

**Educación
en la
Química**

**Revista de la Asociación de Educadores en la Química de la República
Argentina
Secretarías Capital Federal y Provincia de Buenos Aires**

Educación en la Química (ISSN 0327-3504) es una publicación cuatrimestral de ADEQRA (secretarías Capital Federal y Pcia. de Buenos Aires) que se distribuye gratuitamente a los socios de estas secretarías. En ella se dan a conocer experiencias de aula, resultados de investigaciones, avances tecnológicos, noticias científicas, etc. Los editores agradecen cartas, ideas, sugerencias y artículos que puedan resultar de utilidad a otros colegas.

Editores

Luz Lastres Flores
Mónica Steinman

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: *Ed. en la Quim.*)



ADEQRA, Asociación de Educadores en la Química de la República Argentina, 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.

SECRETARÍA CAPITAL FEDERAL

Delegada: Luz Lastres Flores
Secretario: Vicente Sgaramella
Tesorera: Liliana Olazar
Vocales: Marta Bulwik
Alejandro Bosack
Verónicas Catebiel
Luis Costa
Liliana Gravano
Andrea López

SECRETARÍA PCIA DE BUENOS AIRES

Presidente: M. Gabriela Muñoz
Vicepresidente: Jorge D. Rosende
Secretaria: Gabriela Mohina
Prosecretario: Héctor G. Cortez
Tesorera: Mónica Steinman
Protesorera: Rosa Haub
Vocales: Graciela Assenza Parisi
María Luz Diez
Raúl Fernández
Andrea Masone

ISP Joaquín V. González
Lab. de Química, 2º piso
Rivadavia 3577
1203. Buenos Aires

Para reflexionar

LA FORMACIÓN PREVIA DE LOS INGRESANTES A LA UNIVERSIDAD. ¿CÓMO SE ENSEÑA QUÍMICA EN LA ESCUELA SECUNDARIA, DESDE LA ÓPTICA DE LOS ALUMNOS?

Pablo Gerbiez*, María C. Angelini y Erwin Baumgartner****

* Universidad CAECE. Buenos Aires, Argentina.** Cátedra de Química, Ciclo Básico Común, UBA. Ciudad Universitaria. Pabellón III. (1428) Buenos Aires, Argentina.

e-mail: erwinb@arnet.com.ar

INTRODUCCIÓN

En la revista “Interciclos”, publicada por el Ciclo Básico Común (C.B.C.) de la Universidad de Buenos Aires, se presentaron los resultados de pruebas diagnósticas de las materias Matemática, Química, Física, Biología y Sociología, tomadas a nuevos inscriptos en dicho Ciclo, que todavía no habían cursado las materias cuyos temas se evaluaban en esas pruebas (Gavarotto y Teobaldo, 2002). Las asignaturas con el más bajo rendimiento fueron Matemática y Química, ambas con un promedio de 30% de respuestas correctas. Le siguen Física con un 50%, Biología con un promedio ligeramente superior a ese porcentaje y Sociología con un 63%. Los contenidos incluidos en estas pruebas correspondían, predominantemente, a los aprendizajes requeridos al concluir el ciclo básico del nivel medio. O sea que la casi totalidad de dichos contenidos pertenecen a conocimientos elementales en esos campos y son prerrequisito para el ingreso a la Universidad.

Un fenómeno similar en lo referente a la deficitaria formación previa de los ingresantes a la universidad ha sido reportado por otros investigadores en otras universidades del país (Alvarez Funes y otros, 1997; Masachs y otros, 1999).

Sin duda, estas dificultades repercuten en forma inmediata en los porcentajes de deserción y desaprobación en las diversas materias del C.B.C. Química ofrece, junto con Matemática y Física, los valores más altos, alrededor del 75% entre deserción y desaprobación, dato que se repite año a año. Las causas de este fracaso son varias y en consecuencia resulta difícil encarar soluciones.

El grupo de investigación de la cátedra de Química del C.B.C. ha estudiado en distintas oportunidades las razones de los fracasos de los estudiantes de esa disciplina (Angelini y otros, 1999; Landau y Lastres, 1996; Lastres y otros, 1997).

En la presente comunicación, que es parte del trabajo final de P. Gerbiez para la carrera “Licenciatura en Enseñanza de la Química” de la Universidad CAECE (Gerbiez, 2001), se comunican los resultados obtenidos al suministrar una encuesta, desarrollada “ad hoc”, a una muestra de alumnos del C.B.C. Recordemos que el

alumnado del C.B.C. proviene mayoritariamente de escuelas de la Capital Federal y del Gran Buenos Aires, de modo que las conclusiones se refieren a ese ámbito.

OBJETIVO

El objetivo de esta investigación es interrogar a uno de los principales protagonistas del proceso educativo, los alumnos del C.B.C., sobre las posibles causas del mencionado fenómeno, para así obtener pistas y con ellas avanzar sobre eventuales soluciones.

METODOLOGÍA

Se diseñó una encuesta de opinión destinada a alumnos que cursan por primera vez la materia Química del C.B.C. Se solicitó su opinión respecto de cómo fue la enseñanza que recibieron de esa materia en el secundario, las causas de sus dificultades académicas en esta primera etapa universitaria, así como propuestas para cambiar esa situación. Se consideró que era importante administrar la encuesta a alumnos que ya tuvieron algún contacto con el quehacer universitario, para que pudieran así hacer una estimación por comparación más fundada respecto de cuán útil les habían resultado los saberes y habilidades adquiridos durante su paso por la escuela media.

La encuesta fue administrada a 409 alumnos, elegidos al azar, en las distintas sedes donde se dicta Química, durante el segundo cuatrimestre del año 2000, después del primer parcial, rendido y calificado.

En lo referente a las carreras que los alumnos piensan seguir, las más importantes son las siguientes, ordenadas en forma decreciente de porcentajes: Medicina, Veterinaria, Paramédicas, Odontología, Ingeniería, Bioquímica y Farmacia. Para completar la información se preguntó a los encuestados en qué tipo de colegio (privado o estatal) habían cursado sus estudios secundarios y si trabajaban o no. Respecto del primer punto, había un porcentaje ligeramente superior de alumnos que había asistido a un colegio privado. En cuanto a si trabajaban o no, un 25% contestó afirmativamente.

Un 60% de los encuestados aprobó el primer parcial.

RESULTADOS

A la pregunta *¿Cómo fue la enseñanza de la Química en el secundario?* Contestó Muy Buena 8%, Buena 22%, Regular 36% y Mala 34%.

En la pregunta *¿Cuáles crees son las causas del elevado porcentaje de fracasos en el C.B.C.?* había varias opciones, de las que podían elegir más de una. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla I.

TABLA I

OPCIÓN	NÚMERO DE RESPUESTAS	% DE ALUMNOS*
El secundario no prepara para la universidad	311	76
Se dedican pocas horas a química en los planes de estudio del secundario	118	29
Estudí poco en el secundario y/o en el CBC.	95	23
Se pierden muchas horas en feriados, actos, huelgas	85	21
Nivel de conocimientos de los profesores es pobre	53	13
No tuvo química en el secundario	38	9
Química esta mal dada en el CBC.	38	9
No le gusta química, porque no ve la relación con la carrera que eligió	16	4

*Estos porcentajes suman más de 100 porque se podía elegir más de una opción.

En otra pregunta se planteó *¿Qué propondría para mejorar la enseñanza de la Química en el secundario, con vistas a la Universidad?* Las opciones y los resultados obtenidos se muestran en la tabla II.

TABLA II

OPCIÓN	NÚMERO DE RESPUESTAS	% DE ALUMNOS*
Aumentar el número de horas de la materia	114	28
Crear bachilleratos especiales donde se estudie química (y otras materias como física) desde primer año	237	58
Capacitar a los profesores	87	21

*Estos porcentajes suman más de 100 porque se podía elegir más de una opción.

Es evidente que, en opinión de uno de los protagonistas del proceso educativo, la enseñanza de Química en la escuela secundaria es mala o regular, ya que un 70% de los consultados se inclina por una de estas opciones.

Se podría argumentar que es la opinión de sólo una parte de los protagonistas del proceso educativo, sin tener en cuenta a docentes, pedagogos, sociólogos, funcionarios, padres, etc. Pero es la opinión de uno de los protagonistas principales, que ya terminaron su adolescencia y se encuentran con la situación de que no pueden afrontar el inicio de sus estudios universitarios, y que se hacen la pregunta *¿Para qué me sirvieron cinco años de colegio secundario?* Esta misma opinión negativa se ve

reflejada en los resultados que se muestran en la Tabla I: la opción más elegida es "El secundario no prepara para la Universidad" (76% de los encuestados). Aquí aparece un viejo interrogante, sin respuesta definitiva. ¿Cuál es la finalidad de la enseñanza de las ciencias en la escuela secundaria obligatoria: la alfabetización científica o la preparación propedéutica (Furió y otros, 2001)?

El hecho de que un 23% de los alumnos elige la opción que estudió poco en el secundario y/o en el C.B.C. indica, en nuestra opinión, el alto grado de seriedad y de autocrítica con que han encarado sus respuestas a la encuesta.

Nueve por ciento de los consultados afirma que no tuvo Química en el secundario. Generalmente se trata de alumnos que estudiaron en un colegio comercial y sólo en tercer año tuvieron "Elementos de Fisicoquímica". Lo mismo sucede en la actualidad con los alumnos del Polimodal. Solamente tienen una química adicional a la vista en Elementos de Fisicoquímica aquellos que siguen una especialidad relacionada. Por supuesto que si estudian en un colegio comercial no se puede pretender dedicarle muchas horas a materias que no sean de la especialidad, pero el solo hecho de que su título le permite inscribirse en cualquier facultad, hace necesario que el alumno obtenga una base de estas materias en el último año de sus estudios. La realidad es indiscutible: si un alto porcentaje de egresados de los colegios comerciales sigue Medicina, Farmacia, Odontología, etc., es necesario que exista la asignatura Química en sus planes de estudio. Es interesante remarcar que un número importante de los que señalan que la enseñanza de la Química en el secundario fue mala, en la pregunta ¿Cuáles crees son las causas del elevado porcentaje de fracasos en la Química del C.B.C.? indican la opción "Personalmente no tuve Química en el secundario". Interpretamos que estos alumnos dicen que es mala la enseñanza de la Química, porque no la tuvieron. En realidad, como ya fue dicho, tuvieron al menos Elementos de Fisicoquímica en tercer año, pero para ellos en muchos casos es como si no hubieran tenido Química, por un lado debido al tiempo que transcurrió entre el desarrollo de esa materia y el curso del C.B.C., y por otro lado, en muchos casos Elementos de Fisicoquímica es desarrollada con predominio de temas físicos.

