividad 4 la cambie a mezcla. Entonces el significado que trasluce es el que se deriva del sentido literal de la palabra «pura» (que coincide con la versión teórica del término), unido a la idea de que todo lo del laboratorio es puro.

Se presenta seguidamente la versión empírica del término con su carácter práctico, que hace coincidir la sustancia pura con la sustancia de laboratorio (Actividad 5).

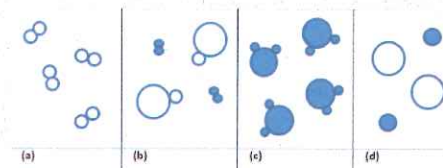
Sigue por último un bloque de trasfondo epistemológico, donde se confrontan las concepciones teórica y empírica de *sustancia pura* (Actividad 6), se recalca la inexistencia de la sustancia pura en el ámbito real (Actividad 7) y se insiste en el carácter ideal del concepto teórico de *sustancia pura*, junto a otros de la ciencia (Actividad 8).

Actividad 1

Según lo que dice nuestro libro de texto, ¿qué es una sustancia pura? (Indicar qué páginas se han consultado).

Actividad 2

La figura es una representación a nivel atómico-molecular de diferentes sustancias (sólo se dibujan cuatro unidades en cada caso). Señalar en cada una si se trata de una sustancia pura (simple o compuesta) o de una mezcla.



Actividad 3

Tenemos una sustancia de laboratorio, concretamente cinc metálico:

- ¿Es una sustancia pura o una mezcla? (Justificar la respuesta.)
- Representar su estructura como en la figura anterior (pero dibujando más de 2 unidades).

Actividad 4

Veamos ahora la etiqueta del frasco de cinc del laboratorio (Panreac, 2011):

- ¿Seguimos manteniendo la respuesta dada en la actividad 3a?
- Siendo su riqueza del 96%, si tuviéramos que representar (no hay que dibujarlo) 100 unidades (átomos, unidades-fórmula, o moléculas) ¿cuántas serían de cinc y cuántas de impurezas?

Zinc metal, polvo PRS	
Zn	
M _r = 65,38	CAS: 7440-66-6 EINECS: 231-175-3 NC: 7903 60 00
IMDG: 4.3/III	ADR: 4.3/III IATA: 4.3/III PAX: 419 CAD: 420
PALABRA DE ADVERTENCIA: Peligro	
H228-H260-H410	
ESPECIFICACIONES:	
Riqueza (Comp.)	96 %
Insoluble en HCl	0,05 %
Compuestos de N (en N)	0,01 %
As	0,00001 %
Cd	0,05 %
Pb	0,005 %
Pb	0,01 %

Actividad 5

Pese a lo que hemos visto, los químicos prefieren llamar sustancias puras a los productos de laboratorio. ¿Qué cualidad/es de las que siguen podemos tomar para construir la nueva definición (empírica) de sustancia pura?:

- Es una sustancia de pureza 100%.
- Es una sustancia de pureza algo menor del 100%.
- Es una sustancia que tiene unas propiedades características (PF, densidad...) determinadas.
- Es una sustancia cuyas últimas partículas constituyentes (átomos, moléculas, o unidades-fórmula) son todas iguales entre sí.

Actividad 6

En varios manuales de 1.º de bachillerato podemos ver las definiciones de sustancia pura que siguen. Señalar cuál/es tienen carácter predominantemente teórico y cuál/es empírico:

- «Sustancias químicas [o sustancias puras] son un tipo de materia con unas propiedades características bien definidas.» (SM, p. 191)
- «Las sustancias puras [...] tienen composición definida y constante. Por ejemplo, el agua está formada por hidrógeno y oxígeno en una composición fija: 2 átomos de hidrógeno por 1 átomo de oxígeno.» (Anaya, p. 200)
- «Sustancias puras. Aplicando las adecuadas técnicas de separación es posible separar los diversos componentes de una mezcla, cada uno de los cuales es una sustancia pura.» (Vicens Vives, p. 190)

