

Flevorio, Fl, y Livermorio, Lv, dos nuevos elementos aprobados por la IUPAC

El 31 de mayo de 2012, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada acaba de aprobar los nombres y símbolos de dos nuevos elementos, con lo cual todas las tablas periódicas del mundo han quedado obsoletas:

Flevorio, Fl, Z = 114 y

Livermorio, Lv, Z = 116

Con ello han quedado dos huecos en los sitios correspondientes a los elementos 113 y 115 porque el último elemento aprobado había sido el Copérnico, Z = 112, Cn, el 24 de febrero de 2010.

Los nombres de estos elementos recién aprobados se deben a:

Fl: Georgiy N. Flerov (1913 – 1990), descubridor de la fisión espontánea del uranio (junto con Konstantin A. Petrzhak).

Lv: Lawrence Livermore National Laboratory, uno de los sitios de investigación de elementos transuránicos más renombrados, junto con los de Dubna, en Rusia, por el cual ya recibió nombre el Dubnio, Db, Z = 105, y de Darmstadt, en Alemania, ya nombrada en el Darmstadto, Ds, Z = 110.

Precisiones al artículo: “Conceptos básicos y mecanismos de reacción en la Química Orgánica”

Rosa María Aguilar-Garduño,* Enrique González-Vergara** y Aarón Pérez-Benitez*

Estimado Andoni, apreciables Ignacio López, Alfredo Ordaz y Carlos Kerbel (autores del artículo fuente), queridos lectores:

Escribimos esta carta con el fin de señalar algunas imprecisiones y de hacer algunos agregados al artículo aparecido en el Vol. 23, Núm. 2, pp. 205-207, 2012 de *Educación Química*. Estas anotaciones se pueden clasificar dentro del ámbito de la investigación educativa y del conocimiento disciplinario.

Empezamos por felicitar a los autores por el valor que tuvieron al haber abordado un tema de investigación harto complicado de entender por parte de los estudiantes, debido al amplio número de variables que están involucradas en la comprensión de los mecanismos de reacción y por el formalismo matemático que conllevan. En ellos convergen, como bien lo mencionan los autores, conocimientos de química general y, según su plan de estudios, conocimientos de química orgánica I. También habría que agregar conocimientos de matemáticas y física básicas y de fisicoquímica, todo ello según la profundidad con la que los autores y sus alumnos hayan trabajado los mecanismos de las reacciones estudiadas. A saber:

1. La reacción del clorometano con hidróxido de sodio (solicitada en el reactivo diagnóstico de la semana 1).
2. La “síntesis abierta” del éter dimetilico (solicitadas en las evaluaciones diagnósticas de las semanas 3 y 6).
3. La

reacción del eteno con bromo molecular (solicitada en las evaluaciones diagnósticas de las semanas 3 y 6).

4. Reacciones no descritas por los autores (solicitadas en el examen en la semana 7).

Entrando en materia queremos decir que los autores tienen un error conceptual (procedimental si se quiere ser estricto) sobre las reacciones y sus mecanismos, pues éstos son proposiciones más o menos probables de cómo ocurre una reacción química,¹ en tanto que en su artículo ellos sugieren lo contrario: ¡Que los mecanismos de reacción “determinan” los productos de una reacción química!

Lo anterior se deduce a partir del primer párrafo de la introducción, en el que los autores, citando a Wentland (1994), dejan entrever que los mecanismos de reacción permiten predecir los compuestos resultantes. La misma idea aparece nuevamente en el primer párrafo de la metodología cuando mencionan que:

“Se pidió a los alumnos que desarrollaran el mecanismo de reacción entre el clorometano y el hidróxido de sodio y escribir el (los) producto(s) de la reacción”.

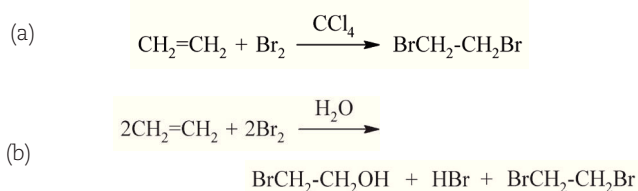
Metodológicamente es lo contrario: primero debe escribirse la ecuación balanceada de la reacción y luego, el mecanismo que se proponga debe explicar la formación del producto principal y, en la medida de lo posible, de los subproductos. Ciertamente que el análisis de los efectos estereoelectrónicos de los reactivos puede orientarnos sobre el rumbo de una reacción química; no obstante las condiciones en las que se desarrolle la reacción (temperatura, disolvente, concentración de los reactivos, etc.) son muchas veces determinantes del

* Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP. 14 sur y Av. San Claudio. Col. San Manuel. 72570 Puebla, Pue.

Correo electrónico: aaron.perez@correo.buap.mx

** Centro de Química, ICUAP.

¹ Una definición más formal de mecanismo de reacción aparece en Atkins, 2008: “Un mecanismo de reacción es la secuencia de etapas más simples (reacciones elementales) que ocurren en la transformación de reactivos a productos”.



