

# Educación en la Química

Revista de la Asociación de Docentes  
en la Enseñanza de la Química de la  
República Argentina.

ISSN 2344-9683

**Volumen 22**  
**Número 2**  
**2016**

# **Educación en la Química**

**ISSN en línea 2344-9683**

Revista de la Asociación de Docentes en la Enseñanza de la  
Química de la República Argentina

## **Educación en la Química**

es una publicación semestral de la Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química de la República Argentina, ADEQRA, Personería Jurídica N° 8933 que se distribuye gratuitamente a los miembros de esta Asociación. Es una revista que busca contribuir a la interrelación entre los docentes y los investigadores de las ciencias químicas y de la educación química. En ella se dan a conocer experiencias de aula, resultados de investigaciones, avances tecnológicos, noticias científicas, y todo otro aporte original que oriente el enriquecimiento y profesionalización del docente de química y colabore en el mejoramiento de su tarea.

Los editores agradecen cartas, ideas, sugerencias y artículos que puedan resultar de utilidad a otros colegas.

El contenido de los artículos firmados es responsabilidad de sus autores.

Se recomienda cautela al realizar los experimentos y demostraciones que se proponen.

Se autoriza la reproducción de los materiales, citando la fuente. (Título clave abreviado: EdenlaQ)

## **Comité editor**

### **Editor Responsable**

Luz Lastres Flores

(ex-Universidad de B. Aires)

### **Co-editora**

M. Gabriela Lorenzo

(Universidad de B. Aires-CONICET)

### **Colaboradora**

Andrea S. Farré

(Universidad N. de Rio Negro)

### **Consejo Asesor Nacional**

Erwin Baumgartner (Universidad de Buenos Aires)

Faustino Beltrán (Academia Argentina de Artes y Ciencias de la Comunicación)

Marta Bulwik (ex ISP J. V. González, B.A.)

Raúl Chernikoff (Universidad N. de Cuyo)

Norma D'Accorso (Universidad de Buenos Aires)

Lilia Davel (Universidad de Buenos Aires)

Lydia Galagovsky (Universidad de Buenos Aires)

Martín G. Labarca (CONICET)

Hernán Miguel (Universidad de Buenos Aires)

Norma Nudelman (Universidad de Buenos Aires)

Héctor Odetti (Universidad N. del Litoral)

Laura Vidarte (ex ISP J. V. González, B.A.)

### **Consejo Asesor Internacional**

Daniel Bartet (UMCE, Chile)

Bruno Ferreira Dos Santos (Universidad Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil)

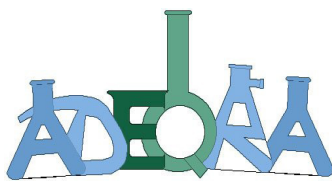
Johanna Camacho (U. de Chile)

Plinio Sosa Fernández (Consejo Editorial de las revistas Educación Química y Acta Universitaria, México)

Vicente Talanquer (U. de Arizona, Tucson, EEUU)

Gisela Hernández Millán (UNAM, México)

EdenlaQ-ADEQRA. Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica. CIAEC.  
Facultad de Farmacia y Bioquímica. UBA.  
Junín 956 (1113). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.  
e-mail: [ciaec@ffyb.uba.ar](mailto:ciaec@ffyb.uba.ar)



Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química  
de la República Argentina

Personería Jurídica N° 8933

**ADEQRA**, Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química de la República Argentina, Personería Jurídica N° 8933, es una asociación sin fines de lucro que reúne a docentes de los diferentes niveles educativos de nuestro país, interesados en la formación y capacitación continua.

Entre los fines y objetivos de la Asociación que figuran en su Estatuto, pueden citarse:

- Procurar que la enseñanza de la Química sea cada vez más significativa y eficiente en todo el país y en los distintos niveles educativos.
- Promover el estudio y la investigación en la enseñanza de la Química en todos los niveles.
- Fomentar el intercambio y la comunicación entre personas y las instituciones dedicadas a la enseñanza de la Química.
- Contribuir al perfeccionamiento profesional de sus asociados mediante la divulgación de información científica, metodológica y de temas de interés común.
- Suscitar la inquietud de los docentes de Química por temas que contribuyan a ubicarlos frente a los problemas fundamentales de carácter científico y técnico que enfrenta el país.

#### **Comisión Directiva Diciembre 2013 - Diciembre 2015**

**Presidenta:** Estela Zamudio (Filial Buenos Aires)

**Vicepresidenta:** Liliana Habarta (Filial Chaco)

**Secretario:** Dante O. Tegli (Filial Buenos Aires)

**Prosecretario:** Sandra Hernandez (Filial Buenos Aires)

**Tesorero:** Carlos Suarez (Filial Buenos Aires)

**Protesorero:** Verónica Catebiel (Filial Bariloche)

**1º Vocal titular:** Andrés Raviolo (Filial Bariloche)

**2º Vocal titular:** Raúl Chernicoff (Filial San Rafael)

**1º Vocal suplente:** Javier Genovese (Filial Buenos Aires)

**2º Vocal suplente:** Leonor Lopez Tevez (Filial Buenos Aires)

#### **Comisión revisora de cuentas**

**1º Titular:** Mariela Judith Llanes (Filial Chaco)

**2º Titular:** Sebastián Monaco (Filial Buenos Aires)

**3º Titular:** Stella Fórmica (Filial Córdoba)

**1º Suplente:** Violeta Torres (Filial Salta)

**2º Suplente:** Mario Molina (Filial Chaco)

## *Para saber más*

### **CUANDO MUCHAS PARTES FORMAN ALGO COMPLETAMENTE NUEVO: LOS POLÍMEROS SINTÉTICOS**

Ana Basso

Universidad Nacional de Córdoba

[avbasso@yahoo.com.ar](mailto:avbasso@yahoo.com.ar)

#### **¿Qué son y para qué sirven los polímeros?**

En nuestra vida diaria podemos reconocer objetos que están formados por otros objetos más pequeños y repetidos. Por ejemplo, un edificio está constituido por miles de ladrillos o un collar, por decenas de perlas. Tanto el ladrillo como la perla son el objeto repetido y que unidos entre sí forman otro objeto mayor y diferente. Por decirlo de otro modo, muchas perlas unidas forman un collar o muchos ladrillos, un edificio, Figura 1.

a)



b)



Figura 1: Un ejemplo de objeto formado por una unidad repetida. a) Perla (unidad). b) Collar (unidades repetidas).

Existen moléculas que se comportan en forma similar. Están constituidas por una o dos moléculas más pequeñas, llamadas *monómeros*, que repetidas y unidas entre sí forman una macromolécula llamada *polímero*.

Los enlaces covalentes son los responsables de la unión de estos *monómeros* y las fuerzas intermoleculares son cruciales en el momento de orientar estas largas cadenas en el espacio, desde las fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno hasta interacciones hidrofóbicas.

Los polímeros sintéticos tienen múltiples usos, debido a la gran variedad de sustancias en las cuales están presentes; como alimentos, plásticos, textiles, gomas, entre otros, además presentan propiedades con ventajas sobre otro tipo de materiales, por lo general son económicos, livianos, resistentes a la oxidación y al ataque de ácidos y bases, muy versátiles y aislantes de la corriente eléctrica. Pero los polímeros no biodegradables son difíciles de eliminar por ser altamente resistentes a la

corrosión, al agua y a la descomposición.

### ¿Desde cuándo existen los polímeros? Cuando la Tecnología precede a la Ciencia

Los polímeros existen desde siempre y abundan en la naturaleza pero fue recién en los comienzos de la química moderna que los científicos notaron esta particularidad en la composición de algunas sustancias las cuales están compuestas por unidades repetidas. Fue el científico sueco Jöns Jakob Berzelius quien acuñó en 1827 el término "*polímero*" para describir a los compuestos orgánicos que comparten idénticas fórmulas empíricas, pero difieren en el peso molecular.

A partir de esa fecha, los posteriores descubrimientos alrededor de los polímeros, no fueron encabezados por químicos sino por representantes de la industria o inventores independientes, que en la búsqueda de nuevos materiales más resistentes y perdurables crearon los primeros polímeros sintéticos. La mayoría de las veces, esto ocurrió por accidente pero gracias a la curiosidad, estos protagonistas inauguraron una nueva etapa industrial, Tabla 1.

Tabla 1: Síntesis de materiales poliméricos a través del tiempo.

AÑO	ACONTECIMIENTO
1827	Berzelius acuña el término polímero
1833	Goodyear desarrolló el proceso de vulcanización del caucho
1839	Poliestireno
1870	Celuloide
1927	Acetato de celulosa y PVC
1931	Carothers sintetizó el Neopreno.
1935	Carothers sintetizó el Nylon
1953	Staudinger recibió el Premio Nobel por describir a los polímeros como macromoléculas.
1963	Ziegler y Natta recibieron el Premio Nobel por el desarrollo de catalizadores de coordinación para la síntesis de polímeros.
1974	Flory recibió el Premio Nobel por el desarrollo de la teoría sobre el comportamiento de los polímeros en solución.
1980	Surgen los cristales líquidos poliméricos
1990	Los polímeros se incorporan definitivamente a la industria farmacéutica, a la óptica y a la microelectrónica, lo que le dio un nuevo impulso a esta área.
2000	Se desarrollan nuevos mecanismos de polimerización radicalaria.

## Clasificación de los polímeros

Estamos muy acostumbrados, en nuestro cotidiano, a utilizar materiales poliméricos. Pero ¿Cómo podríamos aprovecharlos al máximo? Para ello, debemos mirar a los polímeros desde diferentes puntos de vista y catalogarlos según las características que estos poseen. Estas categorías son: *por origen, composición, estructura, comportamiento frente al calor y tipo de reacción de obtención.*

La primera clasificación es sencilla, si el polímero lo produce la naturaleza, es de **origen natural**, como los polisacáridos, polipeptidos (proteínas, Figura 2.a) o polinucleótidos (ADN), sino es de origen *sintético* y está elaborado en la industria, como los elastómeros (Neopreno), fibras (poliéster) o plásticos (polietileno, Figura 2.b). Saber el origen de un material nos da información para la utilización, fabricación de objetos, reutilización/reciclado del material o para proteger las fuentes naturales que lo proveen.

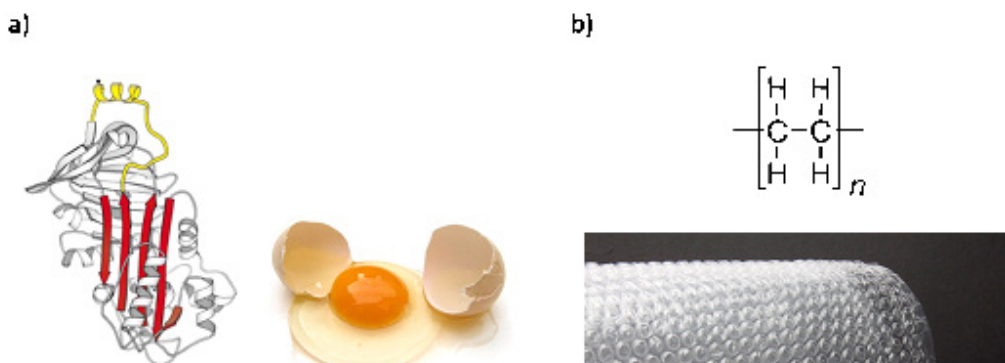


Figura 2: Ejemplos de Polímeros. a) Polímero natural: Proteína de la clara del huevo (ovoalbúmina) b) Polímero sintético: Polietileno.

En cuanto a la **composición** de los polímeros, hay dos grandes grupos; los polímeros formados por un solo tipo de monómero repetido y unido entre sí, denominados *homopolímeros*, o por diferentes tipos de monómeros, denominados *heteropolímeros* o *copolímeros*.

A continuación dos ejemplos de *homopolímeros*: Dentro del grupo de los polímeros de origen natural está la celulosa (Figura 3.a) que es un *homopolímero* de moléculas de  $\beta$ -glucosa unidas a través de enlaces glucosídicos. En el caso de los polímeros sintéticos, el Teflón (Figura 3.b) es un ejemplo de *homopolímero* de moléculas de tetrafluoroeteno, unidas por enlaces covalentes.

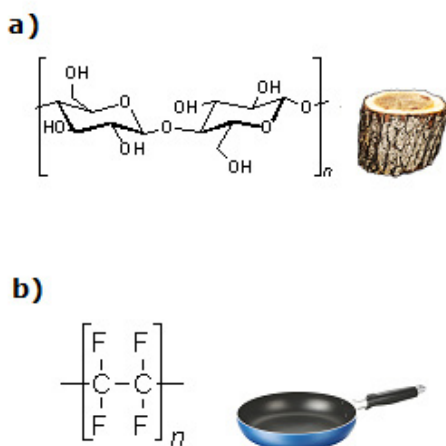


Figura 3: Ejemplos de Homopolímeros. a) Celulosa (Monómero: glucosa). b) Teflón (Monómero: tetrafluoroetano).

A continuación dos ejemplos de *copolímeros*: Dentro del grupo de los polímeros naturales está el Acido Desoxirribonucleico (ADN), que es un *copolímero* conformado por cuatro diferentes nucleótidos: Adenina, Citocina, Guanina y Timina (Figura 4.a). Mientras que el etil vinil acetato (también conocido como goma EVA, Figura 4.b) es un *copolímero* sintético conformado por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo.

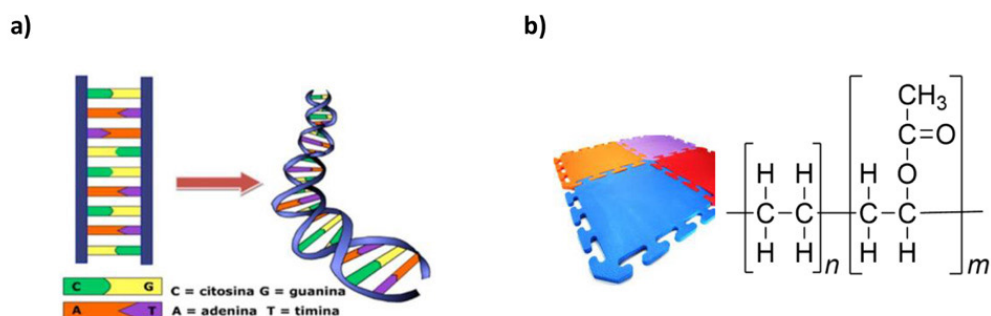


Figura 4: Ejemplos de Copolímeros. a) ADN. b) Etil vinil acetato o goma EVA.

Cabe aclarar que dentro de los *copolímeros* encontramos una subclasificación que depende de la forma en que están ordenados los monómeros. En la Figura 5 se muestran los diferentes arreglos.



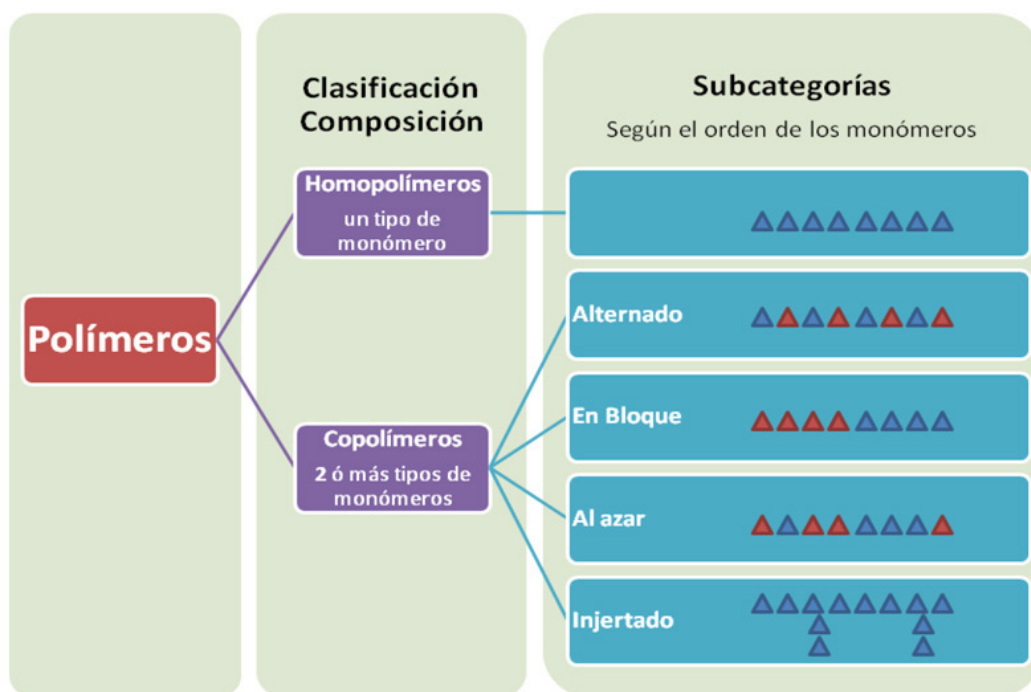


Figura 5: Esquema de la clasificación de los polímeros según su composición y las subcategorías según el ordenamiento.

Una característica que condiciona las propiedades físicas de los polímeros es su **estructura**, es decir, cómo están unidos los monómeros entre ellos. Si los monómeros al unirse forman largas cadenas se los denomina como polímeros *lineales* mientras que si de una cadena principal salen cadenas laterales se los denomina polímeros *ramificados*, Figura 6.

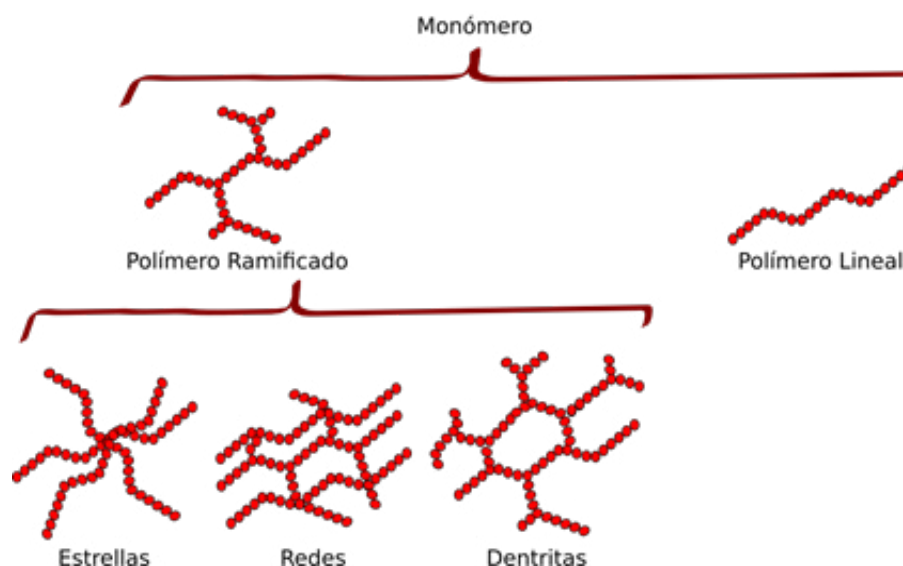


Figura 6: Esquema de polímeros según su estructura y las posibles ramificaciones.

La linealidad en las cadenas poliméricas permite el acercamiento espacial de otras cadenas lineales y por lo tanto mayor interacción a través de las fuerzas intermoleculares. Lo que provoca que estas regiones se mantengan unidas, sean de mayor densidad y más ordenadas. Este grado de ordenamiento se lo conoce como **grado de cristalinidad** de un polímero. El conocido juego Tetris ejemplifica esta situación. El juego consiste en acomodar diferentes piezas en una misma unidad de área. Si se utilizara una única pieza lineal, la superficie ocupada sería mayor (mayor densidad) que si esta pieza fuera ramificada, Figura 7. La estructura lineal o ramificada de un polímero afecta directamente a sus características macroscópicas, haciendo que estos materiales sean muy diferentes entre ellos. Un polímero con abundantes regiones *cristalinas* u ordenadas, al ser más denso es más duro y al tener mayores fuerzas intermoleculares por área es más resistente al calor. Mientras que un polímero con mayor cantidad de regiones ramificadas será más blando.