También un nueve por ciento de los alumnos atribuye su fracaso en el C.B.C. a que Química está mal dada en esa instancia. A través de comentarios adicionales realizados por los alumnos en las encuestas surge que en la mayoría se refiere al ritmo con que se desarrolla el curso y la modalidad de los exámenes. La cátedra de Química del C.B.C. está tendiendo a mejorar la calidad del curso, haciendo uso de técnicas de "Total Quality Management", como es realizar encuestas a los alumnos pidiendo opinión sobre diversos aspectos del mismo, en la medida que se considera al alumno "cliente", receptor de nuestros servicios (Roberts, 1995). A raíz de esos comentarios se introdujeron o se introducirán cambios en el curso de Química, intentando así satisfacer a dichos "clientes".

Un cuatro por ciento de los alumnos no ve la relación de la Química con la carrera que eligió. Esto se observa mucho en estudiantes de carreras relacionadas con la computación.

Es interesante analizar también qué opinión tienen los alumnos de sus profesores. Un trece por ciento considera que el nivel de conocimientos es pobre, porcentaje que está en línea con el de la propuesta de capacitarlos: 21%. Estos

números, aunque deben ser un llamado de atención, son razonablemente buenos, ya que en opinión de los estudiantes, aproximadamente cuatro de cada cinco profesores están bien capacitados.

Los resultados con respecto a la propuesta *¿Si tuvieras poder de decisión en cuanto a la metodología de la materia en el secundario, y dada tu perspectiva actual desde la Universidad, cuál o cuáles de las siguientes medidas te parecen más apropiadas?* se dan en la tabla III.

TABLA III

OPCIÓN	NÚMERO DE RESPUESTAS	% DE ALUMNOS*
Mas ejercitación	193	47
Mas conexión con temas de la vida cotidiana	94	23
Mas prácticas de laboratorio	144	35
Que se enseñe fundamentalmente a razonar	300	73

* Estos porcentajes suman más de 100 porque se podía elegir más de una opción.

La opción más elegida, por un 73% de los encuestados, es la de que se enseñe a razonar durante los años del secundario. Con seguridad, la idea que en este aspecto la escuela secundaria no está a la altura de lo que se espera de ella, estaba latente en gran parte de la comunidad educativa y de la sociedad en general. Es la primera vez que se da consistencia cuantitativa a esta idea, al menos desde la perspectiva de los alumnos. La opción que le sigue en porcentaje (47% de los encuestados), realizar más ejercitación, apunta en la misma dirección.

Se dio a los alumnos la posibilidad de realizar, si lo deseaban, un comentario adicional. Muchos de estos comentarios se refieren a articular los contenidos del C.B.C. con la escuela media.

Tal como se comentó más arriba, los alumnos son probablemente los protagonistas más importantes del proceso educativo, pero indudablemente no son los únicos. Evidentemente también son protagonistas muy importantes los profesores. En la actualidad se está diseñando una encuesta dirigida a este sector del proceso educativo, la que será administrada en un futuro próximo.

CONCLUSIONES

Es frecuente, en los análisis sobre calidad de la escuela media, encontrarse con opiniones hasta cierto punto, descalificantes. Es más, en la propia comunidad educativa muchos perciben que la escuela media no satisface sus expectativas. Este trabajo pone de manifiesto la falta de conformidad de uno de los protagonistas de la mencionada comunidad: los alumnos. El que ellos reconozcan que la parte que es de

su absoluta competencia, esto es, estudiar, adolece de fallas, no los inhabilita para opinar sobre cuestiones a resolver que están más allá de sus posibilidades. Es interesante que una gran proporción de alumnos considere que se debería retornar a algún tipo de bachillerato orientado desde su inicio a las diferentes ramas de las ciencias. En principio, esto manifiesta su oposición a la filosofía y orientación de la escolaridad actual (EGB – Polimodal), la que no los prepara para la universidad. Otra crítica fuerte es la referida a la modalidad memorística que campea en las aulas. Se debe conceder que esta modalidad, que no les permite estructurar una forma propia de acceder al conocimiento, es un escollo para encarar estudios universitarios. Merece atención la valoración que realizan sobre sus profesores: aunque, en general, no son comparables los conocimientos de quien enseña con los de quien aprende, un alumno es capaz de percibir fallas didácticas o de cualquier otro tipo que no le permite un buen desempeño como estudiante. El análisis de este trabajo lleva a un corolario ineludible: es necesaria una reflexión por parte del resto de la comunidad educativa, pues ninguno de sus integrantes es ajeno al fracaso de los alumnos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez Funes, L., Gil, Ma. J., Alvarez, Ma. J., Combes, Ma. S., Blumenkrantz, Z., Navarro, Ma. G. y López, Ma. E.** (1997). *Resultados de una prueba diagnóstico para alumnos que ingresan a la Universidad*. III. Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Química. Vaquerías, Córdoba.
- Angelini, Ma. C., Baumgartner, E., Guerrien, D., Landau, L., Lastres, L., Roverano, M., Sileo, M., Torres, N. y Vazquez, I.** (1999). Bajos rendimientos académicos, ¿Una percepción equivocada? *Educación en Química*, 5, 2, 11-17.
- Furió, C., Vilches, A., Guisasola, J. y Romo, V.** (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 3, 365-376.
- Gavarotto, C. y Teobaldo, M.** (2002). La formación previa de los nuevos ingresantes a la Universidad. *Interciclos*, 2, 64–71.
- Gerbiez, P.** (2001). *Una buena Química*. Trabajo final de la carrera “Licenciatura en Enseñanza de la Química”. Universidad CAECE.
- Landau, L. y Lastres, L.** (1996). Cambios químicos y conservación de la masa...¿está todo claro? *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 2, 171-174.
- Lastres, L., Landau, L., Sileo, M., Baumgartner, E., Pouchan, I., Torres, N. y Vazquez, I.** (1997). *Evaluaciones diagnóstico en un curso masivo de Química*. V. Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales Murcia, España.
- Masachs, M., Camprubi, G., Cardozo, Ma. C. y Castro, E.** (1999). *Encuesta de actitudes en relación con la Química. Ingresantes 1999*. II. Congreso Regional de Educadores en la Química. Vaquerías, Córdoba.
- Roberts, H.** (1995). Editor de “*Academic Initiatives in Total Quality for Higher Education*”. ASQC Quality Press, Wisconsin, Estados Unidos.

Ideas para el aula

LAS PEQUEÑAS INVESTIGACIONES EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

O. Bernadou y E. Soubirón

Liceo N° 35 I.A.V.A., Eduardo Acevedo 1419, Montevideo, Uruguay.
Telfax. 4085819, email: klastor@adinet.com.uy o sousuar@adinet.com.uy

INTRODUCCIÓN

Existe una tendencia generalizada a nivel de la Didáctica de las Ciencias que conduce a involucrar cada vez más activamente al estudiante en “ actividades de laboratorio no tradicionales ”, a todos los niveles educativos. Se considera que los trabajos prácticos constituyen uno de los recursos más apropiados de los que dispone el docente para la enseñanza/aprendizaje de las ciencias experimentales. Asimismo, la utilización de los trabajos prácticos facilita el acceso al conocimiento de los hechos científicos y refuerza la visión de la ciencia como un conjunto de conocimientos organizados explicativos del mundo en que vivimos.

Tomando como base esa premisa, a través del presente reporte se propone una estrategia de trabajo alternativa en la enseñanza de la ciencias a nivel de laboratorio que consiste en el planteo de “pequeñas investigaciones prácticas” a realizar por parte del alumno.

La Institución en que se desarrolla el presente reporte, cuenta con los dos aspectos necesarios para llevar a cabo una actividad de este tipo: la infraestructura física necesaria (laboratorios bien equipados, los productos necesarios, una biblioteca adecuada y un amplio horario de trabajo) y el capital humano comprometido con su tarea e involucrado con los nuevos temas de la Didáctica de la Química tanto a nivel docente como de Ayudantes Preparadores de Laboratorio.