Esquema 1. Productos de la reacción entre el eteno y el bromo molecular en dependencia del disolvente usado: a) Br_2/CCl_4 ; b) $\text{Br}_2/\text{H}_2\text{O}$.

tipo de producto que se obtenga y por tanto del mecanismo que se proponga.

Para explicar lo anterior podríamos citar el caso de las reacciones competitivas de sustitución nucleofílica *versus* las de eliminación, pero para ser más explícitos retomamos la reacción mencionada en el ítem 3: *La reacción del eteno con bromo molecular*, la cual puede dar uno o más productos dependiendo del disolvente en el que se encuentre el bromo.² Por ejemplo: 1) Se produce el 1,2-dibromoetano si el bromo se encuentra disuelto en CCl_4 , y 2) Se obtienen el 2-bromoetan-1-ol (ca. 70%) más el 1,2-dibromoetano si el bromo se disuelve en agua (esquema 1a y 1b, respectivamente).

Dado que los autores no especificaron el disolvente, suponemos que se trata de la reacción ilustrada en el esquema 1a, ya que es una práctica que comúnmente se lleva a cabo en el laboratorio de química orgánica como reacción de identificación de dobles enlaces, en la que la coloración café-rojiza del Br_2/CCl_4 va desapareciendo conforme las moléculas del halógeno se adicionan a las moléculas del alqueno, de tal manera que un exceso de éste asegura la decoloración total de la disolución (figura 1).

El mecanismo simplificado de esta reacción consta de dos pasos: en primer término se presenta el ataque electrofílico del bromo al doble enlace carbono-carbono con desprendimiento del ión bromuro (paso lento, esquema 2a), el cual ataca nucleofílicamente a uno de los carbonos del ión bromonio

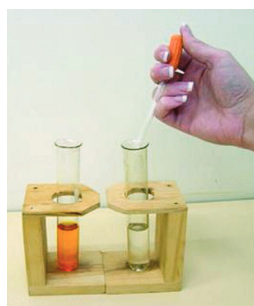
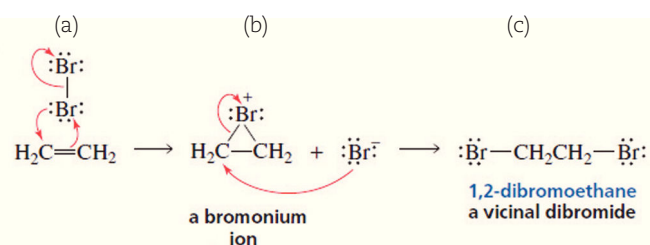


Figura 1. Reacción de identificación de dobles enlaces usando una solución de bromo en tetracloruro de carbono al 5% (tomada de: Pearson, 2012). Observe la solución testigo a la izquierda y la prueba a la derecha.

² El bromo es el único no-metal líquido; es denso, volátil y de olor desagradable. Sus vapores irritan la garganta y los ojos, pudiendo incluso llegar a ser mortal si se aspira. Produce quemaduras en la piel y es muy dañino para el ambiente. La dosis letal oral (DL_{50}) en rata es de 2,600 mg/kg (Webelements, 2012; Bromine MSDS, 2012).

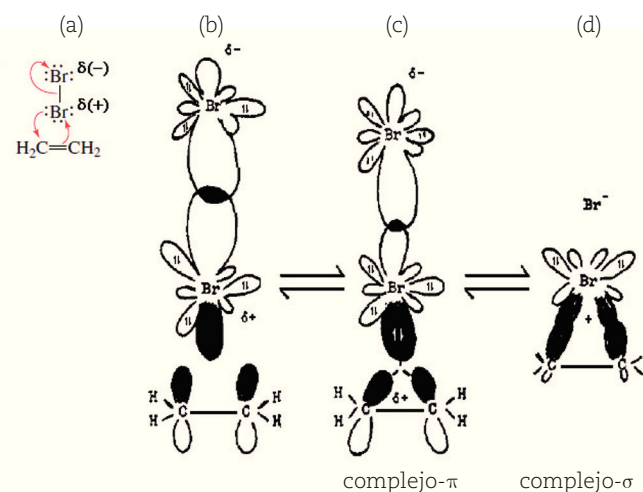


Esquema 2. Mecanismo de la reacción de adición de bromo al eteno en presencia de tetracloruro de carbono (tomado de Bruice, 2003).

por la parte opuesta al Br^+ (paso rápido; adición anti; esquema 2b).

