

LOS CONCEPTOS DE EQUILIBRIO REDOX EN LOS TEXTOS DE BUP Y COU

M^a Luisa Contri
Amparo Salvador
M. A. Pérez Berna

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, E.U. de Formació del Professorat d'EGB. Universitat de València.

Miguel de la Guardia

Departamento Química Analítica, Facultad de Ciencias Químicas. Universitat de València.

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la enseñanza de la química en el bachillerato y en el curso de orientación universitaria un aspecto importante lo constituye el concepto de equilibrio químico, (Johnstone et al, 1977; Wheeler y Kass, 1978; Furió y Ortiz, 1983), y la consideración de los diferentes modelos de interacción entre los sistemas químicos: el equilibrio ácido-base, de precipitación y de oxidación-reducción, (Burriel et al, 1983).

Una adecuada comprensión de los procesos de oxidación-reducción en cuanto equilibrios básicos de interacción entre sistemas químicos, es imprescindible para poder entender los fenómenos químicos, tanto a escala teórica o en disolución, como a efectos prácticos (corrosión natural y procesos industriales). Por otra parte, la necesidad de conocer estos mecanismos para acceder a la comprensión de los fenómenos bioquímicos, proporciona una

dimensión interdisciplinar a los conceptos de REDOX.

Estos temas se tratan sólo superficialmente en la EGB, y se estudian por primera vez en profundidad en segundo de BUP, lo que conlleva numerosas limitaciones entre las cuales, la necesidad de simplificar las cuestiones para hacerlas más accesibles a los escolares, puede inducir errores de concepto que en los niveles superiores de enseñanza dificultarán la buena comprensión de las mismas (De la Guardia et al, 1985).

A diferencia de otros autores (Bueso et al, 1987) que consideran que los esquemas conceptuales de los estudiantes sobre este tema pueden suponer el mayor obstáculo para comprender los fenómenos de oxidación-reducción y al margen del isomorfismo, sugerido por Piaget, (Piaget, 1975) entre el crecimiento de los conocimientos científicos y el desarrollo cognitivo del estudiante, opinamos que para temas como este que exigen un cierto grado de abstracción, los contenidos de las enseñan-

zas recibidas, son la principal causa de que se generen simplificaciones y se admitan como universalmente válidos casos particulares. Esto, en el marco de una enseñanza de corte tradicional apoyada en el empleo de libros de texto nos llevaría a la conclusión de que los errores detectados en estos últimos serán los que probablemente encontraremos en los estudiantes.

Hemos abordado el estudio de los conceptos básicos redox a partir del vaciado de textos de BUP y de COU ya que aunque en la actualidad, en la práctica docente de la física y la química en el BUP se están replanteando los contenidos, y en numerosas ocasiones el tema del equilibrio redox sólo se considera en el curso superior, la vigencia de los libros de texto autorizados por el Ministerio puede ser la causa de una enseñanza inadecuada de los principios básicos de estos equilibrios. Mediante este vaciado se pretende conocer el tratamiento que se dá a los conceptos fundamentales de oxidación-reducción en los textos, y detectar formulaciones ambiguas que pudieran generar errores.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se han consultado 15 textos de segundo de BUP y 7 de COU, vigentes en la actualidad, seleccionados entre las editoriales de mayor difusión. En la tabla I se especifican los textos consultados, indicando editorial, autores y fecha de edición. El orden asignado a los textos en la tabla I se conservarán a lo largo de este artículo, indicándose la palabra BUP ó COU seguida del nº de orden para referirse a un determinado texto.

En los capítulos correspondientes al equilibrio redox se han rastreado las definiciones básicas de: oxidación, reducción, oxidante, reductor, índice de oxidación, pila electroquímica y potencial normal, en orden a valorar la

adecuación de las definiciones dadas para una mejor comprensión de estos conceptos.