La experiencia comienza en el año 1998 y hasta el 2000 inclusive se aplica en el 3er año de Bachillerato Diversificado (B.D.), en todas sus opciones, en la unidad correspondiente a Biomoléculas. A partir del año 2001 se plantea la extensión de esta metodología de trabajo también al 2º año de B.D. en los temas Soluciones y Oxidoreducción.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

La finalidad del *presente trabajo* es la de compartir con los colegas de cualquier asignatura de Ciencias Experimentales, una metodología de trabajo que se viene desarrollando en una Institución Pública del país que le ha resultado muy

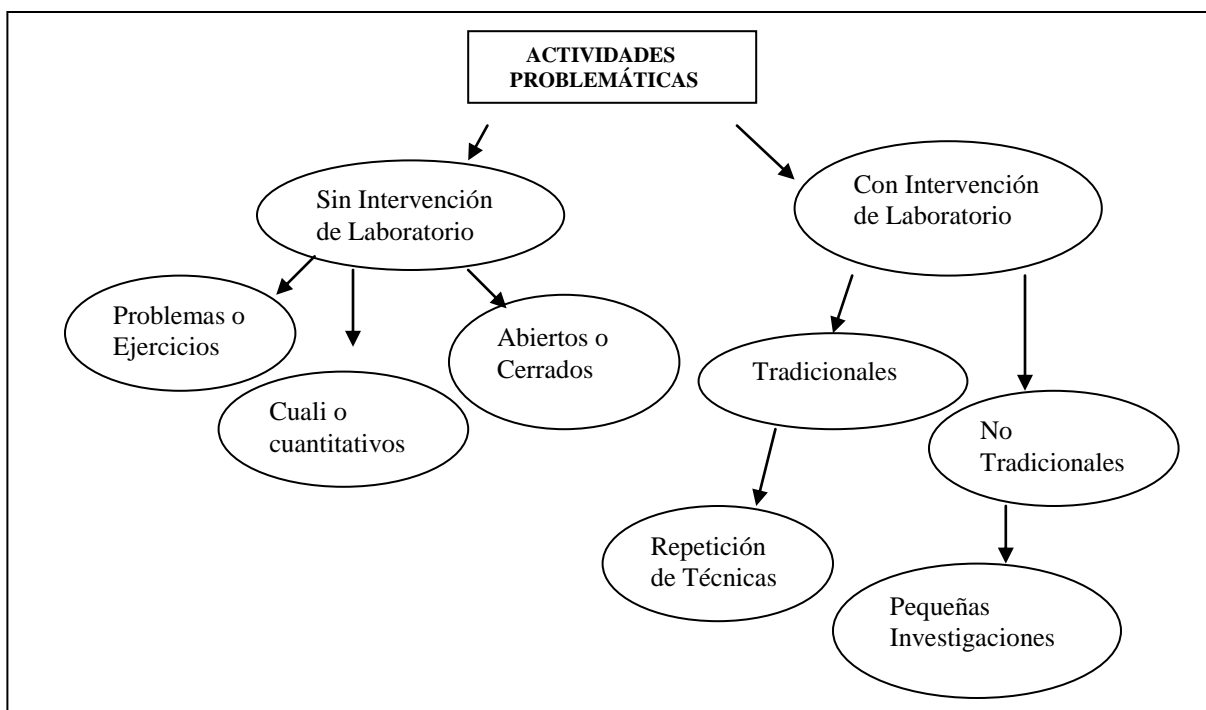
enriquecedora y gratificante al equipo docente y no docente así como a los estudiantes que la han llevado a cabo.

Los objetivos perseguidos con la *introducción de este tipo de problema en el aula* se pueden resumir en los siguientes:

- Acercar al alumno a la metodología del trabajo científico a través de la observación, la formulación de hipótesis, el planteo de diseños experimentales y la concreción del mismo a nivel de laboratorio.
- Adquirir ciertas actitudes: indagar, reflexionar sobre lo observado, desarrollar el espíritu crítico, el trabajo en equipo y la apertura al medio social en que están inmersos.
- Aprender algunos procedimientos: estrategias de búsqueda, sistematización y análisis de datos, presentación y defensa de los mismos a través de un reporte escrito y de una ponencia oral.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Se considerará la siguiente clasificación propuesta para las actividades problemáticas:



Cuadro 1.- Clasificación de las actividades problemáticas

El trabajo se centra en aquellas actividades en las cuales interviene el laboratorio y son no tradicionales: **las pequeñas investigaciones.**

- ¿ Qué se entiende por “ pequeñas investigaciones ” ?

Según Pozo (1994:106) “ ... aquellos trabajos en los que el alumno debe obtener las respuestas a un problema por medio de un trabajo práctico. No pueden clasificarse como investigaciones en la acepción utilizada en la ciencia, pero si son una aproximación simplificada al trabajo científico, en la que el alumno, a escala muy reducida, debe formular hipótesis, diseñar estrategias de trabajo y reflexionar sobre los resultados obtenidos.”

- ¿ Cuales son **los roles** del docente y del estudiante en esta forma de trabajo?

Lo que el docente pretende a través de la aplicación de las pequeñas investigaciones a nivel de aula es lograr una actividad que resulte de real interés para el estudiante. Esta búsqueda debe ser **guiada** por el profesor ya que a este nivel el estudiante, salvo excepciones, no dispone aún de la autonomía necesaria para elegir por sí mismo una situación problemática a abordar a nivel de laboratorio en particular. No obstante, está claro que para fomentar la resolución de los problemas planteados se debe permitir que aquellos alumnos que lo desean puedan elegir el tema a abordar y la cuestión a resolver ya que partimos de la base que para aprender se debe desear hacerlo.

Por otra parte es imprescindible el compromiso previo del estudiante con la tarea a emprender a la cual debe considerarla como algo personal para responsabilizarse del mismo, antes de su comienzo.

En este punto la tarea del docente, es de fundamental importancia para utilizar la “magia científica” y presentar al estudiante una gama de posibles actividades suficientemente atractivas y a su nivel. Asimismo debe poder guiarlo en su tarea de modo de optimizar los tiempos disponibles, ver cuadros 5 y 6.

Se debe apoyar al estudiante en el planteo de la hipótesis de partida, pues condiciona la tarea a emprender, de modo de volver sobre ella tanto como sea necesario en la medida que el correcto manejo de las variables involucradas va logrando los resultados deseados.

- ¿ Cómo se podrían catalogar las “ pequeñas investigaciones ” en función de diferentes parámetros ?

Considerando la clasificación que realiza Grau (1994) por la cual se plantean los diferentes tipos de trabajos prácticos en función de los objetivos que se persiguen en cada uno, se puede considerar a las pequeñas investigaciones básicamente como ejercicios prácticos (cuadro 2) ya que como lo indica el autor se trata de “ *desarrollar especialmente habilidades prácticas, estrategias de investigación, habilidades de comunicación o procesos cognitivos en un contexto científico* ”.

Tipos de trabajos prácticos	Objetivos
Experiencias	Obtener una familiarización perceptiva de los fenómenos.
Experimentos ilustrativos	Ejemplificar principios, comprobar leyes o mejorar la comprensión de determinados conceptos operativos.
Ejercicios prácticos	Desarrollar especialmente habilidades prácticas, estrategias de investigación, habilidades de comunicación o procesos cognitivos en un contexto científico.
Experimentos para contrastar hipótesis	Determinar la validez de una hipótesis establecida por el profesor o por los propios alumnos
Investigaciones	Proporcionar la oportunidad de trabajar como los científicos o los tecnólogos en la resolución de problemas.

Cuadro 2.- Objetivos planteados según el tipo de trabajos prácticos

No obstante algunas de ellas podrían considerarse como experimentos para contrastar hipótesis o aún investigaciones según esa clasificación.

Por otra parte, considerando a quien proponga la cuestión a investigar, diseñe el método experimental y proporcione la respuesta, propone una clasificación del nivel de investigación en función de la actividad.

Nivel de investigación	Actividad
0 (no hay ninguna investigación)	Permite realizar verificaciones o comprobaciones en las que se da al alumnado el problema, el método a seguir y la respuesta que debe hallar.
1 (bajo nivel de investigación donde la autonomía de los alumnos es más bien baja, donde se limitan a seguir las instrucciones proporcionadas por el profesor o el manual de prácticos)	Ayuda a resolver preguntas aplicando un método dado o adquirir la seguridad en el dominio de determinadas técnicas experimentales (experiencias, los experimentos ilustrativos y algunos ejercicios prácticos)
2 (el alumno debe planificar el experimento y movilizar las estrategias necesarias para dar respuesta a una situación planteada por el profesor)	Permite la identificación de variables, diseño del control, determinación de las medidas a realizar.
3 (trabajo de investigación que supone un incremento de la autonomía del alumnado que debe tomar decisiones relacionadas con el diseño y planificación del trabajo a realizar)	Se incluyen aquí experimentos para contrastar hipótesis y las investigaciones

Cuadro 3.- Nivel de investigación en función de la actividad planteada. Grau, (1994)

Resumiendo las clasificaciones antes realizadas se puede plantear en forma esquemática un cuadro donde el nivel de investigación resulta del análisis de

parámetros tales como: quién plantea el problema, quién proporciona el método experimental y quién da la respuesta. El mismo resulta de gran utilidad para el propósito del presente trabajo (cuadro 4).

Nivel de investigación	Problema	¿Quién proporciona el método experimental ?	Respuesta
0	Profesor/a Libro de texto	Profesor/a Libro de texto	Profesor/a Libro de texto
1	Profesor/a Libro de texto	Profesor/a Libro de texto	Alumno/a
2	Profesor/a Libro de texto	Alumno/a	Alumno/a
3	Alumno/a	Alumno/a	Alumno/a

Cuadro 4.- Marco del análisis para determinar el nivel de investigación de un trabajo experimental. Grau, ibid.

- Finalmente cabría preguntarse: ¿ Qué ventajas y desventajas presenta esta metodología de trabajo ?

Según Pozo (1994) algunas de ellas son:

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Permiten relacionar los conceptos teóricos con sus aplicaciones prácticas. • Ayudan a la transferencia de los conocimientos escolares a ámbitos más cotidianos, resultando muy motivadores. 	<p>Estas actividades representan una aproximación ficticia y forzada del método científico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ficticia porque no se dan las condiciones necesarias, tiempo, material, etc • Forzada porque en la mayoría de las ocasiones el problema se le impone al alumno.

Cuadro 5.- Ventajas y desventajas de las pequeñas investigaciones

ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Temporalización

A través del curso práctico, se realizan actividades de laboratorio en forma coordinada con el curso teórico, siguiendo el programa oficial, desarrollando las prácticas allí previstas.

El orden en que se ha abordado el curso teórico ha sido variado en los diferentes años. Así en el año 1998 y en el 2000, se lo desarrolló de la unidad 1 a la 3 del programa tradicional, dichas unidades son respectivamente: "Aspectos energéticos y cinéticos de las reacciones químicas", "Estructura atómica y geometría molecular" y "Compuestos orgánicos de importancia biológica e industrial".