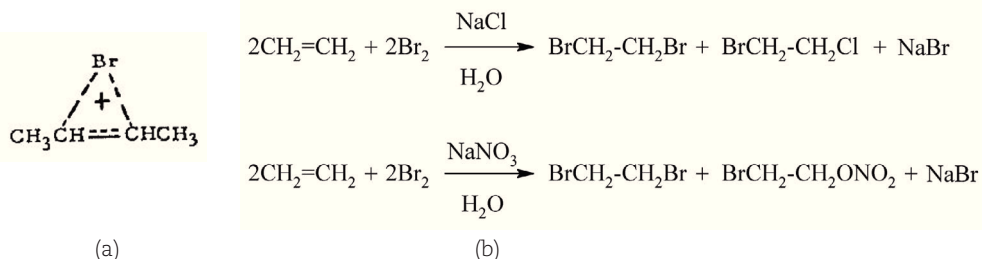
Desde el punto de vista teórico, para que ocurra el ataque mostrado en el esquema 2a, el enlace Br-Br debe polarizarse (esquema 3a: inducción de un dipolo eléctrico (electrónico) en el bromo) de tal forma que se explique su ruptura heterolítica. Nos encantaría decir que el enlace- π del alqueno también debería polarizarse; no obstante en 1974, George A. Olah (Premio Nobel de Química en 1994) propuso un mecanismo en el que el bromo polarizado ataca al eteno (esquema 3b) “insertándose” entre los “orbitales-p” de los carbonos involucrados en el enlace- π para generar un complejo- π (esquema 3c) que posteriormente se transforma al complejo- σ o ión bromonio mostrado en el esquema 3d (Olah, 1974a-b).

Siempre atendiendo a los resultados experimentales, el ión bromonio fue propuesto en 1938 por Saul Winstein, uno de los pioneros en estructuras de cationes no-clásicos (esquema 4a: Young, 1973). La formación del ión bromonio pudo, por ejemplo, explicar los resultados obtenidos por A. W. Francis en 1925, con respecto a la reacción de eteno con bromo en presencia de cloruro de sodio acuoso para dar 1,2-dibromoetano más 1-bromo-2-cloroetano (parte superior del esquema



Esquema 3. (a-b) Ataque electrofílico del bromo polarizado al eteno; (c-d) Formación de un complejo- π y su transformación al complejo- σ correspondiente (tomada de Olah, 1974a).

Esquema 4. (a) Fórmula semidesarrollada de un ión bromonio propuesta por Winstein en 1938 (tomado de Young, 1973); (b) Reacciones de adición de bromo a eteno en presencia de cloruro y nitrato de sodio acuosos reportadas por A. W. Francis en 1925.



4b) y la reacción de eteno con bromo en presencia de nitrato de sodio acuoso para producir 1,2-dibromoetano más nitrato de 2-bromoetano (parte inferior del esquema 4b) (Francis, 1925).

Entre otras cosas, Francis concluyó que la adición de bromo al eteno se produce a través de un “bromo naciente o bromo monoatómico” (¿un Br⁺?) y que en una segunda etapa el ión bromuro compete con el ión cloruro o con el ión nitrato por agregarse al bromonio y formar los productos mixtos correspondientes (reacciones del esquema 4b).

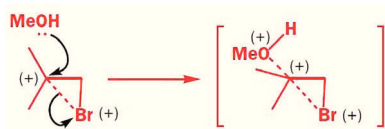
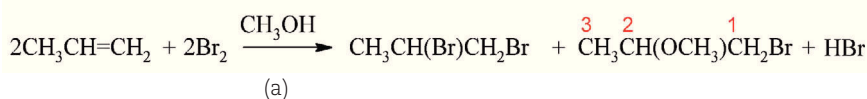
Precisamente una reacción semejante a las anteriores, la reacción del 2-metilpropeno con bromo usando metanol como disolvente nucleofílico, indica que la reacción es regioselectiva (del latín *regio*: dirección) pues el metanol ataca al carbono más sustituido del ión bromonio para producir 1-bromo-2-metoxipropano como subproducto (esquema 5a), dejando entrever que algunos iones bromonio son asimétricos (esquema 5b) o que hay formación de un carbocatión. Más tarde se descartó la formación del carbocatión al comprobarse que no hay transposición del hidrógeno (transposición de hidruro) del carbono 3 al carbono 2 para generar el carbocatión terciario (más estable) en el C-3, durante la reacción de adición de bromo al 3-metilbut-1-eno (esquema 5c).

Por otro lado, se pudo deducir que la estereoquímica de la adición es *anti* al ión bromonio en compuestos con rotación limitada en la cadena de carbonos (esquema 6a) o en compuestos con una estereoquímica conocida como en el caso de la adición de Br₂/CCl₄ al (2*Z*)-pent-2-eno, en el que la forma-

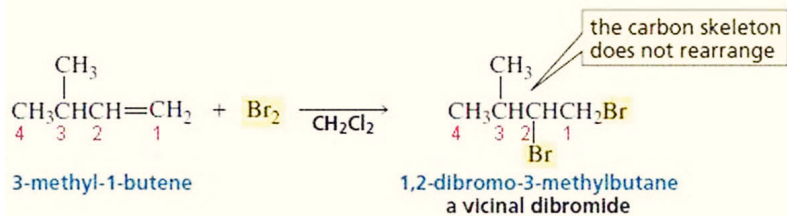
ción del ión bromonio en ambas caras del doble enlace produce la mezcla 1:1 de (2*S*,3*S*)-2,3-dibromopentano y (2*R*,3*R*)-2,3-dibromopentano, pero no el par (2*R*,3*S*)/(2*S*,3*R*) que correspondería a la formación del carbocatión con giro más o menos libre en torno al enlace C₂-C₃ (esquema 6b).

