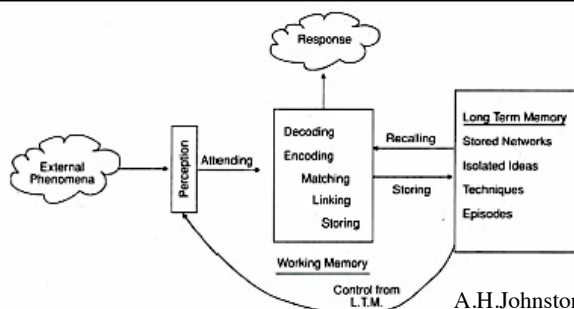




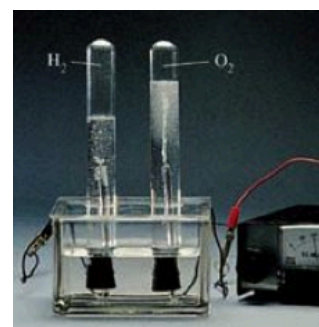
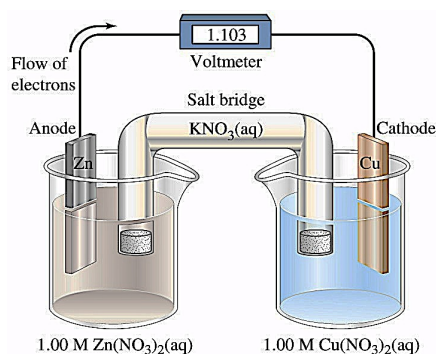
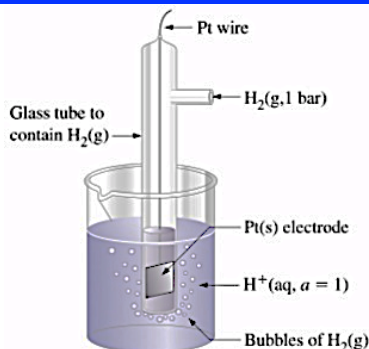
Facultat
de Química



A.H. Johnstone, *J. Chem. Educ.* **1993**, 70(9), p.703



Revisitando los Procesos Rédox. Dificultades Conceptuales de los Estudiantes



R.H. Petrucci, W.S. Harwood, G.E. Herring, *General Chemistry*, 8th ed, Prentice-Hall, 2002.

J. Olmsted, G. Williams, *Chemistry*, 4th ed, Wiley, 2005

José María Moratal Mascarell. Catedrático Honorario de Química Inorgánica (jose.m.moratal@uv.es)



Facultat
de Química

Revisitando los Procesos Rédox. Dificultades Conceptuales de los Estudiantes

Índice

- **I.- Introducción general**
 - I. 1/2/3 El proceso de aprendizaje
 - I. 4 Conceptos Alternativos.
 - I. 5 El Cambio Conceptual
- **II.- Identificación de Conceptos Alternativos (Misconceptions)**
 - II. 1/2 Reacciones Rédox:
 - 1.- Estudio cualitativo (*Garnett & Treagust*)
 - 2.- Estudio cuantitativo (*Brandriet & Bretz*)
 - II. 3/4 Celdas Galvánicas y Electrolíticas
 - 3.- Estudio cualitativo (*Garnett & Treagust/Sanger & Greenbowe*)
 - 4.- Estudio cuantitativo (*Schmidt, Marohn & Harrison*)
- **III. Recomendaciones**
- **IV. Bibliografía**

¿Es difícil la Química?

- *Muchos estudiantes consideran la química como una disciplina difícil, complicada y abstracta que requiere de especial capacidad intelectual y mucho esfuerzo para ser comprendida.* (L. Cardellini, 2012)
- *... “constituye un reto intelectual de tal magnitud que no se presenta de forma natural en la mayoría de los estudiantes”* (Johnstone, 1993)
- *La Química está llena de fenómenos interesantes, actividades experimentales atractivas y conocimiento útil para comprender el mundo físico y el industrial.*
 - *pero ... es muy compleja ya que los estudiantes necesitan no sólo comprender los símbolos, terminología y teorías utilizadas en el aprendizaje del conocimiento químico sino también transformar en representaciones útiles el lenguaje o materiales utilizados por el profesor en clase.* (Garba Shehu, 2015)

I. 1. El proceso de aprendizaje

- *Cuando en una entrevista se le pedía al famoso científico Ausubel [Educational Psychology. A cognitive view. 1974] que mencionara en una única frase lo más importante para la enseñanza, respondió:*
 - *“Pregunta a tus estudiantes que es lo que saben sobre el tema concreto y utiliza esas respuestas para planificar tu enseñanza teniendo en cuenta ese conocimiento”.*
- [de: Hans-Dieter Barke. “Learners Ideas, Misconceptions and Challenge”. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS). 2016, p. 20]*



David P. Ausubel
(1918-2008)

I. 1. El proceso de aprendizaje: *constructivismo* (Cooper & Stowe, 2018)

• 1) *Visión clásica:*

- el conocimiento puede ser *transferido directamente* desde la mente del profesor al estudiante
- los profesores consideraban la mente del estudiante como “*páginas en blanco*”
 - creían que sólo tenían que llenarlas con conocimiento científico.

• 2) *Teorías constructivistas:*

- el conocimiento es *construido* en la mente del estudiante,
- para que ocurra un *aprendizaje efectivo* se deben construir conexiones entre lo que ya es conocido y lo que ha de ser aprendido
- el estudiante ha de elegir hacer estas conexiones,
 - en último término es el estudiante el que decide *cómo* y *qué* aprender



Jean Piaget
(1896-1980)

I. 2. ¿Cómo aprendemos? *Modelo de Johnstone*

(Johnstone, 1993, 2000, 2006)

• *Procesado y Almacenamiento de la Información*



Alex H. Johnstone (1930-2017)

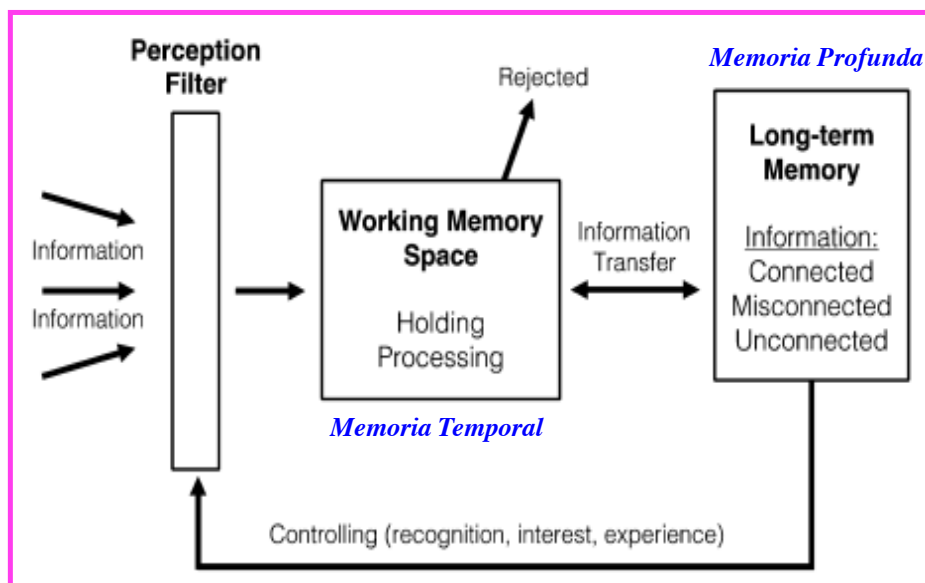
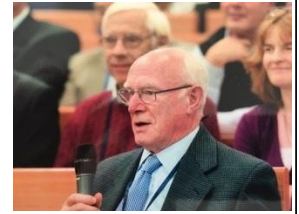


Figura 1. **Johnstone's information processing model.**

(adaptada de: M. M. Cooper, R. L. Stowe. *Chem. Rev.* **2018**, 118, p. 6059).

I. 2. ¿Cómo aprendemos? *Modelo de Johnstone (Johnstone, 1993, 2000, 2006)*



Alex H. Johnstone (1930-2017)

• 1.- *Procesado y Almacenamiento de la Información*

- 1) información *que llega* → seleccionada/filtrada por la percepción
- 2) información que supera el filtro es admitida en la zona consciente de nuestra memoria para su procesamiento → *memoria de trabajo (WM) o memoria temporal*
- 3) *trabajo de procesado* ayudado por información almacenada en la *memoria de largo término*
 - *LTM, o memoria profunda*
- 4) información ya procesada podemos decidir eliminarla o *almacenarla en la LTM*
 - *proceso de almacenamiento será eficiente si la nueva información se puede unir a otra ya existente*
- y así se va repitiendo el ciclo ...
 - *enriqueciéndose nuestra gran red de conocimiento*

I. 2. ¿Cómo aprendemos? *Modelo de Johnstone*

I. Introducción

• 2.- *La Memoria de Largo Término o Memoria Profunda (LTM)*

- 1) Capacidad → aparentemente *casi infinita*
- 2) Funciones de la LTM
 - a) *En la etapa de filtrado*
 - » los estímulos externos, como los presentados en el aula, son percibidos por nuestros sentidos y filtrados
 - » los estudiantes atienden a lo que es *familiar, estimulante, interesante, sorprendente o excitante*
algo no puede ser *familiar, interesante o sorprendente* a menos que pueda ser comparado con alguna experiencia previa.
 - b) *En la etapa de procesado*
 - » se requerirá recordar información de la LTM para que interaccione con la nueva información filtrada.

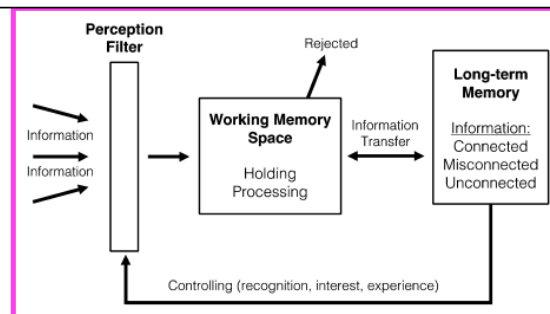
Filtro de percepción controlado en gran medida por lo almacenado en la LTM

• 2.- Memoria LTM o Memoria Profunda

■ 2) Funciones de la LTM

– c) Etapa de Almacenamiento en la LTM

¿qué puede ocurrir?



- » 1) que el procesado “dé sentido” a la nueva información y pueda ser almacenada eficientemente uniéndola a información ya existente.
- » 2) que el procesado “dé sentido” a la nueva información *pero* ... no se puede encontrar conocimiento adecuado en la LTM con el cual unirse → 2 opciones
 - i) **modificar** la nueva información para “conectarla” con algo ya existente → *conexión errónea*
acaba de nacer una “estructura alternativa” difícil de eliminar → ya que el estudiante la ha percibido como apropiada
 - ii) el estudiante decide **almacenarla sin conexiones** porque cree que es **importante** → aprendizaje *memorístico*
se pierde fácilmente por no estar integrada en nuestro sistema mental de almacenamiento.

9

• 3.- La Memoria de Trabajo (WM).

I. Introducción

■ a) Funciones:

- retener la información *entrante* en almacenamiento temporal
- operar sobre la información para que tenga sentido y prepararla para una respuesta y/o almacenarla en la LTM

■ b) Capacidad → limitada/se satura fácilmente

[Pascual-Leone (1970): aumenta hasta los 16 años (una unidad cada 2 años)]

- sólo puede manejar, simultáneamente, una cantidad limitada de información
 - » si hay demasiada información que retener → espacio insuficiente para procesar
 - » si requiere procesamiento complicado → poca información se podrá retener

Si se procesa simultáneamente demasiada información



Saturación → procesado y almacenamiento fallidos



fracasará el aprendizaje

■ c) Si se trabaja de manera continuada en el nivel de saturación ¿qué ocurrirá?

- “receta segura” para la frustración de los estudiantes
- gradualmente les conducirá a ...

“No lo entiendo” “No puedo entenderlo” “Nunca lo entenderé”
 y así hasta abandonar el estudio de la Química.

(Johnstone, 2006, p. 57) 10

- ¿Por qué los estudiantes perciben la Química como difícil de aprender?
¿por qué muchos de nuestros esfuerzos por enseñarla resultan infructuosos?
 - nuestra percepción de lo que es *importante, interesante y comprensible* depende esencialmente de lo que tenemos almacenado en la LTM
 - nuestro modo normal de pensamiento del mundo físico es de naturaleza *macro: colores, sonidos, temperatura, dureza, ríos, árboles, montañas, ...*
 - *pero ...* la Química, como disciplina, implica la comprensión y aplicación de *conceptos y modelos abstractos* donde se utilizan “*entidades*” que son *poco intuitivas* (no se encuentran en nuestra experiencia).
- ¿Cómo se *comunica/enseña/presenta* el conocimiento químico?

tres niveles o dominios
(que se complementan)



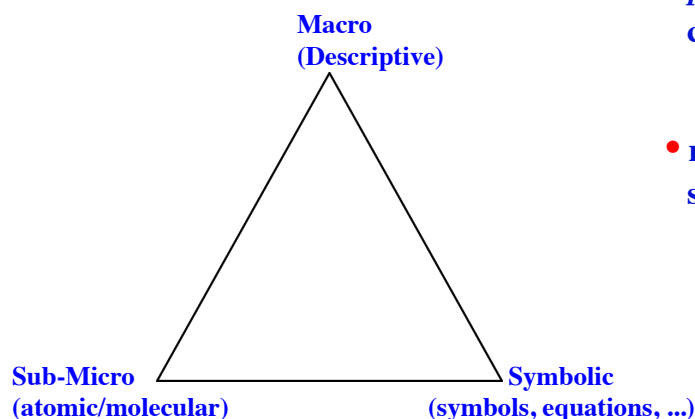
- *macro*
- *submicro*
- *simbólico*

- *macro y tangible (fenomenológico):*
 - *incluye los fenómenos observables por los sentidos (pds de las sustancias)*
- *submicro: incluye átomos, iones y moléculas*
- *simbólico/representación:*
 - *comprende símbolos, fórmulas, ecuaciones químicas, gráficas, ...*

I.3. El triplete de Johnstone

I. Introducción

- se pueden representar mediante los vértices de un triángulo
 - una presentación de la química exclusivamente *macro* vendría representada por el *vértice macro*
- la *enseñanza clásica* de la química se centraba en los aspectos *macro* y *simbólico*
 - se movía según el lado que une los vértices *macro-simbólico*
 - el *submicro* estaba *ausente* → no se exploraba el interior del triángulo



- *pero ...* para explicar cualitativamente el comportamiento de las sustancias
 - hay que moverse en el nivel *submicro*
- muchos temas de química hay *mezcla simultánea* de los 3 niveles
 - representado por un punto dentro del triángulo

Figura 2.- Triangle of learning levels in chemistry education.