En el año 1999 se desarrolló de la siguiente manera: unidad 2, 3 y 1, habiéndose logrado mejores resultados en la aplicación de las pequeñas investigaciones en este año. La razón es el momento del año lectivo en que se lleva a cabo, a mediado de año,

cuando el estudiante no está sobrecargado de actividades ni con el agotamiento propio de un año de actividad y próximos exámenes.

Semanas	Programa tradicional	Pequeñas investigaciones
1		Presentación <ul style="list-style-type: none"> • Reporte de investigación • Propuesta de actividades • Orientación bibliográfica
2	Proteínas <ul style="list-style-type: none"> • Extracción y caracterización de una proteína (caseína) • Extracción y propiedades de una enzima (ureasa) 	Búsqueda bibliográfica
3	Glúcidos <ul style="list-style-type: none"> • Monosacáridos • Disacáridos 	Búsqueda bibliográfica Diseño de la estrategia de trabajo
4-5		Trabajo experimental Elaboración del reporte
6		Puesta en común de las actividades realizadas <ul style="list-style-type: none"> • Presentación de resultados • Productos • Registros audiovisuales, etc

Cuadro 6.- Cronograma de las actividades experimentales propuestas

En el cuadro anterior se esquematiza el cronograma propuesto para el año 2000. El mismo se desarrolló en el cuarto ciclo de práctico, correspondiente a la unidad de Biomoléculas. Se procuró una forma complementaria de trabajo de modo de poder desarrollar en forma simultánea las actividades prácticas del programa tradicional y las pequeñas investigaciones.

Clasificación

Considerando el marco teórico reseñado así como la bibliografía específica de la asignatura que se maneja habitualmente a nivel del curso en que se aplica la metodología de trabajo, se han estado proponiendo diversas actividades problemáticas al alumnado en los tres años de implementación de la misma.

ACTIVIDAD PROPUESTA	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	TIPO DE PROBLEMA
Presencia de vitamina C en diferentes muestras de cítricos.	1-2	CUANTITATIVO
Investigación cuantitativa de proteínas en orina	1	CUANTITATIVO
Determinación del índice de acidez en una muestra de grasa y de aceite	2	CUANTITATIVO
Valoración de un alfa aminoácido haciendo uso del pHmetro	1-2	CUANTITATIVO
Titulación de una muestra de vinagre comercial, usando pHmetro	1-2	CUANTITATIVO
Determinación de la concentración proteica en una muestra problema por fotolorimetría.	1-2	CUANTITATIVO
Diferentes formas de desnaturalización de una muestra proteica: química del cabello	1-2	CUALI-CUANTITATIVO
Análisis fisicoquímico de la leche y fabricación de un derivado: pegamento	1-2	CUALI-CUANTITATIVO
Fabricación de diferentes tipos de jabones y detergentes	1	CUALITATIVO
Presencia e identificación de colorantes en muestra de vino tinto y en una muestra de yogurt de frutilla	1	CUALITATIVO
Investigación cualitativa de sustancias extrañas en orina	2	CUALITATIVO
Investigación de la actividad enzimática en una muestra comercial (jugo de frutas)	2	CUALITATIVO
Fabricación de productos cosméticos: champú y crema de enjuague	1-2	CUALITATIVO

Cuadro 7.- Clasificación de las actividades experimentales propuestas en el año 2000

En el cuadro anterior se señalan las actividades propuestas para el año 2000, clasificadas según el nivel de investigación al que se ajustan así como el tipo de problema planteado acorde a lo manejado en el marco teórico.

Desarrollo de la actividad

El tiempo total destinado a las pequeñas investigaciones es de seis semanas, comenzando con una explicación acerca del reporte escrito de investigación (ver cuadro 6), una presentación de las posibles actividades a desarrollar sea por parte del docente o de los alumnos y una orientación con relación a la bibliografía a consultar o

a los informantes calificados a quienes recurrir a nivel de diferentes instituciones del país (LATU, Universidades, etc).

En la medida en que se hace la búsqueda de bibliografía y se diseña la estrategia de trabajo por parte del estudiante y siempre con la guía del docente, se llevan a cabo a nivel del laboratorio las prácticas tradicionales del ciclo con la excepción de “Jabones”, correspondiente al tema Lípidos. La razón de ello es que la actividad “Jabones y detergentes” es una de las opciones de las pequeñas investigaciones que más despierta el interés de los estudiantes y todos los años la eligen para su elaboración.

Una vez completado el trabajo experimental, se realiza una puesta en común del grupo en forma oral con la ayuda de los más variados recursos didácticos – transparencias, audiovisuales, fotografías comunes y digitales, etc. - que dan cuenta de la actividad de cada equipo.

RESULTADOS LOGRADOS

Se han analizado los resultados a través de los tres años de aplicación de la metodología, mediante los reportes escritos, los productos presentados, las ponencias realizadas y los comentarios enriquecedores de los propios actores. Se pueden considerar que los principales logros son:

- Proporcionar una **imagen abierta** de la investigación científica.
 - Destacar el **carácter social** del experimento científico a través del trabajo grupal.
 - Permitir la **cooperación y el acercamiento** entre docentes y alumnos.
 - Familiarizar al estudiante con **nuevo material** de laboratorio.
 - Contribuir a adquirir **solvencia** en diferentes ámbitos.
 - Establecer **vínculos** con el mercado.
 - Permitir conocer **diferentes procesos** industriales.
 - Elaborar un **reporte escrito** según pautas preestablecidas.
 - Realizar una **ponencia** en la que se justifiquen las conclusiones logradas.
 - Dar **respuestas fundamentadas** en un interrogatorio de y a sus pares.

A MODO DE REFLEXIÓN

Se tiene la convicción que se trata de una modalidad de enseñanza activa, en la que el estudiante es el principal actor del proceso educativo y que ese es un objetivo prioritario de la enseñanza hoy. Basándose en esa premisa, es el deseo del equipo docente que viene aplicando esta metodología de trabajo y el de las autoras del trabajo en particular, el hacer partícipes de la misma a la mayor cantidad de colegas posibles para procurar el enriquecimiento mutuo en la aplicación de la misma.

Se ha aplicado un instrumento de recolección de opiniones de los estudiantes (ver Anexo) a los efectos de conocer su postura acerca de la modalidad de trabajo propuesta y de realizar una autocrítica del trabajo con la finalidad de lograr la

retroalimentación tan necesaria para perfeccionar la tarea y lograr el crecimiento de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Carrascosa, J. (1995), Trabajos prácticos de Física y Química como problemas, *Alambique*, Didáctica de las Ciencias Experimentales, Nº 5 (67-76).

Grau, R. (1994), ¿ Qué es lo que hace difícil una investigación ?, *Alambique*, Didáctica de las Ciencias Experimentales, Nº 2 (27-35).

Nappa, N.; Augusto, M. (1998), Enfoque metodológico alternativo para la realización de prácticas de laboratorio en el Profesorado de Química. *Alambique*, Didáctica de las Ciencias Experimentales, Nº 15 (99-105).

Pozo, J.I. (1994), *La solución de problemas*, Santillana, Madrid.

Pozo, J.I.; Postigo, Y.; Gómez Crespo, M. (1995), Aprendizaje de Estrategias para la Solución de Problemas en Ciencias , *Alambique*, Didáctica de las Ciencias Experimentales, Nº 25 (16-26).

ANEXO

Grupo:

Te agradecemos la respuesta a las siguientes preguntas considerando la siguiente afirmación:

En este ciclo has llevado a cabo una pequeña investigación.

- Con relación al curso práctico que has realizado hasta el momento, la misma resultó:

Más atractiva Menos atractiva No me resultó atractiva

- Cuánto del curso práctico sustituirías por éste tipo de actividad ?

Todo La mitad Nada

- A través del trabajo realizado consideras que fuiste:

Nada creativo Poco creativo Muy creativo

- Consideras que ésta actividad te ha incorporado nuevos conocimientos?

Muchos Pocos Ninguno

- Crees que hubo un estrechamiento de la relación con tus compañeros de grupo a través del trabajo realizado ?

Nada Poco Mucho

De Interés

LOS CONCEPTOS DE MASA ATÓMICA RELATIVA Y MASA MOLECULAR RELATIVA.

Lidia E. Iñigo

Cátedra de Química. Ciclo Básico Común. Universidad de Buenos Aires.
Ciudad Universitaria Pabellón III (1428) Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

Las costumbres o tradiciones son muchas veces difíciles de cambiar, pero cuando se mantienen en la enseñanza de las ciencias a pesar de la evolución lógica que estas experimentan, pueden provocar confusión en los alumnos. Esto es lo que sucede con los conceptos de masa atómica relativa (A_r) y masa molecular relativa (M_r). Este trabajo da una propuesta para que seamos coherentes con la creación de la unidad de masa atómica y con el hecho de que la masa que se toma para un determinado elemento es una masa promedio de la mezcla isotópica que se encuentra en la naturaleza.

INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

Medir una determinada magnitud significa compararla con un patrón que se elige arbitrariamente y que se denomina unidad. Históricamente la primera medida de la masa de átomos y moléculas fue creada cuando aún tenía vigencia la teoría de Dalton, y se pensaba que todos los átomos de un mismo elemento tenían la misma masa, es decir, antes que se conocieran los isótopos. Como era imposible medir la masa de un átomo se fueron estableciendo comparaciones y se determinó la masa de los átomos de los demás elementos en comparación con la masa del átomo de hidrógeno. Pero al hacer esto se estaba tomando la masa del átomo hidrógeno como la primera unidad utilizada para medir la masa de los átomos, aún sin conocer su valor, y por eso era una masa relativa, porque la unidad de medida empleada tenía un valor desconocido y por lo tanto no podía conocerse tampoco ningún factor de conversión para pasarla a las unidades de masa ya conocidas.

Luego se eligió el oxígeno como patrón porque se combinaba prácticamente con todos los elementos. Se le asignó el valor de 16,00 a su masa atómica relativa y así quedó definida la unidad de masa atómica como la dieciseisava parte de la masa de un átomo de oxígeno.