Aún más, cuando en un mecanismo de reacción decimos/ escuchamos los términos “estado de transición” o “compuesto intermediario”, nos imaginamos estructuras hipotéticas que solamente se pueden deducir a partir del análisis de los productos. Al respecto, un mejor seguimiento del curso de una reacción química ha sido posible gracias al desarrollo de técnicas espectroscópicas sofisticadas tales como la RMN¹³C (Schubert, 2008) y la de femtosegundo (desarrollada por Ahmed H. Zewail, premio Nobel de Química 1999 (De Schryver, 2001)). Y por si quedaran dudas, la genialidad y el esfuerzo de investigadores como Slebocka-Tilk, Ball y Brown, las disuelven con resultados tales como la estructura de rayos-X en monocristal del tribromuro de adamantilidenadamantano bromonio (esquema 7: Slebocka-Tilk, 1985), los cuales nos hacen pensar en lo inexactas o limitadas que pueden ser las definiciones que usamos día a día.

Y cuando creíamos tener todas las partes del mecanismo general de esta reacción dominadas, aparecen nuevos resultados que esta vez sugieren la formación de un carbocatión (cuya estabilidad compete con la del ión bromonio), en la reacción de bromación del (*E*)-1-fenilpropeno para formar la mezcla diastereomérica del 1,2-dibromo-1-fenilpropano (esquema 8).

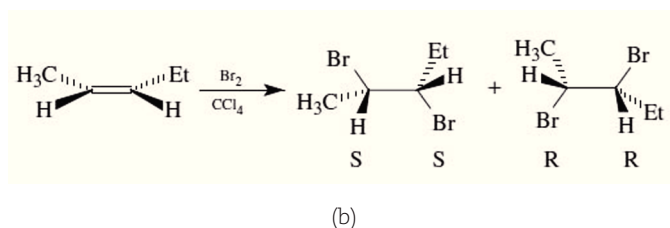
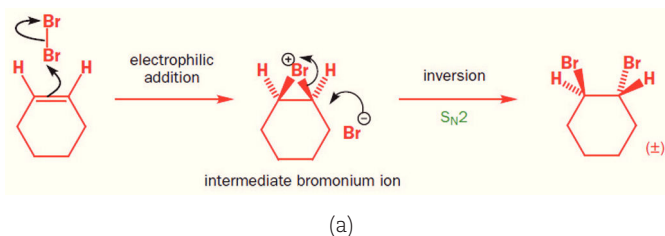


(b)



(c)

Esquema 5. a) Obtención del 1-bromo-2-metoxipropano como subproducto de la reacción del 2-metilpropeno con bromo en presencia de metanol; b) Un ión bromonio asimétrico como explicación a la regioselectividad del ataque del metanol (tomado de Clayden, 2001a); c) Ausencia del producto 1,3-dibromado indicativa de que no hay formación de carbocatión.



Esquema 6. Reacciones de adición de Br_2/CCl_4 a ambas caras del alqueno las cuales permiten deducir que la adición del bromuro es *anti* al ión bromonio: a) Formación estereoselectiva (95 %) de la mezcla racémica del *trans*-1,2-dibromociclohexano (tomado de Clayden, 2001b; Kalsi, 2005); b) Formación del par enantiomérico (2*S*,3*S*)- y (2*R*,3*R*)-2,3-dibromopentano a semejanza del caso anterior (tomado de Hoffman, 2004).

Así que ante tantas evidencias y vericuetos que puede tener una reacción química como la que estamos tratando (y su mecanismo asociado), quedan las preguntas más difíciles de responder en educación: ¿Qué vamos a enseñar y cómo lo vamos a hacer? Y son preguntas difíciles de responder porque los objetivos de la enseñanza son dependientes de los perfiles de ingreso y de egreso de los estudiantes; es decir, se puede argumentar que un estudiante de una licenciatura de química debería saber más química orgánica (o con más profundidad) que los estudiantes de ingeniería química, de químicofarmacobiología, de medicina o de química de alimentos.

