

El alumno, el profesor y las macromoléculas

Resumen: Este artículo trata de subrayar la importancia de la comunicación en la enseñanza de la química. El alumno y el profesor deberán establecer un lenguaje común de entendimiento que va más allá de la nomenclatura utilizada en esta disciplina, distinguiendo el lenguaje utilizado en las aulas del utilizado en la industria y el comercio. El óptimo aprendizaje requiere un análisis de los canales de percepción utilizados por el alumno para comprender las explicaciones del profesor. Con el objetivo de evaluar el grado de sensibilidad perceptiva de un colectivo de alumnos, se propone un test de palabras adecuadamente seleccionadas. El nivel de comprensión alcanzado se evalúa mediante un test de respuesta fija entre varias opciones.

Las macromoléculas en la sociedad

Al explorar en algunos libros de divulgación científica de química o de ciencias en general, dirigidos a lectores que no son profesionales de la química, observamos que es frecuente dedicar algún capítulo al tema de los plásticos. No puede ser por menos, si tenemos en cuenta el volumen de utilización y consumo que se hace de los mismos en la sociedad actual. Tal es el grado de utilización alcanzado, que se ha creado un verdadero problema medioambiental con sus residuos.

El rechazo social que se manifiesta ante estos productos sintéticos se debe a la limitación que tiene el hombre en su saber. En estos momentos, la sociedad no es capaz de reutilizar o reciclar en su totalidad los productos que genera, a un precio bajo y en un periodo de tiempo razonable; es decir, aproximadamente, el mismo que la naturaleza utiliza en descomponer una celulosa o una proteína. El conocimiento de la química de estos materiales permitirá diseñar actuaciones químicas para conseguir su modificación y aprovechamiento integral, evitando su depósito en vertederos, o su incineración en base a un aprovechamiento energético. Para ello, es fundamental que el aprendizaje de los conceptos básicos no sea confuso.

A menudo, se hace referencia a estos "productos plásticos" con más de una denominación; como mínimo se habla de *polímeros* y de *plásticos*. Si los temas que se divulgan están relacionados con la biología o la medicina, a menudo se utilizan términos como: macromoléculas, polipéptidos, polisacáridos, y enzimas, entre otros. La puesta en escena se complica cuando se pretende clasificar a estos materiales por sus propiedades y surge la necesidad de conocer lo que tienen en común. Los productos sintéticos ofrecen un tacto, aspecto y unas determinadas propiedades que los diferencian de los productos naturales: algodón, lana, gomas, resinas, papel etc., y también de los biológicos, por ejemplo los constituyentes de nuestro propio cuerpo: músculos, pelo, uñas, etc.

La clasificación que encontramos con mayor asiduidad, tanto en revistas de divulgación social como en libros de texto de cualquier nivel, está ligada a las aplicaciones de estos productos; así encontramos secciones dedicadas a las *fibras sintéticas*, *cauchos*, *plásticos*, *adhesivos*, *polímeros naturales*, etc. De hecho, también la industria se agrupa en sectores bajo estas denominaciones: la industria del caucho, de los adhe-



Dr. Fernando Zamora Gabaldón

sivos, del plástico, etc. Toda esta terminología deberá conocerla el alumno, pero no deja de constituir una fuente de confusión si no se le instruye, inicialmente, en conceptos básicos simples que son comunes a todos estos materiales.

Con frecuencia se acentúa la atención del lector resaltando las propiedades que presentan algunos de estos materiales como es la capacidad de reblandecerse cuando se calientan a una temperatura elevada y su facilidad para ser moldeados. Así se nos introduce alguna terminología adicional como *termoplástico*, que engloba a aquellos materiales que se pueden reblandecer y conformar repetidas veces; o *termoestable* cuando sólo es viable hacerlo una vez y un calentamiento posterior los llegaría a descomponer.

El aprendizaje y las dificultades de comunicación

Una dificultad básica en el aprendizaje de cualquier materia radica, en gran medida, en el lenguaje utilizado por el profesor y en la comunicación que se pueda establecer entre él y el alumno. En ciertos casos, como sucede con las macromoléculas, no se sigue la nomenclatura química oficial por ser engorrosa y dificultar la comunicación. Para solventarlo se ha desarrollado una terminología más simple que identifica a los productos por siglas, por ejemplo: *el polietileno de alta densidad* se identifica con las siglas HDPE -del inglés High Density Poly(Ethylene)-, *el poliestireno* se identifica por PS, y así sucesivamente para el resto de los materiales industriales de estas características. Estas siglas están recogidas en las normas DIN 7728 Part 1, y en ISO 1043 (1987). No obstante el éxito de algunos productos comercializados ha sido de tal importancia que su propio nombre químico sirve para identificar un objeto frente al nombre de su marca comercial, o a la inversa, lo que es más común, una marca identifica a un producto. Escuchamos a menudo hablar de "ventanas de PVC" que hace referencia al nombre químico del producto, el poli(cloruro de vinilo) -del inglés Poly(Vinyl Chloride)-, y no a las diferentes marcas con las que se comercializan las ventanas. El caso contrario es el del "teflón" que corresponde a una marca comercial registrada del poli(tetrafluoretileno) (PTFE) -del inglés Poly(TetraFluorEthylene)-. Y esta forma de hablar se transmite a los estudiantes, a los sectores industriales y a la sociedad en general. Así pues, cuando identificamos un producto por un determinado nombre, debemos asegurarnos si éste corresponde a su marca, a un término industrial, o a su nombre químico según las normas internacionales (IUPAC).