Después del descubrimiento de los isótopos por Thomson en 1913, los químicos tomaron como unidad la masa promedio de la mezcla natural de los isótopos del oxígeno; mientras que los físicos tomaron la masa del isótopo más

abundante, el ^{16}O . Fue así que durante años se utilizaron dos escalas diferentes de masas atómicas, hasta que en 1961 la IUPAC adoptó la escala basada en el isótopo más abundante del carbono, el ^{12}C , y quedó establecida la unidad de masa atómica (u) como la doceava parte de la masa de dicho isótopo, y que $1\text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-24}\text{ g}$.

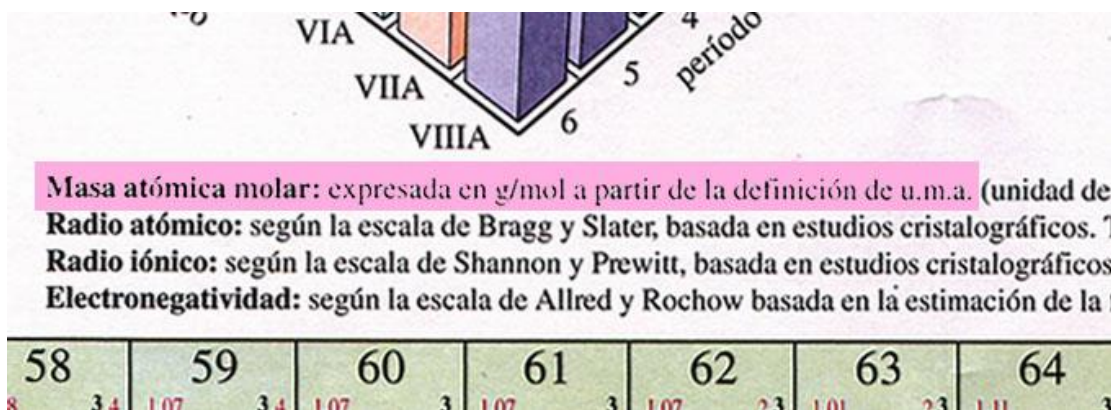
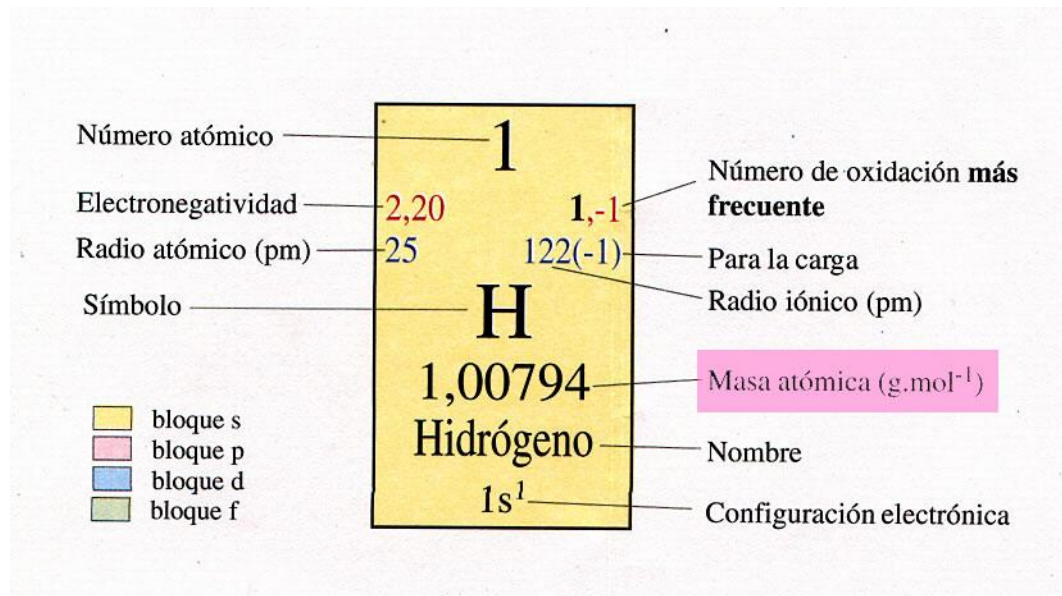
Esa unidad de masa atómica fue creada en 1961, por lo cual desde entonces dej. de tener sentido la expresión “masa atómica relativa”. Creo que ya es hora que comencemos a usar esta unidad como corresponde.

LO ENCONTRADO EN LOS TEXTOS MÁS UTILIZADOS

En textos actuales de última edición, Atkins (1992) y (1998), Moore (2000), Petrucci (1999), Whitten (1998) se sigue mencionando aún como “peso atómico” aunque luego hacen la aclaración de que no es correcto, ya que no es lo mismo peso y masa. Si tienen que aclarar que no es correcto ¿por qué lo siguen nombrando de esa manera?. En otro de los textos, Chang (1999) se habla de masa atómica promedio y se utiliza la unidad u, pero después dice “las unidades de masa atómica constituyen una escala relativa para las masas de los elementos”. En Whitten (1992) y (1998) se habla de “escala de pesos atómicos relativos basada en la unidad de masa atómica”. En Umland (2000) se menciona la masa de un átomo en unidades de masa atómica, pero luego dice que “como las masas atómicas son masas relativas son números puros, sin unidades”.

Como vemos muchos textos caen en contradicciones por la costumbre de seguir empleando los viejos términos. Lo mismo sucede en las tablas periódicas; algunas todavía siguen utilizando el término “peso atómico”. Muchas tablas para evitar problemas han dejado de usar la palabra “relativa” y se refieren simplemente a la masa atómica, pero sin ponerle ninguna unidad, cosa que confunde a los alumnos y lleva al absurdo de que digan que la masa atómica del oxígeno son 16 gramos.

En la tabla de Atkins(1998), las denominan masas molares con la unidad gramos/mol. En la mayoría de los elementos la masa atómica promedio (en u) coincide con la masa molar (en g) pero en los elementos que forman moléculas poliat.omicos (O_2 , Cl_2 , P_4 , etc.) cuando uno se refiere a masa molar se refiere la masa de un mol de moléculas y no de átomos, lo que induce a otro error.



Las fotos anteriores pertenecen a una tabla periódica en donde, como se puede apreciar denominan masa atómica molar a la masa atómica promedio y le colocan las unidades de g/mol; pero en el cuadro de referencia dice solamente masa atómica con las mismas unidades. Una persona experimentada interpreta que con masa atómica molar quieren referirse en realidad a la masa de un mol de átomos, pero para el alumno, que está aprendiendo el tema, no es tan fácil esa interpretación. Además en el cuadro de referencia se encuentra masa atómica en unidades de g/mol, lo que es incorrecto. Para comprobar esto realicé una pequeña encuesta entre mis alumnos del Ciclo Básico Común, luego de haber explicado el tema y sólo el 50 % lo interpretó

correctamente como la masa de un mol de átomos. De la mitad que contestó incorrectamente, la mitad, o sea un 25 % del total lo interpretaron como la masa de un átomo y el otro 25 % como la masa de un mol de moléculas o como la masa de un mol pero sin aclarar si era un mol de moléculas o de átomos.

No me extraña, después de encontrar todas estas contradicciones en textos o tablas, que los alumnos tengan una enorme confusión. Pienso que debemos ser muy cuidadosos en los términos que empleamos y además deberíamos unificar esos términos.

Actualmente se habla a los alumnos de la creación de una unidad de masa para medir la extremadamente pequeña masa de átomos y moléculas, pero luego se utilizan las masas atómicas y moleculares relativas, que no poseen unidades, lo que es una contradicción. Además el nombre de masa atómica lleva inmediatamente a la asociación con la masa de un átomo, cuando en realidad sabemos que no se refiere a la masa de un átomo determinado sino que es una masa promedio de la mezcla de isótopos de un elemento que se encuentra en la naturaleza.

W. Roundy Jr. (1989) hace notar que no se puede seguir empleando la misma definición de elemento que se usaba antes de ser propuesta y aceptada la teoría atómico molecular y propone una definición más moderna diciendo que todo elemento queda definido por su número atómico, ya sea que sus átomos se encuentren aislados o combinados. Conuerdo con W. Roundy Jr. (1989) en que debemos abandonar la antigua definición de elemento y pienso que también habría que redefinir en forma moderna y teniendo en cuenta la creación de la unidad atómica de masa, lo que hasta ahora seguimos llamando masa atómica relativa.

LA PROPUESTA

Si tenemos en cuenta que un elemento está definido por su número atómico; y sabemos que todos los átomos con igual cantidad de protones que se encuentran en la naturaleza pertenecen al mismo elemento (isótopos); y también que la masa atómica de ese elemento es un promedio pesado o ponderado de la masa de los distintos isótopos que se encuentran en la naturaleza; deberíamos ser coherentes con estos hechos y con la creación de la unidad y denominar a esa masa que aparece en las tablas periódicas MASA ATOMICA PROMEDIO, colocándole la unidad correspondiente (unidad de masa atómica) y utilizar el símbolo \mathbf{Ma}_p en lugar de A_r . Deberíamos también dejar el nombre MASA ATOMICA para cuando nos refiramos a la masa de un determinado isótopo, y utilizar el símbolo \mathbf{Ma} para evitar que se confunda con el número másico.

Diríamos entonces que la masa atómica promedio del elemento cloro es de 35,453 u y que la masa atómica de su isótopo más abundante, ^{35}Cl , es 34,969 u.

Con respecto a la masa molecular promedio, algunos textos como vimos todavía siguen hablando de peso molecular y peso fórmula; pero otros, Chang (1999), Moore (2000) y Petrucci (1999) evitan mencionarla y directamente pasan a la masa

molar, cuando todos sabemos que para calcular la masa molar debemos calcular la masa molecular promedio a partir de las masas atómicas promedio.