Se han consultado en los textos de BUP y COU, los ejemplos de sistemas oxidantes y reductores, el criterio utilizado para definir los potenciales (de reducción o de oxidación), la consideración simultánea de las semireacciones de oxidación y reducción, el empleo de potenciales normales o actuales, la dependencia del potencial de un sistema con respecto a la concentración de las formas oxidada y reducida (ecuación de Nernst), y la diferenciación entre pila electroquímica y reacción redox. Asimismo se ha estudiado la forma de deducir la ecuación de Nernst o el potencial de equilibrio de un sistema. Se han contrastado las tablas de potenciales que se adjuntan en los textos, y se ha realizado una valoración de las prácticas propuestas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DEFINICIONES EQUÍVOCAS DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DEL REDOX

Se han considerado como formulaciones equívocas, no tanto aquellas que sean erróneas como las que puedan generar errores de concepto en los estudiantes que se acercan por primera vez a estos temas.

A continuación se resumen este tipo de formulaciones para los siete conceptos analizados, indicando entre paréntesis la referencia de los textos en que se dan.

Como contrapunto se destacan aquellas definiciones particularmente adecuadas, que, contenidas en algunos de los textos analizados, permiten evitar generalizaciones de casos particulares o introducen distinciones necesarias para comprender los conceptos.

—Conceptos de oxidación y reducción.

Estos dos conceptos se incluyen en la totalidad de los textos de BUP y de COU, definiéndose de forma adecuada en la mayoría de

TABLA I - a

LIBROS DE TEXTO CONSULTADOS - NIVEL 2.º B.U.P.

<i>N.º ORDEN</i>	<i>EDITORIAL</i>	<i>AUTOR</i>	<i>AÑO</i>
1	ALHAMBRA	F. MARIN - J.L. NEGRO	1982
2	ANAYA	J. AGUILAR - J.L. GARZON	1976
3	ANAYA	J. BELTRAN Y OTROS	1976
4	BELLO	R. FEO Y OTROS	1976
5	CASALS	J.M. DOU Y OTROS	1980
6	DIDASCALIA	L. GOMEZ Y OTROS	1976
7	R.C.I.R.	E. NAGORE - L. MIRALLES	1976
8	EVEREST	J.A. FIDALGO	1976
9	LIBRERIA GENERAL	E. BURBANO - R. MARIN	1976
10	MAGIST. ESPAÑOL	J. MARTIN Y OTROS	1976
11	S.M.	LOZANO - VIGATA	1977
12	S.M.	P. SOLER Y OTROS	1977
13	TEIDE	MARIN Y OTROS	1976
14	VICENS VIVES	LAS HERAS Y OTROS	1976
15	VICENS VIVES	M. PARAIRA - R. ROMAN	1976

TABLA I - b

LIBROS DE TEXTO CONSULTADOS - NIVEL C.O.U.

<i>N.º ORDEN</i>	<i>EDITORIAL</i>	<i>AUTOR</i>	<i>AÑO</i>
1	ALHAMBRA	J.M. ESTEBAN - J. NEGRO	1983
2	ANAYA	MORCILLO - FERNANDEZ	1980
3	BRUÑO	EQ. EDITORIAL	1972
4	E.C.I.R.	L. MIRALLES Y OTROS	1978
5	EDELVIVES	F. SALINAS Y OTROS	1984
6	MAGIST. ESPAÑOL	C. GUILLEM Y OTROS	1978
7	MARFIL	C. GUILLEM	1979

ellos. No obstante, el deseo de introducir los mismos a partir de situaciones concretas, lleva a que un gran número de textos de BUP den definiciones tales como que «la oxidación es una combinación con oxígeno» ó «una pérdida de hidrógeno», y «la reducción es una pérdida de oxígeno» ó «una combinación con hidrógeno» (BUP 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 13; COU 2, 3, 4, 5), que aunque se acompañan de una definición correcta, contribuyen a afianzar una visión restringida del equilibrio redox.

También se han detectado en estas formulaciones el empleo inadecuado de términos como «cuerpo» en lugar de especie química (BUP 4, 5) ó el uso de expresiones como «fijación de oxígeno» (BUP 2, 6, 8; COU 3) ó «pérdida o ganancia de dominio sobre los electrones de enlace» (BUP 3).

Particularmente adecuadas son las definiciones encontradas en algunos textos (BUP 5, 7, 10) en los que se define escuetamente la oxidación como «un cambio químico en donde

una especie química cede electrones».

—Concepto de oxidante y reductor.