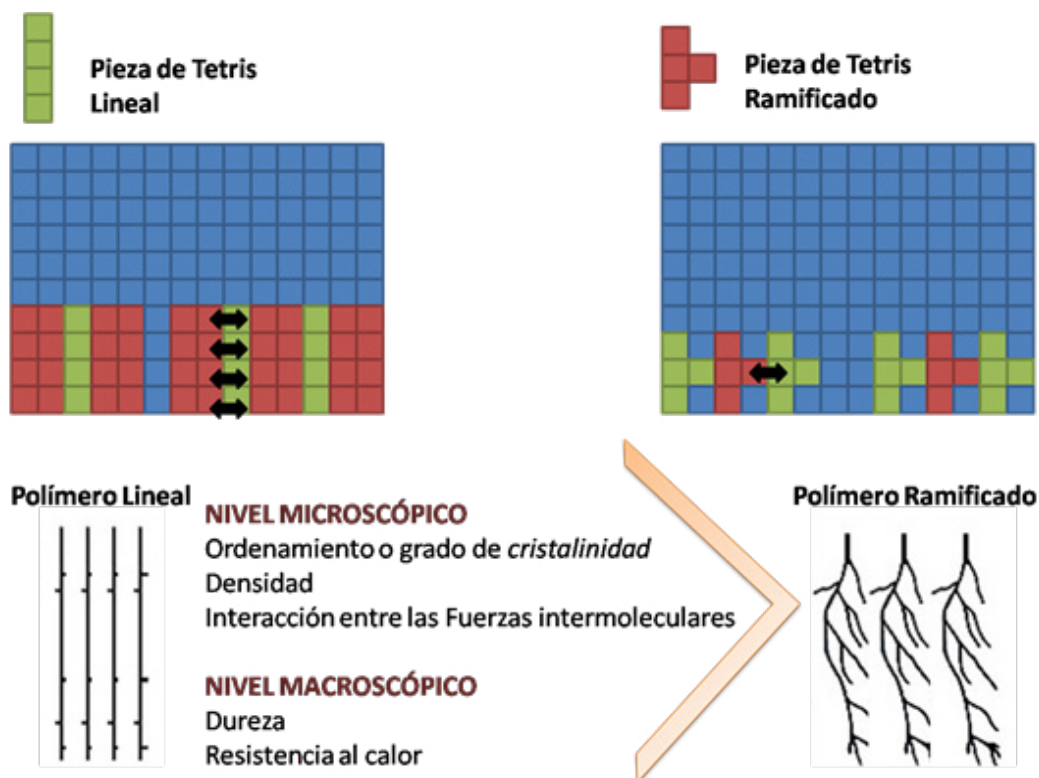


Figura 7: Analogía entre el juego Tetris y el ordenamiento de polímeros lineales versus polímeros ramificados.

Dos ejemplos de esto son: el polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés, *High Density Polyethylene*) usado para fabricar recipientes rígidos moldeados como bidones o botellas y el polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés, *Low Density Polyethylene*) que se utiliza para fabricar bolsas para guardar alimentos.

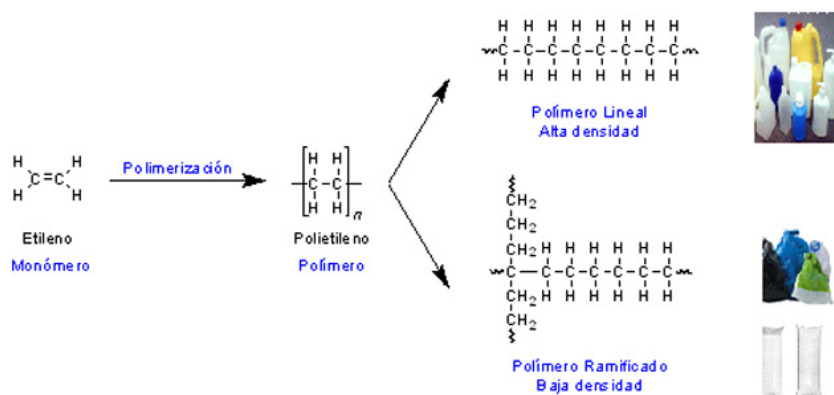


Figura 8: Polimerización lineal (polímero de alta densidad) o ramificada (polímero de baja densidad) del etileno y sus aplicaciones en la fabricación de objetos rígidos (botellas) o blandos (bolsas).

También se logran hacer polímeros más rígidos introduciendo enlaces químicos entre las cadenas poliméricas, esto se denomina **entrecruzamiento**. Cuanto mayor sea el número de *entrecruzamientos* de un polímero, más rígido será el material. Gracias a esta disposición lineal o entrecruzada, los polímeros tienen diferentes comportamientos frente al calor.

Un ejemplo importante de *entrecruzamiento* es la vulcanización del caucho. Este descubrimiento fue realizado por Charles Goodyear en 1839, quien accidentalmente mejoró las características del caucho natural al cocinarlo en presencia de azufre. El caucho natural se obtiene de la resina de la corteza de un árbol selvático (*Hevea brasiliensis*). Al ser un polímero lineal de cadenas de isopreno ( $C_5H_8$ ), es un material demasiado blando y reactivo químicamente debido a sus dobles enlaces. Sin embargo al calentar este polímero lineal en presencia de azufre, las cadenas poliméricas se unen, se *entrecruzan* mediante puentes de azufre generando una red fija. Esta reacción es irreversible y se la conoce como *vulcanización*, la cual convierte al caucho natural en un polímero más duro, resistente y con propiedades elásticas. Comercialmente, este material es utilizado para fabricar neumáticos, Figura 9.

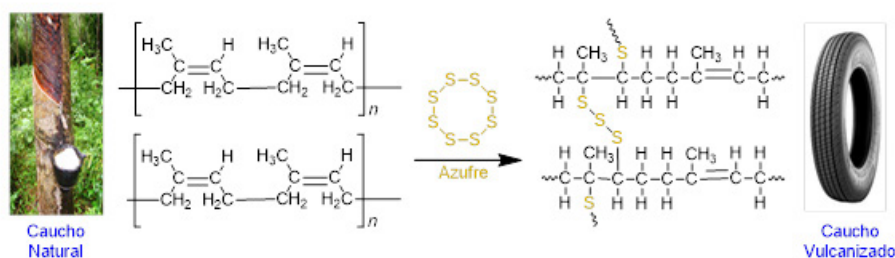
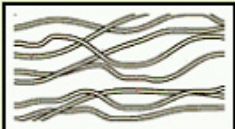
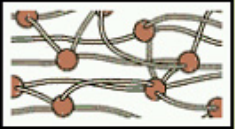
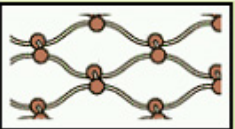


Figura 9: Esquema del proceso de vulcanizado del caucho natural (entrecruzamiento de polímeros).

Los polímeros presentan diferentes **comportamientos frente al calor** dependiendo del tipo de estructura que posean. Cuando son sometidos al calor, los plásticos de cadenas poliméricas lineales (las cuales son independientes entre sí) adquieren una energía cinética tal que se deslizan una sobre otra como si fuesen tallarines recién colados. Por lo que, el material polimérico se reblandece y adquiere la forma del recipiente. Al enfriarse, conserva la forma del mismo. Estos plásticos que pueden fundirse y moldearse reciclarse, se denominan *termoplásticos*. En cambio, los polímeros de cadenas entrecruzadas forman una red en la cual las cadenas poliméricas no son independientes una de la otra, sino que están unidas a través de enlaces covalentes, por lo tanto frente al calor o la presión se deforman de manera irreversible y no pueden volverse a moldear, son denominados *termoestables*.

Frente a presiones o tensiones los *termoplásticos* son más flexibles, mientras que los *termoestables*, dada su rigidez estructural, son más frágiles. Pero existen también, los que presentan un comportamiento elástico; es decir, que recuperan su forma original después de haber sido estirado o flexionado, éstos son los *elastómeros*. Estructuralmente son macromoléculas que forman redes con pocos enlaces entrecruzados y por lo general son termoestables, Tabla 2.

Tabla 2: Principales diferencias estructurales entre los materiales termoplásticos, termoestables o elastómeros.

TERMOPLÁSTICOS	TERMOESTABLES	ELASTÓMEROS
Los plásticos más utilizados pertenecen a este grupo. Sus macromoléculas están dispuestas libremente sin entrelazarse.	Sus macromoléculas se entrecruzan formando una red de malla cerrada.	Sus macromoléculas se ordenan en forma de red de malla con pocos enlaces.
		
Gracias a esta disposición se reblandecen con el calor adquiriendo la forma deseada la cual se conserva al enfriarse.	Esta disposición no permite nuevos cambios de forma mediante calor o presión; solo se pueden deformar una vez.	Esta disposición permite obtener plásticos de gran elasticidad que recuperan su forma y dimensiones cuando deja de actuar sobre ellos una fuerza.

En la Figura 10 se muestra un esquema de un *elastómero* (banda elástica) cuando está sometido a un estiramiento.

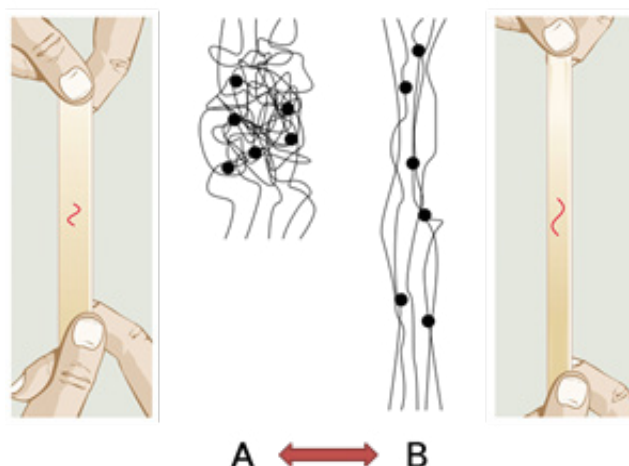


Figura 10: Esquema de un elastómero: A no sometido a tensión (Los puntos representan los enlaces entre las cadenas). B sometido a tensión. Sin tensión, el elastómero regresa a la posición A.

Ahora bien, teniendo en claro los tipos de polímeros a los que se puede acceder, el siguiente paso es poder fabricarlos (sintetizarlos) en el laboratorio. Para ello es necesario saber que existen sólo dos **tipos de reacción de obtención** de polímeros: *Adición* y *Condensación*.

El ejemplo que más hemos nombrado en este texto, es el más sencillo: la formación de polietileno. El cual se produce a partir de moléculas de etileno. En esta reacción, el doble enlace de cada molécula de etileno "se abre", y dos de los electrones que originalmente participaban de este enlace pasan a formar nuevos enlaces sencillos C-C con otras dos moléculas de etileno. La polimerización que tiene lugar por el acoplamiento de monómeros utilizando sus enlaces múltiples se denomina *polimerización por adición*, Figura 11. La masa molecular del polímero resultante es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero.

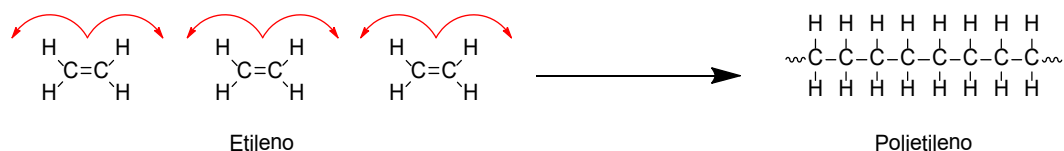
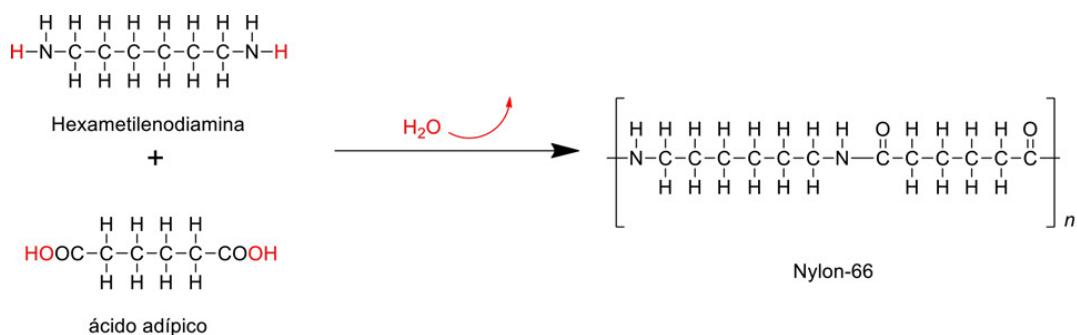


Figura 11: Polimerización por adición. Síntesis del polietileno.

Por otro lado, en una *reacción de polimerización por condensación* dos moléculas se unen para formar una molécula más grande por eliminación de una molécula pequeña, como  $\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{NH}_3$  Figura 12.



**Figura 12:** Polimerización por condensación. Síntesis del Nylon-66

### Fabricación de polímeros: Un desafío para los químicos

Cuando los químicos trabajan en el laboratorio ponen especial cuidado a que sus reacciones sean reproducibles, esto quiere decir que sin importar la cantidad de veces que se lleven a cabo siempre van a obtener el producto deseado. Para que esto ocurra, se deben conocer en profundidad las condiciones de reacción y la naturaleza química de cada reactivo. Ahora miremos más de cerca a los dos tipos de reacción de polimerización y veamos que parámetros se deben tener en cuenta para manipular estos mecanismos. En la Tabla 3 se muestran las reacciones de adición y de condensación con las subcategorías correspondientes, las cuales se detallan a continuación.

Tabla 3: Diferentes tipos de reacciones de polimerización.

PREPARACIÓN DE POLÍMEROS SINTÉTICOS	
Polímeros de Adición Elongación o Crecimiento en cadena	Polímeros de Condensación o Crecimiento en Etapas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por radicales libres (derivados del etileno)</li> <li>• Polimerización iónica               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Catiónica</li> <li>✓ Aniónica</li> </ul> </li> <li>• Polimerización por coordinación de Ziegler-Natta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso consta de series de reacciones independientes entre sí y el polímero se forma por la polifuncionalidad del monómero, perdiéndose moléculas pequeñas (agua, alcoholes, otros).</li> <li>• Síntesis de copolímeros</li> </ul>

Las reacciones de **polimerización por adición** se distinguen por la apertura del doble enlace de un alqueno en tres etapas: *iniciación*, *propagación* y *terminación*. Además, dependiendo de la especie iniciadora

de la reacción y del sustrato, puede ocurrir por tres vías de síntesis diferentes: *vía radicales libres, iónica o por coordinación*. En la Figura 13 se muestran esquemas de las dos primeras vías ya que las de coordinación merecen un apartado más detallado.

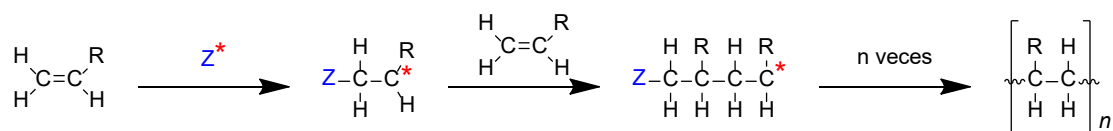


Figura 13: Polimerización por adición. Z\* iniciador, \* radical libre o ion.

La reacción de polimerización por adición vía **radicales libres** tiene lugar por la apertura del doble enlace originado por un radical libre previamente formado. En las etapas de síntesis se distinguen por: 1) *Iniciación*. Se produce la formación del iniciador radical libre (R-O•) por la descomposición de trazas de un peróxido, sustancia muy inestable, por la acción de la luz UV o por altas temperaturas. 2) *Propagación*. El radical libre formado, altamente reactivo, ataca un carbono del doble enlace de un alqueno, por ejemplo, etileno, formando otro radical libre más estable. Un electrón del doble enlace y el electrón del radical libre, ubicado en el oxígeno, forma un enlace O-C y el otro electrón del doble enlace forma el nuevo radical libre, quedando un enlace simple C-C. El radical libre formado reacciona sucesivamente, por un mecanismo similar, con *n* moléculas del alqueno, alargando la cadena en cada reacción. 3) *Terminación*. Ocurre por la reacción del polímero con otro radical libre. Es el mecanismo de reacción de la síntesis del polietileno y sus derivados, Figura 14.

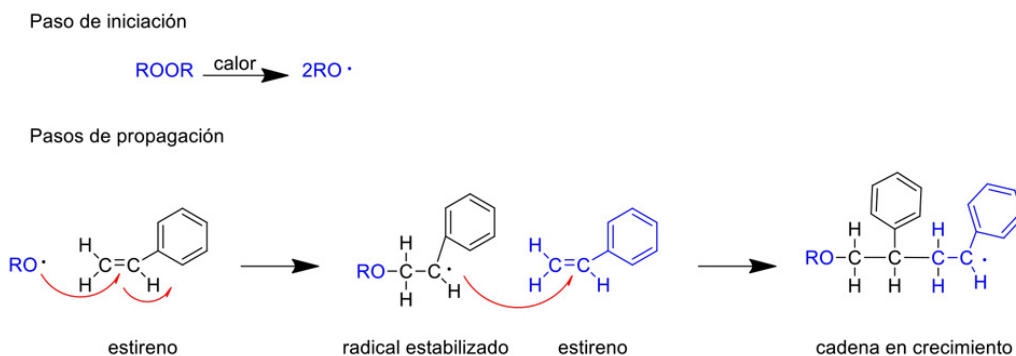


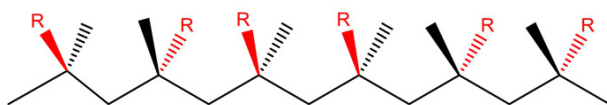
Figura 14: Mecanismo de polimerización por adición vía radicales libres.

Aunque este tipo de reacción sea el más usado, presenta dos grandes desventajas: *ramificación indeseada de las cadenas* y la *ausencia de control estereoisomérico*. Es común obtener diversas estructuras es-

paciales. Para el propileno, por ejemplo, son posibles tres estructuras diferentes: *isotáctica*, *sindiotáctica* y *atáctica*, Figura 15. Existen estrategias para controlar que estos efectos ocurran o no: En el caso de querer impedir ramificaciones indeseadas se deben utilizar *inhibidores de polimerización*, los cuales son fenoles sustituidos, tioles u otros compuestos que al reaccionar con un radical libre se obtenga una especie libre poco reactiva y así detener el proceso. En el caso de querer controlar la orientación en el espacio de los grupos sustituyentes del polímero, se deben utilizar *estereocatalizadores*. Ésta última estrategia se detalla más adelante en reacciones de adición *vía coordinación*.

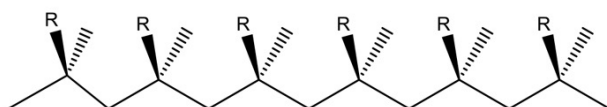
#### ATÁCTICA

Grupos R dispuestos al azar



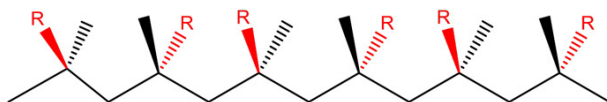
#### ISOTÁCTICA

Grupos R en el mismo lado de la cadena



#### SINDIOTÁCTICA

Grupos R alternados a los lados de la cadena



Uso de catalizadores  
**Ziegler-Natta**  
Polímeros estereoregulares

Figura 15: Tipos de estructuras de polimerización estereoespecífica.

Por otro lado, la reacción de polimerización por adición **vía iónica**, la apertura del doble enlace produce la formación de iones y también ocurre en las tres etapas mencionadas, pero con dos opciones posibles: *vía aniónica* o *catiónica*. La *vía aniónica* estará favorecida si el alqueno presenta un grupo estabilizador de la carga negativa en su estructura, por ejemplo  $-C=O$ ,  $-C\equiv N$  o  $-NO_2$ , en este caso el iniciador debe ser un reactivo de Grignard o un organolítico, Figura 16. Pero si el iniciador es una especie ácida, el cual al atacar al alqueno, éste forma un carbocatión estable, el mecanismo de polimerización favorecido entonces será la *vía catiónica*, Figura 17.