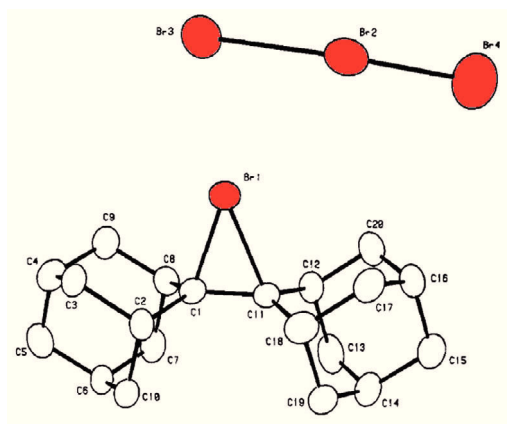
Otra problemática a la que se enfrenta un profesor es a la amplitud del temario del curso *vs* el tiempo asignado para cubrirlo. Así que desde nuestro punto de vista es mejor ir de lo general a lo particular, planteando en primer término una reacción general y un mecanismo general asociado a ella (recalcando el carácter probabilístico de dicho mecanismo) y analizando después los casos particulares y sus variantes mecanísticas. Así, si el profesor hace énfasis en los principios básicos de un mecanismo de reacción, tales como la conservación de la masa, la conservación de la carga, el sentido de las

flechas que indican el desplazamiento de los electrones (de origen a destino) ya sea al formar o al romper un enlace, etc., el alumno estará capacitado para hacer propuestas incluso de mecanismos que no haya estudiado anteriormente.

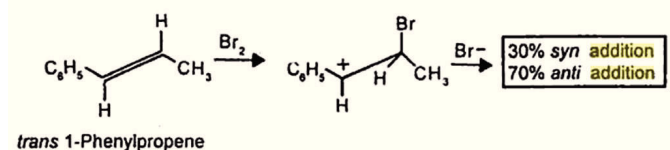
Por supuesto que la enseñanza de la química orgánica tiene su grado de complejidad, sobre todo si analizamos los esquemas presentados por distintos autores. Por ejemplo, las representaciones del ión bromonio de los esquemas 2b y 4a, replicados en el esquema 9, significan “cosas distintas”: la representación de la izquierda muestra tres enlaces sigma (un C-C y dos C-Br) con una carga formal positiva sobre el bromo; en tanto que la segunda representación muestra un enlace- π carbono-carbono parcialmente roto y dos enlaces sigma carbono-bromo parcialmente formados, con la carga positiva distribuida entre esos tres átomos. De esta última se puede deducir que el orden de enlace carbono-carbono debe ser mayor de uno y que por tanto la longitud de enlace correspondiente debe ser $1.34 \text{ \AA} < d_{\text{C-C}} < 1.54 \text{ \AA}$; hipótesis que es confirmada con los datos de rayos-X del ión bromonio, el cual tiene una $d_{\text{C-C}} = 1.497(8) \text{ \AA}$ (Slebocka-Tilk, 1985).

Por otro parte, en la representación del estado de transición del esquema 5b (replicado en el esquema 9c) se puede apreciar un error de su autor, pues aunque en el texto manifiesta la existencia de cargas parciales positivas usa una simbología que expresa una carga total de +3: Una representación más exitosa del estado de transición mostraría sólo una carga parcial positiva sobre el oxígeno y otra sobre el bromo tal que $\delta(+)+\delta(+)=+1$.

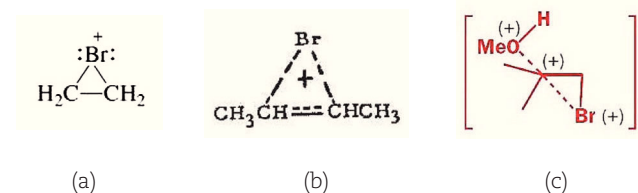
En vista de lo anterior, una buena estrategia de enseñanza-



Esquema 7. Estructura de rayos-X del tribromuro de adamantilidenadamantano bromonio. Los átomos de bromo se presentan en óvalos sólidos. Sorprendentemente la estructura del ión bromonio es ligeramente asimétrica debido a una inducción del anión (tomada de Slebocka-Tilk, 1985).



Esquema 8 Competencia entre la estabilidad del ión carbonio (cación bencílico) y la estabilidad del ión bromonio para producir la mezcla diastereomérica (1*S*, 2*S*)- y (1*R*, 2*S*)-1,2-dibromo-1-fenilpropano (adición *syn* y *anti*, respectivamente: tomado de Kalsi, 2005).



Esquema 9. (a-b) Representaciones de iones bromonio con significados distintos; (c) Representación del estado de transición de un ión bromonio siendo atacado nucleofílicamente por un disolvente (metanol). Aunque en el texto el autor expresa el carácter parcial de la carga positiva sobre los átomos involucrados, utiliza una simbología que física y matemáticamente tienen un significado distinto al asociado a una carga +1 (tomado de Clayden, 2001a).

aprendizaje es la búsqueda de este tipo de errores en los libros de texto porque enseña a los estudiantes a leer críticamente cualquier documento y a poner a prueba sus propios conocimientos. A propósito que (regresando al artículo fuente), vale la pena preguntar a los autores que: si al mencionar en su análisis de resultados que “*un determinado porcentaje de estudiantes identificó el concepto de cargas*” hicieron referencia al concepto de carga formal (total) o al de carga parcial.