En este caso también aparecen en textos de BUP y de COU, definiciones que aluden a la cesión o captación de oxígeno (BUP 14, 15; COU 2), lo que hace pensar que se trata de dos procesos consecutivos.

Algunos textos restringen el concepto de oxidante o reductor a un «elemento» (BUP 1, 9; COU 1), lo que excluye la consideración de moléculas o iones.

En un cierto número de textos se da como definición que «son agentes reductores las sustancias capaces de reducir a otras, oxidándose ellas» (BUP 3, 4, 6, 8, 10, 12, 13; COU 7) lo que proporciona la noción de simultaneidad de las semireacciones, o se indica que «no existen oxidantes ni reductores absolutos» (BUP 2, 4, 6, 10; COU 2, 3, 4, 5), que contribuye a comprender mejor la escala de potenciales.

—Índice de oxidación.

Este concepto se define en algunos de los textos consultados aunque con diferentes denominaciones.

A continuación se entresacan algunas definiciones pintorescas, cuando no erróneas, que difícilmente pueden contribuir a que los estudiantes adquieran este concepto:

«La diferencia entre el número atómico del elemento y el número de electrones corticales, es decir, la carga neta del átomo» (BUP 11).

«El número de oxidación o índice redox es la carga que tendría cada átomo de un compuesto si todos los enlaces fueran iónicos» (BUP 1).

«Número polar o índice de oxidación de un elemento es la electrovalencia o carga ficticia del mismo en la combinación considerada» (BUP 4).

«El número de oxidación viene dado por los electrones ganados o perdidos total (en

compuestos iónicos) o parcialmente (en compuestos covalentes)» (BUP 6).

«Artificio útil para los químicos, a fin de comprobar si un cuerpo se ha oxidado o reducido» (COU 6).

Frente a estas definiciones sorprende encontrar en algún texto que:

«Índice de oxidación es la valencia positiva o negativa que cabe asignar a un elemento según el compuesto de que forma parte» (BUP 3).

«Número de oxidación o estado de oxidación es la carga, no siempre real, que dentro de ciertas normas se asigna a los átomos que forman una molécula o ión» (COU 4).

—Pila electroquímica.

En ninguno de los textos consultados se establece una comparación pila-reacción redox que, sin embargo sería de desear para evitar errores en la interpretación de estos equilibrios. La falta de distinción entre ambas situaciones conlleva a la definición de pila electroquímica como «dispositivo en el que tiene lugar un proceso redox» (COU 7) o «dispositivo capaz de producir energía eléctrica debido a reacciones químicas de oxidación-reducción» (BUP 4, 5, 15; COU 5, 6), que olvidan la existencia de un circuito externo y el hecho de la separación física entre las dos semireacciones.

Frente a esto, la definición de un texto (BUP 3) indica que «una pila electroquímica se fundamenta en la producción de energía eléctrica de bajo voltaje, mediante el aprovechamiento del paso de electrones que se transfieren del reductor al oxidante por medio de un circuito eléctrico externo».

—Potencial normal.

En la mayoría de los textos de BUP no se define el potencial normal.

Los errores encontrados, se basan en aceptar como condiciones normales una concentración 1 Normal para los iones en disolución

(BUP 10; COU 1) o en restringir el concepto a un elemento (COU 3) o a un metal (COU 7).

TRATAMIENTO DE LOS CONCEPTOS Y EJEMPLOS REDOX EN TEXTOS DE BUP Y COU

En la tabla II se resume la información encontrada acerca del tratamiento de algunos aspectos del equilibrio redox.

En la mayoría de textos de BUP (tabla II-a) no se explicitan criterios de potenciales, y cuando se emplean (BUP 6, 7, 10) se utiliza el criterio de oxidación.

En cuatro de los quince textos consultados no se explicitan la simultaneidad de los procesos de oxidación-reducción, y sólo en cuatro de ellos se indica la relatividad del comportamiento como oxidante o reductor de un sistema. En los pocos casos en que se emplean potenciales normales, aunque en algunos se plantea la relación entre potencial y concentración, no se deduce la ecuación de NERNST, ni la relación potencial-constante de equilibrio.

Todas estas ausencias proporcionan una idea del nivel de superficialidad con que es tratado el tema en los textos de BUP.