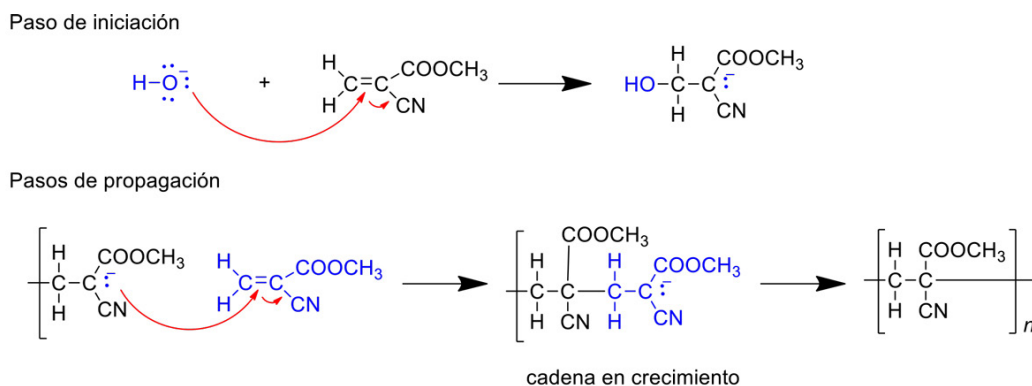


Figura 16: Mecanismo de polimerización por adición vía aniónica.

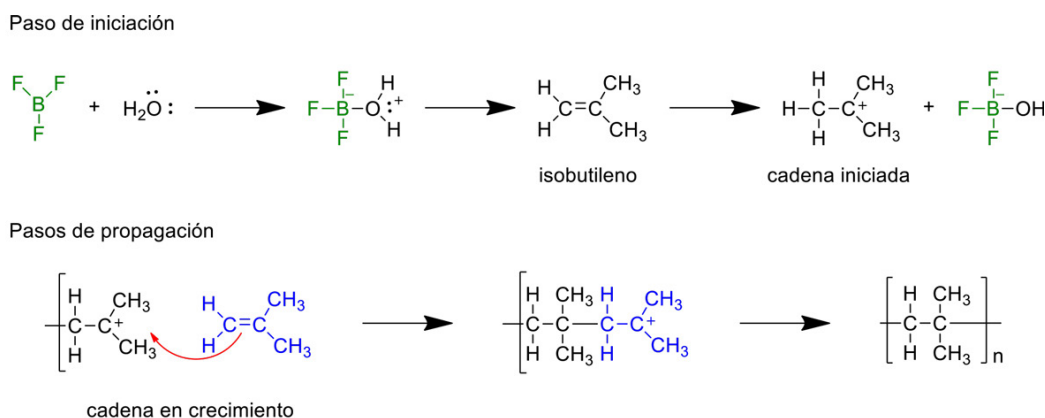


Figura 17: Mecanismo de polimerización por adición vía catiónica.

Por último, la reacción de polimerización por adición **vía coordinación** se realiza usando *estereocatalizadores* llamados catalizadores *Ziegler-Natta* en honor a sus descubridores Karl Ziegler y Giulio Natta, quienes recibieron el premio Nobel de la Química en 1963 por este increíble hallazgo: El descubrimiento de *la polimerización estereoespecífica*. Este descubrimiento le dio un nuevo vuelo a la industria de los materiales, otorgándoles a los químicos que trabajan con polímeros, la posibilidad de que puedan sintetizar casi cualquier configuración molecular que deseen y consideren que le proporcionará al material producido propiedades nuevas o porque no, conocidas y emular la estereoselectividad intrínseca de la naturaleza.

Karl Ziegler, científico alemán, descubrió que al mezclar sales de metales como Ti o Zr con compuestos que contienen un enlace C-Al se obtenía un *catalizador* para la polimerización del etileno de forma lineal. En otro laboratorio, el científico italiano Giulio Natta, no tardó en probar la propuesta de su colega en otros alquenos y encontró que al utilizar este

tipo de catalizadores en la polimerización del propileno se obtenía un polímero altamente *estereoregular*. Ambos científicos presentaron sus trabajos, los cuales se complementaban, recibiendo la máxima distinción.

Para empezar, los catalizadores Ziegler-Natta, son mezclas de una sal de metal de transición (grupo IV a VIII, generalmente un halogenuro de Ti, V, Cr o Zr) con un compuesto organometálico o co-catalizador (suele ser un alquil-metal de los grupos I a III, por lo general Al o Sn) en un solvente inerte, lo cual puede conducir a dos tipos de sistemas: *homogéneos* si ambos componentes se disuelven en su totalidad en el solvente utilizado o *heterogéneos* si no se disuelven, formando una dispersión o una pasta, Tabla 4.

Tabla 4: Catalizadores Ziegler-Natta más comunes.

SISTEMA	HALOGENURO METÁLICO	ALQUILMETAL	SOPORTE
<b>Homogéneo</b>	VCl <sub>4</sub>	AlClR <sub>2</sub>	
	VCl <sub>4</sub>	Sn(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub>	
	TiCl(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	Al(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	
<b>Heterogéneo</b>	TiCl <sub>4</sub>	Al(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub>	
	TiCl <sub>4</sub>	Al(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> Cl	MgCl <sub>2</sub>
	VCl <sub>4</sub>	AlR <sub>3</sub>	

Esta polimerización es por adición, por lo que se desarrolla en las tres etapas nombradas y es *vía coordinación* porque la sal metálica forma complejos que catalizan la reacción. En la Figura 18 se muestra un esquema de este tipo de síntesis de polímeros.

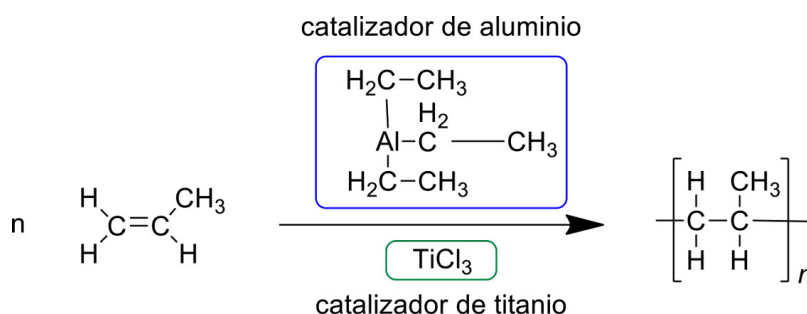
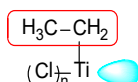


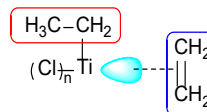
Figura 18: Esquema de polimerización con catalizadores Ziegler-Natta.

En la Figura 19 se muestran los pasos de este mecanismo de reacción.

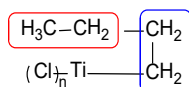
**Paso 1:** Un haluro de titanio y un compuesto de etilaluminio se combinan para colocar un grupo etilo en un sitio del titanio, dado la actividad catalítica activa. El titanio tiene uno o más sitios de coordinación vacantes, que se muestra aquí como un orbital vacío.



**Paso 2:** El etileno reacciona con la forma activa del catalizador. El orbital *pi* del etileno con sus dos electrones se solapa con orbital vacante del Titanio para unirse como un ligando al Titanio.



**Paso 3:** El flujo de electrones va del etileno al Titanio aumentando la densidad de electrones sobre el Titanio y debilitando el enlace Ti-CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>. El grupo etilo migra del Titanio a uno de los carbonos del etileno.



**Paso 4:** El catalizador tiene ahora un ligando butil sobre el Titanio en lugar de un grupo etilo. Al repetir los pasos 2 y 3, se forma un grupo hexil, a continuación, un grupo octil y así sucesivamente. Luego de miles de repeticiones, se forma el *polietileno*.

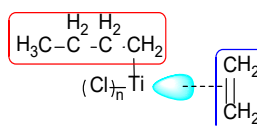


Figura 19: Pasos del mecanismo de reacción de polimerización con catalizadores Ziegler-Natta.

Se preguntarán qué determina que una reacción siga un determinado **mecanismo de polimerización**, pues bien, esto se puede plantear de dos formas, desde el punto de vista del monómero de partida y con ello predecir cuál será el mecanismo más favorecido o desde el punto de vista del polímero que se quiere llegar y para ello será necesario controlar las variables de la reacción de tal forma de obligar a los monómeros a un mecanismo hasta llegar al producto deseado. Vamos por el más simple, si los monómeros son alquenos con sustituyentes que pueden estabilizar radicales libres, éstos presentarán polimerización *radicalaria*; de igual manera ocurre con alquenos con sustituyentes dadores de electrones que pueden estabilizar cationes, dando reacciones de polimerización *catiónica*; por último, los alquenos con sustituyentes tomadores de electrones que pueden estabilizar aniones sufren polimerización *aniónica*. Siempre recordando que algunos alquenos pueden polimerizarse por más de uno de los mecanismos.

Al comienzo de este apartado hablamos de que hay dos tipos de reacción de polimerización, las de *adición* y las de *condensación*. Ahora le toca el turno a las de **condensación**. Como se había mencionado anteriormente en una reacción de *condensación* dos moléculas se unen para formar una molécula más grande por eliminación de una molécula pequeña, por ejemplo H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, alcoholes, etc. Este mecanismo de obtención de polímeros sintéticos puede ilustrarse con los siguientes ejemplos de la Tabla 5.

Tabla 5: Ejemplos típicos de polímeros de condensación.

TIPO	UNIÓN	REACCIÓN
<b>Poliamida</b>	$\text{—NH—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$	$\text{NH}_2\text{—R—NH}_2 + \text{HO—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—R'—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—OH} \longrightarrow$ $\text{H—}\left[\text{NH—R—N—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—R'—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}\right]_n\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
<b>Poliéster</b>	$\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—O—}$	$\text{HO—R—OH} + \text{HO—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—R'—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—OH} \longrightarrow$ $\text{H—}\left[\text{O—R—O—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—R'—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}\right]_n\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
<b>Poliuretano</b>	$\text{—O—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}\overset{\text{H}}{\text{N—}}$	$\text{HO—R—OH} + \text{O=C=N—R'—N=C=O} \longrightarrow$ $\text{HO—R—O—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}\overset{\text{H}}{\text{N—R'—N=C=O}} + \text{H}_2\text{O}$
<b>Melamina</b>	$\text{—N—}\overset{\text{H}}{\text{C—}}$	$\text{H}_2\text{N—C(=N)—N=C—NH}_2 + \text{H—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—H} \longrightarrow$ $\text{H—}\left[\text{N—}\overset{\text{H}}{\text{C—}}\right]_n + \text{H}_2\text{O}$

## IMPORTANCIA DE LOS POLÍMEROS EN LAS CIENCIAS DE LA SALUD

La búsqueda de la ciencia de mejorar la calidad de vida de las personas lleva a los descubrimientos que tienen lugar en el mundo académico y de laboratorio a ser plasmados posteriormente en tecnología aplicada. Los nuevos materiales no están exentos de esto y una de las aplicaciones más importantes ha sido en el campo de la medicina.

Los polímeros que tienen una aplicación biomédica se los denominan **biomateriales**. Estos son materiales que pueden tener un uso terapéutico, de diagnóstico o para controlar un valor. Como es un material que está en contacto con fluidos biológicos, debe poseer propiedades acordes a las exigencias de cada caso, esto quiere decir que deben tener *biocompatibilidad*, *requisitos físicos* y *químicos* para la aceptación y

buen funcionamiento.

A continuación algunos ejemplos: Se usan *elastómeros* como biomateriales para la fabricación de tubos flexibles como catéteres (tubos implantados en el cuerpo para administrar un medicamento o drenar fluidos). Se usan *termoplásticos*, como polietileno o poliésteres, como membranas en dializadores de la sangre y como sustitutos de vasos sanguíneos. Los plásticos *termoestables* tienen pocos pero importantes usos. Al ser duros, inflexibles y un tanto quebradizos, se les usa con mayor frecuencia en dispositivos dentales o aplicaciones ortopédicas, como los reemplazos de articulaciones.

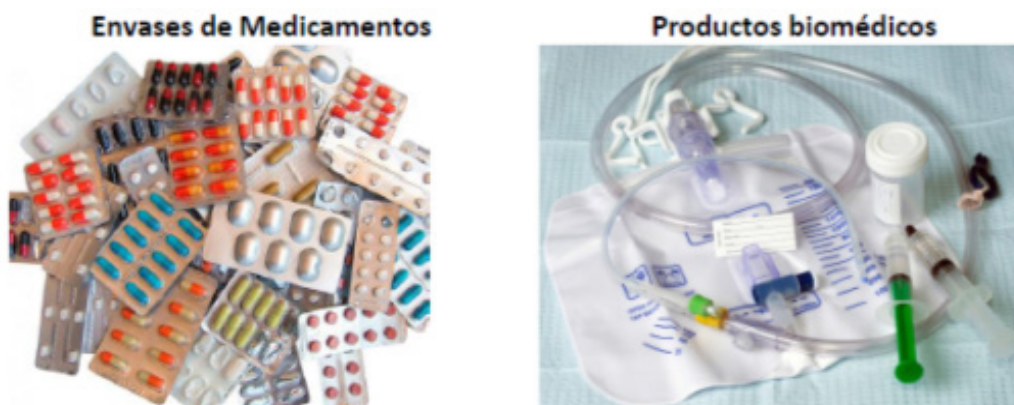


Figura 20: Polímeros utilizados en la fabricación de objetos para la salud.

Pero los polímeros sintéticos que se merecen una mención especial en esta sección, son aquellos que participan de la liberación controlada de fármacos en el organismo. Son una versión mejorada de la clásica cápsula. Estos polímeros son aptos para el consumo humano y sirven de vehículo del medicamento. Cada capsula transporta y protege al medicamento mientras viaja a través del organismo. Luego, en el sistema digestivo, la capsula desprenderá las moléculas del principio activo de forma gradual para que pase al torrente sanguíneo. Como si el material abriera las puertas para que la sustancia salga poco a poco y la asimilación del fármaco sea de manera óptima. Este avance permitió que los problemas de dosis y posibles úlceras se redujeran ya que la liberación controlada extendió el tiempo del medicamento en el cuerpo y por lo tanto hace innecesaria la ingesta de una nueva dosis.

## **LOS POLÍMEROS AMIGABLES: CONTAMINACIÓN VS. CUIDADO DEL AMBIENTE**

La fabricación de materiales está destinada al consumo humano y todo aquello que sea descartado luego del uso de los consumidores será catalogado como *basura*, incluso si aún está en buen estado. Por lo que el término *basura* es muy relativo a los ojos de quien descarte y es aquí

en donde se centran las campañas ecologistas que apuntan a *un menor consumo y mayor reutilización y reciclaje*.

El tiempo que tardan en descomponerse los objetos es corto para los derivados naturales y sorprendentemente extenso para los polímeros sintéticos. Esquematizado en la Figura 21 que se muestra a continuación. Esta es, quizás, la mejor medida para tomar conciencia de la huella que dejamos a nuestro paso. Miremos ahora a los polímeros desde una clasificación de los residuos por el grado de descomposición, aquí tendremos dos categorías: **polímeros biodegradables y no biodegradables**.

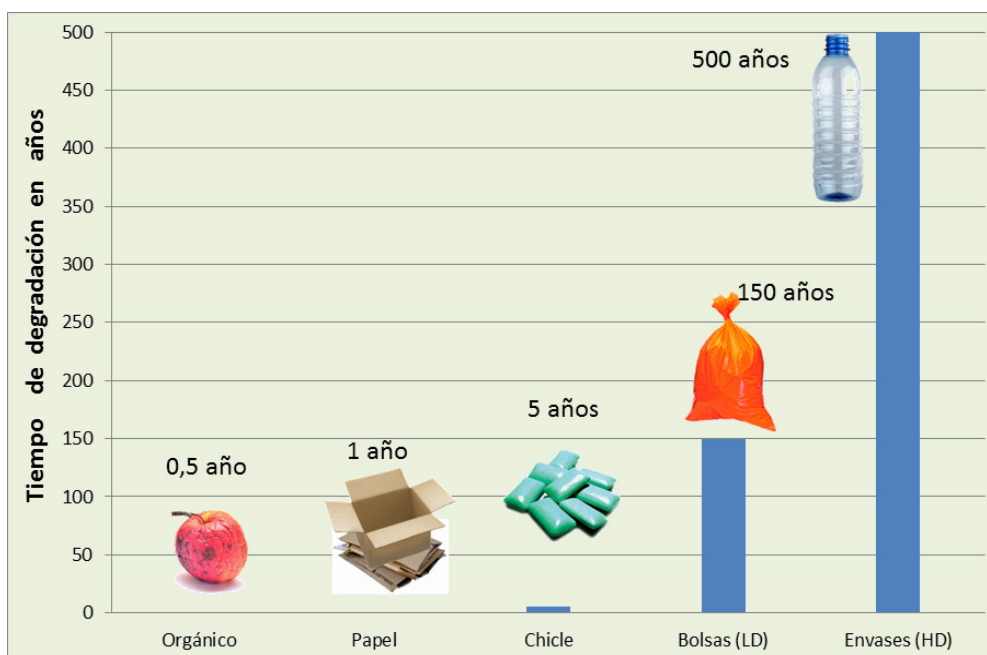


Figura 21: Tiempo que tardan en descomponerse algunos objetos.

Existen polímeros amigables con el ambiente y son los **polímeros biodegradables**, estos polímeros tienen la particularidad que pueden fragmentarse en pequeñas moléculas por acción de los microorganismos, como las polilactidas, ácidos poliglicólicos o policaprolactonas para luego volver al ciclo natural de la Tierra de forma más fácil. Actualmente se están sintetizando polímeros a partir de extractos de plantas en busca de proveer una alternativa más sustentable.

Echemos un vistazo a lo que ocurre con los tipos de **polímeros no biodegradables**, que lamentablemente son la mayoría de los polímeros sintéticos y en promedio necesitan de unos 500 años para descomponerse. La mejor opción sería dejar de fabricarlos y de consumirlos, pero en la actualidad resultaría difícil prescindir de los plásticos. El qué hacer con los residuos está esquematizado la *pirámide invertida de decisiones* que se muestra en la Figura 22. Como se mencionó, el primer y más

importante paso es *evitar* el consumo de polímeros, si esto fuese imposible, entonces quedan tres estrategias posibles, *reducir* el consumo, *reutilizar* el objeto, esto quiere decir, darle el uso que originalmente tenía y por último *reciclar* o asignarle nuevas funciones. Las dos últimas, *disposición energética* y *disponer* hacen referencia a la quema con el objetivo de la recuperación energética y el enterramiento de los residuos.










Figura 22: Pirámide invertida de decisiones.

En cuanto al cuidado del medioambiente, el reciclaje es una de las estrategias más importantes para disminuir el volumen de desechos, por otro lado, es también una estrategia viable económicamente ya que las empresas pueden hacer uso del material polimérico desechado para fabricar nuevos productos y de esta manera disminuir los costos de elaboración.

Cada elemento plástico tiene asignado un número para su posterior reciclaje, llamado *código de reciclaje*. **Éste código normalmente se encuentra en la parte de abajo del** objeto y la numeración indica la factibilidad de reciclar, siendo 1 el más reciclado y el 7 un material no apto para reciclar. Esta información se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Códigos de reciclaje, nombres de sus correspondientes polímeros, fórmulas y usos frecuentes de cada material.

CÓDIGO	NOMBRE	POLÍMERO	USOS
	<b>PET</b> <i>Polietilentereftalato</i>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{O}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} \end{array} \right]_n$	Botellas, bandejas, envases para alimentos.
	<b>HDPE</b> <i>Polietileno de Alta densidad</i>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Envases para jugos, leche, detergente, lavandina y juguetes.
	<b>PVC</b> <i>Policloruro de vinilo</i>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Botellas de shampoo, bolsas.
	<b>LDPE</b> <i>Polietileno de Baja densidad</i>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Bolsas de todo tipo.
	<b>PP</b> <i>Polipropileno</i>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Tapas de botellas, algunas bolsas, juguetes.
	<b>PS</b> <i>Poliestireno</i>	$\left[ \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Vasos, bandejas, cajas de CD, cubiertos descartables.
	<b>Otros</b>	Mezclas complejas de materiales.	No se recicla.

Estas estrategias están basadas en considerar al material desechado como basura, pero que pasaría si esto no fuese así. Los polímeros considerados basura pueden ser el punto de partida de nuevos materiales. Existe un ejemplo muy cercano a esto, una unidad del CONICET en el Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE, CONICET-AVE), desarrolló junto a su equipo de colaboradores, un proceso para la utili-



zación de plásticos reciclados en la elaboración de elementos constructivos, en este caso ladrillos de polietileno-tereftalato (PET).