En la enseñanza de las macromoléculas no somos ajenos a

Profesor Titular de Química Física.
Departamento de Ciencia y Tecnología de Polímeros.
Facultad de Química de San Sebastián.
Universidad del País Vasco (UPV-EHU).
C-e: fernando.zamora@ehu.es

El alumno, el profesor y las macromoléculas

esta situación y enseguida vamos a darnos cuenta de por qué sucede así. En una conversación habitual entre comerciales y/o profesionales de algunos sectores industriales, es frecuente hacer referencia a productos como *plásticos*, *resinas*, *elastómeros*, y *fibras sintéticas*, asociando cada término con una propiedad característica que nos permite distinguirlos por la vista o por el tacto. Esta terminología no es químicamente correcta pero es útil; y es, en parte, responsable de la confusión y dificultad con que se encuentra un alumno al incorporarse al aprendizaje de química, y de las macromoléculas en particular. Desde un punto de vista pedagógico, se debería recalcar que todos estos materiales tienen en común el carácter macromolecular y que sus distintas propiedades derivan de su diferente constitución química.

La utilización de términos diferentes para referirse a un mismo material, es un modo frecuente de comunicación en el sector industrial, en el que se emplean términos como *resina*, *resina termoplástica*, y *plástico*, para referirse a compuestos macromoleculares de alto peso molecular. Esto deriva, en parte, del aspecto que adquieren estos materiales, bien a temperatura ambiente o en estado fundido, o de flujo, a temperatura elevada, ya que presentan una elevada viscosidad y un carácter pegajoso. Ante la demanda de *plástico* de poli(cloruro de vinilo), un técnico comercial puede ofrecernos un material sólido en granza designándolo como *resina termoplástica* de vinilo, o simplemente *resina* de vinilo. La referencia al término vinilo proviene del hecho de que la polimerización de poli(cloruro de vinilo) deriva de un compuesto químico que contiene el radical vinilo en su estructura. Sin embargo, con el término resina se hace referencia a su comportamiento a temperatura elevada, mientras que el demandante estaba pensando en las propiedades de la macromolécula a temperatura ambiente, es decir las de un *plástico*.

Tradicionalmente el término *resina* se asigna a compuestos naturales pegajosos y de elevada viscosidad formados por una mezcla de compuestos orgánicos de bajo peso molecular que interaccionan entre sí con gran intensidad. Sin embargo, durante la síntesis de macromoléculas se puede controlar su peso molecular y si éste es pequeño (p.e. inferior a 5000, dependiendo de cual sea su estructura química) el compuesto que se obtiene es también pegajoso y de elevada viscosidad. Así pues, la información que nos aporta el técnico comercial debería ser completada especificando el nombre químico del producto y/o su composición. Las propiedades físicas y químicas vienen correctamente especificadas en los correspondientes catálogos.

Otro término ampliamente utilizado junto al de *resina*, que puede crear confusión, es el de *resina termoestable* que se utiliza para identificar el material con el que se ha moldeado un objeto rígido (como los mangos de las sartenes), el cual pierde su capacidad de flujo una vez que ha sido conformado el objeto. El producto de partida puede ser bien el propio monómero, del que deriva la macromolécula, o una resina fluida (macromolécula de bajo peso molecular) a los que se ha forzado a desarrollar una estructura reticulada a través de enlaces covalentes, proceso que se denomina *curado* de la resina. Es frecuente escuchar que determinados objetos, o productos semi-elaborados, están fabricados con resinas de: fenol-formaldehído, urea-formaldehído, melamina-formaldehído, poliéster, epoxi, poliuretano, silicona, etc.; y es una manera de atribuir

la calidad de un producto al nombre químico del material. Así, se dice: esta embarcación es magnífica porque es de *resina de poliéster*.