El ajuste de reacciones que se indica en la mayoría de los textos, se realiza por el método del número de oxidación o por el del ión-electrón, y en algunos casos por ambos procedimientos, lo que contrasta con la ausencia de criterios claros y de definiciones sobre el número o índice de oxidación, como ya se ha indicado en el apartado correspondiente.

En COU (tabla II-b) todos los textos, excepto uno, utilizan el criterio de reducción para definir los potenciales, y en todos los casos plantean la simultaneidad de los procesos redox, empleando el potencial normal, definiendo la relación potencial-concentración y estableciendo la relación potencial-constante de equilibrio. Sin embargo en tres textos no se establece la relatividad del comportamiento

oxidante o reductor de un sistema.

—Ejemplos de sistema redox en las tablas de potenciales.

Son pocos los ejemplos de sistemas redox en los textos de BUP y COU, y en ambos casos destaca la ausencia de sistemas orgánicos.

Las tablas de potenciales (tablas III-a y III-b) proporcionan no obstante una idea acerca de la complejidad y variación de los sistemas considerados.

El número de sistemas varía entre 17 y 47, independientemente del nivel considerado.

Una prueba de la escasa complejidad con que se tratan los equilibrios redox, lo muestra el hecho de que el porcentaje mayor de sistemas considerados sean del tipo catión/metal en estado de oxidación 0. Esto, junto con la ausencia de datos de sistemas orgánicos (sólo se cita el oxalato en dos textos) impide la proyección de estos conceptos a otros campos como el de la bioquímica.

EXPERIENCIAS REDOX EN LOS LIBROS DE TEXTO

Se han considerado tanto las experiencias sugeridas dentro del desarrollo teórico del tema (experiencias en el texto), como las que se indican en el apartado de experiencias o actividades (experiencias fuera del texto).

En las tablas IV-a u IV-b se indica el número de experiencias encontradas. La mayoría de ellas se incluyen dentro del desarrollo del tema. Sorprende la ausencia de las mismas en cuatro de los textos de BUP analizados y en uno de COU, y el hecho de que en los textos de COU no se incluyan, por lo general, un mayor número de experiencias que el considerado en BUP.

El total de 32 experiencias diferentes consideradas se ha clasificado en cinco tipos:

- construcción de pilas
- determinación del potencial normal
- electrolisis

TABLA II - a

TRATAMIENTO DE LOS CONCEPTOS EN LIBROS DE TEXTO
NIVEL 2.º B.U.P.

TEXTO	CRITERIO POTENCIAL	SIMULTANEIDAD REDUC.-OXIDA.	RELATIVIDAD COMPORTAM. REDUC.-OXID.	POTENCIAL USADO	DEPENDENCIA E CONC.	RELACION E Keq.	AJUSTE DE REACCIONES
1	—	NO	NO	—	—	—	n.º oxid.
2	REDUCCION	SI	SI	NORMAL	SI NO NERNST	NO	n.º oxid. ión-electrón
3	—	SI	NO	—	—	—	—
4	—	NO	SI	—	—	—	n.º oxid. ión-electrón
5	—	SI	NO	—	—	—	—
6	OXIDACION	SI	SI	NORMAL	SI	NO	n.º oxida. ión-electrón
7	OXIDACION	NO	NO	NORMAL	SI NO NERNST	NO	ión-electrón
8	—	SI	NO	—	—	—	n.º oxid.
9	—	SI	NO	—	—	—	n.º oxid. ión-electrón
10	OXIDACION	SI	SI	NORMAL	NO	NO	n.º oxid.
11	—	SI	NO	—	—	—	n.º oxid. ión-electrón
12	—	NO	NO	—	—	—	n.º oxid. ión-electrón
13	—	SI	NO	—	—	—	n.º oxid.
14	—	SI	NO	—	—	—	ión-electrón
15	—	SI	NO	—	—	—	ión-electrón

TABLA II - b

TRATAMIENTO DE LOS CONCEPTOS EN LIBROS DE TEXTO
NIVEL C.O.U.