Cada ladrillo de PET se hace con 20 botellas descartables. Para ello se trituran los plásticos con un molino, luego en una hormigonera común se hace una mezcla con el cemento Portland y el aditivo, que luego se coloca en una bloquera manual que le da forma a los ladrillos. Entre las ventajas técnicas de estos ladrillos se puede mencionar que son cinco veces más aislantes térmicos que los convencionales de tierra cocida, y además más livianos, Figura 23.



*Figura 23: a) Botellas de PET recuperadas b) Triturado de botellas c) Ladrillos hechos de PET y aditivos d) Utilización en construcción.*

Estos ladrillos cuentan con una patente nacional obtenida en el año 2008, y un Certificado de Aptitud Técnica otorgado por la Subsecretaría de Vivienda y Desarrollo Urbano de la Nación en el año 2006.

### **Enfoque CTS: avances científicos, industria química y economía**

Los polímeros están involucrados en muchísimo de los avances de la ciencia y la tecnología, desde las baterías recargables de bajo peso, visores electrocrómicos, sensores químicos, emisores de interferencias electromagnéticas, bloqueadores de radares, aditivos anticorrosivos, membranas para la depuración de agua, conductores electrónicos, películas, telas calefactores, músculos y nervios artificiales (biomecánica), sensores para el reconocimiento de moléculas (biosensores), hasta sistemas liberadores de fármacos (farmacología). Todo esto que en algún

momento era ciencia ficción, hoy son artículos que se pueden conseguir y disfrutar. Sólo profundizaré en dos ejemplos, uno de la biomedicina y el otro de la industria alimenticia.

Recientemente uno de nuestros científicos ha publicado un avance sobre como los polímeros pueden contribuir para transportar genes, como una nueva forma de tratamiento del cáncer. Muchas de las enfermedades tienen un origen genético. La ausencia o mal funcionamiento de uno o varios genes impiden que organismo produzca proteínas sumamente necesarias para la vida. La *terapia génica* es un tratamiento que consta de reemplazar los genes defectuosos con uno funcional. En otras palabras, es una terapia basada en genes y no en fármacos. Para incorporarlos al torrente sanguíneo, se han utilizado varias estrategias de vectores, una de ellas es la de imitar el ingreso de un virus pero sin el material genético viral sino con el terapéutico. La otra, es de incorporar polímeros como vehículos genéticos.

La industria alimenticia también se beneficia de los nuevos materiales y un claro ejemplo son los envases plásticos modificados con componentes antifúngicos para extender la vida útil de alimentos, frutas y verduras. La posibilidad de conservar los alimentos por más tiempo implica poder transportarlos a lugares más lejanos, posibilitando la exportación de producciones regionales y generando un impacto económico mayor.

## **ALGUNAS IDEAS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS POLÍMEROS EN EL AULA**

### **Actividad 1: Búsqueda y reconocimiento de polímeros**

En esta actividad, la propuesta es que el estudiante identifique que objetos de su cotidiano son polímeros y logre catalogarlos según las clasificaciones antes mencionadas. Para ello se puede recurrir a leer las etiquetas y encontrar en la descripción de los productos que da el fabricante, la información que se necesita y el código de reciclaje. Por ejemplo:

- Plásticos: Envases para alimentos.
- Gomas y elastómeros: juguetes, suelas de calzado.
- Fibras: ropa.
- Recubrimientos superficiales: por ejemplo, barnices y pinturas.
- Adhesivos instantáneos: Cola vinílica.

## Actividad 2: Síntesis de un polímero entrecruzado

Esta actividad de bajo nivel de seguridad y de pocos materiales provee al estudiante la experiencia de sintetizar un polímero tipo *juguete*, no tóxico.

El pegamento cola está basado en mezclas de cadenas polivinílicas (con base en el alcohol polivinílico), frecuentemente con acetato de polivinilo y estabilizantes en una disolución acuosa. Tanto el alcohol como el acetato de polivinilo son polímeros en forma de cadena. La adición de un compuesto que pueda establecer enlaces entre las cadenas polivinílicas vecinas hace que se forme un polímero *entrecruzado* con propiedades de un *elastómero*.

En este experimento el compuesto que se añade a la cola blanca es el tetraborato de sodio, conocido como bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ). Las cadenas lineales polivinílicas se unen con iones borato procedentes del bórax formando el elastómero entrecruzado.

### Materiales

- 1 vaso de precipitados de 250 mL
- 1 varilla de vidrio o espátula
- 100 mL alcohol polivinílico o adhesivo vinílico lavable (cola blanca)
- Solución acuosa de bórax,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  al 4% (saturación a 20°C).
- Colorante (Opcional)

### Procedimiento

En un vaso de precipitados de 250 mL se vierten 100 mL de adhesivo vinílico, luego se mezcla con 10 mL de solución de bórax, el colorante si se desea y se homogeneiza rápidamente con una varilla de vidrio. El polímero resultante puede amasarse a mano, deformarse de manera rápida, lenta, extenderse, etc. Cumple con las propiedades esperables de un elastómero.

### Referencias bibliográficas

CEVE-CONICET (<http://www.ceve.org.ar/prensa-divulgacion.php>).

Brown, T., Le May, E., Bursten, B., Murphy, C. (2004). *Química. La ciencia central*. Decimoprimer edición. Pearson

Bruice, P. Y. *Química Orgánica*. Quinta Edición.

Carey, F. (2000). *Organic Chemistry*. Fourth Edition, Boston: Mc Graw-Hill

Seymoure, R. (1988). Polymers are everywhere, *Journal of Chemical Education*, 65 (4), 327-334.

Mc. Murry, J. *Química Orgánica*. Editorial International Thomson Editores.

Perillo, I. (2013). Apuntes de clase. Departamento de Química Orgánica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

Wade, L. G. *Química Orgánica*. Quinta Edición.

## *Para reflexionar*

### **EL APRENDIZAJE DE VALORES A TRAVÉS DE RUTINAS QUE HACEN VISIBLE EL PENSAMIENTO**

Marina Silvia Masullo<sup>1</sup>, Elena Silvia Pérez Moreno<sup>2</sup>, Ligia Quse<sup>1</sup>, Fanny Cativa<sup>3</sup>

*1. Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, República Argentina.*

*2. Departamento de Ingreso. Facultad de Lenguas. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, República Argentina.*

*3. Instituto Secundario Dante Alighieri.*

E-mail: [marina.masullo@unc.edu.ar](mailto:marina.masullo@unc.edu.ar)

**Resumen.** La enseñanza-aprendizaje de valores vinculados con el conocimiento científico viene siendo parte de los diseños curriculares en el nivel secundario en la Argentina. Sin embargo, en el caso de los textos escolares, muchas veces no pasan de ser una propuesta descontextualizada y desconectada del tema de la clase y, otras veces, queda relegada a una actividad al final del capítulo. Con la idea de establecer una búsqueda y exploración conjunta de las ideas, haciéndolas visibles en la interacción en las clases, planteamos el trabajo por medio de una rutina de pensamiento. El trabajo está orientado a impulsar entre los estudiantes la discusión, confrontación y reflexión crítica de las propias prácticas sociales frente a la construcción social sobre un determinado tema crítico para la humanidad.

**Palabras clave:** rutinas de pensamiento, valor social de la ciencia, enseñanza de la Química

#### **The learning of values through routines that make thoughts visible**

**Abstract.** The teaching-learning of values linked to scientific knowledge has been part of the curricular designs at the secondary level in Argentina. However, in the case of school texts, they are often nothing more than a decontextualized proposal disconnected from the class theme and, at other times, relegated to an activity at the end of the chapter. With the idea of establishing a joint search and exploration of the ideas, making them visible in the interaction in the classes, we propose the work by means of a routine of thought. The work is oriented to encourage among the students the discussion, confrontation and critical reflection of the own social practices in front of the social construction

on a certain critical subject for the humanity.

**Key words:** thinking routines, Social value of science, teaching of chemistry

## INTRODUCCIÓN

Desde hace casi tres décadas, la enseñanza-aprendizaje de valores vinculados con el conocimiento científico viene siendo parte de los diseños curriculares en el nivel secundario en la Argentina. Sin embargo, en el caso de los textos escolares, muchas veces no pasan de ser una propuesta descontextualizada y desconectada del tema de la clase y, otras veces, si bien se la pretende conectar queda relegada a ser una actividad al final del capítulo. Según hemos podido observar en el marco de nuestra investigación, en el caso de la interacción que se da en las clases de ciencias, si bien se trabajan como parte del contenido que se desarrolla, solo se suelen priorizar estrategias de debate para temas ambientales o vinculados con salud/enfermedad, entre otros.

En este trabajo, planteamos ir más allá del modo en que se desarrolla habitualmente el trabajo con la promoción de valores en las clases de ciencias; a partir de esto, nos preguntamos: ¿hay otras formas de promover valores en las clases de ciencias?; ¿se pueden promover valores relacionados con las construcciones sociales sobre determinados temas de las ciencias?

Para dar respuesta a lo que nos planteamos primeramente, trabajaremos con una propuesta de clase concreta, en donde proponemos pensar los valores integrados al tema y, por sobre todo, el trabajo está orientado a impulsar entre los estudiantes la discusión, confrontación y reflexión crítica de las propias prácticas sociales frente a la construcción social sobre un determinado tema crítico para la humanidad. Para el cumplimiento de nuestro objetivo y con la idea de establecer una búsqueda y exploración conjunta de las ideas haciéndolas visibles en la interacción en las clases (Ritchhart, Churh, Morrison, 2014), planteamos el trabajo por medio de una rutina de pensamiento (RdP).

En el desarrollo de este trabajo, en un primer momento, se discute qué se entiende por RdP y, posteriormente, presentamos una rutina referida a modelos científicos especialmente diseñada para ser empleada en clases de Química en el nivel secundario, más precisamente al modelo atómico actual y su derivación en aplicaciones científico-tecnológicas que, entre otras cosas, facilitaron la construcción de bombas atómicas. A partir de este tema, se trabaja en dos sentidos: por un lado, se hace hincapié en cuáles pueden haber sido los motivos que provocaron la construcción y uso de ese recurso por parte de determinados gobiernos como arma de destrucción masiva en contiendas militares; por el otro, se reflexiona acerca de cómo incidió en la percepción social del átomo como tema de un texto poético.

## **LAS RUTINAS DE PENSAMIENTO Y LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

Las escuelas pretenden ser un espacio en el que las discusiones profundas sobre enseñar, aprender y pensar sean una parte fundamental de las prácticas docentes. Cuando los docentes promueven hacer visible el pensamiento, no solo se aproximan a lo que el estudiante comprende, sino también sobre cómo lo está comprendiendo.

Desde esta perspectiva, para que los estudiantes aprendan y comprendan es necesario:

I. Crear oportunidades para pensar

II. Hacer visible el pensamiento de los estudiantes

Estas son dos metas diferentes, pero que se potencian en el momento en que se promueve su empleo de manera simultánea. Cuando se crean las oportunidades para pensar se genera el contexto, pero además se requiere diseñar e implementar actividades que promuevan una reflexión crítica respecto de cómo y qué se hizo para pensar y aprender.

Cuando se habla de pensamiento, se hace referencia a los tipos de pensamientos que son particularmente útiles cuando se está tratando de comprender nuevos conceptos e ideas. En el caso de las clases de ciencias, Ritchhart, Churh, Morrison (2014) proponen:

- observar de cerca y decir qué hay ahí;
- construir explicaciones e interpretaciones;
- razonar con evidencia, establecer conexiones;
- tener en cuenta diferentes puntos de vista y perspectivas;
- captar lo esencial y llegar a conclusiones;
- preguntarse y hacer preguntas;
- reconocer la complejidad e ir más allá de la superficie

La palabra "rutina" remite a acciones que se hacen reiteradamente "sin pensar", lo que sugiere un sesgo conductista si se trata de una actividad escolar. Sin embargo, siguiendo la cultura de hacer visible el pensamiento en las clases y desde una perspectiva constructivista, el concepto de *RdP adquiere* un significado diferente ya que puede ser considerada:

1. como herramienta: elegir la rutina dependerá de los tipos de pensamientos que se quieran promover. Es necesario elegir la herramienta adecuada para un determinado trabajo. Por ejemplo, en la rutina *Pensar-Preguntar-Explorar*, los estudiantes deben considerar lo que ya saben sobre un tema específico, estableciendo relaciones con los conocimientos disponibles (ideas previas), después tiene que identificar los interrogantes que pueden formular, lo que implica cuestionarse y hacerse preguntas y finalmente formular planes para explorar;
2. como estructura: la rutina deben ser diseñada cuidadosamente para apoyar y estructurar el pensamiento de los estudiantes. Los pasos de la rutina "actúan como andamiaje que lleva a los estudiantes a niveles cada vez más altos y sofisticados de pensamiento" (Ritchhart, Churh, Morrison; 2014). Se sigue una progresión en donde cada movimiento construye y amplía el pensamiento sobre una idea anterior. Este aspecto secuencial puede ser de gran ayuda. Por ejemplo en la rutina *Ver- Pensar- Preguntarse*, en la que "ver" ofrece una base, para interpretar el paso posterior: "pensar". El pensamiento será más una opinión o un supuesto si no se ha observado con detalle, lo que incidirá en las preguntas que se formulen.
3. como patrón para acciones futuras: la RdP contribuye a establecer un contexto a través de la creación de guiones de comportamiento socialmente compartidos, a la que los estudiantes pueden apelar una y otra vez. Se pretende que la RdP se convierta en "parte del tejido del aula por su uso continuo" (Ritchhart, 2002); son una forma útil de pensar acerca de la práctica de la enseñanza, en la que el aprendizaje no solo depende del diseño de actividades sino de su uso consciente por parte de los estudiantes. Las rutinas de pensamiento (RdPs) son vistas "como la forma en la que hacemos las cosas", como patrones de funcionamiento. Mientras que la mayoría de las rutinas cotidianas dirigen el comportamiento manifiesto, las RdPs dirigen y guían la acción mental (Ritchhard, 2002).

Las RdP no está diseñada para alcanzar una única respuesta, sino para reconocer el pensamiento emergente de los estudiantes. Así el aprendizaje no es "absorber ideas" sino que se trata de reconocer las propias como punto de partida y el aprendizaje implica relacionar las nuevas ideas con el propio pensamiento.

Las RdPs pueden dividirse en tres categorías principales siguiendo un nivel de complejidad creciente de pensamiento y que podrían corresponderse, a modo de sugerencia solamente, con momentos de inicio,



desarrollo y cierre de una unidad didáctica:

- Presentar y explorar
- Sintetizar y organizar
- Profundizar o explorar las ideas más profundamente

Algunos ejemplos:

- ¿Qué te hace decir eso? (Rutina para Interpretar y Justificar).
- Pensar-Cuestionar-Explorar (Rutina para Profundizar y Cuestionar).
- Pensar-Juntarse-Compartir (Rutina para Razonar y Explicar).
- Círculos de Puntos de Vista (Rutina para Explorar distintas perspectivas).
- Solía Pensar – Ahora Pienso (Rutina para Reflexionar sobre ¿Cómo? y ¿Por Qué? nuestro pensamiento ha cambiado).
- Ver-Pensar-Preguntar (Rutina para Explorar Estímulos Visuales).

A partir de este tipo de RdPs, se orienta a los docentes a replantearse su trabajo desde la enseñanza para la comprensión (Stone Wiske, 2006).

## **EL DISEÑO DE LA RDP: TOMAR POSICIÓN**

Considerando los lineamientos curriculares de la Provincia de Córdoba para cuarto año –Química–, se seleccionó el siguiente objetivo:

*Interpretar las contribuciones, potencialidades y límites de los diferentes modelos atómicos propuestos a lo largo de la historia de la Química, comprendiendo el marco en el que aparecieron y las razones que llevaron a su aceptación, incluidos los motivos ajenos a la ciencia.*

Nos preguntamos: ¿qué RdP nos permitiría hacer visible el pensamiento en la aceptación (o no) del modelo atómico vigente en su contexto sociohistórico por parte de científicos y público en general?

En cursos anteriores (según el diseño curricular de la Provincia de Córdoba), ya se ha trabajado el concepto de modelo atómico en general y los modelos de Dalton, Thompson, Rutherford y Bohr. Ya en Cuarto año y habiendo desarrollado para el estudio el modelo mecánico-cuántico del átomo, en un momento anterior; se propone profundizar el valor social, para la comunidad científica y para la sociedad en general (no científi-

cos), del modelo atómico vigente y los usos que se le ha dado en una determinada aplicación tecnocientífica.

Se seleccionó una rutina de profundización: TOMAR POSICIÓN. Esta RdP promueve tomar posición de un personaje o figura histórica. Luego hay que ubicarse en la situación para ver las cosas desde ese punto de vista. Algunas preguntas para considerar son:

¿Qué puede ver esta persona, observar o notar?

¿Qué podría esta persona saber, comprender, considerar o creer?

¿Qué podría a esta persona interesarle e importarle?

¿Qué podría esta persona cuestionarse o preguntar?

Al pedirle al estudiante que formule suposiciones de lo que esta persona observa, comprende, cree, presta atención y cuestiona. Lleva al aprendiz fuera de sí mismo para lograr comprender que la perspectiva del otro, tomada como propia, determina la forma como se comprenden los eventos.

Así, esta RdP puede ser una forma para que los estudiantes impulsen su pensamiento hacia adelante. La selección del material es clave ya que debe evocar una respuesta emotiva o una posición que de alguna manera implica un dilema o una controversia.

En este caso, se seleccionó "Oda al átomo" (anexo 1) del poeta chileno Pablo Neruda<sup>1</sup> (1904-1973), ganador del Premio Nobel de literatura en 1971 y "la carta al presidente Roosevelt" (anexo 2) que escribiera Albert Einstein en 1939. Einstein (1879-1955), también ganador del premio Nobel (1921).

### **Consignas de trabajo**

1. Conformación de grupos pequeños: El equipo deberá realizar una línea de tiempo histórica en el que se sitúe la vida de Neruda, la de Einstein y la segunda guerra mundial y todo acontecimiento que surja de la lectura y/o de la indagación y resulte de interés para el grupo.
2. El grupo realizará la lectura colectiva de la "Oda al átomo" (ANEXO 1) y de la carta de Einstein (ANEXO 2). Los integrantes deberán decidir quiénes se posicionarán en el rol de Neruda y quiénes en el de Einstein. Una vez establecidos los roles, se procederá a trabajar con las preguntas que transcribimos:

---

<sup>1</sup> Pablo Neruda (1904-1973), ganador del Premio Nobel de Literatura en 1971.

3. *Pregunta: ¿Qué puede esta persona (Neruda o Einstein) ver, observar o notar en el momento que escribió la -oda/carta- (según corresponda)?*: se le pide a los estudiantes que se imaginen a sí mismos como la persona (Neruda o Einstein) y se solicita que confeccionen una lista que describa los sentimientos que motivaron la escritura de la oda/carta.
4. *Pregunta: ¿Qué podría esta persona (Neruda o Einstein) saber, comprender o considerar? ¿Qué podría importarle e interesarle a esta persona?* Los estudiantes deben responder desde la perspectiva elegida explicando los motivos que impulsaron la escritura de la oda/carta y responder haciendo hincapié en ¿Qué te hace decir eso? También deben dar cuenta de la información acerca de por qué está persona podría estar interesada sobre estos asuntos. Registrar las ideas.
5. *Pregunta: ¿Qué podría esta persona cuestionarse o preguntar?* Se solicita que hagan una lista de estas ideas desde la perspectiva elegida justificando las razones que lo llevan a pensar eso.
6. *Compartir el pensamiento*: se realiza una puesta en común para que se compare la toma de posición de Neruda y de Einstein que se discutió al interior de cada grupo. Promover la discusión del dilema con toda la clase.