Otras dos cuestiones que nos parecen muy importantes en un trabajo de investigación educativa a publicarse son la inclusión de los reactivos (quizá como material suplementario) y la presentación de las evidencias o parte de ellas (quizá las más representativas de lo que se analiza y se concluye). Estas últimas son de gran valor y de gran ayuda para que otros estudiantes contrasten y superen sus propias ideas alternativas.

En nuestra opinión, para lograr lo anterior, hubiera sido más adecuado seleccionar dos o tres reacciones que les hubieran dado la respuesta al problema de la investigación que se plantearon, para de esta manera hacer un análisis más profundo de los resultados y categorizar con ello el grado de habilidades alcanzadas por los estudiantes, las cuales van menos o más haya de la “identificación de...”. Basta un pequeño error de edición en el encabezado de la tabla 3 de su artículo (dice: “... etano y bromo...” y debería decir “... eteno y bromo...”) para explicar lo anterior, pues la primera reacción implica reacciones radicalarias (rupturas homolíticas), en tanto que en la segunda reacción, como ya vimos, ocurren rupturas heterolíticas.

En ese mismo tenor resultan confusos los resultados descritos: en la misma tabla 3 se menciona que “Un 29 % identificó la ruptura homolítica y un 71 % no”, lo que da un 100 % de la población; entonces..., ¿Cómo en el siguiente renglón se expresa que un 100 % de la población identificó la ruptura heterolítica? Existe obviamente un 29 % de población excedente o quizá algunos estudiantes dieron doble respuesta.

En fin que como siempre, no existe una fórmula mágica que nos indique la forma de enseñar-aprender, razón por la cual podemos y tenemos que seguir haciendo investigación

Figura 2. Decoloración de la solución de Br_2/CCl_4 en presencia de un trozo de tocino (tomada de Megna, 1995).



para la educación como la que presentan los autores en el artículo fuente. Sin embargo, algo que nunca falla y que nunca está demás es *asociar la práctica a la teoría*, así que con respecto a la reacción que discutimos, nos permitimos recomendar como experiencia de cátedra a la decoloración de la solución de Br_2/CCl_4 al ponerla en contacto con un trozo de tocino (figura 2). En este caso la pregunta generadora de investigación para los estudiantes sería: ¿cuál es o cuáles son los alquenos que contiene el tocino y cuáles serían los productos de la adición?

Finalmente nos mostramos abiertos a los comentarios y/o réplicas de los autores, a los tuyos Andoni y a los de nuestros apreciados lectores, todas ellas en beneficio de los estudiantes.

Con mucho afecto quedamos de todos:

Rosa María, Enrique y Aarón.

P. D.

- 1) La secuencia presentada en este escrito no necesariamente refleja el orden cronológico en el que ocurrieron las investigaciones mencionadas.
- 2) Una nueva evidencia experimental que complica (o quizá que enriquece) la reacción abordada es que hemos observado una reacción “espontánea” en el reactivo mismo; es decir, una reacción química entre el bromo y el tetracloruro de carbono para producir 1,2-dibromo-1,1,2,2-tetracloroetano en condiciones ambientales, investigación que será presentada en otra parte.

Referencias citadas

- Atkins P. W., De Paula J., *Química física*. Médica Buenos Aires, Argentina: Panamericana, p. 823, 2008.
- Bromine MSDS, *Material Safety Data Sheet*. Consultado en línea el 12 de junio de 2012 en: <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927659>
- Bruice P. Y. *Organic chemistry*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, p. 157, 2003.
- Clayden J., Greeves N., Warren S., Wothers P., *Organic Chemistry*. Oxford University Press, UK, a) p. 510; b) p. 513, 2001.
- De Schryver, F. C., De Feyter, S., Schweitzer, G., *Femtochemistry*. Weinheim: Wiley-VCH, p. 12, 2001.
- Francis A. W. “Studies on the directive influence of substituents in the benzene ring. III. The active agent in aqueous bromination”, *Journal of the American Chemical Society*, **47**, 2340-2348, 1925.