Me parecería adecuado que la denomináramos MASA MOLECULAR PROMEDIO, utilizando el símbolo $M_{m,p}$ en lugar de M_r y sobre todo que se colocara la unidad correspondiente. Y si se quiere hacer la distinción entre una sustancia molecular y una que no forma moléculas, denominarla en este último caso MASA FÓRMULA PROMEDIO ($M_{f,p}$), ya que es la masa de una fórmula empírica en unidades de masa atómica.

Diríamos así que la masa molecular promedio del agua es 18,01 u, que la masa fórmula promedio del cloruro de sodio es 58,5 u y que sus masas molares son respectivamente 18,01 g/mol y 58,5 g/mol.

Esto contribuiría a evitar una gran confusión en los alumnos que muchas veces cometen el tremendo error de poner la unidad gramo a las masas atómicas o moleculares relativas, sin darse cuenta que es un gigantesco absurdo que la masa de un átomo o de una molécula sea del orden de los gramos. Sería mucho más didáctico utilizar desde un comienzo la unidad de masa atómica para medir la masa de átomos y moléculas y que ellos vean que pueden convertirla a gramos, como cualquier otra unidad de masa.

Por otro lado pienso que si pretendemos que los alumnos sean precisos debemos ser muy cuidadosos en los términos que empleamos. Nos quejamos que la química tiene fama de “difícil”, pero sin darnos cuenta a veces nosotros mismos la estamos complicando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atkins** 2da. edic. (1992) y 3ra. edic. (1998) *Química General*. Omega. Barcelona.
- Chang, R.** 5ta. edic. (1999) *Química*. Mc. Graw Hill. México.
- Moore, Stanitski, Wood y Kotz** 2da. edic. (2000) *El Mundo de la Química – Conceptos y aplicaciones*. Addison Wesley Longman. México.
- Petrucci y Harwood** 7ma. edic. (1999) *Química General*. Prentice Hall Iberia. Madrid.
- Roundy, W. Jr.** (1989) What is an element? *Journal of Chemical Education* 66 (9) 729
- Umland Bellama** 1ra. edic. (2000) *Química General*. Thomson Editores.
- Whitten, Gailey y Davis** 3ra. edic. (1992) y 5ta. edic. (1998) *Química General*. Mc. Graw Hill. Mexico.

De Interés

QUIRALIDAD Y SÍNTESIS ASIMÉTRICA: IMPORTANCIA EN EL DISEÑO Y LA SÍNTESIS DE MOLÉCULAS BIOACTIVAS.

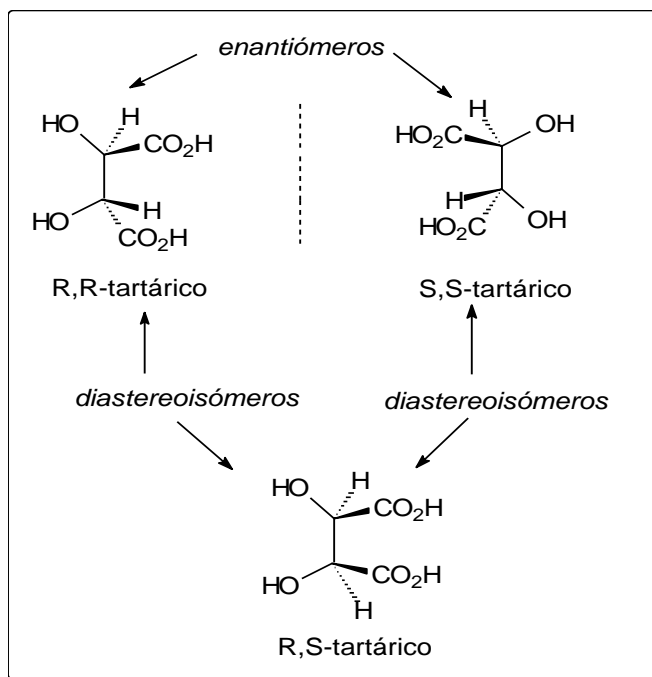
Albertina Moglioni

Departamento de Química Orgánica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA
E-mail: amoglio@ffyb.uba.ar

INTRODUCCION

La *quiralidad* es una propiedad de simetría fundamental, propia de los objetos tridimensionales. Se dice que uno de ellos es quiral cuando no puede ser superpuesto con su imagen especular. En el contexto de la química, la quiralidad se aplica a la estructura tridimensional de las moléculas. Si dos estructuras son constitucionalmente idénticas y difieren en el arreglo espacial de sus átomos, de tal manera que entre ellas resultan imágenes especulares no superponibles, se denominan *enantiómeros*:

En el caso de diferir únicamente en el arreglo espacial de sus átomos, pero no resultar imágenes especulares entre ellas, se denominan *diastereoisómeros*. Los siguientes ejemplos permiten ilustrar lo expuesto:

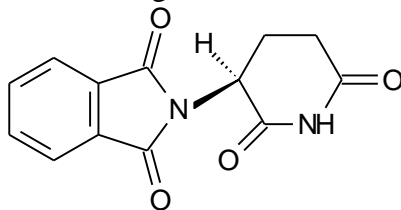


Los enantiómeros poseen idénticas propiedades químicas y físicas en ausencia de una influencia quiral. Esto trae una importante consecuencia: para la determinación de la proporción de dos enantiómeros en una mezcla la cromatografía normal y los métodos espectroscópicos convencionales deben ser modificados, para introducir una influencia quiral externa.

Hay sólo una propiedad en la cual los enantiómeros difieren y es la dirección en que desvían el plano de vibración de la luz polarizada. Este fenómeno es conocido como **actividad óptica** y sirve de base para clasificar a los enantiómeros en **levógiros** (giro a la izquierda) y **dextrógiros** (giro a la derecha). Dado que la rotación debida a cada enantiómero en una mezcla es aditiva, como primera aproximación el valor de dicha determinación da una idea de la composición de la mezcla. Una determinación cuyo valor sea cero indica una mezcla en relación 1:1 de cada enantiómero y la misma se denomina **mezcla racémica**.

LA IMPORTANCIA DE ALGUNOS ENANTIÓMEROS

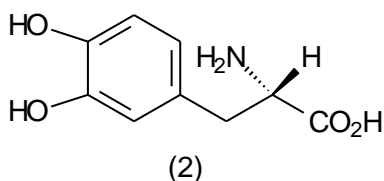
Si la actividad óptica fuera la única diferencia entre enantiómeros, la síntesis asimétrica se vería relegada a poco más que una curiosidad científica. Esto no es así dado que el mundo que nos rodea es quiral y las unidades con que se construyen las macromoléculas biológicas, esencia de los seres vivos de nuestro planeta, sólo se encuentran en una forma enantiomérica (Ejps.: L-aminoácidos, D-glucosa, etc.). Por otro lado, un compuesto quiral biológicamente activo, como un fármaco, interacciona con un receptor biológico que también es quiral, y por lo tanto no es sorprendente que los dos enantiómeros de una droga interaccionen de manera diferente y lleven a efectos distintos. Ejemplos bien conocidos de ello se enuncian a continuación: la *talidomida* (1) tiene efectos sedativos en sus dos formas enantioméricas, pero sólo la forma levógira causa malformaciones fetales. El uso de la forma dextrógira es igualmente nocivo dado que ambos enantiómeros se interconvierten en condiciones fisiológicas.



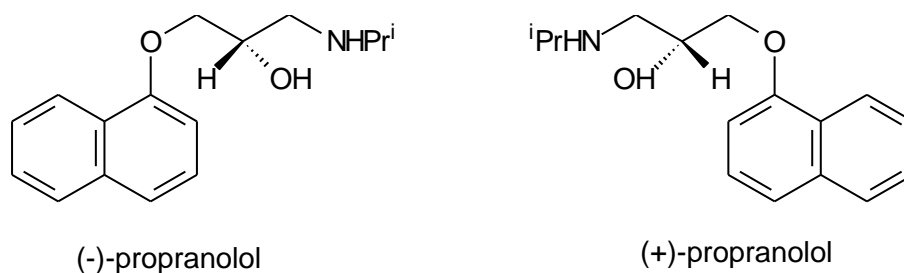
(1)

La (-)-*Dopa* (2) es el único enantiómero activo en el tratamiento de la enfermedad de Parkinson, no obstante este compuesto es el profármaco, dado que la forma activa es el producto de descarboxilación aquiral, la dopamina, pero el grupo carboxilo es necesario para atravesar la barrera hematoencefálica y la DOPA descarboxilasa, enzima responsable de la descarboxilación, es específica para el enantiómero levógiro. Para disminuir la dosis de (-)-*Dopa* y reducir los efectos adrenérgicos periféricos de la dopamina, se la administra junto con inhibidores de

la DOPA decarboxilasa que no atraviesan barrera hematoencefálica, tales como la carbidopa.



En el caso de otro fármaco como el *propranolol*, el enantiómero levógiro es un 8-bloqueante, antagonista del receptor adrenérgico beta, muy usado en enfermos cardíacos y el dextrógiro es contraceptivo. Es obvia, entonces, la necesidad de contar con la ausencia de contaminación enantiomérica en uno y otro estereoisómero.



LA SÍNTESIS ASIMÉTRICA Y SU UTILIDAD

Mientras que la resolución de una mezcla enantiomérica es posible para una molécula con una única unidad estereogénica, cuando hay más de una unidad estereogénica, la mejor forma de acceder al derivado con la estereoquímica buscada en cada uno de dichas unidades, es la preparación del mismo a través de una *síntesis asimétrica*. Esta puede ser definida, como una síntesis en la cual una unidad quiral dentro de un conjunto de moléculas es convertida en una unidad quiral, de tal manera que los posibles estereoisómeros son producidos en diferente proporción.

Un ejemplo de la utilidad de las síntesis asimétrica puede ser la síntesis del edulcorante artificial *aspartame*, de cuyos cuatro posibles estereoisómeros sólo uno es dulce y los otros tres ligeramente amargos. Es evidente que interesa la obtención de la forma dulce pura.