## **CONCLUSIONES PRELIMINARES**

El diseño de la rutina provocó numerosas discusiones al interior del equipo de investigación, interpelando nuestro pensamiento y nuestras concepciones. Uno de los aspectos más sobresalientes fue tener que “correrse de los contenidos”. Si bien había un amplio acuerdo sobre “enseñar para comprender”, en la práctica, resulta complicado separarse del enciclopedismo y de los compromisos del tiempo que implica aplicar una rutina de pensamiento y el tiempo que insume cuando “hay que dar todo el programa”. Viejas estructuras en los docentes son interpeladas por nuevas posturas (ya no tan nuevas). Trabajar al interior del equipo con un gran grupo de miembros que “dan clase” en la escuela secundaria además de pensarse como investigadores ha sido muy enriquecedor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de Educación de la Provincia de Córdoba. Secretaría de Educación Subsecretaría de Promoción de Igualdad y Calidad Educativa Dirección General de Planeamiento e Información Educativa. *Diseño Curricular ENCUADRE GENERAL*. Versión Definitiva 2011-2015. En línea: <http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/EducacionSecundaria/DiseniosCurricSec.php>
- Ritchhard, R. (2002). Thinking routines: Creating the spaces and Structures for thinking. Chapter 5. [http://www.ronritchhart.com/COT\\_Resources\\_files/CHAPTER%205\\_%20Intellectual%20Character.pdf](http://www.ronritchhart.com/COT_Resources_files/CHAPTER%205_%20Intellectual%20Character.pdf)
- Ritchhart, R.; Church, M.; Morrison, K. (2014). *Hacer visible el pensamiento. Cómo promover el compromiso, la comprensión y la autonomía de los estudiantes*, primera edición. Paidós. Buenos Aires.
- Stone Wiske, M., Rennobohm Franz, K., & Breit, L. (2006). *Enseñar para la comprensión con nuevas tecnologías*. Paidós. Buenos Aires.

## ANEXO 1: Neruda Pablo, Oda al átomo.

<http://www.poemas-del-alma.com/pablo-neruda-oda-al-atomo.htm>

Pequeñísima  
estrella,  
parecías  
para siempre  
enterrada  
en el metal: oculto,  
tu diabólico  
fuego.  
Un día  
golpearon  
en la puerta  
minúscula:  
era el hombre.  
Con una  
descarga  
te desencadenaron,  
viste el mundo,  
saliste  
por el día,  
recorriste  
ciudades,  
tu gran fulgor llegaba  
a iluminar las vidas,  
eras  
una fruta terrible,  
de eléctrica hermosura,  
venías  
a apresurar las llamas  
del estío,  
y entonces  
llegó  
armado  
con anteojos de tigre  
y armadura,  
con camisa cuadrada,  
sulfúricos bigotes,  
cola de puerco espín,  
llegó el guerrero  
y te sedujo:  
duerme,  
te dijo,  
enróllate,  
átomo, te pareces  
a un dios griego,  
a una primaveral  
modista de París,  
acuéstate  
en mi uña,  
entra en esta cajita,  
y entonces  
el guerrero  
te guardó en su chaleco  
como si fueras sólo  
píldora  
norteamericana,  
y viajó por el mundo  
dejándote caer  
en Hiroshima.  
  
Despertamos.  
  
La aurora  
se había consumido.

Todos los pájaros  
cayeron calcinados.  
Un olor  
de ataúd,  
gas de las tumbas,  
tronó por los espacios.  
Subió horrenda  
la forma del castigo  
sobrehumano,  
hongo sangriento, cúpula,  
humareda,  
espada  
del infierno.  
Subió quemante el aire  
y se esparció la muerte  
en ondas paralelas,  
alcanzando  
a la madre dormida  
con su niño,  
al pescador del río  
y a los peces,  
a la panadería  
y a los panes,  
al ingeniero  
y a sus edificios,  
todo  
fue polvo  
que mordía,  
aire  
asesino.  
  
La ciudad  
desmoronó sus últimos alvéolos,  
cayó, cayó de pronto,  
derribada,  
podrida,  
los hombres  
fueron súbitos leprosos,  
tomaban  
la mano de sus hijos  
y la pequeña mano  
se quedaba en sus manos.  
Así, de tu refugio  
del secreto  
manto de piedra  
en que el fuego dormía  
te sacaron,  
chispa enceguecedora,  
luz rabiosa,  
a destruir vidas,  
a perseguir lejanas existencias,  
bajo el mar,  
en el aire,  
en las arenas,  
en el último  
recodo de los puertos,  
a borrar  
las semillas,  
a asesinar los gérmenes,  
a impedir la corola,  
te destinaron, átomo,  
a dejar arrasadas  
las naciones,

a convertir el amor en negra  
póstula,  
a quemar amontonados  
corazones  
y aniquilar la sangre.  
  
Oh chispa loca,  
vuelve  
a tu mortaja,  
entiérrate  
en tus manos minerales,  
vuelve a ser piedra ciega,  
desoye a los bandidos,  
colabora  
tú, con la vida, con la  
agricultura,  
suplanta los motores,  
eleva la energía,  
fecunda los planetas.  
Ya no tienes  
secreto,  
camina  
entre los hombres  
sin máscara  
terrible,  
apresurando el paso  
y extendiendo  
los pasos de los frutos,  
separando  
montañas,  
enderezando ríos,  
fecundando,  
átomo,  
desbordada  
copa  
cósmica,  
vuelve  
a la paz del racimo,  
a la velocidad de la alegría,  
vuelve al recinto  
de la naturaleza,  
ponte a nuestro servicio,  
y en vez de las cenizas  
mortales  
de tu máscara,  
en vez de los infiernos  
desatados  
de tu cólera,  
en vez de la amenaza  
de tu terrible claridad,  
entrérganos  
tu sobrecogedora  
rebeldía  
para los cereales,  
tu magnetismo desencadenado  
para fundar la paz entre los  
hombres,  
y así no será infierno  
tu luz deslumbradora,  
sino felicidad,  
matutina esperanza,  
contribución terrestre.

**ANEXO 2:** *Einstein, Albert (1939). Carta al presidente Roosevelt (el original es en inglés).*

<https://k19.kn3.net/taringa/6/0/3/2/5/1/1/estoymuyaltomix/94A.jpg?8083>

Señor:

Algunos recientes trabajos de E. Fermi y L. Szilard, quienes me han sido comunicados mediante manuscritos, me llevan a esperar, que en el futuro inmediato, el uranio pueda ser convertido en una nueva e importante fuente de energía. Algunos aspectos de la situación que se han producido parecen requerir mucha atención y, si fuera necesario, inmediata acción de parte de la Administración. Por ello creo que es mi deber llevar a su atención los siguientes hechos y recomendaciones.

En el curso de los últimos cuatro meses se ha hecho probable – a través del trabajo de Joliot en Francia así como también de Fermi y Szilard en Estados Unidos – que podría ser posible el iniciar una reacción nuclear en cadena en una gran masa de uranio, por medio de la cual se generarían enormes cantidades de potencia y grandes cantidades de nuevos elementos parecidos al uranio. Ahora es casi seguro que esto podría ser logrado en el futuro inmediato.

Este nuevo fenómeno podría ser utilizado para la construcción de bombas, y es concebible –pienso que inevitable- que pueden ser construidas bombas de un nuevo tipo extremadamente poderosas. Una sola bomba de ese tipo llevada por un barco y explotada en un puerto, podría muy bien destruir el puerto por completo, conjuntamente con el territorio que lo rodea. Sin embargo tales bombas podrían ser demasiado pesadas para ser transportadas por aire.

Los Estados Unidos tiene muy pocas minas de uranio, con vetas de poco valor y en cantidades moderadas. Hay muy buenas vetas en Canadá y en la ex Checoslovaquia, mientras que la fuente más importante de uranio está en el Congo Belga.

En vista de esta situación Ud. podría considerar que es deseable tener algún tipo de contacto permanente entre la Administración y el grupo de físicos que está trabajando en reacciones en cadena en los EEUU. Una forma posible de lograrlo podría ser comprometer en esta función a una persona de su entera confianza quién podría tal vez servir de manera extraoficial, Sus funciones serían las siguientes:

- a) Estar en contacto con el Departamento de Gobierno, manteniéndolos informados de los próximos desarrollos, y hacer recomendaciones para las acciones de gobierno, poniendo particular atención en los problemas de asegurar el suministro de mineral uranio para los EEUU.
- b) acelerar el trabajo experimental, que en estos momentos se efectúa

con los presupuestos limitados de los laboratorios de las universidades, con el suministro de fondos. Si esos fondos fueran necesarios con contactos con personas privadas que estuvieran dispuestas a hacer contribuciones para esta causa, y tal vez obteniendo cooperación de laboratorios industriales que tuvieran el equipo necesario.

Tengo entendido que Alemania actualmente ha detenido la venta de uranio de las minas de Checoslovaquia, las cuales han sido tomadas. Puede pensarse que Alemania ha hecho tan claras acciones porque el hijo de Sub Secretario de Estado Alemán, Von Weizacker, está asignado al Instituto Kaiser Wilhelm de Berlín, donde algunos de los trabajos americanos están siendo duplicados.

Su Seguro Servidor,

A. Einstein

*Einstein, Albert (1939). Carta al president Roosevelt. Original en inglés.*

<http://wow.mx/scottybeammeup/2014/07/CartaOriginal.jpg?cbac0e>

Albert Einstein  
Old Grove Rd.  
Nassau Point  
Peconic, Long Island  
August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,  
President of the United States,  
White House  
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

-2-

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia while the most important source of uranium is Belgian Congo.

In view of this situation you may think it desirable to have some permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an unofficial capacity. His task might comprise the following:

a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States;

b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,  
*A. Einstein*  
(Albert Einstein)

## *De interés*

### **CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DE PROFESORES UNIVERSITARIOS SOBRE LOS TRABAJOS PRÁCTICOS DE QUÍMICA INORGÁNICA**

Germán H. Sanchez<sup>1,2,3\*</sup>; Héctor S. Odetti<sup>1</sup>; M. Gabriela Lorenzo<sup>2,3</sup>

1- Universidad Nacional del Litoral (UNL), Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas (FBCB), Departamento de Química General y Química Inorgánica, Laboratorio de Alternativas Educativas (LAE) - Santa Fe, Argentina.

2- Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Farmacia y Bioquímica (FFyB), Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica (CIAEC); Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

3- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

E-mail: [gsanchez@fbc.unl.edu.ar](mailto:gsanchez@fbc.unl.edu.ar)

**Resumen.** El modelo del conocimiento didáctico del contenido (CDC) resulta de utilidad para conocer las ideas y conocimientos que sobre un determinado tópico poseen los profesores. Dada la importancia que se le asigna a la práctica experimental en la enseñanza universitaria, en este trabajo comenzamos a documentar CDC de un grupo de profesores de química inorgánica sobre las clases prácticas de laboratorio. Se implementó una tarea individual de lápiz y papel inspirada en el cuestionario original "Representación del Contenido" a quince docentes con diferentes perfiles. Los textos producidos fueron analizados empleando la teoría fundamentada. Los resultados muestran que los docentes consideraban al trabajo experimental de utilidad para la incorporación de habilidades y destrezas prácticas pero priorizaban contenidos vinculados a la justificación de los fenómenos observados a través de cálculos termodinámicos. Mientras otros aspectos (contextualización, informes de laboratorio) no fueron considerados por ellos.

**Palabras claves.** Conocimiento didáctico del contenido; Trabajos prácticos; Laboratorio; Química inorgánica; Enseñanza universitaria

#### **Pedagogical knowledge of university teachers about inorganic chemistry practical laboratory classes**

**Abstract.** The pedagogical content knowledge (PCK) is useful model to know the ideas and knowledge that teachers have about an specific topic. Taking into account the importance given to experimental practice in university education, in this work we began to document PCK of a group of inorganic chemistry teachers about practical laboratory classes. An individual task of pencil and paper



was implemented based on the original questionnaire "Content Representation" to fifteen teachers with different profiles. The texts produced were analyzed using grounded theory. The results show that teachers considered useful the experimental work for the incorporation of practical skills but prioritized content linked to the justification of observed phenomena through thermodynamic calculations. Other particular aspects (contextualization, laboratory reports) were not considered by them.

**Key words.** Pedagogical content knowledge, laboratory classes, laboratory, inorganic chemistry, university

## ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA EN EL LABORATORIO

¿Alguna vez se ha preguntado por qué los materiales del laboratorio de química son de vidrio? La química es una ciencia visual que recurre a las observaciones de todo lo que pueda ser visto, olido o sentido, antes, durante o después de un experimento (Weininger, 1998).

El trabajo experimental en el laboratorio ha estado presente en la enseñanza de las ciencias desde el siglo XIX (Blosser, 1990) y, actualmente, existe un gran consenso sobre la importancia que tienen estas actividades para el aprendizaje (Nakhlet, Polles y Malina, 2002). Por eso, las clases experimentales siempre han tenido un rol preponderante en la enseñanza de la química y otras ciencias naturales (Hofstein y Mamlok-Naaman, 2007). El laboratorio y los trabajos prácticos que allí puedan desarrollarse constituye el escenario más apropiado para lograr una enseñanza de calidad según expresan los profesores de las asignaturas en esta área (Hernández Millán, 2012). Sin embargo, Reid y Shah (2007) indican que existen voces disonantes al respecto. Por un lado, los costos de manutención de los laboratorios son extremadamente altos respecto a la incidencia en el aprendizaje; y por otro, la enseñanza suele estar centrada en la manipulación y experimentación y no en la construcción de saberes significativos.

En líneas generales, parece haber acuerdo con el listado de objetivos propuestos por Shulman y Tamir en el *Second Handbook of Research on Teaching* (Travers, ed., 1973, pág. 1119):

- 1) Desarrollar habilidades manuales, inquisitivas, de investigación, organizativas y comunicativas.
- 2) Favorecer el aprendizaje de conceptos (por ejemplo: hipótesis, modelos teóricos, categorías taxonómicas).
- 3) Promover actividades cognitivas (pensamiento crítico, resolución de problemas, aplicación, análisis, síntesis, entre otras).
- 4) Facilitar la comprensión de la naturaleza de la ciencia y de la empresa científica, el trabajo de los científicos, la existencia de múltiples méto-

dos científicos, las interrelaciones entre la ciencia y la tecnología y entre diversas ciencias entre sí.

5) Estimular actitudes como curiosidad, interés, objetividad, confianza, perseverancia, toma de riesgos, satisfacción, responsabilidad, consenso y colaboración. Sin embargo, este conjunto de metas no sería exclusivo del laboratorio, sino que podría aplicarse convenientemente a las clases de ciencias en general.

Por otro lado, pueden encontrarse en el laboratorio algunas metas particulares, que Johnstone y Al-Suahili (2001) denominan "*metas afectivas*". Estas incluyen, por un lado, las actitudes hacia la ciencia como el interés, la motivación y la satisfacción; y, por otro, las actitudes científicas como el pensamiento independiente y crítico, la objetividad, o mostrar el campo de los laboratorios de investigación.

Además, Gupta (2001) resalta la enseñanza del método experimental para la familiarización con el equipamiento del laboratorio y la toma de mediciones, el entrenamiento en la observación, la deducción a partir de la observación, y la redacción de informes. A su vez, le otorga a las clases prácticas un carácter complementario e ilustrativo de los contenidos desarrollados en las clases teóricas, es decir "la práctica al servicio de la teoría" (Seré, 2002). Sin embargo, también señala que la principal causa de fracaso de las clases de laboratorio radica en que la práctica intenta reforzar las clases teóricas en lugar de enseñar el método experimental; y, también en que cuando se enseña el método experimental, se lo hace de tal modo que no representa un desafío para los estudiantes, ya que implica conocimientos de baja exigencia cognitiva. Esta "visión distorsionada" de trabajo científico es producto de la propia cultura escolar que ha enfatizado la importancia del aprendizaje de hechos y conceptos frente al desarrollo de destrezas y la justificación de las operaciones y las acciones realizadas (Reigosa Castro y Jiménez Aleixandre, 2000).

Las prácticas de laboratorio tradicionales fueron pensadas como una oportunidad de ofrecer a los estudiantes un "contacto directo" con los fenómenos naturales. En contraposición a esta postura, Nakhleh, Polles y Malina (2002) cuestionan este enfoque y plantean que el aprendizaje en el laboratorio se fundamenta en las interacciones entre estudiantes y profesores con la complejidad del propio laboratorio y la cada vez más extendida utilización de instrumentos científicos.

El trabajo en el laboratorio se desarrolla en un entorno rico en información (Nakhleh, Polles y Malina, 2002), operativamente definido por Domin (1999) como las influencias externas que interactúan con el aprendizaje durante el proceso de aprendizaje. Este entorno, por tanto, condiciona no sólo lo que se aprende o debe aprenderse, sino también, el modo cómo se aprende. En teoría entonces, el trabajo en el laboratorio debe-

ría poder ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades prácticas y también a adquirir conocimientos, así como favorecer la comprensión de conceptos, principios, modelos y teorías. Sin embargo, el pensamiento efectivo en el laboratorio, suele ser a menudo inhibido precisamente por el exceso de información del entorno que sobrepasa la limitada memoria de trabajo de los seres humanos (Byers, 2002).

### **Del laboratorio de investigación al laboratorio para la enseñanza**

En las carreras universitarias donde la química forma parte de las disciplinas estructurantes, su enseñanza suele estar organizada por una combinación de aspectos teóricos y aspectos prácticos. Ambos aspectos pueden formar parte de la misma o de distintas clases y a su vez, pueden estar a cargo de un único docente o no. En este último caso, a los profesores con mayor experiencia se les suele otorgar las clases de tipo teórico, mientras que, a aquellos docentes que recién se inician en el dictado de la asignatura, se los asigna a las clases de laboratorio. Así, las clases de laboratorio de química han tenido como fin principal, replicar lo establecido y estudiado previamente en las clases teóricas. En contraposición a los modelos tradicionales, las propuestas basadas en modelos de tipo constructivista, consideran que las clases de laboratorio también tendrían como fin construir significados complementando a los contenidos teóricos y retroalimentándose mutuamente (Reid y Shah, 2007).

Dado que en las instituciones en donde se imparten estas disciplinas suele también desarrollarse investigación científica, pareciera existir el supuesto que el investigador, ya sea este becario o investigador formado, que desarrolla su actividad en el laboratorio de investigación, podría de manera natural y espontánea transferir esos conocimientos de un contexto a otro sin mediar dificultad. Tal vez por eso hasta ahora, no haya estudios que indaguen si los docentes emplean o poseen un tipo de conocimiento particular para enseñar actividades prácticas de laboratorio y de ser así, en qué se diferencia del que se requiere para enseñar otro tipo de clases.

En este sentido, para comenzar a dar respuestas a estas cuestiones, el modelo del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) – *Pedagogical Content Knowledge, PCK* – ofrece una alternativa apropiada para hacerlo, porque permite a los profesores elegir analogías, ejemplos y demostraciones que resulten mejores y más efectivos para enseñar cierto tema a un determinado grupo de estudiantes (Garritz, Daza, Lorenzo, 2014). Este conocimiento profesional de los profesores fue definido inicialmente por Shulman (1986) y relaciona el contenido disciplinar con la pedagogía.

Al hablar de contenido, no solamente nos referimos a los conceptos

y teorías de una determinada disciplina, sino también a los modos de construcción de conocimiento y al saber hacer de una determinada ciencia. Es por eso, que los trabajos prácticos constituyen un contenido fundamental y particular para los profesores de química, donde el conocimiento que los docentes posean sobre ellos condicionará sus estrategias y formas de enseñarlos (Sánchez, Odetti y Lorenzo, 2017a, en prensa).

Uno de los métodos más difundidos para la investigación y documentación del CDC, fue desarrollado por Loughram, Mulhall y Berry (2004), consistente en dos instrumentos que permiten recabar tanto teorías expuestas como en uso, la Representación del Contenido (ReCo) y los Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica o Inventarios (RePyPs). Garritz y sus colaboradores (Garritz y Trinidad-Velasco, 2006, Padilla, Ponce de León, Rembado y Garritz, 2008) han realizado modificaciones en la implementación de esta metodología, utilizando la ReCo como herramienta para la indagación de aspectos meta científicos y enfoques de enseñanza relacionados con la ciencia, la tecnología y la sociedad. Nuestro grupo de trabajo ha avanzado en la implementación del análisis del discurso como herramienta metodológica para la documentación del CDC especialmente para los docentes universitarios, complementando los aspectos de la metodología tradicional (Lorenzo y Farré, 2009; Farré y Lorenzo, 2009; Farré y Lorenzo, 2014a; Farré y Lorenzo, 2014b).