- Hoffman R. V., *Organic chemistry an intermediate text*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, p. 154, 2004.
- Kalsi P. S., *Stereochemistry conformation and mechanism*. New Delhi: New Age International, p. 419, 2005.
- Megna R. (1995). "Bromination of bacon fat". Número de fotografía: Fphoto-40899508K-2RM.jpg descargada el 22 de mayo de 2012 del servidor Fundamental Photographs – The art of science: <<http://fphoto.photoshelter.com>>
- Olah G. A., Hockswender T. R. Jr. Electrophilic Reactions at Multiple Bonds. I. The Study of Selectivity and the Role of π and σ Complexes in the Addition of Bromine to Alkenes and Alkynes in 1,1,2-Trichlorotrifluoroethane Solution, *Journal of the American Chemical Society*, **96**, 11, 3574-3580, 1974a.
- Olah G. A., Schilling P., Westerman P. W., Lin H. C., Electrophilic Reactions at Multiple Bonds. II. Observation and Differentiation of Intermediate π and σ Complexes in Electrophilic Additions to Ethene, 2,3-Dimethyl-2-butene, and Adamantylideneadamantane, *Journal of the American Chemical Society*, **96**, 11, 3581-3589, 1974b.
- Pearson, 2012. Figura 22-35 en: Brown, T. L. (2007). "Chemistry: The central science: a broad perspective". Frenchs Forest: Prentice Hall. Consultado en línea el 14 de abril de 2012 en: http://wpscms.pearsoncmg.com/wps/media/objects/3662/3750450/Aus_content_22/Fig22-35.jpg
- Schubert, Jeffrey W., *The structure of bromonium, chloronium, and oxonium ions*. Thesis (M.S.). Villanova University. Pennsylvania, USA. Cap. 1, 2008. Vista previa consultada el 2 de mayo de 2012 en: <http://proquest.umi.com/pqdw eb?did=1537007641&sid=1&Fmt=14&VType=PQD&VInst=PROD&RQT=309&VName=PQD&TS=1335980756&clientId=79356>
- Slebocka-Tilk H., Ball R. G., Brown R. S., The Question of Reversible Formation of Bromonium Ions during the Course of Electrophilic Bromination of Olefins. 2. The Crystal and Molecular Structure of the Bromonium Ion of Adamantylideneadamantane, *Journal of the American Chemical Society*, **107**, 4504-4508, 1985.
- Webelements Periodic Table of the Elements: Bromine, 2012. Consultado el 14 de mayo de 2012, en: <http://www.webelements.com/bromine/>
- Wentland S. H., A New Approach To Teaching Organic Chemical Mechanisms, *Journal of Chemical Education* **71**(1), 3, 1994.
- Young W. G., Cram D. J., 1973. *Saul Winstein 1912-1969. A Biographical Memoir*. USA: National Academy of Sciences, p. 325. Consultado el 13 de abril de 2012 en: <http://books.nap.edu/html/biomems/swinstein.pdf>

Réplica de los autores

Apreciables profesores, Rosa María Aguilar-Garduño, Enrique González-Vergara y Aarón Pérez-Benítez

Gracias por sus observaciones realizadas al artículo "Conceptos básicos y mecanismos de reacción en la Química Orgánica" y por la información que enviaron, citando a diferentes autores que han aportado valiosos conocimientos sobre este tema y retomamos la definición de Atkins, 2008 citada por ustedes. "Un mecanismo de reacción es la secuencia de etapas más simples (reacciones elementales) que ocurren en la transformación de reactivos a productos". Es conveniente mencionar que antes de desarrollar un mecanismo de reacción como lo define Atkins, se necesita del conocimiento y del manejo adecuado de conceptos básicos, que fueron el tema de valoración de nuestra investigación y que mencionamos a continuación.

En la evaluación diagnóstica realizada en la primera semana (reacción entre el clorometano y el hidróxido de sodio) vamos a mencionar únicamente los resultados de tres conceptos para que puedan ser analizados por los lectores de este artículo y de su relevancia en la comprensión de los mecanismos de reacción:

- El 62% de los estudiantes no identificó los electrones no compartidos en el clorometano.
- El 79% no identificó las cargas parciales y formales.
- El 79% no identificó el enlace iónico en el hidróxido de sodio.

En la tercera semana se aplicó una evaluación diagnóstica, sobre estos mismos conceptos, en la síntesis de éter metílico a partir de reactivos propuestos, dando los siguientes resultados:

- El 87% de los estudiantes no identificó los electrones no compartidos en las moléculas propuestas clorometano y metanol.
- El 87% no identificó las cargas parciales en las moléculas.
- El 92% no identificó la carga en los iones cloruro.

Como podemos observar, en los resultados de estas dos experiencias, es evidente que los estudiantes no logran apropiarse de estos conceptos y, por lo tanto, consideramos que les será más difícil, comprender el mecanismo de una reacción por muy sencilla como lo menciona Atkins.

A partir de la cuarta semana, se aplicó una estrategia que se solicitó a los estudiantes, que anotaran los conceptos valorados en esta investigación a todas las moléculas que ellos desarrollaran, con la finalidad de reforzar su aprendizaje.

En la sexta semana se aplicó una evaluación diagnóstica sobre los mismos conceptos, en la reacción de etano y bromo molecular, obteniéndose los siguientes resultados:

- El 42% de los estudiantes no identificó los electrones no compartidos en el bromo molecular.
- El 71% no identificó la ruptura homolítica.