TEXTO	CRITERIO POTENCIAL	SIMULTANEIDAD REDUC.-OXIDA.	RELATIVIDAD COMPORTAM. REDUC.-OXID.	POTENCIAL USADO	DEPENDENCIA E CONC.	RELACION E Keq.	AJUSTE DE REACCIONES
1	REDUCCION	SI	NO	NORMAL	SI	SI	—
2	REDUCCION	SI	SI	NORMAL	SI	SI	n.º oxid. ión-electrón
3	OXIDACION	SI	SI	NORMAL	SI	SI	ión-electrón
4	REDUCCION	SI	SI	NORMAL	SI	SI	n.º oxid. ión-electrón
5	REDUCCION	SI	SI	NORMAL	SI	SI NO DEDUC.	n.º oxid. ión-electrón
6	REDUCCION	SI	NO	NORMAL	SI	SI NO DEDUC.	ión-electrón
7	REDUCCION	SI	NO	NORMAL	SI	NO	n.º oxid. ión-electrón

TABLA III

SISTEMAS REDOX EN LAS TABLAS DE POTENCIALES

III - a

NIVEL 2.º B.U.P.

TEXTO	TABLAS DE POTENCIALES N.º DE SISTEMAS	TIPOS DE SISTEMAS				
		M^{+n} M^0	A^0 A^{-n}	M^{+n} M^{+m}	OTROS	ORGANICOS
2	21	21	0	0	0	0
6	23	20	3	0	0	0
7	39	17	7	6	9	0
10	18	11	5	2	0	0
11	17	2	1	1	12	1

III - b
NIVEL C.O.U.

TEXTO	TABLAS DE POTENCIALES N.º DE SISTEMAS	TIPOS DE SISTEMAS				
		M^{+n} M^o	A^o A^{-n}	M^{+n} M^{+m}	OTROS	ORGANICOS
1	47	23	5	2	16	1
2	22	11	3	2	6	0
3	27	23	4	0	0	0
4	40	17	5	6	12	0
5	30	18	5	3	4	0
6	18	11	3	2	2	0
7	27	14	5	4	4	0

- volumetrías redox
- otras reacciones redox

En las tablas V-a y V-b se detallan las prácticas encontradas en los textos, indicando el número de veces que aparecen y el porcentaje que suponen sobre el total de cada nivel.

La construcción de pilas en general, y en

particular la de Daniell, es la experiencia más habitual, aunque a nivel de BUP la consideración de reacciones sencillas redox constituye el capítulo más amplio. La mayor diferencia entre los niveles de BUP y COU lo marca la frecuencia con que se proponen las volumetrías redox.

TABLA IV
EXPERIENCIAS REDOX EN LIBROS DE TEXTO

IV - a

NIVEL 2.º B.U.P.

TEXTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N.º TOTAL DE EXPERIENCIAS	0	5	10	6	2	1	6	0	4	3	2	0	0	9	4
N.º EXPERIENCIAS FUERA DEL TEXTO	0	1	2	0	0	0	3	0	2	3	0	0	0	0	0

TEXTO	1	2	3	4	5	6	7
N.º TOTAL DE EXPERIENCIAS	0	5	2	3	3	6	1
N.º EXPERIENCIAS FUERA DEL TEXTO	0	5	0	3	0	2	0

IV - b
NIVEL C.O.U.

TABLA V - a

EXPERIENCIAS CONSIDERADAS EN TEXTOS DE 2.º B.U.P.

<i>TIPO DE EXPERIENCIA</i>	<i>N.º</i>	<i>%</i>	<i>EXPERIENCIA</i>	<i>N.º</i>	<i>%</i>
CONSTRUCCION DE PILAS	16	34'8	DANIELL VOLTA OTRAS PILAS	9 2 5	19'6 4'4 10'9
DETERMINACION DEL POTENCIAL NORMAL	1	2'2	Cu / Cu ⁺⁺ CON ELECTRODO DE HIDROGENO	1	2'2
ELECTROLISIS	5	10'9	H ₂ O Cu Cl ₂ Na Cl (FUND.)	1 2 2	2'2 4'4 4'4
VOLUMETRIAS REDOX	3	6'3	I ₂ // SO ₂ I ₂ // S ₂ O ₃ M _n O ₄ // Fe (II)	1 1	2'2 2'2
OTRAS REACCIONES REDOX	21	45'7	Ag NO ₃ // Cu Cu SO ₄ // Fe Cu SO ₄ // Zn Fe (III) // Sn (II) H ₂ SO ₄ // Cu HNO ₃ // Cu HNO ₃ // S KI // Cl ₂ Na // O ₂ PbO // C Cu O // H ₂ Hg O (DESCOMP. A) K Cl O ₃ (DESCOMP. A) REACCION-DESPLAZ. VARIOS METALES	2 3 4 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1	4'4 6'51 8'7 2'2 2'2 4'4 2'2 2'2 2'2 2'2 2'2 2'2 2'2