En general, es deseable el uso de los compuestos biológicamente activos en forma enantioméricamente pura, lo cual en muchos casos eleva considerablemente el costo de los productos. No obstante, en la actualidad, las pruebas de actividad biológica son realizadas sobre el producto activo y todos sus posible estereoisómeros antes de la puesta en uso del mismo. Esto acrecienta el interés en

la síntesis asimétrica no sólo de un enantiómero de reconocida actividad, sino de su enantiómero y posibles diastereoisómeros.

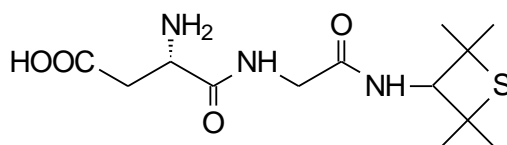
La continua necesidad de la industria farmacéutica es, sin duda, la mayor fuerza impulsora en el desarrollo de métodos nuevos y económicos para preparar principios ópticamente activos.

El uso de medicamentos en forma racémica está actualmente limitado por la legislación vigente y en consecuencia la preparación de drogas no-racémicas, es crítica para la industria farmacéutica actual. Hace una década, el 25 % de las drogas comercializadas eran quirales y sólo un 3 % se vendían como enantiómeros puros. Esto ha ido cambiando muy rápidamente y hoy el 75 % de las drogas farmacéuticas sintéticas y el 20 % de los agroquímicos son enantiopuras. El empuje hacia el uso de un único enantiómero fue dado en 1992 cuando la FDA publicó una normativa al respecto que, si bien no ha sido punitiva, ha sido un reconocimiento oficial a la utilidad de usar drogas enantiopuras. Esto ha persuadido a las compañías farmacéuticas para comenzar a desarrollar síntesis enantiopuras. Así, la venta de drogas ópticamente puras se ha duplicado entre 1994 y 1997. Esto ha sido fundamentalmente reforzado por el llamado "racemic switches" a través del cual compuestos previamente comercializados como racematos han sido relanzados al mercado como un único enantiómero. Alrededor de veinte compuestos han sido desarrollados en forma enantiopura. Los laboratorios más activos en tal sentido han sido Merck, Chiroscience y Sepracor. En la obtención de compuestos ópticamente activos hay una serie de puntos que deben ser considerados: cómo y cuándo se genera la actividad óptica en una síntesis, los pro y los contra del uso de métodos biológicos respecto de métodos químicos, el desarrollo histórico de las aproximaciones comerciales a los productos quirales importantes y cómo ayuda el advenimiento de estructuras similares el rango de aproximaciones posibles.

Las **principales áreas tecnológicas** desarrolladas en tal sentido son:

1) El uso del "*pool quiral*": Esta fuente de quiralidad es la más económica, al ser fácilmente accesible a partir de productos naturales ópticamente activos y constituye un consumo de sustancias de hasta 100000 toneladas anuales. El "pool quiral" está constituido fundamentalmente por aminoácidos, azúcares, hidroxiaácidos y terpenos naturales y continúa expandiéndose por la incorporación de algunos productos industriales homoquirales de bajo costo que se han ido preparando en respuesta a las necesidades sintéticas. El "pool quiral" es referido generalmente al uso de estas sustancias como bloques de construcción de moléculas ópticamente puras, pero más adelante veremos que también pueden ser utilizados en la preparación de catalizadores y auxiliares quirales. Dentro de los aminoácidos, los α -aminoácidos de la serie L están ampliamente disponibles, con elevados excesos enantioméricos (*ee*) y son la fuente más antigua de quiralidad. No obstante, los requerimientos de la industria han llevado a la producción de la serie D en cantidades importantes. Así la D-alanina, por ejemplo, ha sido utilizada en la

síntesis del edulcorante alitame y si bien no era en aquel momento ampliamente disponible, tal circunstancia aumentó su producción. En el mismo área, el aspartame, otro edulcorante, ha estimulado la producción de L-fenilalanina, cuya demanda pasó de 50 toneladas anuales en 1980 a más de 3000 en 1985, con el desarrollo de este producto y más de 20 compañías se involucraron en la producción de la L-fenilalanina.



alitame

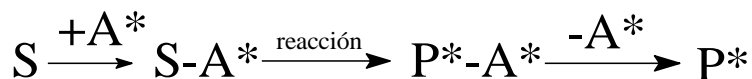
Aminoácidos tales como la L-treonina y los ácidos L-aspártico y L-glutámico han sido utilizados en la síntesis de antibióticos del grupo carbapenem.

También son muy utilizados en el campo de la síntesis asimétrica hidroxiácidos naturales, tales como el (+) y el (-) láctico, el (+) tartárico y el (-) málico. Así el (+) tartárico es utilizado en la síntesis del ácido R-(-)- γ -amino- β -hidroxibutírico (GABOB), un fármaco actualmente en uso en terapias asociadas al ácido γ -aminobutírico (GABA).

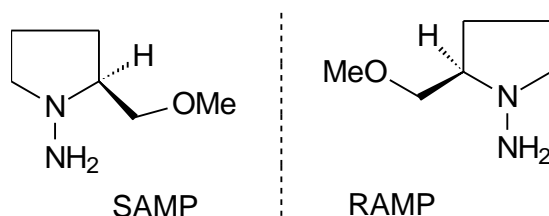
En lo que se refiere al uso de azúcares y derivados, son abundantes, baratos y renovables, pero generalmente sólo se encuentran en una de las formas ópticamente activas y raramente guardan buena relación estructural con moléculas de interés sintético.

En cuanto al uso de terpenos, ellos mismos no pueden ser directamente incorporados como bloques de construcción y su mayor aplicación la encuentran como agentes de resolución y en la preparación de catalizadores quirales. El hecho estructural de estos compuestos es la presencia de la agrupación del *gem*-dimetilo, que unida a la actividad óptica ha estimulado el uso de los mismos en la síntesis de insecticidas piretroides sintéticos.

2) El uso de ***auxiliares quirales*** muchos de los cuales, muy sofisticados, están hoy comercialmente disponibles y son fundamentales para la manufactura de fármacos enantiopuros. El control de la quiralidad en este caso es llevado a cabo por un grupo quiral, derivado también del “pool quiral”, en el sustrato. La diferencia con el método anterior, es que el auxiliar es unido deliberadamente al sustrato para que dirija la reacción y una vez que ha cumplido su propósito es removido. De esta manera permite la transformación de un sustrato aquiral en un sustrato homoquiral. El proceso puede representarse de la siguiente forma:

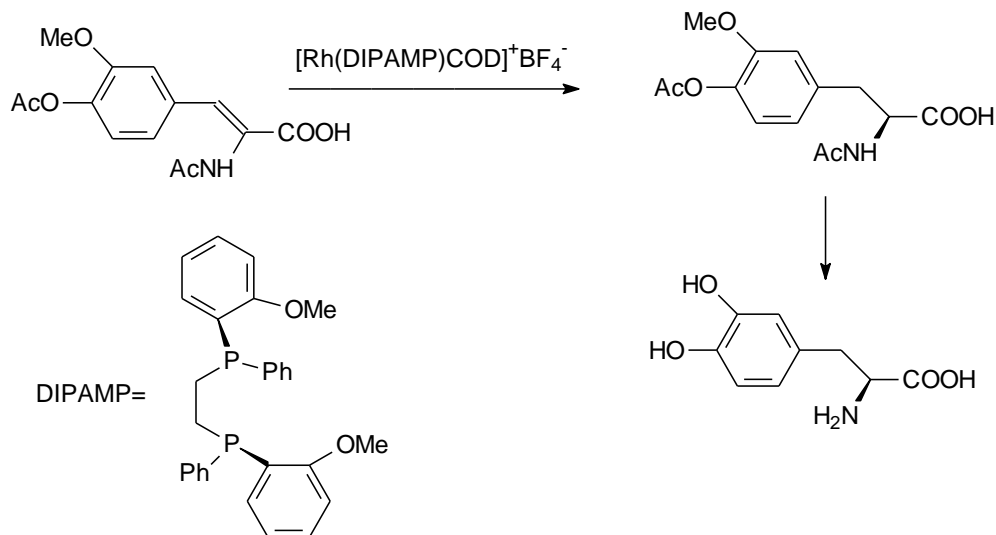


Una aplicación muy usada de esta metodología es el hecho de que los dos productos resultantes resultan diastereoméricos por la presencia del centro quiral ya presente en el auxiliar. Esto significa que aún cuando la diastereoselección de la reacción sea moderada, el diastereómero no deseado puede ser separado de la mezcla por cristalización o cromatografía previa a la separación del auxiliar quiral. Muchos de los métodos de síntesis asimétrica introducidos en los últimos 20 años corresponden al uso de esta metodología. Dos auxiliares quirales muy difundidos son los derivados de la prolina, el SAMP y su enantiómero el RAMP, utilizados para la alquilación asimétrica de aldehídos y cetonas y en adiciones tipo Michael. Ambos son comercialmente disponibles, pero caros, aunque pueden ser reciclados sin dificultad y en condiciones suaves.



Otros auxiliares muy utilizados son las oxazolidinonas de Evans, especialmente útiles en la síntesis de ácidos carboxílicos sustituidos en la posición α - por N, O ó C.

3) La *catálisis asimétrica* ha permitido la aplicación práctica y a gran escala de la síntesis asimétrica, pero en realidad la más desarrollada ha sido la catálisis en fase homogénea con los problemas de purificación que conlleva, mientras que no se han hecho tantos avances en el desarrollo de catálisis heterogénea. La catálisis asimétrica puede ser por métodos enzimáticos y no enzimáticos. Dentro de los métodos no enzimáticos la hidrogenación asimétrica tiene su origen en el catalizador soluble de Wilkinson modificado con fosfinas quirales como ligandos, que ha llevado al proceso Monsanto para la síntesis de levodopa comercializada desde 1970, según el siguiente esquema. Este fue un hito en la catálisis asimétrica industrial y un pilar para aumentar considerablemente la investigación a nivel industrial.