Actividad 7

De los enunciados siguientes señalad alguno que apunte a que una sustancia pura, en sentido estricto, no existe en la práctica:

- «[Una] sustancia pura [...] se representa por una única fórmula química.» (Santillana, p. 10)
- «Sustancia pura es aquella que no puede separarse en otras más simples mediante procedimientos físicos y cuya composición y propiedades son constantes.» (Guadiel, p. 200)
- «Las sustancias empleadas en las industrias o en los laboratorios químicos nunca son totalmente puras.» (Vicens Vives, p. 190)

Actividad 8

De las siguientes entidades, tomadas del libro de física y química, unas son ideales o teóricas (es decir, no existen en la realidad) y otras son reales. Señalar unas y otras:

- Un gas cuyas moléculas no se atraen entre sí.
- Una piedra sumergida que recibe un empuje.
- Un péndulo cuya masa se considera puntual.
- Una sustancia pura al 100%.

Referencias bibliográficas

- CAAMAÑO, A. (2003): «La enseñanza y el aprendizaje de la Química», en JIMÉNEZ, A. (coord.): *Enseñar ciencias*. Barcelona. Graó, pp. 203-228.
- CAÑAL, P.; CRIADO, A. (2002): «¿Incidirá la investigación en didáctica de las ciencias en el contenido de los libros de texto escolares?». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 34, pp. 56-65.
- CHEVALLARD, Y. (1997): *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires. Aique.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M. (2013): «Idealization in Chemistry: Pure Substance and Laboratory Product». *Science & Education*, núm. 22, pp. 1.723-1.740.
- GADIOZ, P.; VINCE, J.; TIBERGHEN, A. (2004): «Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne». *Bulletin de l'Union des Physiciens*, núm. 98, pp. 1.029-1.042.
- MILLAR, R.; HUNT, A. (2002): «Science for public understanding: a different way to teach and learn science». *School Science Review*, núm. 83(304), pp. 35-42.
- PANREAC (2011): *Catálogo general 2011-2013*. Disponible en línea en: <<http://bit.ly/1LF4jL>>. [Consulta: junio 2015]

- PAULING, L. (1949): *Química General*. Madrid. Aguilar.
- SÁNCHEZ BLANCO, G.; VALCÁRCCEL, M.V. (2003): «Los modelos en la enseñanza de la química: concepto de sustancia pura». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 35, pp. 45-52.

Nota

- Manuales de 1.º de bachillerato revisados. Editoriales: Anaya, 2008, pp. 199-200; Bruño, 2009, pp. 8-9; Edelvives, 2008, p. 8; Elzevir, 2008, pp. 7 y 15; Guadiel, 2002, p. 200; McGrawHill, 2002, p. 196; Oxford, 2008, p. 25; Santillana, 2009, p. 10; SM, 2010, p. 191; Vicens Vives, 2006, p. 190.

Dirección de contacto

Manuel Fernández-González
Universidad de Granada
mfgfaber@ugr.es

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, en abril de 2015 y aceptado en junio de 2015 para su publicación.



LA MALETA DE LA CIENCIA

60 experimentos de aire y agua
y centenares de recursos para todos

ENRIC RAMIRO

Experimentadas antes de su publicación durante más de diez años en numerosos centros educativos, escuelas de verano y universidades, las sesenta prácticas sobre aire y agua que reúne este libro tienen el objetivo de ser divertidas pero sencillas, baratas, seguras y muy claras para cualquier persona, con independencia de sus conocimientos, se pueda aproximar de forma rigurosa al mundo de los experimentos. Dedicado especialmente a los más pequeños y, por lo tanto, ilustrado con humor y organizado didácticamente con claridad, este libro cuenta con el aval científico de destacados profesionales.

GRAÓ C/ Hurtado, 29
08022 Barcelona

Tel.: (34) 934 080 464

www.grao.com
graeditorial@grao.com