[adaptada de: P. Mahaffy. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2004**, 5, p. 230]

- precisamente es el interior del triángulo donde hay riesgo de producir *saturación*
 - el profesor se sitúa fácilmente en el interior del triángulo conectando los tres niveles
 - puede fácilmente encontrar, recuperar e integrar información
 - tiene estructura de conocimiento organizada y contextualizada
 - *pero ...* muy pocos de sus estudiantes lo seguirán con facilidad
 - su red LTM no está aún lo suficientemente desarrollada
 - presentación simultánea de los tres aspectos de la química
 - “receta segura” para *saturación* de la WM
- (Johnstone, 2000, p. 35)
- además, cuando el estudiante intenta almacenar esta triple capa de información (*sandwich*)
 - poco probable que pueda encontrar puntos de conexión útiles para su unión en la LTM, ...
 - » intentará *modificar/manipular* la información a una forma más asimilable ...
 - nacerá una “red alternativa”



- *pero ...* una buena comprensión de la Química requiere la integración de los tres niveles y moverse entre ellos con fluidez
 - este proceso requiere una *capacidad de pensamiento exigente*
 - el estudiante debe operar en un nivel de *pensamiento formal abstracto*
 - » impedimento para que el estudiante pueda construir conocimiento químico que integre los tres dominios macro/submicro/simbólico interconectados
 - » *dificultad para aprender Química*
- el concepto de los tres niveles requiere su tiempo para “crecer”
 - las ideas y redes necesitan ser “revisadas” frecuentemente para estar consolidadas
- *Resumiendo*, (Johnstone, 1993, p. 704)
 - “lo que por un lado es la fortaleza de nuestra disciplina como ejercicio intelectual, constituye también su *debilidad* cuando intentamos enseñarla y aún más cuando los estudiantes intentan aprenderla”
 - “no es que la química esté fallando, pero ... constituye un reto intelectual de tal magnitud que no se presenta de forma natural en la mayoría de los estudiantes”

I. 4. Conceptos alternativos de los estudiantes (*Misconceptions*)

• 1.- Actualmente sabemos que ...

- a) el conocimiento es construido en la mente del estudiante
 - *pero ... esta construcción no ocurre sobre una “página en blanco”*
 - » *ya que los estudiantes vienen a clase con ideas y preconceptos que pueden contener errores, ideas no científicas o con deficiencias de conocimiento básico.*
- b) el aprendizaje implica una importante reestructuración de los sistemas conceptuales preexistentes en el estudiante
 - *no es una simple adición de nueva información en la estructura de conocimiento ya existente.*

• 2.- Conceptos alternativos (*misconceptions*):

- *“conocimiento conceptual del estudiante que difiere del comúnmente aceptado por la comunidad científica y, por lo tanto, es incapaz de explicar correctamente los fenómenos científicos observables”.*

• 3. ¿Cuál es el origen de los conceptos alternativos?

- *carencia de conceptos previos adecuados o conceptos aprendidos a medias,*
- *inexactitudes en la enseñanza del aula y palabras científicas con significado diferente al cotidiano,*
- *imprecisiones en los libros de texto,*
- *conceptos populares basados en la experiencia cotidiana, creencias no científicas, falsas ideas aprendidas en la niñez y mantenidas en la edad adulta,*
- **conceptos alternativos debidos a conocimiento previo deficiente/incorrecto**
 - los estudiantes atienden *selectivamente* al flujo de información presentada en el aula
 - » sus “*preconceptos*” determinan sobre qué información han de poner su atención.
 - si el estudiante conecta nueva información con una estructura cognitiva que contiene *conocimiento inapropiado (red dañada)*
 - » *ocurrirá una comprensión errónea del concepto.*
 - como muchos estudiantes (desde que iniciaron el estudio de la química) no están construyendo comprensiones adecuadas de conceptos básicos,
 - » *no podrán comprender los conceptos más avanzados que se tendrían que construir sobre sus conceptos previos.*

• 3. ¿Cuál es el origen de los *conceptos alternativos*?

■ *pero ... muchos de los conceptos alternativos se deben a la enseñanza en el aula:*

– *a) la utilización imprecisa del lenguaje químico en los dominios macro-submicro-simbólico pueden ser el origen de conceptos alternativos*

» *p. ej. transferencia de pds macroscópicas de la sustancia a sus partículas submicroscópicas → ¡¡los átomos de azufre ~~son de color~~ amarillo!!* (Rodic et al., 2018)

– *b) lenguaje ambiguo/inadecuado puede dificultar el aprendizaje de la química*

» *la presentación negativa de una cuestión puede tener el efecto de un doble pensamiento, y si se introducen dos negaciones hasta el estudiante mejor preparado tendrá dificultades ya que se requiere mucho mayor espacio en la WM*

(Sirhan, 2007; Cardellini, 2012)

– *c) muchas palabras en química tienen significado diferente al cotidiano*

» *p. ej. “volátil” se puede interpretar como “inestable”* (Sirhan, 2007)

"Lo que se enseña no es siempre lo mismo que lo que se aprende" (Sirhan, 2007)

• Los *conceptos alternativos* son predominantes entre los estudiantes de todas las edades

■ *y muchos de estos conceptos alternativos persistirán incluso después de graduados.*

■ *en la historia de la humanidad, ... también importantes científicos y filósofos desarrollaron y vivieron con muchos conceptos alternativos* (Garba Shehu, 2015, p. 19)

• Los profesores no deben suponer que, mediante la impartición de una lección concreta, cualquier *concepto alternativo* de sus estudiantes desaparecerá automáticamente.

(Garba Shehu, 2015, p. 19)

• algunos *conceptos alternativos* pueden ser fácilmente reconstruídos mediante una *enseñanza convencional adecuada*

• 4. Los *conceptos alternativos* “*consolidados*”

■ *pero ... los conceptos alternativos **consolidados** están fuertemente arraigados e inter-relacionados a otros conceptos que los hacen entendibles para el estudiante,*

– *no suele ser consciente de que son incorrectos,*

– *es difícil integrar nuevo conocimiento en sus estructuras cognitivas,*

■ *suelen ser **muy resistentes al cambio**.*

■ *para poder adquirir nuevo conocimiento es necesario cambiar estos *conceptos alternativos* mediante una reconstrucción adecuada.*

- El aprendizaje adecuado de los conceptos científicos implica reajustar, reorganizar o sustituir conceptos previos para poder incorporar los nuevos conceptos,
 - a este proceso se le ha llamado *Cambio Conceptual*.
- Piaget argumentaba ...
 - si se originan discordancias entre nuestras “ideas preexistentes” y nuestras experiencias, nuestros esquemas conceptuales pueden modificarse para ajustarse a los nuevos datos sensoriales.
- El *cambio conceptual* adecuado se originará iniciando un “*conflicto cognitivo*” donde se hagan evidentes las “deficiencias” de los *conceptos preexistentes*.
 - si a los estudiantes se les presenta un hecho que no pueda ser explicado con sus ideas incorrectas, entonces sustituirán estas ideas por el nuevo concepto más adecuado.
- Recomendaciones previas:
 - Es necesario diagnosticar los *conceptos alternativos* para diseñar y planificar estrategias de enseñanza que conduzcan al *cambio conceptual*.

(Garba Shehu, 2015, p. 19)

- Aunque los estudios sobre *conceptos alternativos* puedan parecer *pesimistas*, tienen un considerable potencial para mejorar el aprendizaje del estudiante,
 - los profesores necesitan conocer los *conceptos alternativos* con que llegan los estudiantes al aula, para diseñar su metodología de enseñanza-aprendizaje
- (Garnett, Garnett & Treagust, 1990, p. 3)
- En el proceso de enseñanza-aprendizaje, tendremos mayor éxito si integramos los *conceptos alternativos* en nuestra enseñanza.
 - el *cambio conceptual* será más probable si los estudiantes debaten sus *conceptos alternativos*, se sienten incómodos con ellos y perciben que el nuevo concepto químico es más adecuado para explicar los hechos.
- (Barke, 2016)
- El trabajo en grupo, la discusión e intercambio de ideas puede ser importante para una eficiente corrección de los *conceptos alternativos*.
- (Sirhan, 2007)

Nosotros podemos enseñar, e incluso enseñar bien,
sin que los estudiantes aprendan
(Bodner, 1986)

II. Procesos rédox: Identificando Conceptos Alternativos

Introducción

- Tanto los profesores como los estudiantes consideran el estudio de los procesos Rédox como uno de los temas más difíciles de la química.
 - una de la razones es que la mayoría de los conceptos que se estudian en electroquímica son en el nivel submicro. (G. Tsaparlis, 2019)
- Los estudiantes consideran que la Electroquímica es uno de los temas más difíciles de la química,
 - una de la razones es que la mayoría de los conceptos estudiados en electroquímica son en el nivel submicro. (Rodríguez-Velázquez, 2013, p. 2)
- Las reacciones rédox son consideradas como uno de los temas de Química más difíciles de enseñar y aprender (L. F. Goes et al. 2020, p. 698)
- Los profesores necesitan conocer los conceptos alternativos con que llegan los estudiantes al aula, para diseñar su metodología de enseñanza-aprendizaje. (Garnett, Garnett & Treagust, 1990, p. 3)

II. Identificando Conceptos Alternativos

Tabla II. 1. Approaches used in electrochemistry to explore student understanding.
(adaptada de: Adrian S-L Loh & R. Subramaniam. *J. Res. Sci. Teach.* **2018**, 55, p. 783)

Approach	References
Inter-views	<i>Sesen and Tarhan (2007)</i> <i>Talib, Matthews, and Secombe (2005)</i> <i>Rosenthal and Sanger (2012)</i> <i>Garnett et al. (1990)/Garnett and Treagust (1992a)/ Garnett and Treagust (1992b)</i> <i>De Jong, Acampo, and Verdonk (1995)</i> <i>Sanger and Greenbowe (1997a)</i> <i>Valanides, Nicolaidou, and Eilks (2003)</i> <i>Ogude and Bradley (1996)</i>
Open-ended questions	<i>Niaz (2002)</i> <i>Yang, Andre, Greenbowe, and Tibell (2003)</i> <i>Sanger and Greenbowe (2000)/ Sanger (2005)</i> <i>Sesen and Tarhan (2007)</i> <i>Osman and Lee (2014)</i> <i>Huddle et al. (2000)</i> <i>Niaz and Chacon (2003)</i> <i>Haigh, France, and Gounder (2012)</i>

II. Identificando Conceptos Alternativos

Approach	References
Open-ended questions	<i>Sesen and Tarhan (2013)</i> <i>Thompson and Soyibo (2002)</i> <i>Yang, Greenbowe, and Andre (2004)</i>
MCQs (multiple choice questions)	<i>Sanger and Greenbowe (2000)/ Sanger and Greenbowe (1997b)</i> <i>Sesen and Tarhan (2007)</i> <i>Schmidt, Marohn, and Harrison (2007)</i> <i>Sesen and Tarhan (2013)</i> <i>Thompson and Soyibo (2002)</i> <i>Rahayu et al. (2011)</i> <i>Ogude and Bradley (1996) / Ogude and Bradley (1994)</i> <i>Özkaya et al. (2006)</i>
MCQ Assertion & Reason type	<i>Özkaya (2002)</i> <i>Sanger and Greenbowe (2000)</i> <i>Sesen and Tarhan (2007)</i> <i>Özkaya et al. (2006)</i> <i>Ogude and Bradley (1994)</i>
MCQ (with confidence level)	<i>Brandriet and Bretz (2014)</i>
Three-tier MCQ	<i>Sia, Treagust, and Chandrasegaran (2012)</i>

23

II. Identificando Conceptos Alternativos

II. 1. Reacciones redox: Estudio cualitativo (Garnett & Treagust, 1990, 1992a)

• 1.- Metodología

- entrevista individualizada a 32 estudiantes de nivel similar a 2º de Bachillerato
- a cada estudiante se le formulaban una serie de preguntas durante unos 40-50 minutos; la entrevista se grababa
- se realizaba un mes después de la presentación en clase del tema de oxidación-reducción

• 2.- Cuestionario de la entrevista individual

- 1. De las siguientes ecuaciones ¿cuáles representan reacciones de oxidación-reducción? Explica tu respuesta.
 - a) $2 \text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MgO}$
 - b) $\text{Mg} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$
 - c) $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
 - d) $\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

24

II. 1. Reacciones redox: Estudio cualitativo

• 2.- Cuestionario de la entrevista individual

- 2. En una de las ecuaciones de oxidación-reducción de la cuestión anterior, identifica el agente oxidante y el reductor
- 3.- ¿Qué puedes decir sobre números de oxidación?
- 4.- Ajusta las siguientes ecuaciones. ¿Qué tipo de reacciones representan?
 - a) $\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - b) $\text{Zn} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
- 5.- ¿Por qué utilizamos semirreacciones?