Por último, en la séptima semana se realizó la primera evaluación sumativa que sería parte de su calificación final. El exa-

men consistió en dar a los estudiantes una lista de reactivos, para que ellos los combinaran de acuerdo con sus conocimientos y obtuvieran diferentes productos.

De los conceptos valorados en este examen, únicamente mencionamos tres de ellos para que puedan contrastarse con las evaluaciones anteriores:

- El 54% de los estudiantes identificó los electrones no compartidos en las reacciones propuestas.
- El 58% identificó las cargas parciales y formales.
- El 58% identificó el tipo de ruptura homolítica.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación aplicada en la séptima semana y contrastándolos con las evaluaciones anteriores, se observa que más del 50% de los estudiantes, lograron apropiarse de estos conceptos, pasando a formar parte de su estructura cognitiva.

Profesores: Rosa María Aguilar, Enrique González y Aarón Pérez-Benítez, como se dieron cuenta en la lectura de este artículo, en ningún momento del desarrollo de esta investigación se mencionan los productos de las reacciones, porque el objetivo del trabajo fue conocer si los alumnos manejaban correctamente los **conceptos básicos, tema de esta investigación**, pero se requirieron las reacciones mencionadas, para realizar el estudio y no para evaluar propuestas de mecanismo de reacción.

Respecto a su apreciación respecto a la tabla 3 en donde nos hace el siguiente señalamiento, (Dice: "... etano y bromo..." y debería decir "... eteno y bromo...") no es error de edición; la reacción solicitada fue etano y bromo para comprobar si ellos manejaban el concepto de ruptura homolítica y de acuerdo al resultado obtenido el 71 % no lo identificó.

La segunda observación realizada por ustedes respecto a la tabla 3 en donde dicen ¿Cómo en el siguiente renglón se expresa que un 100% de la población identificó la ruptura heterolítica? Existe obviamente un 29% de población excedente o quizá algunos estudiantes dieron doble respuesta.

El resultado observado en la tabla 3 dice el 100% no identificó una ruptura heterolítica, esto significa que ningún alumno considero este tipo de ruptura.

Consideramos que la evaluación diagnóstica es un instrumento muy valioso en el proceso de aprendizaje ya que nos permite detectar las fortalezas y debilidades conceptuales de los estudiantes, brindándonos información oportuna, que nos permita guiarlos en la adquisición de conocimientos.

Apreciables Rosa María, Enrique y Aarón:

Agradecemos su atención a la lectura de este trabajo y sus observaciones realizadas, esperamos que el trabajo socializado rinda frutos como bien dicen en beneficio de nuestros estudiantes.

Atentamente.

Ignacio López y Celis.

Respuesta final

Estimados autores:

Agradecemos la enmienda que han hecho al concepto de cargas requerido a sus estudiantes, quedando esta vez entendido como "cargas parciales y/o totales", según el caso. Por otro lado, una vez aclarado que el enunciado de la tabla 3 es correcto, habría que agregar una "fe de erratas" manifestando que: en el punto ii de la Metodología (p. 205, segunda columna) dice "Entre el eteno y bromo molecular" y debería decir "Entre el etano y bromo molecular".

Nótese en los enunciados anteriores que el simple cambio de una "a" por una "e" cambia todo el contexto de la reacción, su mecanismo y los resultados obtenidos; de tal suerte que pudo habernos ahorrado una gran parte de nuestra exposición sobre la reacción entre el eteno y el bromo molecular..., o cuando menos habría cambiado el tema central de nuestro alegato. Precisamente por esa misma razón echamos en falta la publicación de los instrumentos aplicados a sus alumnos y nos queda claro que la escritura de la reacción en la tabla correspondiente hubiera despejado cualquier incógnita.

Finalmente nos queda la duda sobre si la forma de indagar respecto a los conceptos explorados influyó o no en el resultado; esto es, puede ser que los estudiantes más preocupados por escribir una reacción y su mecanismo no hubieran hecho mucho énfasis en escribir las estructuras de Lewis o en resaltar el carácter parcial de los enlaces. En contraste, cuando les solicitaron explícitamente dichos conceptos (cuarta semana) los resultados fueron más satisfactorios.

Seguramente lo anterior será motivo de una nueva investigación si es que lo consideran pertinente, así que: ¡Adelante con sus estudios, colegas!

Saludos:

Rosa María, Enrique y Aarón

FE DE ERRATAS

Después de esta sana discusión sobre nuestro artículo: Ignacio López, Alfredo Ordaz y Carlos Kerbel, Conceptos básicos y mecanismos de reacción en la Química Orgánica, *Educación Química*, volumen 23, núm. 2, pp. 205-207, 2012, aceptamos que hay un error en la página 205, segunda columna, donde dice "Entre el eteno y bromo molecular", debe decir "Entre el etano y el bromo molecular".

Ignacio López