## **OBJETIVO**

A pesar de que el trabajo en el laboratorio es declamado como muy importante para la enseñanza de la química, cada vez son menos las horas destinadas a su realización. Una probable explicación de esta situación podría ser entendida por las dificultades que los docentes deben enfrentar a la hora de diagramar y llevar adelante un trabajo práctico. Con el fin de comenzar a encontrar respuestas que ayuden a la elaboración de propuestas alternativas para la formación y actualización de los profesores de química, el objetivo del presente trabajo es documentar el CDC en uso de docentes universitarios en ejercicio sobre clases de laboratorio de química inorgánica. De esta manera se pretende recabar información que arroje luz sobre el lugar que los docentes le asignan a las clases prácticas de laboratorio para la formación del futuro graduado universitario.

## **METODOLOGÍA**

Esta investigación se enmarca en una perspectiva interpretativa con un diseño metodológico que privilegia el carácter contextualizado desde una perspectiva cualitativa, con un diseño de tipo transversal intersujeto que analiza y compara las distintas respuestas de los docentes a la tarea escrita.

La investigación se llevó a cabo durante el ciclo lectivo 2015, en la Fa-

cultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral, República Argentina. El escenario correspondió a las clases de laboratorio de la asignatura Química Inorgánica correspondiente al primer año de estudios de las carreras de Bioquímica, Licenciatura en Biotecnología, Licenciatura en Saneamiento Ambiental, Tecnicatura y Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo. Estas clases se desarrollaban en dos encuentros semanales en el laboratorio, uno de tres horas y otro de tres horas y media de duración que abarcan las actividades de lápiz y papel (recuperación de los contenidos teóricos, resolución de ejercicios y problemas) y actividades experimentales en el laboratorio. A modo de ejemplo, en la tabla 1 se muestra una actividad de cada tipo.

Tabla 1. Tipo de actividades encontradas en la guía del alumno de química inorgánica de la FBCB – UNL.

Tipo de Actividad		Ejemplo
De lápiz y papel	Teórica	"Es posible que todos los compuestos de carbono de la naturaleza provengan del $\text{CO}_2$ atmosférico. Complete y explique brevemente el ciclo del dióxido de carbono en la naturaleza."
	Resolución de ejercicios y problemas	"Cuáles serán los pH de precipitación de los siguientes cationes en solución acuosa $1 \cdot 10^{-3}\text{M}$ . ¿Cuál será el rango de acidez donde es posible mantener tales cationes en solución sin que precipiten? a) $\text{Mn}^{2+}$ b) $\text{Fe}^{2+}$ c) $\text{Ni}^{2+}$ d) $\text{Cu}^{2+}$ e) $\text{Fe}^{3+}$ "
Experimental		"a) Colocar en un vidrio de reloj, azúcar y agregar $\text{H}_2\text{SO}_4$ comercial. b) En dos tubos de vidrio colocar una granalla pequeña de Zn y virutas de Cu, respectivamente, agregar gotas de ácido sulfúrico diluido. Repetir la experiencia con Cu pero agregando ácido sulfúrico concentrado, calentar si es necesario. Interpretar mediante reacciones los cambios observados, justificándolas."

A estas clases, llamadas por el personal de la cátedra "clases integradas", asistían aproximadamente cuarenta estudiantes a cargo de un equipo docente conformado por dos con mayor experiencia y uno o dos, noveles.

La propuesta de actividades para cada clase es conocida por los docentes y los estudiantes a través de los materiales didácticos que ofrece la cátedra. La planificación de las clases ha sido definida, y la guía de actividades elaborada, por un grupo de docentes de mayor jerarquía. Si bien, las clases transcurren en el contexto particular del laboratorio y se realizan actividades manipulativas por parte de los estudiantes, este acercamiento inicial no se observan grandes diferencias con otro tipo de clases universitarias y se encuadran dentro del modelo tradicional (Sánchez, Odetti y Lorenzo, 2017b, en prensa).

Para documentar el CDC, se adaptó el cuestionario original Representación del Contenido (Loughram, Mulhall y Berry, 2004) resultando una tarea de lápiz y papel conformada por un cuestionario abierto de nueve preguntas de respuesta abierta según se detalla en la Tabla 2:

*Tabla 2. Tarea de lápiz y papel inspirada en el cuestionario de Loughram, Mulhall y Berry (2004) para documentar la representación del contenido.*

Seguramente su asignatura incluye algún tipo de trabajo práctico.	
1.	Describa brevemente en qué consisten los TP de su asignatura.
2.	Ud. en su rol de "docente" ¿qué intenta que sus estudiantes aprendan al concurrir a esas clases de TP?
3.	Reflexione y enuncie de manera argumentada por lo menos 3 razones por las cuales, desde su punto de vista, resulta importante para sus estudiantes aprender sobre los aspectos desarrollados en los TP.
4.	¿Qué aspectos sobre los temas desarrollados en los TP conoce pero considera que todavía no es el momento de enseñárselos a sus estudiantes (al menos 3).
5.	¿Cuáles son las dificultades o limitaciones relacionadas con la enseñanza de los TP en su asignatura (al menos 3)?
6.	¿A la hora de planificar los TP, tiene en cuenta algún aspecto particular de sus estudiantes? ¿Cuál/es? ¿Cómo influye/n en su forma de enseñar los TP?
7.	Además de aspectos relacionados con el alumno, ¿Qué otros factores influyen en la enseñanza de los TP de su asignatura?
8.	¿Qué estrategias de enseñanza emplea en los TP de su asignatura? ¿Por qué se utilizan esas estrategias y no otras?
9.	A la hora de evaluar la comprensión de los estudiantes en los TP de su asignatura, ¿Cómo lo hace?

Esta tarea fue aplicada, una vez finalizado el curso, a quince docentes universitarios a cargo de clases de laboratorio de la asignatura mencionada. Su participación fue voluntaria y las respuestas abordadas de manera confidencial. En la tabla 3 se presenta el perfil general (para mantener la confidencialidad) de los participantes a partir de los datos recabados durante la aplicación de la tarea. Se consideraron tres niveles de acuerdo con la categoría docente, asignando al nivel 1 la mayor jerarquía. En cuanto a su formación profesional, la mayoría de ellos son graduados de carreras donde la química forma parte central de la currícula, o estudiantes de dichas carreras (Bioquímica, Licenciatura en Biotecnología, en Saneamiento Ambiental o Profesorado en química)

Los textos producidos por los docentes, fueron analizados utilizando la teoría fundamentada (Glaser y Strauss, 1967). El análisis fue llevado a cabo de manera independiente por dos investigadores, los resultados

obtenidos fueron contrastados y los desacuerdos fueron discutidos y argumentados hasta llegar a consenso.

Tabla 3. Perfil general de los docentes participantes.

Docente	Nivel de la categoría docente	Género	Años de ejercicio	Formación posgrado	Capacitación en docencia	Investiga
D1*	1	M	37	Sí	Sí	Sí
D2*	1	M	19	Sí	No	Sí
D3	1	F	35	Sí	Sí	Sí
D4	1	F	30	Sí	Sí	Sí
D5	1	F	32	Sí	Sí	Sí
D6	2	F	4	No	No	No
D7	2	M	2	Sí	No	Sí
D8	2	M	5	No	Sí	Sí
D9	2	M	14	No	No	Sí
D10	2	M	8	Sí	Sí	No
D11	2	F	4	No	No	Sí
D12	3	F	2	No	No	No
D13	3	F	1	No	Sí	No
D14	3	F	1	No	No	No
D15	3	F	1	No	No	No

\* Autores de las guías de actividades para docentes y estudiantes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis inicial de los datos brindados por los docentes participantes (tabla 3), mostró una gran dispersión en los años de experiencia profesional docente (entre 1 y 37 años). En la Figura 1 se muestra la distribución por años de antigüedad y por nivel de la categoría docente. En este primer estudio, de carácter exploratorio, se analizaron en conjunto la totalidad de las respuestas para intentar detectar ciertos rasgos comunes que den cuenta del CDC y posibles diferencias en relación a ambas categorías de análisis (años de experiencia y nivel de categoría).

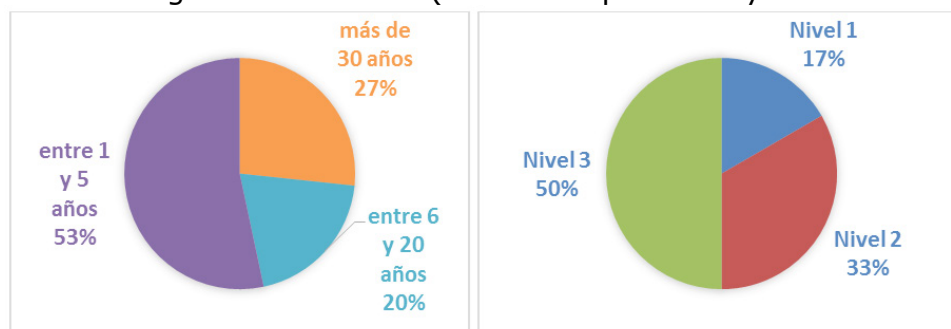


Figura 1: Porcentaje de los docentes participantes según: A) Años de ejercicio de los docentes participantes (izquierda) y B) Nivel de jerarquía del cargo (derecha).

En cuanto al análisis de las respuestas al cuestionario encontramos lo siguiente:

*Preguntas 1 y 2.* Estas preguntas apuntaban a conocer cómo son y cuáles son los objetivos de aprendizaje de los trabajos prácticos de la asignatura.

La mayoría de los docentes participantes (11 de 15) indicó que la asignatura se encuentra organizada de manera integrada con actividades teóricas, de resolución de problemas y de laboratorio donde se abordan contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales en cada caso. Los docentes señalaron como objetivos de aprendizaje a las propiedades, obtención y caracterización de sustancias inorgánicas y a la "justificación a través de cálculos termodinámicos" (D2). Por otro lado, también resaltaron como importante el aprendizaje de "destrezas y habilidades manuales" (D7) y "manipulación de material de laboratorio" (D8). Los contenidos actitudinales también fueron tenidos en cuenta, tales como el trabajo en grupo, las normas de bioseguridad, el respeto y la solidaridad (En la Figura 2, se transcriben los dichos de D3).

- Que aprendan sobre los  $\neq$ s elementos qcos, sus propiedades y usos.
- Que adquieran destrezas para manipular el material de laboratorio y la realización de ensayos simples.
- Que tengan actitud de ciencia para la resolución de distintos problemas. Espíritu crítico y valores como solidaridad, trabajo en grupo y respeto.

*Figura 2: Transcripción de la respuesta de D3 a la pregunta 2 de la tarea de lápiz y papel.*

*Pregunta 3.* Al momento de responder sobre la importancia de los contenidos que se enseñan en los trabajos prácticos de su materia, en primer lugar, citaron a la teoría y consideraron a la práctica de laboratorio como subordinada a ella: "relacionar lo aprendido en los conceptos teóricos" (D6). Esto podría interpretarse como que la práctica de laboratorio, a pesar de lo que generalmente indica la literatura, podría incluso no estar presente en las clases.

*Pregunta 4.* Esta pregunta indaga sobre los conocimientos que el docente posee sobre un cierto tema, más allá de lo que deba enseñar y sirve para indagar cómo éste podría afectar su CDC. Algunos docentes participantes (D1, D4, D6, D9, D10, D11) indicaron que "nada" queda por fuera de los trabajos prácticos, mientras que otros (D2, D3, D7, D8, D11, D12) indican que dejan fuera los diferentes tipos de aplicaciones de los conocimientos implicados en el trabajo práctico: "aplicaciones



*específicas de los temas desarrollados” (D7); “aplicaciones biológicas” (D2). Mientras que D5 responde sobre aquellos contenidos que son desarrollados en el cursado y deberían quedar por fuera.*

*Pregunta 5.* Esta pregunta hace referencia a las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza. Las respuestas de los docentes a esta pregunta, en lugar de centrarse sobre los aspectos de la enseñanza y en la propia práctica, pusieron su atención en problemas relacionados con el estudiante: *“el alumno de nuestra carrera no toma conciencia de lo importante que son estos contenidos en su profesión” (D1); “el escaso conocimiento y lectura previa que trae el alumno sobre el tema a desarrollar cada semana” (D3); “nula transferencia de conocimientos a situaciones nuevas” (D5).*

Estos comentarios de los docentes nos hacen preguntarnos si, así como la teoría prevalece sobre la práctica, la función docente no estaría siendo priorizada sobre el rol del estudiante.

*Pregunta 6.* Aquí se buscaba conocer cómo los docentes pensaban la planificación del desarrollo de cada clase, y en particular, las actividades de laboratorio con relación a las particularidades de los estudiantes. Las respuestas se orientaron hacia la planificación de la asignatura en términos de la currícula.

Respecto de los estudiantes, D1, manifestó no tener en cuenta a los estudiantes a la hora de planificar, priorizando las “necesidades” de la carrera (Figura 3).

Al planificar los TP tengo en cuenta las necesidades de la carrera y no tengo en cuenta a los alumnos.
--

*Figura 3: Transcripción de la respuesta de D1 a la pregunta 6.*

*Pregunta 7.* Para conocer aspectos adicionales que podrían influir sobre la enseñanza de los trabajos prácticos, de manera separada a los proporcionados para los estudiantes, se incluyó esta pregunta. En este caso, algunos docentes (D5, D7, D9) hicieron referencia a la necesidad de formación de los docentes noveles, que en algunos casos cuya falta podría resultar en una dificultad en la enseñanza. De manera implícita e indirecta, se puso en evidencia la importancia de la formación del docente universitario. La tradición muestra que el novato es incorporado a las clases de un docente experto para que de modo artesanal y por imitación, estudiando por su cuenta los contenidos disciplinares, logre convertirse en un buen docente; aunque no queda claro, la efectividad de este tipo de formación.

*Pregunta 8.* Aquí se preguntó sobre las estrategias de enseñanza utiliza-

das. En la mayoría de los casos, los docentes manifestaron recurrir a la exposición como estrategia principal utilizando preguntas como disparadores para el análisis de respuestas de los estudiantes: "Se emplea un modelo transmisión-recepción con muy poco grado de participación de los alumnos que esperan que se les den las respuestas" (D5).

Pregunta 9. Finalmente, se indagó sobre la manera de evaluar la comprensión de los estudiantes en los trabajos prácticos. Algunos docentes (D1, D5, D12) indicaron que no realizan evaluación de los aprendizajes durante el desarrollo de sus clases, otros optan por realizar una evaluación de la comprensión a través de preguntas al estudiantado (D2, D3, D6, D7, D8, D9, D13, D14), mientras que una docente (D4) y sus colaboradores (D10, D11 y D15) optan por realizar evaluaciones escritas.

Las respuestas al cuestionario también reconocen ciertas ausencias que se hicieron visibles durante el análisis. Fue notorio que ninguno de los docentes hiciera referencia la utilización de informes de laboratorio, teniendo en cuenta su relevancia no sólo en las clases experimentales sino en las prácticas profesionales a las que se orientan las carreras.

## **CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

Un primer aspecto emergente de esta investigación, fue la heterogeneidad del perfil docente que se encuentra dictando la asignatura, tanto en la formación de grado y posgrado, la experiencia docente, los roles que desempeñan en el aula, entre otros. Esto plantea nuevos interrogantes hacia el futuro, para analizar si estas diferencias tienen algún tipo de impacto en las prácticas de enseñanza. Los resultados mostraron que las ideas mayoritarias en este grupo particular de docentes universitarios son coherentes con lo expresado por Gupta (2001) y Seré (2002) y el listado de objetivos enunciados por Shulman y Tamir (1973) que hemos presentado al inicio de este artículo. Entre las principales ideas mencionadas sobre el trabajo experimental encontramos la incorporación de habilidades y destrezas prácticas junto con el correcto uso del material, el trabajo en equipo, el respeto mutuo, las normas de seguridad. Por su parte, los contenidos priorizados en este tipo de clases fueron la justificación a través de cálculos matemáticos con datos termodinámicos de los fenómenos observados. No obstante, ciertos elementos como la presentación de informes no fueron mencionados por los docentes en sus respuestas.

Estos primeros resultados nos llevan a pensar que la enseñanza de clases prácticas en el laboratorio requiere de conocimientos específicos por parte de los docentes. En este sentido, los estudios sobre el conocimiento didáctico del contenido sobre los trabajos prácticos, puede contribuir tanto para la comprensión de la problemática de la práctica educativa como a la formación de los docentes (Sánchez, Odetti y Lorenzo, 2017a)

que deben afrontar esta apasionante tarea.

El reclamo de los docentes con mayor experiencia en el dictado de este tipo de actividades, respecto a sus colegas con menor formación, parece ser un indicador de la necesidad de reflexionar sobre la formación de los docentes universitarios y de investigaciones como la que aquí presentamos.

Otros aspectos como la relación de los trabajos prácticos con otros fenómenos de la vida profesional o cotidiana, los aportes de la investigación científica a la tarea de enseñanza o las concepciones sobre los nuevos roles de profesores y alumnos, merecen un estudio más detallado que permita determinar su participación como parte del conocimiento didáctico del contenido.

Con el fin de complementar estos resultados estamos realizando el análisis de las observaciones de las clases para comparar las relaciones entre lo que se hace con lo que se dice que se hace, de modo de seguir profundizando en la descripción de las prácticas universitarias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto de Investigación del CONICET PIP N° 11220130100609CO (2014-2016). La co-construcción de conocimiento científico en química y física. Profesores y estudiantes en interacción.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Blosser, P. (1990). The role of the laboratory in science teaching, *Research Matters to the science teacher* N° 9001. Consultado el 20/11/16 en <https://www.narst.org/publications/research/labs.cfm>
- Byers, W. (2002). Promoting active learning through small group laboratory classes. *University Chemistry Education*, 6, 28-34.
- Domin, D. (1999). A review of laboratory instruction styles, *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 543-547.
- Farré, A. y Lorenzo, M. (2009). Another piece of the puzzle: The relationship between beliefs and practice in higher education organic chemistry, *Chemistry Education Research and Practice*, 10 (2), 176-184.
- Farré, A. S. y Lorenzo M. G. (2014a). El escurrizado conocimiento didáctico del contenido: estrategias metodológicas para su documentación. En A. Garritz, S. Daza y M. G. Lorenzo (Ed.), *Conocimiento didáctico del contenido: Una perspectiva iberoamericana*. (pp. 35-65) Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.
- Farré, A. S. y Lorenzo M. G. (2014b). Para no seguir reinventando la rueda: El conocimiento didáctico en uso sobre los compuestos aromáti-

- cos. *Educación química*, 25 (3), 304-311.
- Garritz, A., Daza, S. y Lorenzo, M. G. (2014). *Conocimiento didáctico del contenido: Una perspectiva iberoamericana*. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.
- Garritz, A. y Trinidad-Velasco, R. (2006). El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia, *Educación Química*, 17, 114-141.
- Glaser, B. G. y Strauss, A. L. (1967). *Discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Chicago, Aldine.
- Gupta, V. (2001). Aims of laboratory teaching. *CDTL Brief*, 4 (1), Consultado el 24/11/16 en <http://www.cdtl.nus.edu.sg/brief/v4n1/default.htm>
- Hernández Millán, G. (2012). Enseñanza experimental. ¿Cómo y para qué?, *Educación Química*, 23 (núm. extraordinario 1), 92-95.
- Hofstein, A. y Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: the state of the art, *Chemistry Education: Research and Practice*, 8 (2), 105-107.
- Johnstone, A. H. y Al-Shuaili, A. (2001). Learning in the laboratory; some thoughts from the literature. *University Chemistry Education*, 5, 42-51.
- Lorenzo, M. G. y Farré A. (2009). El análisis del discurso como metodología para reconstruir el conocimiento didáctico del contenido. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 342-345.
- Loughran, J. Mulhall, P. y Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice, *Journal of Research in Science Teaching*. 41, (4), 370-391.
- Nakhleh, M. Polles, J., Malina, E. (2002). Learning chemistry in a laboratory environment. En: J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. Treagust. (Eds). *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, 47-68. Kluger Academic Publishers: The Netherlands.
- Padilla, K., Ponce de León, A. M., Rembado, F. M., y Garritz, A. (2008). Undergraduate Professors' Pedagogical Content Knowledge: The case of 'amount of substance', *International Journal of Science Education*, 30:10, 1389-1404.
- Reid, N. y Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry., *Chemistry Education Research and Practice*, 8 (2), 172-185.
- Reigosa Castro, C. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2000). La cultura cien-

tífica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 275-284.