II. 1. Reacciones redox: Estudio cualitativo

• 3.- Resultados (de las respuestas de los estudiantes):

- cuatro áreas de dificultad así como 7 “conceptos alternativos”
- a) Asignación de estados de oxidación (E.O.) e
 - b) Identificación de reacciones redox utilizando n° de oxidación
(misconceptions 1-5, Tabla II.2)
 - de 32 estudiantes sólo 14 (44%) respondían correctamente a la cuestión 1,
 - » identificaban las reacciones redox utilizando n°s de oxidación.
 - otros 4 utilizaban incorrectamente los números de oxidación.
 - el error más común en la identificación de reacciones redox era utilizar los cambios en las cargas de las especies poliatómicas
 - » en vez de los cambios en los n°s de oxidación de átomos individuales
 - » p. ej. $\rightarrow$ al ión CO_3^{2-} le asignaban EO - 2

II. 1. Reacciones redox: Estudio cualitativo

• 3.- Resultados

- c) Utilización de otras definiciones para identificar reacciones redox (*misconception 6*)
 - estudiantes que no utilizaban E.O.'s solían seleccionar una *definición alternativa* que se aplicara más fácilmente a una ecuación dada (particularmente ganancia/pérdida de oxígeno)
 - » p. ej. la reacción: $\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
 - » la interpretaban como reducción del CO_3^{2-} ya que pierde oxígeno, mientras que el ión hidrógeno se oxidaría ya que gana oxígeno
- d) Interdependencia de los procesos oxidación y reducción (*misconception 7*)
 - 7 estudiantes (22%) indicaban que la oxidación y la reducción podían ocurrir independientemente.
 - de estos 7 estudiantes, 6 habían utilizado *definiciones alternativas* (ganancia/pérdida de oxígeno/hidrógeno) para identificar reacciones redox.
 - » p. ej. la reacción: $2 \text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MgO}$
 - » se consideraba una reacción de oxidación (el Mg es oxidado y *nada* es reducido)

27

Tabla II. 2. Student's Misconceptions About Oxidation-Reduction Equations

a) Asignación de estados de oxidación

1. El E.O. de un elemento es el mismo que la carga del ión monoatómico de ese elemento. (p.ej. para Mg elemental suponían E.O. +2 en vez de 0)
2. Los E.O.'s pueden ser asignados a moléculas o iones poliatómicos.
3. La carga de una especie poliatómica indica el E.O. de la molécula o ión. (al ión CO_3^{2-} le asignaban E.O. - 2)

b) Identificación de reacciones redox utilizando E.O.

4. En una reacción se pueden utilizar los cambios en las cargas de las especies poliatómicas para identificar reacciones redox
5. En una ecuación, el nº de electrones ganados/perdidos por las especies reactantes se pueden determinar de los cambios en las cargas de las especies poliatómicas

c) Utilización de otras definiciones para identificar reacciones redox

6. En todas las ecuaciones químicas para identificar oxidación y reducción, se puede utilizar la definición de oxidación como adición de oxígeno/reducción pérdida de oxígeno

d) La interdependencia de los procesos oxidación y reducción

7. Los procesos oxidación y reducción pueden ocurrir independientemente.

II. 1. Reacciones redox: Estudio cualitativo

• 4.- Posible origen de los conceptos alternativos

- Muchas veces la introducción de los procesos redox se realiza desde una perspectiva histórica antes de introducir las ideas de transferencia electrónica y n° de oxidación
 - “oxidación como una ganancia de oxígeno/pérdida de hidrógeno”
 - aunque hay situaciones en que puede ser deseable presentar modelos o teorías alternativos, *el uso de varios modelos/definiciones de oxidación-reducción puede resultar confuso para algunos estudiantes.*
- En algunos casos los errores no son conceptuales sino que son atribuibles a que el estudiante no tiene conocimiento suficiente sobre un aspecto concreto.
- También la existencia de errores previos dificulta una respuesta correcta
 - p. ej. los estudiantes que no eran capaces de ajustar las ecuaciones de la cuestión 4, presentaban ya errores sobre E.O.'s, y por ello eran incapaces de separar una ecuación redox en 2 semirreacciones

II. 2. Reacciones redox: Estudio cuantitativo (Brandriet & Bretz, 2014)

• 1.- Desarrollo del ROXCI (Redox Concept Inventory)

- herramienta de investigación cuantitativa
- 1) estudio cualitativo previo con entrevistas individualizadas a 30 estudiantes universitarios (1er semestre de química general)
 - del análisis de las entrevistas se ponían de manifiesto 6 áreas importantes de “conceptos alternativos” (*misconceptions*)
 - » número de oxidación
 - » utilización de *características superficiales* de ecuaciones químicas para identificar si la reacción es o no redox
 - » transferencia de electrones
 - » papel del ión espectador
 - » el proceso dinámico de la reacción (naturaleza dinámica de las partículas)
 - » electrostática y enlace (enlace, atracción de cargas, etc)

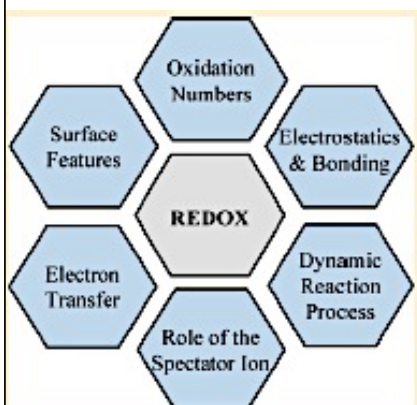


Figura 3. A. R. Brandriet, S. L. Bretz. *J. Chem. Educ.* **2014**, 91, p. 1132

II. 2. Reacciones redox: Estudio cuantitativo

- 1.- Desarrollo del ROXCI (Redox Concept Inventory)
 - 2) Varios ciclos de revisión de los Items y validación por 8 expertos → ROXCI-α,
 - 3) Aplicación del ROXCI-α, 27 Items
 - 436 estudiantes universitarios de 1er curso
 - se aplicaba después de la presentación en clase del tema de oxidación-reducción y realizado los laboratorios correspondientes.
 - 4) Nueva revisión del ROXCI-α → ROXCI 18 Items (versión definitiva)
 - cada Item incluye una escala de 0-100% para que el estudiante indique el grado de confianza en su respuesta
 - » esta escala se adicionaba para que los profesores puedan conocer el arraigo/ consolidación del concepto alternativo
 - » se considera un concepto alternativo consolidado (*difícil de cambio conceptual con una enseñanza convencional*) si la confianza promedio es mayor del 50%

II. 2. Reacciones redox: Estudio cuantitativo (Brandriet & Bretz, 2014)

- Tabla II. 3. Principales aspectos con “conceptos alternativos” evaluados con el ROXCI

ROXCI Themes	Description of Themes	Items ^a
<i>Oxidation numbers</i>	Application and/or understanding of charges and/or oxidation numbers	1/2, 3/4, 5/6, 7, 8, 9, 13, 14, 15
<i>Surface features</i>	Using surface features of a chemical equation to identify whether or not a reaction is redox	1/2, 3/4, 5/6, 9, 12, 14
<i>Electron transfer</i>	Role of electron transfer in a redox reaction	3/4, 9, 10, 16, 17, 18
<i>Spectator ions</i>	Role of the spectator ions in single-displacement redox reactions	9, 10, 11, 17, 18
<i>Dynamics reaction process</i>	Dynamic nature of particles	10, 11, 16, 17, 18
<i>Electrostatics and bonding</i>	Bonding, charge attractions, or replacing charges between charged species in redox reactions	10, 11, 16, 17, 18

^aItems 1–6 are two-tiered answer/reason paired items. The answer/reason pairs are 1/2, 3/4, and 5/6

II. 2. Reacciones rédox: Estudio cuantitativo

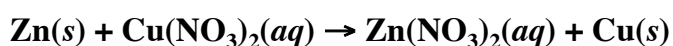
• 2.- Aplicación del ROXCI

- 1) 83 estudiantes universitarios del 1er semestre de química general (GC1-T1)
 - se aplicaba después de la presentación en clase del tema de oxidación-reducción y realizado los laboratorios correspondientes
 - 15 minutos para responder el cuestionario (Test 1)
 - Re-test (Test 2) (GC1-T2)
 - » 2 semanas más tarde los 83 estudiantes repetían el mismo test para estudiar la *consistencia* de sus respuestas
- 2) via *on-line*: 510 estudiantes universitarios del 2º semestre de química general (GC2)
- 3) *escala nacional, presencial*: 1083 estudiantes del 1er semestre de química general (GC1-NS) (10 universidades de 9 estados de USA)

33

- **3.- Items del ROXCI/Resultados**

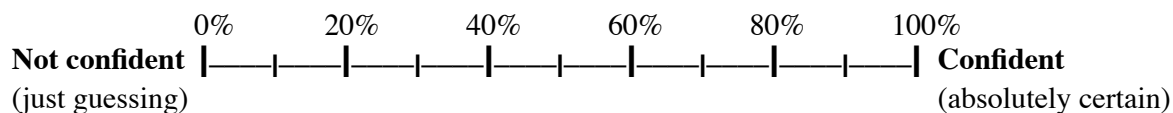
1. Is this an oxidation-reduction reaction?



A. Yes

B. No

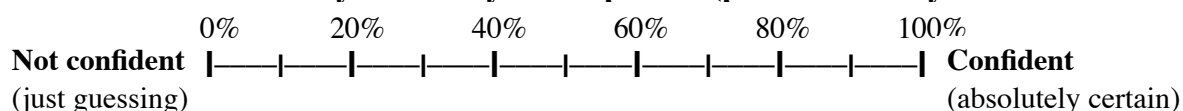
How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



2. I chose my answer to question 1 because...

- A. the charges on zinc, copper, and nitrate do not change.**
- B. the reactants are an aqueous solution and a metal.**
- C. the zinc and copper exchange places.**
- D. the charge on zinc increases, while the charge on copper decreases.**

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)

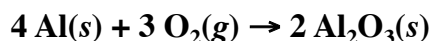


34

• 3.- Items del ROXCI/Resultados

Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
1	A	63 (75,9%)	387 (75,9%)	783 (72,3%)
	B	20 (24,1%)	123 (24,1%)	300 (27,7%)
2	A	16 (19,3%)	88 (17,2%)	159 (14,7%)
	B	8 (9,6%)	29 (5,7%)	112 (10,3%)
	C	20 (24,1%)	80 (15,7%)	202 (18,6%)
	D	39 (47,0%)	313 (61,4%)	610 (56,32%)

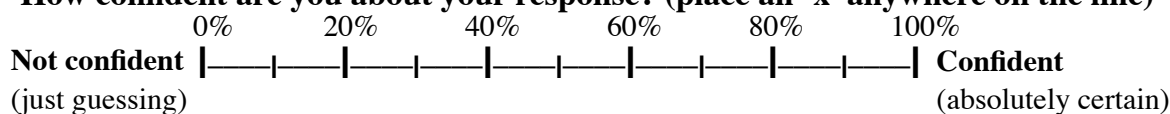
3. Is this an oxidation-reduction reaction?



A. Yes

B. No

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



4. I chose my answer to question 3 because...

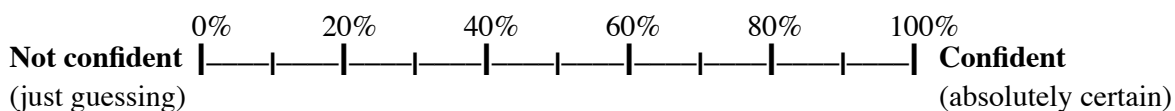
A. it is a combination reaction.