TABLA V - b

EXPERIENCIAS CONSIDERADAS EN TEXTOS DE C.O.U.

TIPO DE EXPERIENCIA	N.º	%	EXPERIENCIA	N.º	%
CONSTRUCCION DE PILAS	8	31'1	DANIELL	5	23'8
			VOLTA	0	0
			OTRAS PILAS	3	14'3
DETERMINACION DEL POTENCIAL NORMAL	1	4'76	Cu / Cu ⁺⁺ CON ELECTRODO DE HIDROGENO	1	4'76
ELECTROLISIS	2	9'52	Na SO ₄	1	4'76
				1	4'76
VOLUMETRIAS REDOX	6	28'57	Ce (IV) // Fe (II)	1	4'76
			Mn O ₄ // Fe (II)	3	14'3
			Mn O ₄ // H ₂ O ₂	1	4'76
			Fe (III) // I ⁻ // S ₂ O ₃ ⁼	1	4'76
OTRAS REACCIONES REDOX	4	19'05	Cu SO ₄ // Zn	1	4'76
			Ag NO ₃ // Cu	1	4'76
			Cu O // C	1	4'76
			ACTIV. DE METALES Y REAC. DE DESPLAZ.	1	4'76

Sorprende que se incluyan, tanto en BUP como en COU, experiencias tan difíciles de llevar a cabo como la determinación del potencial normal de un sistema, o como una reacción con electrodo de cloro, y es de lamentar que sólo anecdóticamente se propon-

gan experiencias basadas en reacciones de desplazamiento de unos sistemas por otros, que contribuirían eficazmente a interpretar las tablas de potenciales, y a entender la relatividad del carácter oxidante o reductor de los diferentes sistemas.

CONCLUSIONES

Los estudios realizados muestran la existencia de formulaciones equívocas, que pueden provocar errores de concepto en los estudiantes, basados en generalizaciones prematuras y conceptos restringidos.

Como consecuencia de los datos obtenidos, no sería de extrañar que se encontraran en estudiantes de niveles superiores:

—Una concepción de la oxidación y la reducción ligadas al intercambio de oxígeno e hidrógeno.

—Una consideración de estos procesos como una secuencia de pérdida o ganancia de electrones y posterior oxidación o reducción.

—La no adquisición del concepto de índice de oxidación, a pesar de que se ajusten las reacciones por este procedimiento.

—La no distinción entre pila electroquímica y reacción redox.

—Dificultades en el manejo de la ecuación de Nernst.

En base a estos conceptos se está elaborando un cuestionario para comprobar la veracidad de estas hipótesis.

Por otra parte se trata de aprovechar aque-

llas formulaciones y experiencias que pueden ser útiles para mejorar la comprensión de los alumnos, y que deberían integrarse en el proyecto alternativo al enfoque que actualmente se da al equilibrio redox en BUP y en COU.

BIBLIOGRAFÍA

Burriel, F.; Arribas, S.; Lucena, F.; Hernández, J., 1983. Química Analítica Cualitativa. Ed. Paraninfo. Madrid.

De la Guardia, M.; Salvador, A.; López, J.; Carrión, J.L., 1985. Errores conceptuales en la comprensión de los equilibrios ácido-base. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 61.

Furió, C.; Ortiz, E., 1983. «Persistencia de los errores conceptuales en el equilibrio químico». *Enseñanza de las Ciencias*, 1, pp. 15-20.

Johnstone, A.K.; Mc Donald; Webb, 1977. Chemical Equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, pp. 169-171.

Wheeler, A.E.; Kass, H., 1978. Student's Misconceptions in Chemical Equilibrium, *Science Education*, 62, pp.223-232.