Sánchez, G. H., Odetti, H. S. y Lorenzo, M. G. (2017a, en prensa). Estudio de trabajos prácticos de ciencias experimentales en el nivel superior. Una aproximación metodológica. En M. G. Lorenzo, A. Ortolani y H. S. Odetti (Comp.) *Comunicando la ciencia. Avances en Investigación en Didáctica de la Ciencia*. (En prensa), Santa Fe, Argentina: Ediciones UNL.

Sánchez, G. H., Odetti, H. S. y Lorenzo, M. G. (2017b, en prensa). Caracterización de la práctica educativa de docentes universitarios en clases de laboratorio. En Membiela Iglesia, F. P. (Ed.). *La práctica docente en la enseñanza de las ciencias*. (En prensa.) Vigo, España: Educación editora.

Séré, M. (2002) La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia?, *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368.

Shulman, L., (1986), Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4-14.

Travers, R. (Ed.) (1973). *Second Handbook of Research on Teaching*. Chicago, Estados Unidos: Rand Mc Nally & Co.

Weininger, J. L. (1998). Contemplating the finger: visuality and the semiotics of chemistry. *Hyle*, 4, 3-27.

## *De interés*

### **EL PREMIO NOBEL DE QUÍMICA 2016**

5 de Octubre de 2016

La Real Academia Sueca de Ciencias ha decidido conceder el Premio Nobel de Química 2016 a

Jean-Pierre Sauvage  
Universidad de Strasbourg, France

Sir J. Fraser Stoddart  
Northwestern University, Evanston, IL, USA

y Bernard L. Feringa  
University of Groningen, the Netherlands

“por el diseño y síntesis de máquinas moleculares”



JEAN-PIERRE SAUVAGE

Nacido en 1944 en Paris, Francia. PhD por la Universidad de Estrasburgo, Francia. Profesor Emérito de la Universidad de Estrasburgo y Director de Investigación Emérito en el National Center for Scientific Research (CNRS), Francia.

<https://isis.unistra.fr/laboratory-of-inorganic-chemistry-jean-pierre-sauvage>

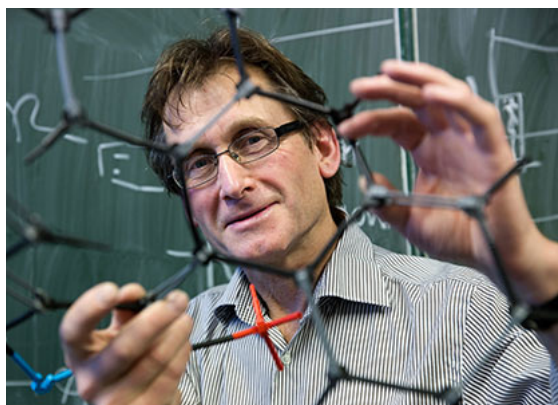
Jean-Pierre Sauvage in his office at Strasbourg University. Photo taken in October 2014.



SIR J. FRASER STODDART

Nacido en 1942 en Edinburgh, UK. Ph.D. 1966 por la Universidad de Edinburgh, UK. Profesor de Química at Northwestern University, Evanston, IL, USA.

<http://stoddart.northwestern.edu>



BERNARD L. FERINGA

Nacido en 1951 en Barger-Compascuum, the Netherlands. Ph.D.1978 por la University of Groningen, the Netherlands. Profesor de Organic Chemistry en la University of Groningen, the Netherlands.

[www.benferinga.com](http://www.benferinga.com)

Bernard Feringa at Groningen University.  
Photo taken in November 2013.  
Copyright © University of Groningen

## ¿CÓMO LAS MOLÉCULAS SE TRANSFORMARON EN MÁQUINAS?

El premio Nobel en Química 2016 fue concedido a Jean-Pierre Sauvage, Sir J. Fraser Stoddart y Bernard L. Feringa por su desarrollo de máquinas moleculares que son mil veces más delgadas que un cabello.

Esta es la historia de cómo lograron unir moléculas para diseñar desde un pequeño ascensor hasta motores y minúsculos músculos

¿Cuán pequeñas se pueden hacer las máquinas? Esta es la pregunta que el premio Nobel Richard Feynman, famoso por sus predicciones en 1950 sobre la evolución de la nanotecnología, planteó al comienzo de una conferencia visionaria en 1984. Descalzo y llevando un polo rosa y pantalones cortos de color beige, se dirigió a la audiencia y dijo: «Ahora vamos a hablar de la posibilidad de hacer máquinas con partes móviles, que sean muy pequeñas».

Estaba convencido de que era posible construir máquinas con dimensiones en la escala nanométrica. Estas ya existían en la naturaleza. Dio como ejemplo flagelos bacterianos, macromoléculas con forma de sacacorchos, que, cuando giran, hacen que las bacterias se muevan hacia adelante. Pero, ¿podría el ser humano - con sus gigantescas manos - desarrollar máquinas tan pequeñas que se necesitara un microscopio electrónico para verlas?

### **Una visión del futuro – las máquinas moleculares existirán en un plazo de 25-30 años**

Una forma posible sería construir un par de manos mecánicas que sean más pequeñas que las propias, que a su vez construyan un par de manos más pequeñas, y así sucesivamente, hasta que un par de manos

minúsculas pueda construir máquinas igualmente minúsculas. Esto se ha intentado, dijo Feynman, pero sin gran éxito.

Otra estrategia, en la que Richard Feynman tenía más fe, sería construir la maquinaria de abajo hacia arriba. En su construcción teórica, diferentes sustancias, tales como el silicio, se pulverizan sobre una superficie, una capa de átomos tras otro. Posteriormente, algunas capas son parcialmente disueltas y retiradas, creando partes móviles que pueden ser controladas mediante una corriente eléctrica. En la visión de Feynman del futuro, una construcción de este tipo se podría utilizar para crear un obturador óptico para una pequeña cámara.

El objetivo de la conferencia era inspirar a los investigadores en la audiencia, para conseguir que pusieran a prueba los límites de lo que creían posible. Cuando Feynman finalmente dobló sus notas, contempló a la audiencia y dijo maliciosamente: «... tengan un tiempo maravilloso en el rediseño de todo tipo de maquinaria familiar, para ver si pueden hacerlo. Y en 25-30 años, habrá algún uso práctico para esto. Lo que es, no lo sé».

Lo que ni Feynman, ni los investigadores en la audiencia, sabían en ese momento era que el primer paso hacia la maquinaria molecular ya había sido dado, pero de una manera bastante diferente a lo predicho por Feynman.

### **Moléculas unidas mecánicamente**

A mediados del siglo 20, como parte de los esfuerzos para construir moléculas cada vez más avanzadas, los químicos estaban intentando producir cadenas moleculares en la que moléculas en forma de anillo se unieran entre sí. La persona que tuvo éxito no sólo crearía una asombrosa nueva molécula, sino también un nuevo tipo de enlace.

Normalmente, las moléculas se mantienen unidas por fuertes enlaces covalentes en que los átomos comparten electrones. El sueño era crear, en su lugar, uniones mecánicas donde las moléculas se entrelazaran sin que los átomos interactuaran directamente entre sí (figura 1).

En los años 1950 y 1960, varios grupos de investigación informaron que sus tubos de ensayo contenían cadenas moleculares, pero las cantidades que producían eran pequeñas y los métodos tan complejos que eran de uso limitado. El progreso fue considerado más como una curiosidad que como química funcional. Después de años de reveses, muchas personas perdieron la esperanza y, a principios de la década de 1980, el cansancio acosaba al campo. Sin embargo, el mayor avance se produjo en 1983. Usando un ion de cobre ordinario, un grupo francés de investigación, dirigido por el químico Jean-Pierre Sauvage, tomó el control de las moléculas.



## Jean-Pierre Sauvage reúne moléculas alrededor de un ion cobre

Como sucede a menudo en la investigación, la inspiración llegó de un campo completamente diferente. Jean Pierre Sauvage trabajaba con fotoquímica, en la que los químicos desarrollan complejos moleculares que pueden capturar la energía contenida en los rayos del sol y utilizarla para conducir reacciones químicas. Cuando Jean-Pierre Sauvage construyó un modelo de uno de estos complejos de actividad fotoquímica, de repente vio su similitud con una cadena molecular: dos moléculas se entrelazaban alrededor de un ión cobre central.

Esta percepción condujo a un giro dramático en la dirección de la investigación de Jean-Pierre Sauvage. Usando el complejo fotoquímico como modelo, su grupo de investigación construyó una molécula con forma de anillo y una con forma de media luna que fueran atraídos por un ion cobre (figura 1); el ión cobre proporcionaba una especie de fuerza de cohesión que mantenía las moléculas juntas. En un segundo paso, el grupo utilizó la química para soldar juntas la molécula de forma de media luna con una tercera molécula con lo que se formaba un nuevo anillo, creando de este modo el primer eslabón de una cadena. Luego, los investigadores podrían quitar el ión cobre, que había servido a su propósito.

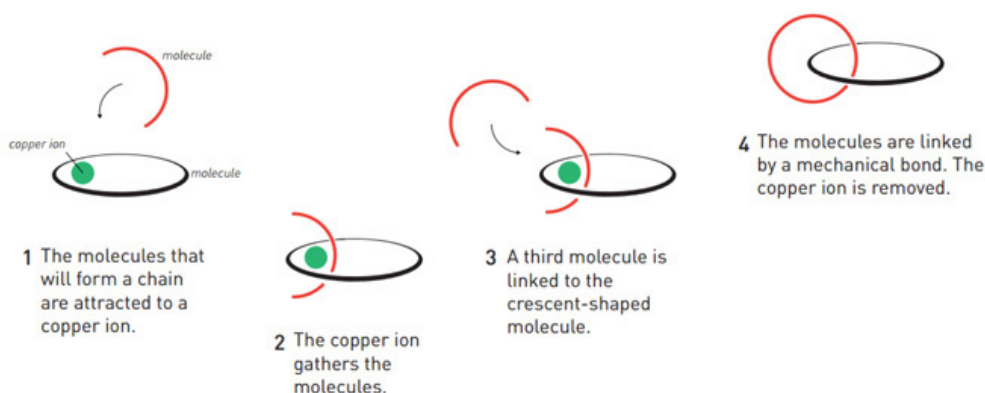
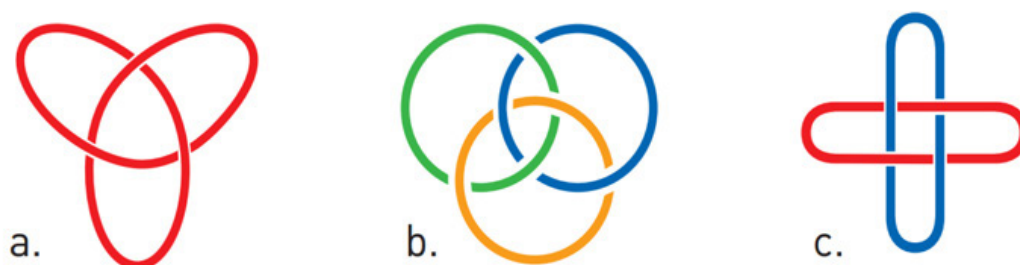


Figura 1. Jean-Pierre Sauvage usó un ion cobre para entrelazar moléculas usando una unión mecánica.

- 1.-Las moléculas que van a formar una cadena son atraídas hacia un ion cobre.
- 2.-Los iones cobre reúnen las moléculas.
- 3.-Una tercera molécula es unida a la molécula con forma de media luna.
- 4.-Las moléculas se unen por una unión mecánica. El ion cobre es eliminado.

Los químicos hablan del rendimiento de una reacción: el porcentaje de las moléculas iniciales que forman la molécula final buscada. En intentos anteriores para crear moléculas enlazadas, los investigadores en el mejor de los casos habían logrado un rendimiento de unos pocos por ciento. Gracias a los iones cobre, Sauvage fue capaz de aumentar el rendimiento a un impresionante 42 por ciento. De repente, las cadenas moleculares eran más que una curiosidad.

Con la ayuda de este método revolucionario, Sauvage revitalizó el campo de la química topológica, en el que los investigadores - a menudo utilizando iones metálicos - entrelazan moléculas en estructuras cada vez más complejas, desde largas cadenas a nudos complicados. Jean-Pierre Sauvage y J. Fraser Stoddart (volveremos a él en breve) son líderes en este campo y sus grupos de investigación han creado versiones moleculares de símbolos culturales tales como el nudo de trébol, el nudo de Salomón y los anillos de Borromeo (figura 2).



*Figura 2 a. Jean-Pierre Sauvage ha creado un nudo de trébol molecular. Este símbolo se encuentra en las cruces celtas, piedras rúnicas, representaciones del martillo de Thor (Mjölfnir) y, en el cristianismo, simboliza la Santísima Trinidad. b. Fraser Stoddart ha producido anillos borromeos moleculares. La familia italiana Borromeo usó el símbolo en su escudo. También se encuentra en imágenes en piedra en Old Norse y ha simbolizado la trinidad santa. c. Stoddart y Sauvage han hecho una versión molecular del nudo de Salomón, un símbolo de la sabiduría del Rey Salomón. Se ha utilizado con frecuencia en el Islam y se encuentra en mosaicos romanos.*

Sin embargo, los estéticos nudos moleculares son una distracción en la historia del Premio Nobel de Química de 2016 –volvamos a la maquinaria molecular.

### **... Y toma el primer paso hacia un motor molecular**

Jean-Pierre Sauvage pronto se dio cuenta de que las cadenas moleculares (llamados catenanos, de la palabra latina para la cadena, catena) eran no sólo una nueva clase de molécula, sino que también había dado el primer paso hacia la creación de una máquina molecular. Para que una

máquina realice una tarea, debe constar de varias partes que se mueven unas en relación con otras. Los dos anillos entrelazados cumplían este requisito.

En 1994, el grupo de investigación de Jean-Pierre Sauvage también tuvo éxito en la producción de un catenano en el que un anillo giraba, de manera controlada, una revolución alrededor del otro anillo cuando se añadía energía.

Este fue el primer embrión de una máquina molecular no biológica.

El segundo embrión de una máquina molecular fue producido por un químico que se crió en una granja sin electricidad ni ninguna de las comodidades de hoy en día, en Escocia.

### **Fraser Stoddart inserta un anillo molecular sobre un eje molecular**

En su niñez, J. Fraser Stoddart no tenía televisión o computadora. En cambio, para ocupar su tiempo hacia rompecabezas, entrenándose así en una habilidad que los químicos necesitan: reconocer formas y ver cómo se pueden vincular. También se sintió atraído por la química por la posibilidad de convertirse en un artista molecular – esculpiendo nuevas formas, nunca antes vistas por el mundo.

Cuando Fraser Stoddart desarrolló una de las creaciones moleculares que es la base del Premio Nobel de Química 2016, también utilizó el potencial de la química para el diseño de moléculas que son atraídas unas a otras. En 1991, su grupo de investigación construyó un anillo abierto que carecía de electrones, y una larga varilla o eje, que tenía estructuras ricas en electrones en dos lugares (figura 3). Cuando las dos moléculas se reunieron en solución, la pobre en electrones fue atraída a la rica en electrones, y el anillo se enroscó en el eje. En el paso siguiente, el grupo de investigación cerró la abertura en el anillo de manera que se mantuvo en el eje molecular. Así, con un alto rendimiento, creó un rotaxano: una molécula en forma de anillo que está mecánicamente unida a un eje.

A continuación Fraser Stoddart hizo uso de la libertad del anillo de moverse a lo largo del eje. Cuando agregó calor el anillo saltó hacia delante y atrás - como una pequeña lanzadera - entre las dos partes ricas en electrones del eje (figura 3). En 1994, pudo controlar por completo este movimiento, rompiendo así la aleatoriedad que de otro modo regula los movimientos en los sistemas químicos.

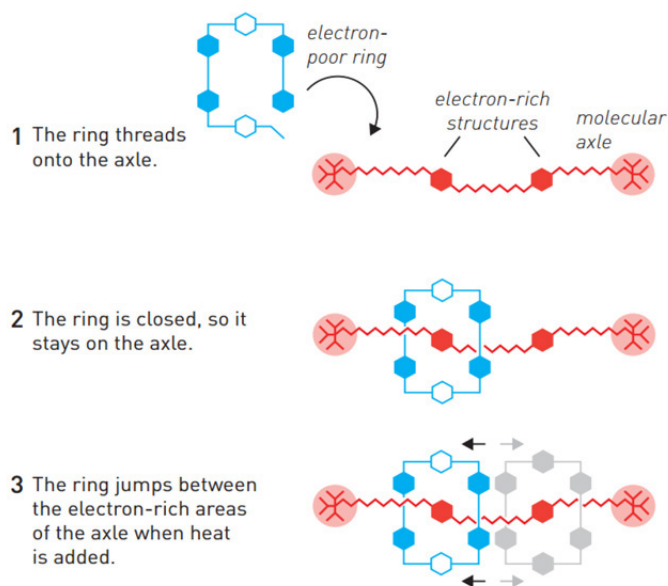


Figura 3. Fraser Stoddart crea un transporte molecular que podía moverse a lo largo de un eje de una manera controlada.

1.-El anillo se enrosca en el eje.

2.-El anillo se cierra, de manera que se mantiene sobre el eje.

3.-El anillo salta entre las áreas del eje ricas en electrones, cuando se agrega calor

### Un ascensor, un músculo y un minúsculo chip de computadora

Desde 1994, el grupo de investigación de Stoddart ha utilizado varios rotaxanos para construir numerosas máquinas moleculares, incluyendo un ascensor (2004, figura 4), que puede elevarse 0,7 nanómetros encima de una superficie, y un músculo artificial (2005), donde rotaxanos doblan una lámina muy delgada de oro.

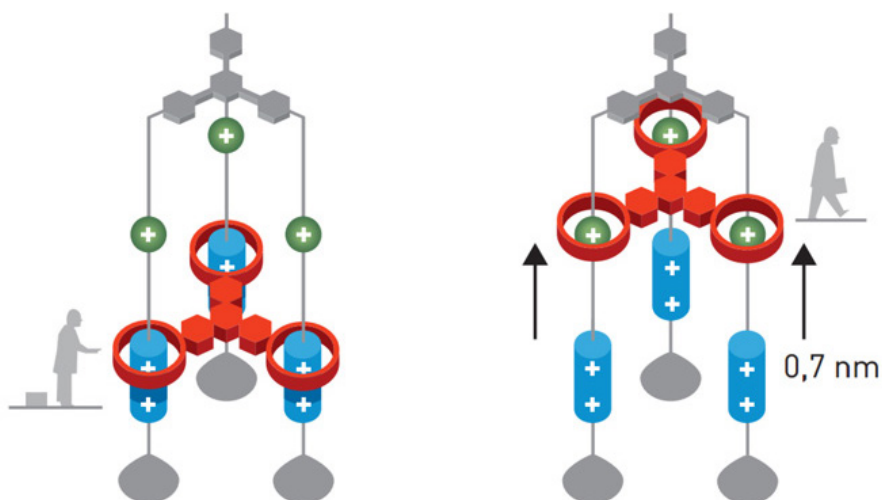
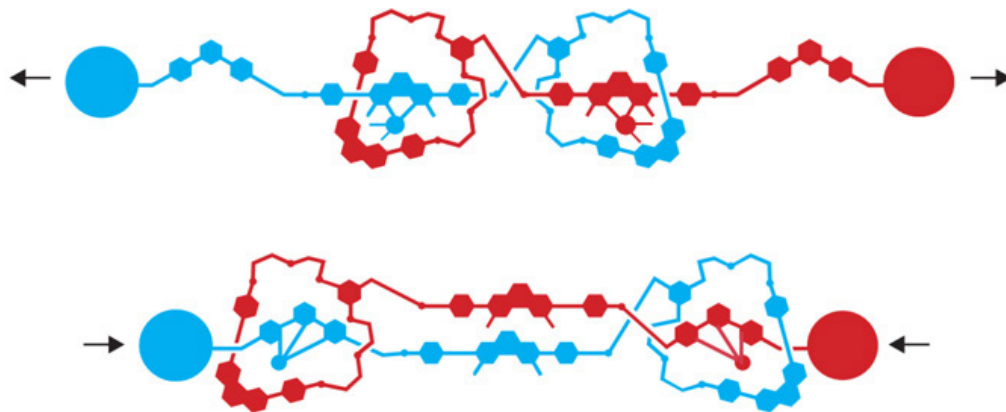


Figura 4 El ascensor molecular de Fraser Stoddart

En colaboración con otros investigadores, Fraser Stoddart también ha desarrollado un chip de computadora basado en rotaxanos con una memoria de 20 KB. Los transistores en los chips de computadoras de hoy en día son muy pequeños, pero gigantescos en comparación con transistores basados en moléculas. Los investigadores creen que los chips moleculares de computadoras podrían revolucionar la tecnología de la computación de la misma forma que los transistores basados en silicio lo hicieron una vez.