B. $\text{O}_2(g)$ gives electrons to $\text{Al}(s)$ to form a bond.

C. the charge on $\text{Al}(s)$ changes, and the charge on $\text{O}_2(g)$ also changes.

D. there is only one product, so oxidation and reduction cannot both occur.

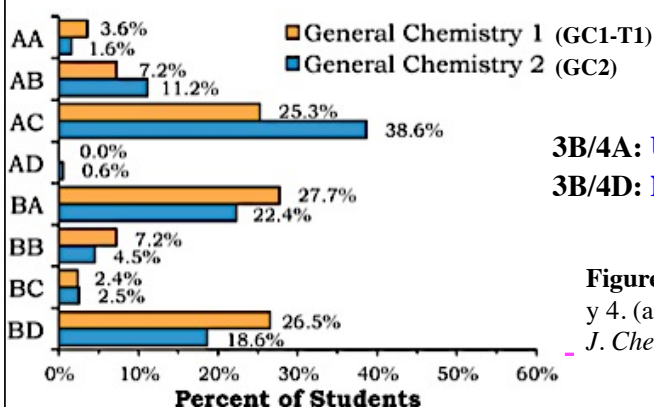
How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



• 3.- Items del ROXCI/Resultados

II. Identificando Conceptos ...

Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
3	A	30 (36,1%)	265 (52,0%)	492 (45,4%)
	B	53 (63,9%)	245 (48,0%)	591 (54,6%)
Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
4	A	26 (31,3%)	122 (23,9%)	301 (27,8%)
	B	12 (14,5%)	80 (15,7%)	187 (17,3%)
	C	23 (27,7%)	210 (41,2%)	305 (28,2%)
	D	22 (26,5%)	98 (19,2%)	290 (26,8%)



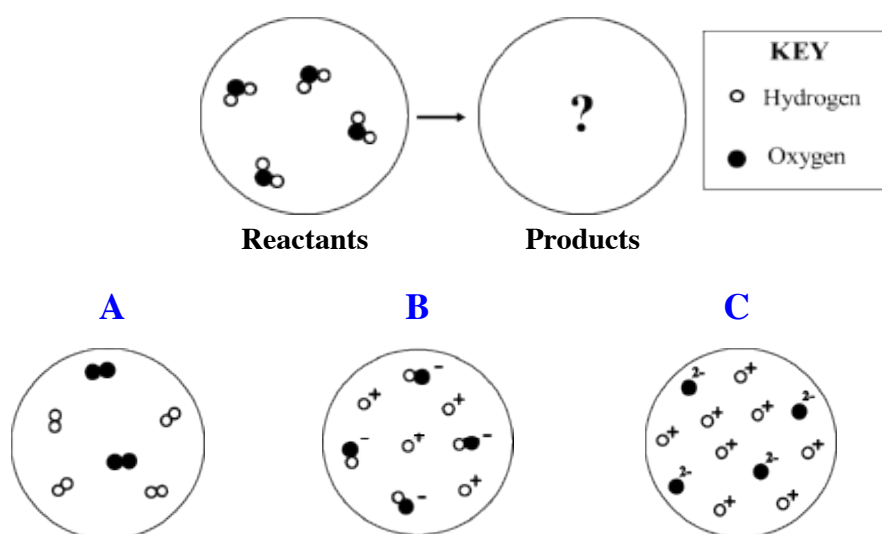
3B/4A: Una reacción de combinación no es rédox (27,7%)
 3B/4D: No es rédox ya que sólo hay un producto (26,5%)

Figure 4. Respuestas a los Items relacionados 3 y 4. (adaptada de: A. R. Brandriet, S. L. Bretz. *J. Chem. Educ.* 2014, 91, p. 1140).

37

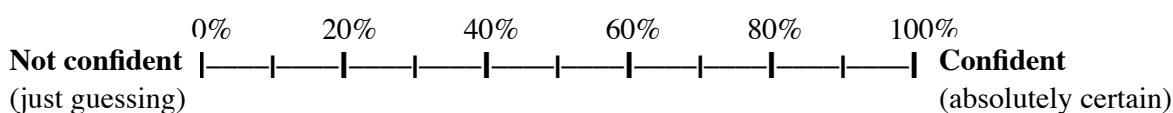
II. Identificando Conceptos Alternativos

5. Which image would best represent the products if the reactants below underwent an oxidation-reduction reaction?



D
 Oxidation-reduction cannot occur under any conditions.

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)

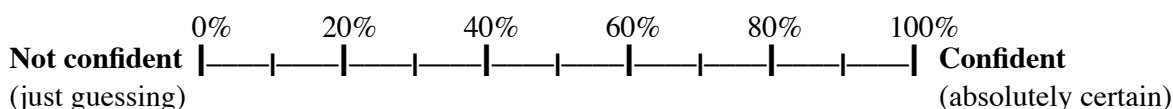


38

8. Which statement about oxidation numbers and charges is true?

- A. Both charges and oxidation numbers can be determined from the phase of a substance [e.g. Cu(s)].
- B. A charge is assigned to an entire compound, while an oxidation number is assigned to an individual element.
- C. A charge exists, but an oxidation number is theoretical.
- D. A charge represents the number of valence electrons, but an oxidation number represents the number of bonding electrons.

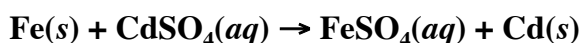
How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
8	A	9 (10,8%)	34 (6,7%)	77 (7,1%)
	B	49 (59,0%)	290 (56,9%)	521 (48,1%)
	C	8 (9,6%)	86 (16,9%)	223 (20,6%)
	D	17 (20,5%)	100 (19,6%)	262 (24,2%)

41

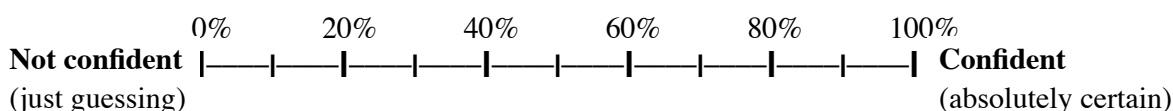
DIRECTIONS: Below is an oxidation-reduction reaction. Use this reaction to answer questions 9, 10, and 11.



9. In the above reaction, electrons transfer...

- A. from cadmium to iron.
- B. from iron to cadmium.
- C. from cadmium to sulfate and from sulfate to iron.
- D. from iron to sulfate and from sulfate to cadmium.

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
9	A	26 (31,3%)	148 (29,0%)	298 (27,5%)
	B	28 (33,7%)	159 (31,2%)	360 (33,2%)
	C	16 (19,3%)	124 (24,3%)	261 (24,1%)
	D	13 (15,7%)	79 (15,5%)	164 (15,1%)

42

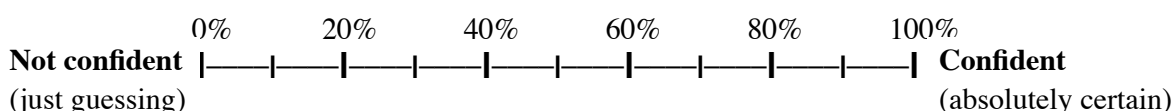
• 3.- Items del ROXCI/Resultados

II. Identificando Conceptos ...

10. How do the electrons transfer in this reaction? $\text{Fe(s)} + \text{CdSO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{FeSO}_4(\text{aq}) + \text{Cd(s)}$

- A. The bond between cadmium and sulfate breaks, and the iron bonds with sulfate.
- B. The electrons travel freely through solution.
- C. The sulfate carries the electrons from one metal to another.
- D. Cadmium deposits onto the solid iron atoms.

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)

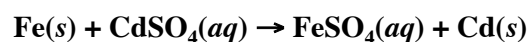


Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
10	A	47 (56,6%)	350 (68,6%)	755 (69,7%)
	B	14 (16,9%)	33 (6,5%)	90 (8,3%)
	C	18 (21,7%)	116 (22,7%)	187 (17,3%)
	D	4 (4,8%)	11 (2,2%)	51 (4,7%)

43

• 3.- Items del ROXCI/Resultados

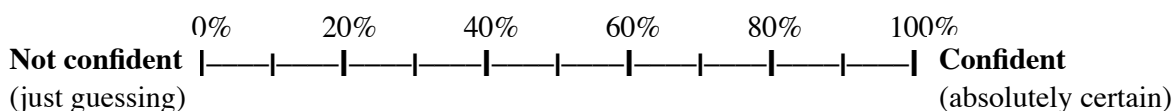
II. Identificando Conceptos ...



11. Which statement is true about the cadmium, iron, and sulfate in this reaction?

- A. The aqueous cadmium and iron are charged because sulfate exists.
- B. Sulfate balances the charges of cadmium and iron in solution.
- C. Sulfate bonds with cadmium and with iron.
- D. Sulfate reacts with cadmium and with iron.

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
11	A	14 (16,9%)	49 (9,6%)	120 (11,1%)
	B	31 (37,3%)	163 (32,0%)	362 (33,4%)
	C	30 (36,1%)	235 (46,1%)	436 (40,3%)
	D	8 (9,6%)	63 (12,3%)	165 (15,2%)

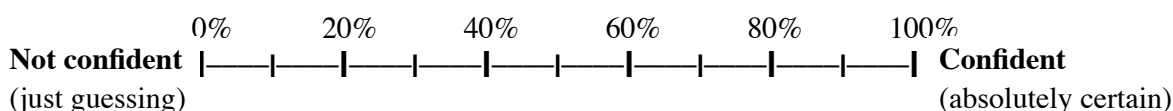
44

12. Which statement(s) is/are true about oxidation-reduction reactions?

- I. Oxidation can happen without reduction. II. A metal must be a reactant.**

- A. I only**
- B. II only**
- C. Both I and II**
- D. Neither I nor II**

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
12	A	16 (19,3%)	107 (21,0%)	153 (14,1%)
	B	32 (38,6%)	143 (28,0%)	387 (35,7%)
	C	22 (26,5%)	84 (16,5%)	228 (21,1%)
	D	13 (15,7%)	176 (34,5%)	315 (29,1%)

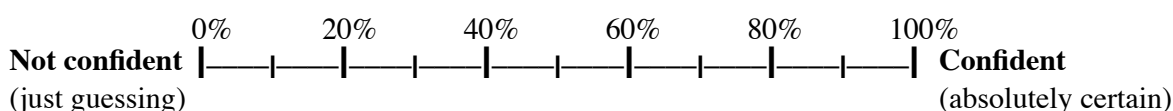
45

13. Which statements are true for $\text{CuSO}_4(aq)$?

- I. Sulfur has an oxidation number, but no charge.**
- II. Sulfur has both an oxidation number and a charge.**
- III. Sulfate has a charge, but no oxidation number.**
- IV. Sulfate has both a charge and an oxidation number.**

- A. I and III**
B. I and IV
C. II and III
D. II and IV

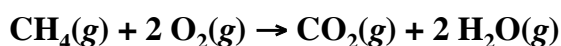
How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
13	A	21 (25,3%)	144 (28,2%)	256 (23,6%)
	B	17 (20,5%)	124 (24,3%)	248 (22,9%)
	C	21 (25,3%)	98 (19,2%)	239 (22,1%)
	D	24 (28,9%)	144 (28,2%)	340 (31,4%)

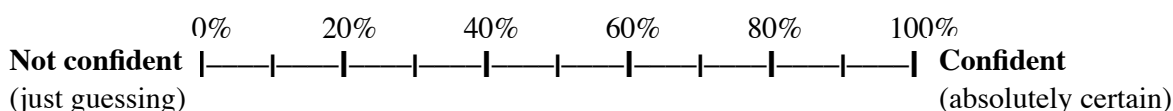
46

14. Which statement is true about the following reaction?



- A. The oxidation number of C changes from -4 to $+4$.**
- B. The oxidation number of C remains $+4$ throughout the reaction.**
- C. All the reactants and products have an oxidation number of 0 because they are gases.**
- D. This is a combustion reaction, not an oxidation-reduction reaction.**

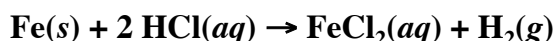
How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
14	A	25 (30,1%)	193 (37,8%)	296 (27,3%)
	B	15 (18,1%)	118 (23,1%)	175 (16,2%)
	C	14 (16,9%)	60 (11,8%)	174 (16,1%)
	D	29 (34,9%)	139 (27,3%)	438 (40,4%)

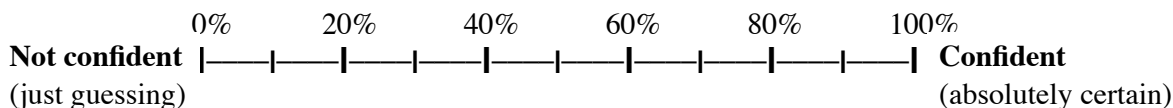
47

15. The oxidation number for hydrogen in the reaction below...



- A. changes from +1 to +2.**
- B. changes from +2 to 0.**
- C. changes from +1 to 0.**
- D. remains at +2 throughout the reaction.**

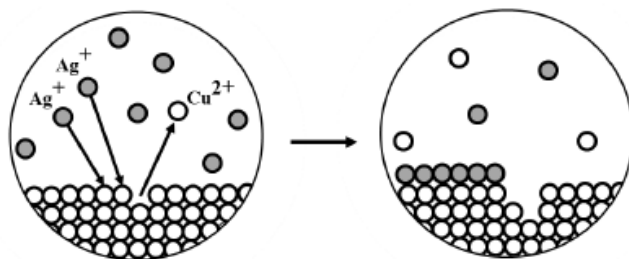
How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
15	A	10 (12,0%)	69 (13,5%)	145 (13,4%)
	B	20 (24,1%)	87 (17,1%)	156 (14,4%)
	C	43 (51,8%)	311 (61,0%)	618 (57,1%)
	D	10 (12,0%)	43 (8,4%)	164 (15,1%)

48

DIRECTIONS: The images below show a cross-sectional view for the oxidation-reduction reaction of Cu(s) with $\text{AgNO}_3(\text{aq})$. Nitrate is *not shown* in the images. Use the images to *answer questions 16, 17, and 18*.



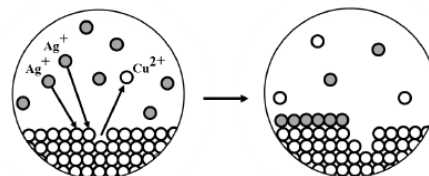
49

- **3.- Items del ROXCI/Resultados**

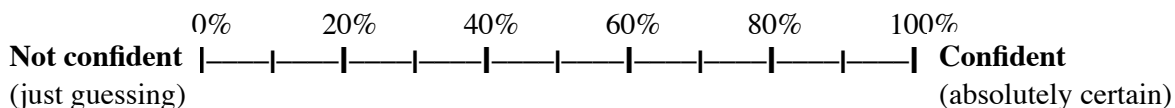
II. Identificando Conceptos Alternativos

16. Which statement best describes silver in this reaction?

- A. Two Ag^+ push Cu^{2+} off the solid and into the solution.**
- B. Two Ag^+ replace the charge that is missing on the solid when Cu^{2+} leaves.**
- C. Two Ag^+ are attracted to the electrons that are left on the solid when Cu^{2+} leaves.**
- D. Two Ag^+ receive electrons from the Cu solid.**



How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
16	A	14 (16,9%)	75 (14,7%)	191 (17,6%)
	B	27 (32,5%)	182 (35,7%)	370 (34,2%)
	C	31 (37,3%)	200 (39,2%)	386 (35,6%)
	D	11 (13,3%)	53 (10,4%)	135 (12,5%)

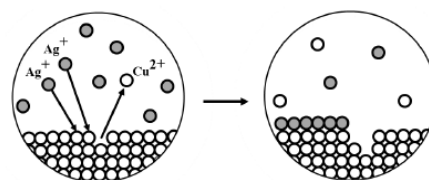
50

• 3.- Items del ROXCI/Resultados

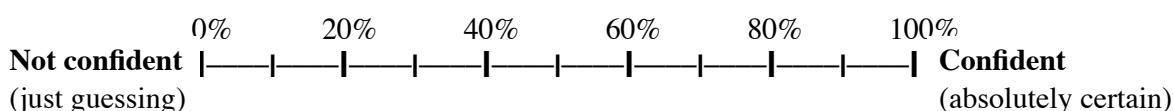
II. Identificando Conceptos ...