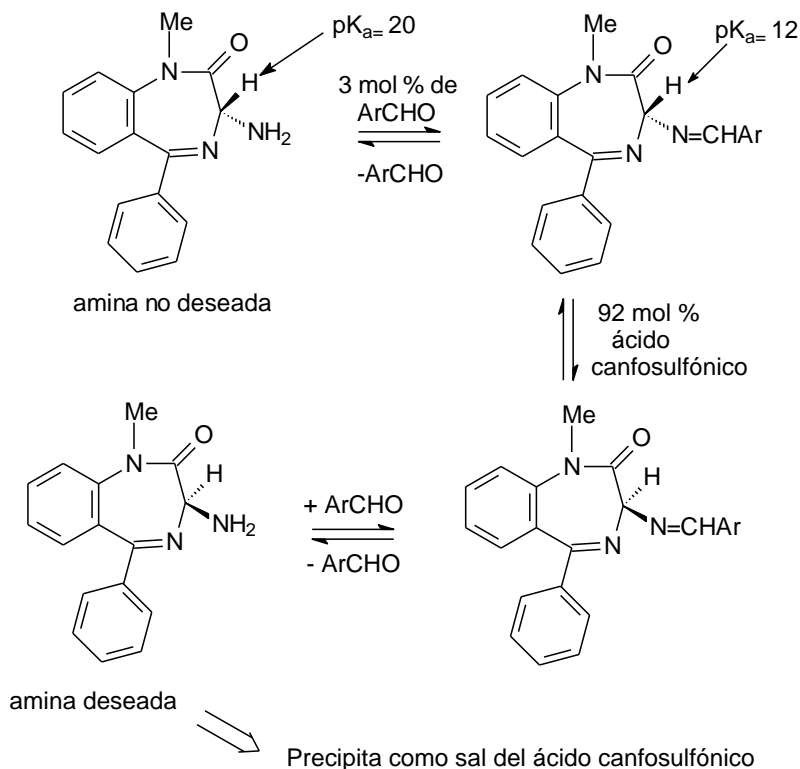


Mientras que las reducciones asimétricas de cetonas son aún realizadas en mejores condiciones por métodos enzimáticos respecto de la cantidad de sustratos aceptados ha habido considerables avances en los años recientes por Noyori y colaboradores.

Dentro de las oxidaciones asimétricas la versión catalítica de la epoxidación de Sharpless ha sido ya utilizada industrialmente a la escala del multikilogramo.

También ha sido investigada la ciclopropanación asimétrica dado que puede aplicarse a la síntesis de piretroides en gran escala.

4) La **resolución clásica** vía la cristalización de diastereoisómeros, independientemente de su imagen de “baja tecnología” es ampliamente utilizada industrialmente, especialmente en la producción de drogas ópticamente activas no derivadas de productos naturales. Es el método utilizado en la preparación del 65% de las drogas ópticamente activas en uso. Hay muchos ejemplos donde este método es el claramente conveniente desde el punto de vista económico. Muchas veces esta metodología no es considerada seriamente por el gran empirismo en que se basa. Sin embargo hay guías que permiten una aproximación real al problema con grandes posibilidades de éxito. La resolución clásica se vuelve particularmente atractiva donde puede ser combinada con la racemización *in situ*, en una cristalización asimétrica inducida, proceso que es conocido como *deracemización*. De esta manera es posible obtener la casi completa conversión al enantiómero deseado, dado que la precipitación de uno de los diastereómeros desplaza el equilibrio a favor de ese isómero. Un elegante ejemplo de este procedimiento, es el descrito utilizando una cantidad catalítica de aldehído lo que facilita la racemización en solución y a temperatura ambiente de una amina que continuamente cristaliza como la sal del ácido (+)-10-canfosulfónico



La **resoluci\u00f3n por cristalizaci\u00f3n directa** es tambi\u00e9n atractiva, dado que no requiere m\u00e1s que del uso de solvente. La formaci\u00f3n de conglomerados es un prerrequisito para la resoluci\u00f3n de enanti\u00f3meros por cristalizaci\u00f3n directa. Si bien un conglomerado es \u00f3pticamente neutro, los cristales individuales contienen s\u00f3lo uno de los enanti\u00f3meros, mientras que un cristal individual de un compuesto rac\u00e9mico contiene iguales cantidades de ambos enanti\u00f3meros. Hay m\u00e9todos definidos para establecer si las formas s\u00f3lidas obtenidas son conglomerados o cristales y luego intentar la aplicaci\u00f3n de esta forma de resoluci\u00f3n. Sin embargo esta t\u00e9cnica es de limitada e impredecible aplicabilidad. La ocurrencia de conglomerados se estima en menos del 10 % de todos los racematos cristalinos y entre las sales son dos o tres veces m\u00e1s frecuentes que entre compuestos covalentes. Por ejemplo, todos los α -amino\u00e1cidos pueden ser resueltos directamente o como sus derivados.

La **resoluci\u00f3n cin\u00e9tica** es una metodolog\u00eda en la cual uno de los enanti\u00f3meros A de un racemato AB es convertido en un producto m\u00e1s r\u00e1pidamente que el otro B. De la diferencia de velocidad entre ambas reacciones depender\u00e1 la eficiencia de la resoluci\u00f3n y llevar\u00e1 a recuperar una mayor cantidad del reactante con mayor *ee* (exceso enantiom\u00e9rico). Lo atractivo de esta metodolog\u00eda es que el *ee* del sustrato residual mejora con el grado de conversi\u00f3n y con una modesta selectividad es posible recuperar el sustrato con alto exceso enantiom\u00e9rico. La resoluci\u00f3n cin\u00e9tica puede ser desarrollada por m\u00e9todos qu\u00edmicos o enzim\u00e1ticos (estos ser\u00e1n tratados dentro de los m\u00e9todos biol\u00f3gicos).

La catálisis química ha recibido aún poca aplicación, pero está siendo aplicada fundamentalmente en el campo de la hidrogenación, lo cual es realmente un ejemplo de resolución cinética.

5) Los **métodos biológicos**, especialmente los métodos enzimáticos, han mostrado una creciente aplicación en la síntesis de materiales homoquirales desde la década del '70 hasta el presente. El uso de enzimas puede ser referido al empleo de enzimas aisladas o de microorganismos. En lo que respecta al uso de anticuerpos en síntesis asimétrica, si bien se avanza rápidamente, su potencial industrial es aún visto a largo plazo y con muchos problemas a resolver todavía a nivel académico. Dentro de lo que implica el uso de enzimas, ha sido exitosamente aplicado a la síntesis de epóxidos quirales y desde 1992 doce 1,2-epoxialcanos están disponibles comercialmente, como así también varios epóxidos polifuncionalizados con la configuración *S*, requerida para la síntesis de muchos β -bloqueantes.

En cuanto a las reducciones, las levaduras han sido utilizadas ampliamente, de una manera bastante empírica. Son bastante atractivas, dado su bajo costo, el hecho de no requerir un equipamiento elaborado ni una técnica estéril, la amplia variedad de sustratos a las que pueden ser aplicadas y el elevado *ee* con que generalmente dan las reacciones.

Otra interesante aplicación de los métodos biológicos es la síntesis de α -aminoácidos homoquirales por aminación reductiva de α -cetoácidos utilizando deshidrogenasas, proceso que actualmente se encuentra comercializado.

En lo que respecta al uso de métodos biológicos para la síntesis de compuestos ópticamente activos, el número y la variedad de procesos enzimáticos a gran escala se va incrementando, lo cual demuestra que en muchas situaciones la bioquímica ofrece la solución más económica. Mientras que algunas de las enzimas empleadas no requieren cofactor, en otros casos, en los que sí son necesarios, han sido reciclados con éxito. El uso de sistemas biológicos tiene ventajas tales como la especificidad, el control cinético de las reacciones involucradas, la manipulación de las propiedades catalíticas por ingeniería genética, el hecho de que muchas enzimas actúen en iguales condiciones de pH y temperatura (lo que conlleva a que varias reacciones puedan desarrollarse sin aislamiento del intermediario de reacción) y las suaves condiciones de uso, lo cual permite la recuperación de productos no accesibles por métodos químicos. Como desventajas debemos señalar que por métodos biológicos no siempre es posible acceder a ambos enantiómeros como lo es por métodos químicos, los volúmenes de producción aún no son elevados, la necesidad de emplear cofactores, la inestabilidad química y térmica de las enzimas, la incompatibilidad con los solventes orgánicos, el hecho de que estén sujetas a inhibición y de que las reacciones sean a veces más lentas que al ser realizadas como procesos químicos y la difícil separación de fases al realizar el tratamiento de las reacciones. Todo esto lleva a concluir que los procesos biológicos no deben ser vistos como la solución mágica respecto de los otros métodos de catálisis asimétrica.

En el año 2001 los ganadores del Premio Nobel de Química: Barry Sharpless, Ryoji Noyori y William Knowles han sido merecedores de tal distinción por haber desarrollado avances especialmente en el campo de la *catálisis asimétrica* los cuales han sido aplicados fundamentalmente en la síntesis industrial de un gran número de productos farmacéuticos, edulcorantes e insecticidas, algunas de los cuales se han recogido en este trabajo

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Aitken R. A. y Kilényi S. N. (1992) en “Asymmetric Synthesis”, Blackie Academic & Profesional.

Collins A. N., Sheldrake G. N. y Crosby J. en “Chirality in Industry: the commercial manufacture and applications of optically active compounds”, John Wiley & Sons, 1992.

Collins A. N., Sheldrake G. N. y Crosby J. (1997) en “Chirality in Industry II: developments in the manufacture and applications of optically active compounds”, John Wiley & Sons

Morrison J. D. (1983-1985) en “Asymmetric Synthesis”, Vol. 1-5, Academic Press, Orlando

Eliel E. L., Wilen S. H. y Mander L. N. (1994) en “Stereochemistry of Organic Compounds”

Atkinson R. S. (1995) en “Stereoselective Synthesis”, John Wiley & Sons