Jean-Pierre Sauvage también ha investigado el potencial de los rotaxanos. En 2000, su grupo de investigación logró enhebrar dos moléculas en bucle entre sí, formando una estructura elástica que recuerda los filamentos en un músculo humano (figura 5). También han construido algo que se puede comparar a un motor, donde el anillo del rotaxano gira alternativamente en direcciones diferentes.



*Figura 5. Jean-Pierre Sauvage ha enroscado juntos dos bucles moleculares, de modo que la estructura puede estirarse y contraerse*

La producción de motores que giran continuamente en la misma dirección ha sido un objetivo importante para el arte de la ingeniería molecular. Muchos intentos diferentes se hicieron en la década de 1990, pero el primero en cruzar la meta fue el holandés Bernard (Ben) L. Feringa.

### **Ben Feringa construye el primer motor molecular**

Al igual que Fraser Stoddart, Ben Feringa se crió en una granja y se sintió atraído por la química por sus infinitas posibilidades para la creatividad. Como lo expresó en una entrevista: «Tal vez el poder de la química no es solamente la comprensión, sino también la creación, hacer moléculas y materiales que no existían antes...»

En 1999, cuando Ben Feringa produjo el primer motor molecular, utilizó una serie de ingeniosos trucos para conseguir que gire en una y la mis-

ma dirección. Normalmente, los movimientos de las moléculas se rigen por el azar; en promedio, una molécula que gira se mueve tantas veces a la derecha como a la izquierda. Pero Ben Feringa diseñó una molécula que fue mecánicamente construida para girar en una dirección particular (figura 6)

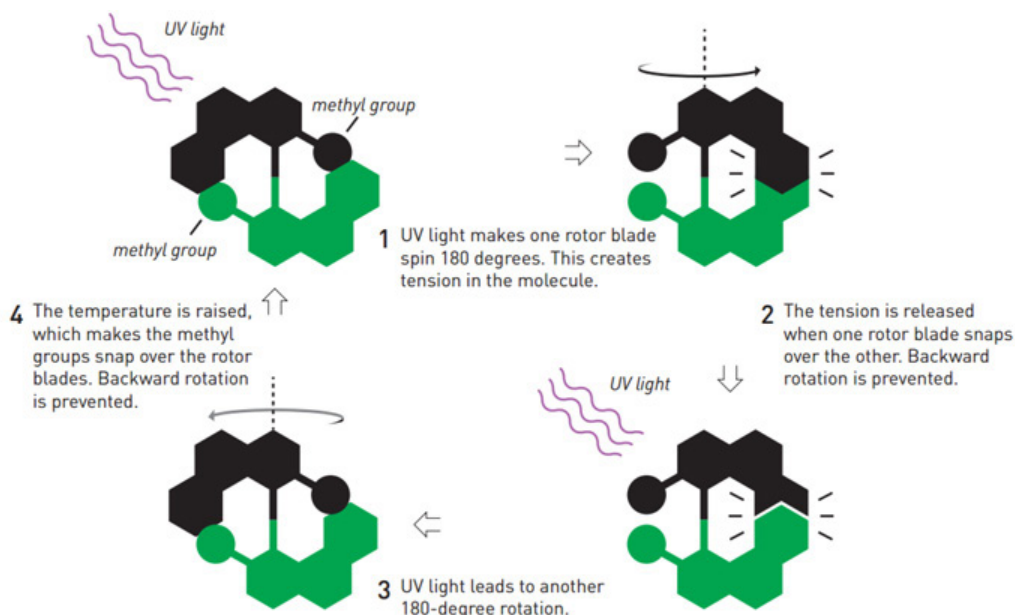


Figura 6. Cuando Ben Feringa creó el primer motor molecular, este fue mecánicamente construido para girar en una dirección particular. Su grupo de investigación ha optimizado el motor hasta que ahora gira a 12 millones de revs por segundo.

- 1.-Luz UV hace que una pala del rotor gire 180 grados. Esto crea tensión en la molécula.
- 2.-La tensión es liberada cuando la pala del rotor salta sobre la otra. Se evita la rotación hacia atrás.
- 3.-La luz UV lleva a otra rotación de 180 grados.
- 4.-Se eleva la temperatura, lo que hace que los grupos metilo salten sobre las palas del rotor. Se evita la rotación hacia atrás.

La molécula estaba compuesta de algo que se puede comparar con dos pequeñas palas de rotor, dos estructuras químicas planas unidas con un doble enlace entre dos átomos de carbono. Se unió un grupo metilo a cada pala de rotor; estos y partes de la pala del rotor funcionaban como trinquetes que obligaban a la molécula a seguir girando en la misma dirección. Cuando la molécula fue expuesta a un pulso de luz ultravioleta, una pala de rotor saltó 180 grados alrededor del doble enlace central. Entonces el trinquete se movió a su posición. Con el siguiente impulso de luz, la pala del rotor saltó otros 180 grados. Y así continuó, rotando y rotando en la misma dirección.

El primer motor no fue exactamente rápido, pero el grupo de investigación de Feringa ha optimizado eso. En 2014 el motor giró a una velocidad de 12 millones de revoluciones por segundo. En 2011, el grupo de investigación también construyó un nanocar de cuatro ruedas; un chasis molecular mantenía unidos a cuatro motores que funcionaban como ruedas. Al extenderse las ruedas, el coche avanzó sobre una superficie (figura 7).

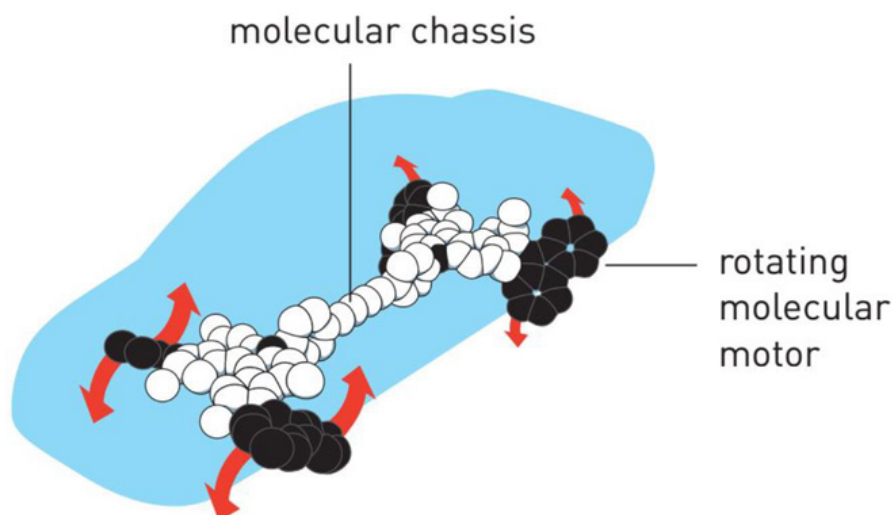


Figura 7. El nanocar con cuatro ruedas motrices de Ben Feringa

### **Un motor molecular gira un pequeño cilindro de vidrio**

En otro experimento sorprendente, el grupo de investigación de Ben Feringa ha utilizado motores moleculares para hacer girar un cilindro de vidrio de 28 micrómetros de largo (10.000 veces más grande que los motores moleculares). En el experimento incorporaron los motores en un cristal líquido (un líquido con una estructura cristalina). Sólo un 1 por ciento del cristal líquido constaba de motores moleculares pero, cuando los investigadores comenzaron a hacerlos girar, los motores cambiaron la estructura del cristal líquido a medida que se extendían. Cuando los investigadores colocaron el cilindro de vidrio encima del cristal líquido, éste giró debido al movimiento proporcionado por los motores (una película de este proceso se puede descargar a través de: [www.nature.com/nature/journal/v440/n7081/suppinfo/440163a.html](http://www.nature.com/nature/journal/v440/n7081/suppinfo/440163a.html)).

### **Una caja de herramientas moleculares para construir**

Los pasos innovadores de Jean-Pierre Sauvage, Fraser Stoddart y Ben Feringa en el desarrollo de maquinaria molecular han dado como resultado una caja de herramientas de estructuras químicas que son utilizadas por investigadores de todo el mundo para construir creaciones cada vez más

avanzadas. Uno de los ejemplos más llamativos es un robot molecular que puede captar y conectar aminoácidos. Este fue construido en 2013 con un rotaxano como base.

Otros investigadores han conectado los motores moleculares a polímeros largos, que así forman una tela intrincada. Cuando los motores moleculares se exponen a la luz, enrollan los polímeros en un paquete desordenado. De esta manera, la energía luminosa se almacena en las moléculas y, si los investigadores encuentran una técnica para recuperar esta energía, un nuevo tipo de batería podría ser desarrollado. El material también se encoge cuando los motores enredan los polímeros, que podrían utilizarse para desarrollar sensores que reaccionan a la luz.

### **Lejos del equilibrio - hacia una química nueva y vibrante**

Una parte importante del desarrollo que ha dado lugar al Premio Nobel de Química 2016 es que los investigadores han alejado los sistemas moleculares de lo que se llama equilibrio. Todos los sistemas químicos se esfuerzan por el equilibrio - un estado de energía más baja - pero esto es algo como un estancamiento. Podemos tomar la vida como un ejemplo. Cuando comemos, las moléculas del cuerpo extraen la energía de los alimentos y empujan a nuestros sistemas moleculares lejos del equilibrio, a niveles de energía más altos. Las biomoléculas entonces utilizan la energía para conducir las reacciones químicas necesarias para que el cuerpo trabaje. Si el cuerpo estuviera en equilibrio químico, estaríamos muertos.

Al igual que las moléculas de la vida, los sistemas moleculares artificiales de Sauvage, Stoddart y Feringa realizan una tarea controlada. La química ha dado así los primeros pasos en un nuevo mundo. El tiempo ha demostrado claramente el efecto revolucionario de miniaturizar la tecnología informática, mientras que sólo hemos visto las etapas iniciales de lo que podría resultar de la miniaturización de las máquinas. En términos de desarrollo, el motor molecular se encuentra aproximadamente en la misma etapa que el motor eléctrico en la década de 1830, cuando los investigadores mostraron con orgullo varias manivelas y ruedas giratorias en sus laboratorios sin tener idea de que llevarían a lavadoras, ventiladores y batidoras.

Así que, 32 años después de la conferencia visionaria de Feynman, solo podemos imaginar los emocionantes desarrollos que tenemos por delante. Sin embargo, tenemos una respuesta definitiva a su pregunta inicial - ¿Cuán pequeña puede hacerse una maquinaria? Al menos 1.000 veces más fina que un cabello.



## ENLACES Y LECTURAS AMPLIATORIAS

Información adicional acerca de los premios de este año, incluyendo información científica en inglés, está disponible en el sitio web de la Real Academia de Ciencias Sueca, <http://kva.se>, y en <http://nobelprize.org>.

### Capítulo de libro

Sauvage, J.-P., Duplan, V. and Niess, F.(2016) Contractile and Extensile Molecular Systems: Towards Molecular Muscles. In R. M. Izatt (Ed.) *Macrocyclic and Supramolecular Chemistry: How Izatt-Christensen Award Winners Shaped the Field.* (s. 444-464). John Wiley & Sons, Inc.

### Artículos

Capecelatro, A.N.(2007) From Auld Reekie to the City of Angels, and all the Meccano in between: A Glimpse into the Life and Mind of Sir Fraser Stoddart. *The UCLA USJ.*, 20,1-7.

Stoddart, J.F.(2009) The Master of Chemical Topology. *Chem. Soc. Rev.*, 38,1521-1529.

Weber, L. and Feringa, B.L.(2009) "We Must be Able to Show How Science is Beneficial to Society." *Chimia*, 63 (6),352-356.

Feringa, B.L. (2011) Ben L. Feringa. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 50, 1470-1472.

Peplow, M.(2015) The Tiniest Lego: a tale of nanoscale motors, rotors, switches and pumps. *Nature.*, 525,18-21.

### Videos

NorthwesternU(2008, May 28). Nanotechnology Town Hall Meeting – Sir J. Fraser Stoddart. <https://www.youtube.com/watch?v=oOVXeRHnTAg>

Francis Villatoro(2011, Nov. 9). A four-wheeled molecule moving on a metal surface. <https://www.youtube.com/watch?v=I5JgJsjq3Q4>

Elsevier Journals(2016, Sept. 7). Tetrahedon Prize 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=F-HNDwZrISA>

Science Editors: Olof Ramström, Gunnar von Heijne and Sara Snogerup Linse, the Nobel Committee for Chemistry

Text: Ann Fernholm

Illustrations: ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

©The Royal Swedish Academy of Sciences

Traducción al español: Luz Lastres Flores

## **Sabía?**

108 Premios Nobel han sido concedidos entre 1901 y 2016

63 Premios Nobel han sido concedidos a un solo premiado

4 mujeres han obtenido el Premio de Química hasta ahora

1 persona, Frederick Sanger, ha ido galardonada dos veces con el Premio de Química, en 1958 y en 1980.

35 años era la edad del más joven laureado en Química, Frédéric Joliot, quien recibió el Premio Nobel en 1935.

85 años era la edad del premiado mayor, John B. Fenn, cuando recibió el Premio Nobel en 2002.

58 es la edad promedio de los premiados con el Nobel de Química en el año en que recibieron el premio.

## *Informaciones y novedades*

### **CONGRESOS, JORNADAS Y SEMINARIOS DE AQUÍ Y ALLÁ...**

Informe elaborado por Dra. Andrea S. Farré, Universidad Nacional de Río Negro, Sede Andina.

#### **IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE EDUCACIÓN CIENTÍFICA I SEMINARIO DE INCLUSIÓN EDUCATIVA Y SOCIAL-DIGITAL**

Organizado por la Facultad de Educación Elemental y Especial, la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y el Instituto de Ciencia, Tecnología y Creatividad en Educación, con la colaboración de la Universidad de La Serena (Chile) y la Universidad de Alcalá (España).

**Fecha límite para la recepción de artículos: Extensión hasta 15 de Enero de 2017.**

14 al 17 de Marzo del 2017, Mendoza.

<http://www.cieduc.org/2017/>

#### **VIII ENCUENTRO NACIONAL Y V LATINOAMERICANO LA UNIVERSIDAD COMO OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

*"La Reforma Universitaria entre dos siglos"*

Organizado por la Universidad Nacional del Litoral

**Inscripción temprana:** Hasta 28 de Febrero de 2017.

**3 al 5 de mayo de 2017, Santa Fe.**

<http://www.unl.edu.ar/u17/>

#### **VI CONGRESO NACIONAL E INTERNACIONAL de ESTUDIOS COMPARADOS en EDUCACIÓN**

*"Inclusión, Calidad y Equidad en la Educación. Pasado, Presente y Futuro en perspectiva comparada."*

Organizado por la Sociedad Argentina de Estudios Comparados en Educación.

**Fecha límite para la presentación de resúmenes:** 15 de Marzo de 2017.

21 al 23 de Junio de 2017, Buenos Aires.

<http://www.saece.org.ar/>

### **XI ENPEC (XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências)**

**Organizado por la Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC) y la Universidade Federal de Santa Catarina.**

**Fecha límite para la presentación de trabajos: 9 de Enero de 2017.**

**3 al 6 de Julio de 2017, Florianópolis.**

<http://abrapecnet.org.br/wordpress/pt/x-enpec/>

<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/index>

### **14<sup>TH</sup> BIENNIAL IHPST (International History, Philosophy and Science Teaching Group) CONFERENCE**

**Fecha límite para presentación de resúmenes: 3 de febrero de 2017**

**Inscripción temprana: Hasta 14 de Abril de 2017.**

4 al 7 de Julio de 2017, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Turkía.

<http://ihpst2017.wixsite.com/biennial-conference>

### **ESERA 2017 CONFERENCE**

Organizada por la European Science Education Research Association.

**Fecha límite para la presentación de resúmenes: 31 de Enero de 2017.**

**Inscripción temprana: Hasta el 14 de Abril de 2017.**

21 al 25 de Agosto de 2017, Dublin, Irlanda.

<http://www.esera2017.org/>

## **II CONGRESO REGIONAL EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA**

### **I CONGRESO NACIONAL EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA Y LA MATEMÁTICA**

*"Las Ciencias de la Naturaleza y la Matemática en el aula, nuevos desafíos y paradigmas"*

Organizado por la Escuela Nacional 'Ernesto Sabato' UNCPBA y el Instituto Superior de Formación Docente y Técnica n° 10 'Dr. Osvaldo Zarini', Dirección General de Cultura y Educación de la Pcia. De Buenos Aires

**Consultas:** [ensenazadelaciencia@gmail.com](mailto:ensenazadelaciencia@gmail.com) o en el Facebook "Congreso de Enseñanza Tandil"

24 y 25 de Agosto de 2017, Tandil.

### **17TH BIENNIAL EARLI CONFERENCE**

**JURE (Junior Researchers of EARLI) Pre-Conference:** 27 al 28 de Agosto de 2017.

Organizada por la European Association for Research on Learning and Instruction y la University of Tampere.

**Inscripción temprana:** hasta el 4 de Abril de 2017.

29 de Agosto al 2 de Septiembre de 2017, Tampere, Finlandia.

<http://www.earli2017.org/>

### **X CONGRESO DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

*La investigación en didáctica de las ciencias. Logros del pasado y retos del futuro*

Organizado por la revista Enseñanza de las Ciencias.

**Plazo de envío de las comunicaciones: Extensión hasta** 18 de Enero de 2017.

**Inscripción temprana:** Hasta 1 de Enero a 6 de Mayo de 2017.

12 al 15 de Septiembre de 2017, Sevilla, España.

<http://www.congresoenseciencias.org/>

### **REUNION NACIONAL DE EDUCACION EN FÍSICA (REF XX)**

*"Física para un futuro sostenible"*

Organizado por la Asociación de Profesores de Física de la Argentina, la Facultad de Ciencias de la Alimentación de la UNER, el Instituto Superior de Disciplinas Industriales y Ciencias Agropecuarias, la UTN Regional Concordia.

25 al 29 de Septiembre de 2017, Concordia.

<http://refconcordia.com.ar/refxx/>

### **XI JORNADAS NACIONALES Y VIII JORNADAS INTERNACIONALES DE ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA UNIVERSITARIA, SUPERIOR, SECUNDARIA Y TÉCNICA (JEQUSST 2017)**

Organizadas por la Asociación Química Argentina.

24 al 29 de Octubre de 2017, Buenos Aires.

<https://www.aqa.org.ar/>

### **IV SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS (SIEC 2018)**

Organizado por la Universidad de Vigo

**Plazo de envío de las comunicaciones:** 15 de Marzo de 2018.

**Inscripción temprana:** Hasta 15 de Marzo de 2018.

<http://siec2018.org/>

---

**Pedido de aportes: Si los lectores han participado de algún evento y quieren reseñarlo o si quieren difundir alguna reunión científica, pueden escribir a [asfarre@unrn.edu.ar](mailto:asfarre@unrn.edu.ar)**

---

### ***Para saber más***

Cuando muchas partes forman algo completamente nuevo: los polímeros sintéticos

*Ana Basso*..... 76

### ***Para reflexionar***

El aprendizaje de valores a través de rutinas que hacen visible el pensamiento

*Marina Silvia Masullo, Elena Silvia Pérez Moreno, Ligia Quse, Fanny Cativa*..... 100

### ***De interés***

Conocimiento didáctico de profesores universitarios sobre los trabajos prácticos de química inorgánica

*German S. Sanchez, Héctor S. Odetti y M. Gabriela Lorenzo*..... 111

El Premio Nobel de Química 2016..... 125

### ***Informaciones y novedades***

Congresos, Jornadas y Seminarios de Aquí y Allá...

*Andrea S. Farré* ..... 138