17. Which statement best describes copper in this reaction?

- A. Cu^{2+} must leave to create a space for Ag^+ to deposit.
- B. As Cu becomes an ion, it leaves the solid.
- C. Cu^{2+} has a greater charge than the Ag^+ , so Cu^{2+} is attracted into the solution by NO_3^- .
- D. When Cu^{2+} leaves the solid, two electrons remain behind.



How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
17	A	19 (22,9%)	89 (17,5%)	230 (21,2%)
	B	30 (36,1%)	138 (27,1%)	331 (30,6%)
	C	19 (22,9%)	199 (39,0%)	300 (27,7%)
	D	15 (18,1%)	84 (16,5%)	222 (20,5%)

51

• 3.- Items del ROXCI/Resultados

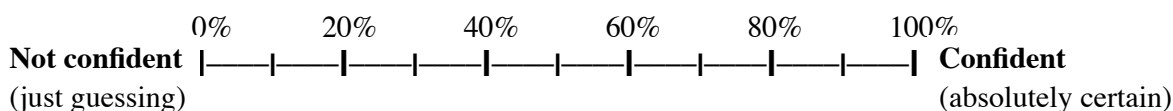
II. Identificando Conceptos ...

[oxidation-reduction reaction of Cu(s) with $\text{AgNO}_3(\text{aq})$]

18. Which statement best describes nitrate in this reaction?

- A. NO_3^- receives the electrons from one metal and passes them to the other.
- B. The negative charge on NO_3^- attracts the metal into the solution.
- C. NO_3^- is not involved in the electron transfer.
- D. NO_3^- is irrelevant for the reaction because it cancels out in the net ionic equation.

How confident are you about your response? (place an 'x' anywhere on the line)



Cuestión	Opción	GC1-T1 (N = 83)	GC2 (N = 510)	GC1-NS (N = 1083)
18	A	12 (14,5%)	100 (19,6%)	196 (18,1%)
	B	30 (36,1%)	195 (38,2%)	354 (32,7%)
	C	26 (31,3%)	136 (26,7%)	256 (23,6%)
	D	15 (18,1%)	79 (15,5%)	277 (25,6%)

52

II. Identificando Conceptos Alternativos

■ Tabla II. 4. Principales “conceptos alternativos” identificados con ROXCI

– Nota: GC1-T1 (N = 83); GC2 (N = 510); GC1-NS (N = 1083).

n° Item respuesta	Misconceptions	Frecuencia (Confianza media)		
		GC1-T1	GC2	GC1-NS
3B/4A	<i>Una reacción de combinación no es redox</i>	27,7% (71,2%)	22,4% (64,6%)	22,6% (68,9%)
3B/4D	<i>Una reacción de combinación no es redox ya que sólo hay un producto, así que oxidación y reducción no puede ocurrir.</i>	25,6% (61,2%)	22,4% (64,6%)	18,6% (62,8%)
5C/6C	<i>El agua se descompone en OH^- y H^+, y los n°s de oxidación cambian de 0 a -2 para oxígeno y de 0 a +1 para hidrógeno.</i>	22,9% (52,9%)	21,6% (42,6%)	20,9% (52,4%)
5D/6B	<i>La descomposición del agua no es redox porque sólo hay un reactivo.</i>	20,5% (49,6%)	10,0% (58,1%)	21,0% (58,7%)
8B	<i>A un compuesto (al completo) se le asigna una carga, mientras que a un elemento individual se le asigna un n° de oxidación.</i>	59,0% (58,0%)	56,9% (63,6%)	48,1% (60,0%)

53

II. Identificando Conceptos Alternativos

■ Tabla II. 4. Principales “conceptos alternativos” identificados con ROXCI

– Nota: GC1-T1 (N = 83); GC2 (N = 510); GC1-NS (N = 1083).

n° Item respuesta	Misconceptions	Frecuencia (Confianza media)		
		GC1-T1	GC2	GC1-NS
10A	<i>[En la reacción de Fe(s) y $\text{CdSO}_4(\text{aq})$] ... los electrones se transfieren cuando el enlace entre cadmio y sulfato se rompe, y el hierro se une al sulfato.</i>	56,6% (50,2%)	68,6% (60,0%)	69,7% (54,7%)
11C	<i>[En la reacción de Fe(s) y $\text{CdSO}_4(\text{aq})$] ... el sulfato se une al cadmio y al hierro.</i>	36,1% (50,8%)	46,1% (57,3%)	40,3% (55,1%)
12B	<i>En una reacción redox un metal debe ser un reactivo.</i>	38,6% (61,0%)	28,0% (53,1%)	35,7% (55,1%)
14D	<i>Una reacción de combustión no es redox</i>	34,9% (55,7%)	27,3% (61,4%)	40,4% (60,9%)
16C	<i>[En la reacción de Cu(s) y $\text{AgNO}_3(\text{aq})$] ... Ag^+ es atraído por los electrones que se quedan en el sólido cuando el Cu^{2+} sale.</i>	37,3% (53,1%)	39,2% (47,2%)	35,6% (43,2%)

54

• 4.- Principales “conceptos alternativos” (misconceptions): Resumen

■ 1. Números de oxidación

- Frecuentemente los estudiantes asociaban n° de oxidación y carga de la especie poliatómica,
 - » suponían que las especies neutras tenían n° de oxidación 0, e identificaban los cambios en las cargas de las especies poliatómicas.
- Item 13: se pregunta a los estudiantes que diferencien entre carga y n° de oxidación identificando para ello si el azufre y el sulfato tienen n° de oxidación, carga o ambos.
 - » un 50% de los estudiantes (13B+13D) indican que el sulfato tiene carga y n° de oxidación.
- Item 7:
 - » 7D (30% de los estudiantes) “ NO_3^- is oxidized and H^+ is reduced” (ya que nitrato pierde la carga negativa al pasar a NO_2 y el H^+ es reducido al pasar a una especie neutra H_2O)
 - » 7A (18%): “ H^+ is reduced” (al pasar a H_2O)

• 4.- Principales “conceptos alternativos” (misconceptions): Resumen

■ 1. Números de oxidación

– Item 5/6

- » respuestas 5C/6C y 5B/6C “El agua se descompone en O^{2-} y H^+ , (o en OH^- y H^+) y los n°s de oxidación cambian de 0 a -2 para oxígeno y de 0 a +1 para hidrógeno”,
- » los estudiantes suponen que el número de oxidación en la especie neutra es 0 (tanto para hidrógeno como oxígeno) y cambia a -2 para el oxígeno y a +1 para hidrógeno, que son las cargas de las especies producto.

■ 2. Características superficiales en la identificación de una reacción redox

- Estas *misconceptions* suelen ser consecuencia de las anteriores (n°oxidación/carga).
- Para identificar una reacción redox, los estudiantes buscaban la presencia de especies cargadas
 - » esto llevaba a la idea de que una reacción con compuestos neutros no es redox.

• 4.- Principales “conceptos alternativos” (*misconceptions*): Resumen

■ 2. Características superficiales en la identificación de una reacción redox

- Item 3: más del 50% de los estudiantes (grado de confianza 61-70%) decían que la reacción del Al(s) con O₂(g) no era una reacción redox
 - » 3B/4A: una reacción de combinación no es redox
 - » 3B/4D: Una reacción de combinación no es redox ya que sólo hay un producto, así que oxidación y reducción no puede ocurrir
- otro ejemplo, la respuesta 14D “Una reacción de combustión no es redox” era elegida por el 40,4% de los estudiantes de la muestra nacional (GC1-NS, N=1083 estudiantes) además con un grado de confianza promedio del 60,9%.
- *Resumiendo*, una reacción no podía ser redox si:
 - » sólo hay un producto/o sólo un reactivo
 - » son especies neutras
 - » un metal no es uno de los reactivos (12B, 35%)

• 4.- Principales “conceptos alternativos” (*misconceptions*): Resumen

■ 3. Transferencia electrónica

- ya que los estudiantes tienen *misconceptions* sobre números de oxidación/carga, no resulta sorprendente que tengan dificultades con el concepto de transferencia electrónica.
 - » dos de las *misconceptions* importantes detectadas por el ROXCI correspondían a la transferencia de electrones
- Item 10: 56-70% de los estudiantes (confianza 50-60%) creían que en la reacción de Fe(s) y CdSO₄(ac) ... “los electrones se transfieren cuando el enlace entre cadmio y sulfato se rompe, y el hierro se une al sulfato”(10A).
- también las respuestas 9C y 9D, elegidas por un 40% de los estudiantes, implican transferencia de electrones entre cadmio y hierro *vía* el sulfato.

• 5.- Principales “conceptos alternativos” (*misconceptions*): Resumen

■ 4. El papel del ión *espectador*

- Frecuentemente los estudiantes describen al *ión espectador* como un *facilitador* de la transferencia electrónica.
- Item 9: un 39% de los estudiantes eligen 9C/9D:
 - » en la reacción de Fe(s) y $\text{CdSO}_4(\text{ac})$ los electrones se transfieren ...
 - » 9C: *de cadmio a sulfato y de sulfato a hierro*
 - » 9D: *de hierro a sulfato y de sulfato a cadmio.*
- Item 10: 56-70% de los estudiantes (grado de confianza del 50-60%) eligen 10A,
 - » en la reacción de Fe(s) y $\text{CdSO}_4(\text{ac})$... “los electrones se transfieren cuando el enlace entre cadmio y sulfato se rompe, y el hierro se une al sulfato”
- 18A (15-20%): “ NO_3^- recibe los electrones desde un metal y los transfiere al otro”

• 5.- Principales “conceptos alternativos” (*misconceptions*): Resumen

■ 4. El papel del ión *espectador*

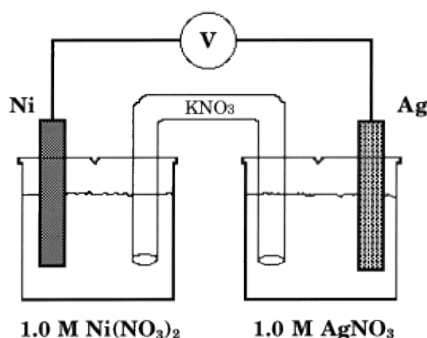
- la idea que subyace es: *el catión está unido al ión espectador en medio acuoso.*
- los estudiantes ven que el *ión espectador* está directamente adyacente al catión en la representación simbólica (p.ej. CdSO_4 o AgNO_3) y creen que hay un enlace entre ambos iones.
- probablemente son incapaces de interpretar la ecuación química simbólica utilizada para representar la reacción.

II. 3. Celdas Galvánicas y Electrolíticas: Estudio cualitativo (Garnett & Treagust, 1990, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997)

• 1.- Metodología

- **Garnett & Treagust:** entrevista individualizada a 32 estudiantes de nivel similar a 2º de Bachillerato; la entrevista se grababa.
- **Sanger & Greenbowe:** entrevista a 16 estudiantes universitarios (1er curso); el estudiante responde por escrito las cuestiones y se utilizan durante la entrevista individualizada. (*replican el estudio de Garnett & Treagust*)

• 2.- Cuestionario de la entrevista individual (el mismo en ambos casos)



14. What is the purpose of each piece of apparatus shown here? (Do the metal strips always react?)

16. How would you determine which electrode is the anode and which is the cathode?

17. How is a current produced in this cell?

18. What is happening in the solutions? What does the salt bridge do?

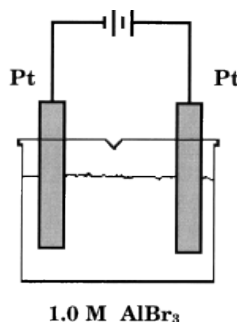
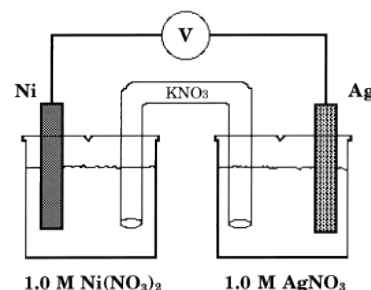
61

• 2.- Cuestionario de la entrevista individual

19. In which direction do the charges (positive and negative) flow in this cell *to complete the circuit*?

20. What reactions are taking place in each cell? Can you predict the E value for this set-up?

21. Why does the reaction $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$ have an E° value of 0.00 V? How would you measure the E° of the $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$ half-reaction?



22. How does this cell differ from the electrochemical cell drawn above?

23. How would you determine which electrode is the anode and which is the cathode?

24. In which direction do the charges (positive and negative) flow in this cell *to complete the circuit*?

25. What reactions are taking place at each electrode?

26. Can you predict the E value for this set-up?

28. Suppose the solution was changed to molten AlBr_3 — what would you expect to happen?

62

II. 3. Celdas Galvánicas y Electrolíticas: Estudio cualitativo

• 3.- Resultados (Sanger & Greenbowe, 1997)

- Sanger supone que los conocimientos de estos estudiantes de 1er curso universitario son análogos a los preuniversitarios de Australia
 - en USA las celdas electroquímicas no se explicaban en el nivel preuniversitario.
- De las respuestas se identificaban los *conceptos alternativos* más comunes
- Los resultados se analizaban en términos de 6 *áreas de dificultad* para los estudiantes:
 - 1) Identificación del cátodo y ánodo en la celda galvánica y electrolítica
 - 2) Necesidad de una semicelda estándar
 - 3) Flujo de corriente en ambos tipos de celdas
 - 4) Comprensión de la carga sobre el cátodo y el ánodo
 - 5) Predicción de la f.e.m. y los productos en la celda galvánica
 - 6) Predicción de los productos de la electrolisis y la magnitud de la f.e.m. necesariamente aplicada.

II. 3. Celdas Galvánicas y Electrolíticas: Estudio cualitativo (Garnett & Treagust, 1990, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997)

• 3.- Resultados (Sanger & Greenbowe, 1997)

- Celdas galvánicas:
 - De los 10 “*conceptos alternativos*” detectados por Garnett & Treagust (Tabla II.5),
 - » 8 eran también detectados por Sanger & Greenbowe,
 - » además encontraban otros 7 nuevos “*conceptos alternativos*” (Tabla II.6)
- Celdas electrolíticas:
 - De los 7 “*conceptos alternativos*” detectados por Garnett & Treagust,
 - » 5 eran también detectados por Sanger & Greenbowe,
 - » además encontraban otros 4 nuevos “*conceptos alternativos*” (Tabla II.6)

Table II. 5. List of common student misconceptions reported by *Garnett and Treagust 1992b*.

Galvanic cells: Questions 14–21

- 8a. In an ordered table of reduction potentials, the species with the most positive E° value is the anode
- 8b. Standard reduction potentials list metals by decreasing reactivity.
- 9a. The fact that the E° for $H_2(1 \text{ atm})/H^+(1 \text{ M})$ is zero is somehow based on the chemistry of H^+ and H_2
- 9b. There is no need for a standard half-cell.
- 10a. Electrons enter the solution from the cathode, travel through the solutions and the salt bridge, and emerge at the anode *to complete the circuit*.
- 10b. Anions in the salt bridge and the electrolyte transfer electrons from the cathode to the anode
- 10c. Cations in the salt bridge and the electrolyte accept electrons and transfer them from the cathode to the anode.
- 10d. Cations and anions move until their concentrations are uniform.
- 11a. The anode is negatively charged and releases electrons; the cathode is positively charged and attracts electrons.
- 11b. The anode is positively charged because it has lost electrons; the cathode is negatively charged because it has gained electrons.

65

II. Identificando Conceptos ...

Table II. 5. List of common student misconceptions reported by *Garnett and Treagust*

Electrolytic cells: Questions 22–28

- 12a. In electrolytic cells, the direction of the applied voltage has no effect on the reaction or the site of the anode and cathode.
- 12b. No reaction will occur if inert electrodes are used.
- 12c. In electrolytic cells, oxidation now occurs at the cathode and reduction occurs at the anode.
- 13a. In electrolytic cells, water is unreactive toward oxidation and reduction.
- 13b. When predicting an electrolytic reaction, the half-cell reactions are reversed prior to combining them.
- 13c. The calculated cell potentials in electrolytic cells can be positive.
- 13d. There is no relationship between the calculated cell potential and the magnitude of the applied voltage.

66

Table II. 6. List of student misconceptions reported by Sanger & Greenbowe, 1997

Galvanic cells: Questions 14–21

- 8a. ---- (*non detected*)
- 8b. Standard reduction potentials list metals by decreasing reactivity.
- 8c. The identity of the anode and cathode depends on the physical placement of the half-cells. (*new*)
- 8d. Anodes, like anions, are always negatively charged; cathodes, like cations, are always positively charged. (*new*)
- 9a. The fact that the E° for $H_2(1 \text{ atm})/H^+(1 \text{ M})$ is zero is somehow based on the chemistry of H^+ and H_2
- 9b. There is no need for a standard half-cell.
- 9c. Half-cell potentials are absolute in nature and can be used to predict the spontaneity of the half cells. (*new*)
- 10a. Electrons enter the solution from the cathode, travel through the solutions and the salt bridge, and emerge at the anode *to complete the circuit*.
- 10b. Anions in the salt bridge and the electrolyte transfer electrons from the cathode to the anode

67

Table II. 6. List of student misconceptions reported by Sanger & Greenbowe, 1997

Galvanic cells: Questions 14–21

- 10c. Cations in the salt bridge and the electrolyte accept electrons and transfer them from the cathode to the anode.
- 10d. ---- (*non detected*)
- 10e. Electrons can flow through aqueous solutions without assistance from the ions. (*new*)
- 10f. Only negatively charged ions constitute a flow of current in the electrolyte and the salt bridge. (*new*)
- 11a. The anode is negatively charged and releases electrons; the cathode is positively charged and attracts electrons.
- 11b. The anode is positively charged because it has lost electrons; the cathode is negatively charged because it has gained electrons.
- 14a. Cell potentials are derived by adding individual reduction potentials. (*new*)
- 14b. Half-cell potentials are not intensive properties. (*new*)

68

Table II. 6. List of student misconceptions reported by *Sanger & Greenbowe, 1997*

Electrolytic cells: Questions 22–28

- 12a. In electrolytic cells, the direction of the applied voltage has no effect on the reaction or the site of the anode and cathode.
- 12b. No reaction will occur if inert electrodes are used.
- 12c. ---- (*non detected*)
- 12d. In electrolytic cells with identical electrodes connected to the battery, the same reactions will occur at each electrode. (*new*)
- 13a. In electrolytic cells, water is unreactive toward oxidation and reduction.
- 13b. ---- (*non detected*).
- 13c. The calculated cell potentials in electrolytic cells can be positive.
- 13d. There is no relationship between the calculated cell potential and the magnitude of the applied voltage.
- 13e. Inert electrodes can be oxidized or reduced. (*new*)
- 13f. When two or more oxidation or reduction half-reactions are possible, there is no way to determine which reaction will occur. (*new*)
- 13g. Electrolytic cells can force nonspontaneous reactions that do not involve electron transfer to happen. (*new*)

69

II. Identificando Conceptos Alternativos

II. 3. Celdas Galvánicas y Electrolíticas: Estudio cualitativo

- 4.- Resultados más destacables (*Sanger & Greenbowe, 1997*)
 - 1.- El 50% de los estudiantes indicaban que los potenciales de semicelda son de naturaleza absoluta.
 - 2.- 7 (43,8%) sugerían que los electrodos tienen carga neta.
 - 3.- Sólo 5 (31%) eran capaces de identificar correctamente el cátodo y el ánodo de la celda electrolítica, así como determinar la dirección del flujo electrónico a partir de la polaridad de la batería.
 - 4. Ningún estudiante era capaz de predecir correctamente los productos de la electrolisis
 - 5.- Sólo 4 (25%) estudiantes tenían en cuenta la posible oxidación/reducción del agua, pero elegían arbitrariamente los productos de la electrolisis
 - sin utilizar valores de E° .

70

II. 4. Celdas Galvánicas y Electrolíticas: Estudio cuantitativo (Schmidt, Marohn & Harrison, 2007)

• 1.- Preparación de los Items de elección múltiple

- Los Items originalmente se obtenían de “Examination Boards in the USA and U.K.”, se ensayaban y modificaban posteriormente (se recogían respuestas escritas comentadas por los estudiantes).
- Los Items debían cumplir:
 - a) sólo una respuesta correcta, las demás opciones son incorrectas. (*distractivas*)
 - b) sólo una estrategia de razonamiento correcta conduciría a la respuesta correcta.
 - c) una estrategia específica de razonamiento incorrecto conduciría a una única opción incorrecta.
 - d) una opción incorrecta sería atractiva para los estudiantes que tengan ciertas “*misconceptions*” o tiendan a cometer ciertos errores comunes.

II. 4. Celdas Galvánicas y Electrolíticas: Estudio cuantitativo (Schmidt, Marohn & Harrison, 2007)

• 2.- Aplicación de los Items

- 1) estudiantes de Bachillerato de los Niveles 11(16-17 años) y 12/13 (18-19 años)
 - Nivel 11: la química es obligatoria; cabe esperar que estos estudiantes hayan dado 2 o 3 cursos de química.
 - Grade 12/13.
 - » Basic-Course: Grade12/13BC (3 sesiones química/semana)
 - » Extension-Course: Grade12/13EC (5 o 6 sesiones química/semana)
- 2) El estudiante responde los Items y tiene que justificar por escrito su elección.
- 3) Procedimiento de distribución (*complejo y farragoso*)
 - el test contenía una combinación de Items de varios Temas de Química (p. ej. tabla periódica, etc) además de alguno de los Items de Electroquímica
 - cada uno de los 25 estudiantes de un aula recibía un test diferente, y sólo 1 de los estudiantes tenía en el Test algún Item de Electroquímica.
 - de los 15700 test realizados sólo unos 1500 tenían Item de electroquímica

• 2.- Items/Resultados

1. The diagram shows an electrolytic cell for the electrolysis of dilute hydrochloric acid. Which of the following statements is true?

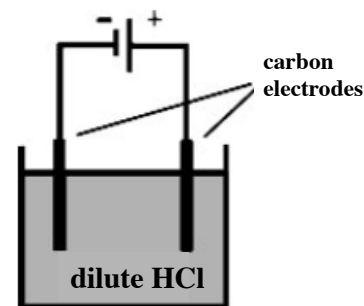
- 1) HCl is decomposed by electrolysis into H^+ and Cl^- ions.
- 2) H_2 is formed at the minus pole, Cl_2 at the plus pole.

A. (1) only.

B. (2) only

C. (1) and (2)

D. Neither (1) nor (2)

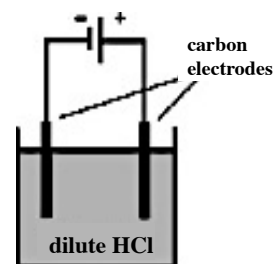


Cuestión	Opción (%)	Grade-11 (N = 17)	Grade-12/13BC (N = 68)	Grade-12/13EC (N = 43)
1	A	12	28	16
	B	18	21	33
	C	53	37	49
	D	6	0	2
	Blank	11	14	0

73

2. The diagram shows an electrolytic cell for the electrolysis of dilute hydrochloric acid. Which of the following statements correctly describes the formation of hydrogen (H_2) at the minus pole?

- A. Dilute HCl contains H^+ and Cl^- ions. At the minus pole two H^+ ions combine to form H_2 .
- B. HCl is decomposed by electrolysis into H^+ and Cl^- ions. At the minus pole two H^+ ions combine to form H_2 .
- C. Diluted HCl contains H^+ and Cl^- ions. At the minus pole two H^+ ions accept one electron each to form H_2 .
- D. HCl is decomposed by electrolysis into H^+ and Cl^- ions. At the minus pole two H^+ ions accept one electron each to form H_2 .



Cuestión	Opción (%)	Grade-11 (N = 53)	Grade-12/13BC (N = 49)	Grade-12/13EC (N = 48)
2	A	6	2	4
	B	9	6	4
	C	38	39	69
	D	42	41	17
	Blank	5	12	6

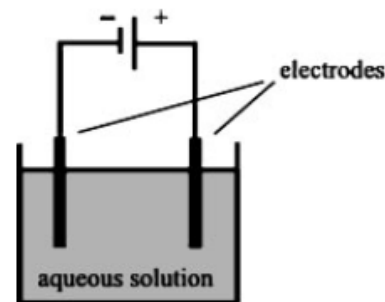
74

• 2.- Items/Resultados

II. Identificando Conceptos ...

3. Which of the following statements describes the current flow through an aqueous solution?

- A. Electrons flow through the solution from one electrode to the other.
- B. Ions accept electrons at one electrode and carry them through the solution to the other electrode.
- C. Positively and negatively charged ions flow through the solution in opposite directions.
- D. In the solution electrons are transferred from one ion to the next.

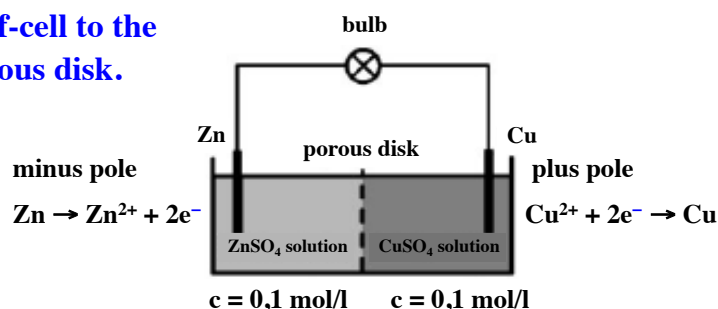


Cuestión	Opción (%)	Grade-11 (N = 56)	Grade-12/13BC (N = 53)	Grade-12/13EC (N = 35)
3	A	16	6	6
	B	36	25	17
	C	34	47	51
	D	7	15	14
	Blank	7	7	12

75

4. The diagram shows a galvanic cell and the reactions that occur at the electrodes. Which of the following statements is true?

- A. Electrons flow from the zinc half-cell to the copper half-cell through the porous disk.
- B. Electrons flow from the copper half-cell to the zinc half-cell through the porous disk.
- C. Zn^{2+} ions flow from the zinc half-cell to the copper half-cell through the porous disk.
- D. SO_4^{2-} ions flow from the zinc half-cell to the copper half-cell through the porous disk.

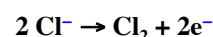
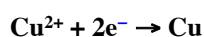
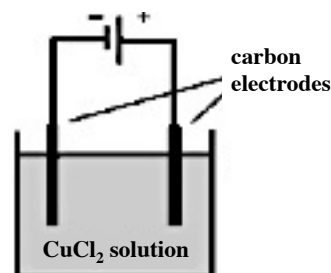


Cuestión	Opción (%)	Grade-11 (N = 75)	Grade-12/13BC (N = 48)	Grade-12/13EC (N = 40)
4	A	40	25	13
	B	5	15	8
	C	23	19	43
	D	16	31	19
	Blank	16	10	17

76

5. The diagram shows an electrolytic cell and the reactions that occur at the electrodes. Which of the following statements describes the current flow through the CuCl_2 solution?

- A. Electrons flow through the solution from one electrode to the other.
- B. Cu^{2+} ions accept electrons at one electrode and carry them through the solution to the other electrode.
- C. Positively and negatively charged ions flow through the solution in opposite directions.
- D. In the solution electrons are transferred from one Cu^{2+} ion to the next.

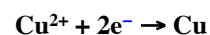
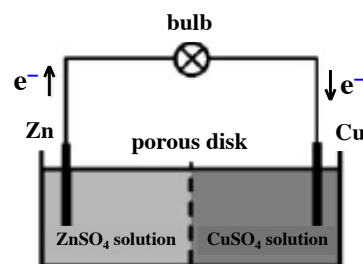


Cuestión	Opción (%)	Grade-11 (N = 25)	Grade-12/13BC (N = 61)	Grade-12/13EC (N = 42)
5	A	20	8	19
	B	20	16	17
	C	44	66	57
	D	8	5	2
	Blank	8	5	5

77

6. The diagram shows a galvanic cell and the reactions that occur at the electrodes. Which of the following statements is true? The cathode is

- A. The electrode at which positive ions accept electrons (reduction). It is the minus pole of the cell.
- B. The electrode at which positive ions accept electrons (reduction). It is the plus pole of the cell.
- C. The electrode from which electrons flow away into the external circuit (oxidation). It is the minus pole of the cell.
- D. The electrode from which electrons flow away into the external circuit (oxidation). It is the plus pole of the cell.

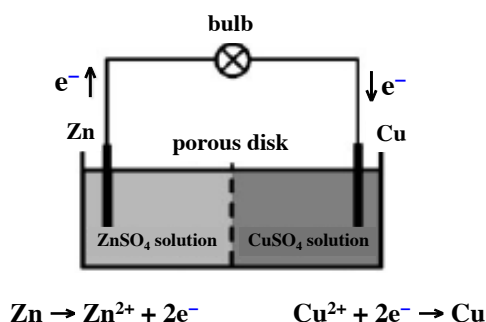


Cuestión	Opción (%)	Grade-11 (N = 41)	Grade-12/13BC (N = 56)	Grade-12/13EC (N = 40)
6	A	39	23	28
	B	22	43	45
	C	17	23	20
	D	7	7	2
	Blank	15	4	5

78

7. The diagram shows a galvanic cell and the reactions that occur at the electrodes. Which of the following statements is true? **The cathode is**

- A. The electrode to which cations (positively charged ions) flow. It is the minus pole of the cell.
- B. The electrode to which cations (positively charged ions) flow. It is the plus pole of the cell.
- C. The electrode from which cations (positively charged ions) flow away. It is the minus pole of the cell.
- D. The electrode from which cations (positively charged ions) flow away. It is the plus pole of the cell.



Cuestión	Opción (%)	Grade-11 (N = 41)	Grade-12/13BC (N = 53)	Grade-12/13EC (N = 37)
7	A	49	49	57
	B	5	17	19
	C	10	15	5
	D	27	15	17
	Blank	9	4	2

79

II. 4. 3. Celdas electroquímicas: Conclusiones (Schmidt, Marohn & Harrison, 2007)

- Del razonamiento de los estudiantes → cuatro conceptos alternativos generales:
 - a) Durante la electrolisis, la corriente eléctrica produce iones. (65%)
 - iones son considerados como intermedios o productos finales de la electrolisis.
 - b) Los electrones se desplazan a través de la disolución desde un electrodo al otro (proponiendo para ello varios mecanismos). (29-38%)
 - c) El cátodo es siempre el polo (–) y el ánodo el polo (+) (46-48%)
 - cátodo y ánodo se identifican por la dirección en que emigran los iones o/ la transferencia de electrones en los electrodos. Ejemplos:
 - » el **cátodo** es el polo al cual emigran los cationes para aceptar electrones. Por lo tanto es el **polo negativo, atrayendo así a los cationes**.
 - » un electrodo que transfiere electrones a los iones de la disolución, tiene exceso de e^- , debe estar “negativamente cargado”.
 - d) Los polos (+) y (–) tienen cargas electrónicas netas.
 - estas cargas resultan de la transferencia electrónica entre los electrodos y el electrolito o el hilo.

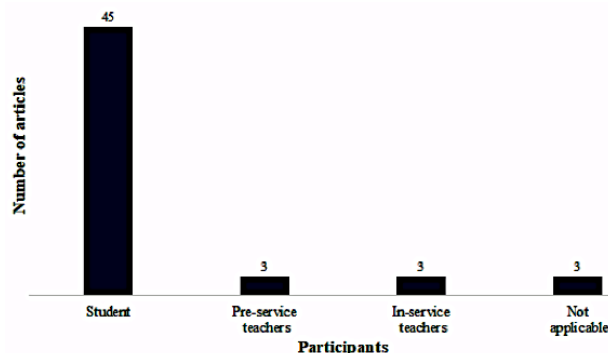
80

[Goes L.F. *et al.* Limitations of Teaching and Learning Redox: A Systematic Review. *Problems of Education in the 21st Century*. **2020**, 78(5), 698–718]

• **Revisión de las publicaciones sobre dificultades relacionadas con la enseñanza-aprendizaje de reacciones redox en el período 2000-2019**

- de 318 artículos dedicados a redox: sólo 54 describían las dificultades sobre reacciones redox resultantes de dichos estudios.

- 18 artículos a enseñanza secundaria.
- 25 artículos al nivel universitario.
- 3 artículos a profesores en preparación
- 3 artículos a profesores en ejercicio



• **Comentario de los autores:**

- “Algunas de las dificultades señaladas en los artículos presentados en esta revisión son similares a los presentados hace más de dos décadas (Garnett & Treagust, 1992a, b ; Sanger & Greenbowe, 1997a, b). Por lo tanto hay todavía mucho por hacer en cuanto a la enseñanza y aprendizaje del concepto redox.”

1.- Recomendaciones generales:

III. Recomendaciones

• **a) lenguaje, símbolos, representaciones**

- Lenguaje, símbolos y representaciones → factores determinantes para la interpretación y comprensión de los conceptos químicos. (Ogude & Bradley, 1994, p. 31)
- Los profesores deberían ser consistentes y cuidadosos con el uso del lenguaje científico ya que puede ser origen de “conceptos alternativos”. (Du Toit, 2017, p. 1)
- Lenguaje ambiguo o inadecuado puede representar un gran obstáculo en el aprendizaje de la química
 - la presentación negativa de una cuestión puede tener el efecto de un doble pensamiento, y si se introducen dos negaciones hasta el estudiante mejor preparado tendrá dificultades ya que se requiere mucho mayor espacio en la memoria de trabajo. (Sirhan, 2007, p. 7; Cardellini, 2012, p. 2)
- La utilización imprecisa del lenguaje químico, por parte de los profesores, en los dominios macro-submicro-simbólico pueden ser el origen de “conceptos alternativos”. (Rodic et al., 2018, p. 394)
- El uso preciso y consistente del lenguaje químico, particularmente en lo que se refiere a los tres niveles de presentación de la química refuerzan la capacidad del estudiante para interpretar conceptos. (Rodic et al., 2018, p. 395)

1.- Consideraciones/recomendaciones generales:

III. Recomendaciones

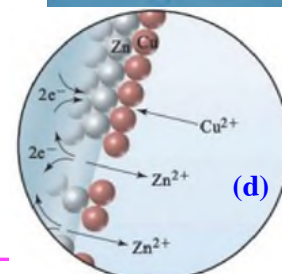
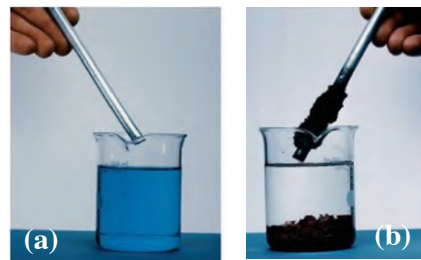
- Ejemplo (Li et al, 2014): experimento sencillo de reacción redox del Zn(s) con CuSO₄(ac):

a) Una barra de cinc va a introducirse en la disolución de sulfato de cobre(II) [el color azul de la disolución se debe al ión Cu²⁺(ac)].

b) Al sumergir la barra de cinc durante varias horas en CuSO₄(ac), desaparece el color azul y se deposita cobre metálico sobre la barra de cinc

c) La barra de cinc está desgastada, demostrando que el metal cinc ha participado en la reacción química (depósito de cobre metálico en vidrio reloj)

d) Vista microscópica de la reacción: los átomos de cinc (esferas grises) ceden electrones a la superficie metálica y se incorporan a la disolución en forma de iones Zn²⁺. Mientras que los iones Cu²⁺ aceptan electrones de la superficie metálica y se depositan en forma de átomos de cobre (esferas rojizas)



(adaptada de: R. H. Petrucci, F. G. Herring, J. D. Madura, C. Bissonnette, *Química General*, 10ª ed, Pearson, 2011) 83

1.- Consideraciones/recomendaciones generales:

III. Recomendaciones

- Ejemplo (Li et al, 2014): experimento sencillo de reacción redox del Zn(s) con CuSO₄(ac):

– 1) macro: el cinc reacciona con el sulfato de cobre

observable macro → se deposita un sólido marrón, desaparece el color azul de la disolución y la barra de cinc está “atacada”.

– 2) submicro: para comprender lo que ocurre en esta reacción se analiza a nivel submicro

el cinc metal en forma de ión cinc desplazará a un ión cobre de su sal; el ión cobre de la disolución se deposita en forma de átomo de cobre

– 3) simbólico:

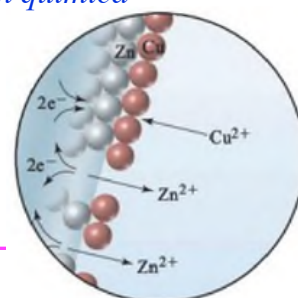
la reacción se puede representar mediante las ecuaciones iónica y química:



ecuación iónica



ecuación química



1.- Consideraciones/recomendaciones generales:• **a) lenguaje, símbolos, representaciones**

- Las estrategias de enseñanza que remarcan los tres niveles de presentación han mostrado que promueven la comprensión conceptual.

– la introducción de un concepto partiendo desde el fenómeno macro seguido con explicaciones utilizando representaciones submicro puede aumentar el nivel de motivación de los estudiantes.

(Rodríguez-Velázquez, 2013, p. 1)

• **b) Los “Conceptos Alternativos” (Misconceptions)**

- Los profesores necesitan conocer los preconceptos con que llegan los estudiantes al aula para diseñar su metodología. (Garnett & Treagust, 1990, p. 3)
- Los profesores deberían tratar, explícitamente, los “conceptos alternativos” y dedicar tiempo a mencionar las posibles áreas de confusión. (Ogude & Bradley, 1994, p. 33)
- Muchos estudiantes vienen a clase con ideas erróneas,... por ello es vital para el profesor conocer lo que ya sabe el estudiante. **Trabajo en grupo e intercambio de ideas** puede ser importante para corregir eficazmente los “conceptos alternativos”. (G. Sirhan, 2007, p. 14)

1.- Consideraciones/recomendaciones generales:• **b) Los “Conceptos Alternativos” (Misconceptions)**

- Los profesores de química deberían integrar los conceptos alternativos en sus clases y así con estas discusiones los estudiantes conocerán lo que es correcto y lo que es erróneo. (Shehu, 2015, p. 19)
- Los profesores de química necesitan conocer los conceptos alternativos con el fin de desarrollar estrategias de enseñanza adecuadas para mejorar los conceptos químicos de sus estudiantes. (Adu-Gyamfi et al., 2015, p. 746-747)
- Los profesores deberían conocer los “conceptos alternativos” que los estudiantes traen a clase e integrarlos en su enseñanza.
 - el cambio conceptual será más probable si los estudiantes debaten sus conceptos alternativos, se sienten incómodos con ellos y perciben que el nuevo concepto químico es más adecuado para explicar los hechos. (Barke, 2016, p. 19)
- Conocer y considerar las **ideas preexistentes** de los estudiantes es indispensable para una enseñanza efectiva, ya que la construcción de conocimiento sobre bases problemáticas es improbable que mejore el conocimiento. (Cooper & Stowe, 2018, p. 6061)

2.- En los inicios del tema rédox ...

- La enseñanza rédox debería empezar indicando que el término “rédox” viene de las palabras **re**ducción y **ox**idación, ya que ambos procesos ocurren de manera simultánea en la misma reacción. “OX” no viene de oxígeno.

(Garba Shehu, 2015, p. 17)

3.- Identificación del agente oxidante y del reductor.

- Las expresiones “el agente oxidante es reducido mediante ganancia de electrones” y “el agente reductor es oxidado mediante pérdida de electrones” se podría sustituir por....
 - “el oxidante gana electrones” y “el reductor pierde electrones”

(De Jong & Treagust, 2002, p. 331)

4.- Lenguaje ambiguo o inapropiado al denominar reacciones:

- ejemplo: para una reacción como, $\text{Cu(s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2 \text{CuO(s)}$,
 - debe evitarse el uso del término “oxidación” y puede ser más adecuado utilizar un término descriptivo como “reacción con oxígeno”.

(De Jong & Treagust, 2002, p. 331)

5.- Representación de la celda galvánica.

- Evitar el uso de simplificaciones como representar siempre el ánodo como semicelda en la parte izquierda
 - Comentario: Aunque parece lógico que los profesores sigan la recomendación de la IUPAC ello puede conducir a los estudiantes al error conceptual de pensar que éste es un método viable para identificar el ánodo y el cátodo en una celda electroquímica.

(Sanger & Greenbowe, 1999, p. 855 y 859)

- 51% de los estudiantes mostraban el error conceptual de que la identidad del ánodo y cátodo de una celda galvánica depende de la situación física de las semiceldas.

(Özkaya, Üce & Sahin, 2003, p. 5)

6.- Lenguaje ambiguo o generador de errores:

- Evitar el uso de afirmaciones o terminología ambigua o que puede conducir a errores, como “portadores de carga iónica”.
- La afirmación “los iones transportan la carga” puede ser malinterpretada en el sentido de que los iones aceptan electrones en el ánodo y los transfieren al cátodo (los iones transportan los electrones “a caballito” desde un electrodo al otro).

(Garnett, Garnett & Treagust, 1990, p. 8)

7.- La terminología de electrodos positivo y negativo:

- La terminología de electrodos positivo y negativo no es importante para la interpretación correcta de los procesos en los electrodos y “*puede ser evitada*”.

(Ogude & Bradley, 1996, p. 1148)

- Remarcar que las cargas netas sobre cada electrodo son extraordinariamente pequeñas, muy difíciles de medir ($\sim 1e^-$ por cada 10^{14} átomos metálicos) y que simples argumentos electrostáticos no se pueden utilizar para determinar la dirección del flujo de los iones y electrónico.

(Sanger & Greenbowe, 1999, p. 857)

- Comentario: ... aquellos profesores que piensen que esta descripción es demasiado compleja para sus estudiantes, pueden remarcar que los signos sobre los electrodos se refieren a **polaridades** de los electrodos, en vez de a cargas electrónicas.

– Cada fuente de corriente (como lo es una celda galvánica), tiene 2 polos, el de mayor potencial se denomina polo positivo y el de menor potencial polo negativo.

(Özkaya, Üce & Sahin, 2003, p. 10; 2004, p. 28)

8.- Predicción del flujo iónico y electrónico en la celda

- No utilizar simples argumentos electrostáticos para predecir el flujo de iones y electrónico en la celda electroquímica.

(Sanger & Greenbowe, 1999, p. 859)

- La idea de atracción de iones a los electrodos de “carga” opuesta es particularmente problemática.

- Remarcar que el movimiento de iones en las dos semiceldas no es causado por la “carga” en cada electrodo sino que, debido a las semireacciones de transferencia electrónica, los iones se desplazan para mantener la neutralidad eléctrica.

(Ogude & Bradley, 1996, p. 1146)

9.- Los profesores deben utilizar un lenguaje preciso cuando describen las funciones de una celda galvánica en lo que se refiere a procesos y partes específicas.

(Loh & Subramaniam, 2018, p. 802)

- **ejemplo:** ... en una celda Daniell, los átomos de Zn metálico liberan $2e^-$ y se convierten en iones Zn^{2+} , mientras que los iones Cu^{2+} aceptan $2e^-$ y son convertidos en átomos de cobre.

- cuando los profesores se están refiriendo a Cu^{2+} , como elceptor de electrones, es importante que digan “iones cobre” en lugar de sólo “cobre” para evitar confusiones (p. ej. que ¡¡el cobre se reduce!!).

10.- Determinación del potencial de la celda

- ... recomendamos la expresión $E^{\circ}_{\text{celda}} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ánodo}}$, ya que tiene varias ventajas como el retener la noción de “diferencia de potencial” entre dos semiceldas, la cual se pierde en el método aditivo y conduce a la confusión conceptual ...

(Birss & Truax, 1990, p. 405 y 408)

- Utilizar el método diferencia ($E^{\circ}_{\text{celda}} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ánodo}}$) en vez del método aditivo ($E^{\circ}_{\text{celda}} = E^{\circ}_{\text{ox}} + E^{\circ}_{\text{red}}$).



(Sanger & T. J. Greenbowe, 1999, p. 855-856 y 859)

- Comentario:... la utilización del método aditivo puede reforzar “conceptos alternativos” relevantes, puede conducir al estudiante a tres errores conceptuales:
 - a) creer que los potenciales de semicelda son absolutos y medibles (sin una referencia).
 - b) que los potenciales de semicelda son aditivos,
 - » p. ej. calcular el potencial $E^{\circ}_{\text{red}}(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})$ como suma $E^{\circ}_{\text{red}}(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}) + E^{\circ}_{\text{ox}}(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+})$
 - c) que los potenciales de semicelda y de celda son propiedades extensivas que obedecen la Ley de Hess.

10.- Cálculo del potencial de la celda

- Se recomienda insistentemente que los profesores calculen el potencial de la celda utilizando el método de diferencia de potenciales ($E^{\circ}_{\text{celda}} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ánodo}}$).

(Özkaya, Üce & Sahin, 2003, p. 10)

- Comentario:... el cálculo del potencial de la celda como una suma de potenciales puede conducir al estudiante a creer que:
 - estos potenciales son absolutos
 - además puede generar la impresión de que los potenciales estándar de oxidación y de reducción para cualquier semirreacción son propiedades extensivas que obedecen la Ley de Hess y que pueden adicionarlos para calcular otros potenciales ...

11.- Predicción de los productos de la electrolisis

- En la predicción de los productos de la electrolisis, siempre se deben considerar todas las posibles semirreacciones de oxidación y de reducción, incluyendo las reacciones de los electrodos, agua y de los iones en la disolución.

(Sanger & Greenbowe, 1999, p. 859)

circuito:

“Recorrido previamente fijado que suele terminar en el punto de partida”

(diccionario RAE)

- ... la afirmación “el puente salino completa el circuito” es ambigua e inadecuada ... puede ser malinterpretada (indicando que los electrones se mueven a través del puente salino) reforzando el “concepto alternativo” de conducción electrónica en el electrolito.

(Garnett, Garnett & Treagust, **1990**, p. 8; Ogude & Bradley, **1994**, p. 33)

- ... debería evitarse, ya que el término circuito implica que los electrones se están moviendo de una forma cíclica. Los profesores deberían abordarlo adecuadamente como “los electrones se están desplazando desde la especie que se está oxidando a la que se está reduciendo, y no “moviendo en un circuito”.

(Loh & Subramaniam, **2018**, p. 803)

- ... circuito significa mover en un círculo, en una dirección. Sin embargo, en una celda electroquímica los cationes y aniones fluyen a través de la disolución en direcciones “opuestas”. El término circuito es un “false-friend”.

(Schmidt, Marohn & Harrison, **2007**, p. 278)

- Adu-Gyamfi, K. ; Ampiah, J. G. ; Agyei, D. D. High school chemistry students’ alternative conceptions of H_2O , OH^- , and H^+ in balancing redox reactions. *Inter. J. Development and Sustainability*. **2015**, 4, 744-758.
- Barke, Hans-Dieter. Learners Ideas, Misconceptions and Challenge. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS)*. **2016**, 1-21.
- Birss, V. I. ; Truax, D. R. An Effective Approach to Teaching Electrochemistry. *J. Chem. Educ.* **1990**, 67, 403-409.
- Bodner, G. M. Constructivism: A Theory of Knowledge. *J. Chem. Educ.* **1986**, 63, 873-878.
- Brandriet, A. R. ; Bretz, S. L. *a)* The Development of the Redox Concept Inventory as a Measure of Students’ Symbolic and Particulate Redox Understandings and Confidence. *J. Chem. Educ.* **2014**, 91, 1132-1144. *b)* Measuring meta-ignorance through the lens of confidence: examining students’ redox misconceptions about oxidation numbers, charge, and electron transfer. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2014**, 15, 729-746. *c)* Brandriet, Alexandra R. Investigating Students’ Understandings of the Symbolic, Macroscopic, and Particulate Domains of Oxidation-Reduction and the Development of the Redox Concept Inventory. Tesis Doctoral, **2014**. Miami University.

- Cardellini, L. Chemistry-Why the Subject is Difficult? *Educ. Quím.* **2012**, 23, 1-6.
- Cooper M. M. ; Stowe R. L. Chemistry Education Research-From Personal Empiricism to Evidence, Theory, and Informed Practice. *Chem. Rev.* **2018**, 118, 6053–6087.
- De Jong, O. ; Treagust D. F. The Teaching and Learning of Electrochemistry, in Chemical Education: Towards Research-based Practice. **2002**, Kluwer, Ch14, 317-337.
- du Toit, M. H. Students' difficulties with chemical reaction types. Tesis Doctoral, **2017**. North-West University (South Africa).
- Garnett, Pamela J. ; Garnett, Patrick J. ; Treagust, David F. Common Misconceptions in Electrochemistry: Can we Improve Students' Understanding of this Topic? *Austr. J. Chem. Ed.* **1990**, 3-11.
- Garnett, P. J. ; Treagust, D. F. *a*) Conceptual Difficulties Experienced by Senior High School Students of Electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, 29, 121–142. *b*) Conceptual Difficulties Experienced by Senior High School Students of Electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and Electrolytic Cells. *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, 29, 1079–1099.
- Goes L. F. ; Nogueira K. S. C. ; Fernandez C. Limitations of Teaching and Learning Redox: A Systematic Review. *Problems of Education in the 21st Century*. **2020**, 78(5), 698–718

- Jaber, L. Z. ; BouJaoude, S. A Macro Micro Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. *Int. J. Sci. Educ.* **2012**, 34, 973–998.
- Johnstone A. H. A Changing Response to Changing Demand. *J. Chem. Educ.* **1993**, 70, 701-705.
- Johnstone A. H. Chemical Education Research. Where from Here? *Univ. Chem. Educ.* **2000**, 4, 34-38.
- Johnstone A. H. Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2006**, 7, 49-63.
- Li, W. S. S. ; Arshad M. Y. Application of Multiple Representation Levels in Redox Reactions among Tenth Grade Chemistry Teachers. *J. Turkish Sci. Educ.* **2014**, 11, 35-52.
- Loh, Adrian S.L. ; Subramaniam R. Mapping the knowledge structure exhibited by a cohort of students based on their understanding of how a galvanic cell produces energy. *J. Res. Sci. Teach.* **2018**, 55, 777-809.
- Mahaffy, P. The Future Shape of Chemistry Education. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2004**, 5, 229-245.
- Ogude, A. N. ; Bradley, J. D. Ionic Conduction and Electrical Neutrality in Operating Electrochemical Cells. *J. Chem. Educ.* **1994**, 71, 29-34.

- Ogude, A. N. ; Bradley, J. D. Electrode Processes and Aspects Relating to Cell EMF, Current, and Cell Components in Operating Electrochemical Cells. *J. Chem. Educ.* **1996**, 73, 1145-1149.
- Özkaya, A. R. Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry: Half-Cell Potential, Cell Potential, and Chemical and Electrochemical Equilibrium in Galvanic Cells. *J. Chem. Educ.* **2002**, 79, 735-738.
- Özkaya, A. R. ; Üce, M. ; Sahin, M. Prospective teachers' conceptual understanding of electrochemistry. Galvanic and electrolytic cells. *U. Chem. Ed.* **2003**, 1-12.
- Özkaya, A. R. ; Üce, M. ; Sahin, M. Conceptual understanding of electricity: Galvanic cells. *U. Chem. Ed.* **2004**, 8, 24-29.
- Pascual-Leone J. Mathematical model for the transition role in Piaget's developmental stages. *Acta psychologica.* **1970**, 63, 301-345.
- Rodic, D. D. ; Roncevic T. N.; Segedinac, M. D. The Accuracy of Macro–Submicro–Symbolic Language of Future Chemistry Teachers. *Acta Chim. Slov.* **2018**, 65, 394-400.
- Rodríguez-Velázquez, S. Development of an Electrochemistry Teaching Sequence using a Phenomenographic Approach. Tesis Doctoral **2013**. North Carolina State University.

- Sanger, M. J. ; Greenbowe T. J. Common Student Misconceptions in Electrochemistry: Galvanic, Electrolytic, and Concentration Cells. *J. Res. Sci. Teach.* **1997**, 34, 377–398.
- Sanger, M. J. ; Greenbowe, T. J. An Analysis of College Chemistry Textbooks As Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry. *J. Chem. Educ.* **1999**, 76, 853-860.
- Schmidt, H.-J. ; Marohn A. ; Harrison, A. G. Factors that Prevent Learning in Electrochemistry. *J. Res. Sci. Teach.* **2007**, 44, 258-283.
- Shehu G. Two Ideas of Redox Reaction. Misconceptions and Their Challeges in Chemistry Education. *J. Res. & Method Educ.* **2015**, 5, 15-20.
- Sirhan, G. Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *J. Turkish Sci. Educ.* **2007**, 4, 2-20.
- Talanquer, V. Macro, Submicro and Symbolic. The many faces of the chemistry triplet. *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, 33, 179-185.
- Talanquer, V. Concept Inventories: Predicting the Wrong Answer May Boost Performance. *J. Chem. Educ.* **2017**, 94, 1805–1810.
- Tsaparlis, G. Teaching and Learning Electrochemistry. *Isr. J. Chem.* **2019**, 59, 478-492.



*Facultat
de Química*



- copia de la conferencia:

- <https://www.uv.es/moratal>

■ **Muchas GRACIAS por vuestra atención**