Los productos lineales, de alto peso molecular y con propiedades elásticas, son aquellos que muestran una gran deformación al aplicarles un esfuerzo, y que se retraen instantáneamente al cesar esta acción. Los denominamos *elastómeros*. Pero el término general de "caucho" aún se aplica a todos los productos que muestran este tipo de comportamiento elástico, por referencia al primitivo *caucho natural* que químicamente corresponde al 1,4-*cis*-poli(isopreno) y es el compuesto mayoritario del látex segregado por el árbol de la especie *Hevea brasiliensis*. Hoy en día, gran cantidad de este producto, y de otros elastómeros, se obtienen por síntesis y con estructuras químicas muy diferentes; por ejemplo, las siliconas. Por ello, conviene identificarlos con el término más general de *elastómeros*.

El comportamiento deformable y elástico corresponde a un estado particular del de los polímeros lineales, ya que todos pueden ser deformados con tal de que se encuentren a una temperatura conveniente. Por ejemplo, el poli(estireno) calentado por encima de 150°C es deformable y elástico como un elastómero, aunque con un carácter retráctil bastante inferior al del "caucho natural" porque su estructura química es distinta. Por el contrario, si el 1,4-*cis*-poli(isopreno) se enfría a temperaturas inferiores a -40°C, se vuelve rígido y frágil y no manifiesta sus propiedades elásticas.

La elasticidad de una macromolécula puede ser modificada no solo por un efecto térmico, sino también mediante reacciones químicas que modifiquen su estructura química. La fabricación de determinados objetos de caucho, como las ruedas de un vehículo, requiere su "vulcanizado" término que identifica la reacción química de reticulación para crear enlaces covalentes entre las moléculas lineales del elastómero. La elasticidad remanente en el producto final dependerá de la intensidad de la reacción química. Cuanto mayor es el grado de reticulación, menor es su elasticidad.

La percepción neuro-lingüística

Es imperativo reconocer que el aprendizaje de cualquier tarea exige voluntad y esfuerzo continuo para la consecución del objetivo y resulta vano que se pretenda alcanzar alguna meta si las personas que constituyen el grupo de trabajo -alumnos y profesor- están desmotivados o desinteresados, el uno en aprender y el otro en enseñar. Asumimos, por tanto, que estos requisitos los cumplen ambos colectivos.

Para el alumno, el proceso de aprendizaje se desarrolla en cuatro fases: *percepción*, *entendimiento*, *comprensión* y *capacidad de aplicación*. El profesor, por su parte, deberá atender a la manera de cómo efectúa la *transmisión del conocimiento*, porque es un factor clave para facilitar la percepción y el entendimiento del concepto que se quiere transmitir. La comprensión debe ser el resultado del esfuerzo mental y de la voluntad de trabajo del propio alumno. Cuando se ha alcanzado este nivel, su "saber hacer" debe ser, prácticamente, inmediato, con un ligero apoyo tutorizado por parte del profesor.

El proceso de aprendizaje se complementa con un diseño adecuado del sistema de evaluación que determine lo que es capaz de comprender el alumno, más que su capacidad para

memorizar lo que no entiende. Dependiendo de cual sea el resultado obtenido en esta evaluación, se cuestionará el método seguido en la transmisión del conocimiento, y se modificará, convenientemente, hasta que se alcance el objetivo de aprendizaje inicialmente planteado.

A continuación nos ocuparemos de conocer las características de percepción del grupo de aprendizaje y de plantear algunas vías de transmisión para explicar el concepto de *macromolécula*.

Ante cualquier acción a la que nos enfrentemos a lo largo de nuestra vida, sea una conversación entre amigos, una discusión, una conferencia, o la disertación oral de una clase de colegio, o universitaria, percibimos y entendemos la realidad a través de nuestros sentidos y, ya desde la adolescencia, cada persona ha jerarquizado la confianza que otorga a cada uno de los sentidos. Unos perciben y entienden a través de la vista con más rapidez y facilidad que otros que priorizan el sentido del oído. Otros son más sensitivos al tacto, al olfato, o a los sentimientos. Se dice que las personas que utilizan preferentemente el canal sensorial de la vista para la percepción de las realidades de su entorno son: **visuales**; las que utilizan el oído: **auditivas**; y las que utilizan el resto de los sentidos son **cinestésicos**.

Si se tienen en cuenta estas conductas, el profesor que pretenda alcanzar la máxima capacidad de aprendizaje del alumno, no le debe bastar con saberse el tema que va a exponer, o las actividades que vaya a emprender; deberá conocer la mejor vía de percepción del auditorio para comunicarse con él a través de esas sensaciones. En determinadas situaciones, por ejemplo, ante un auditorio al que deba dirigir un discurso, no puede, no tiene tiempo, para identificar las personas que le van a resultar visuales, auditivas o cinestésicas, y en ese caso su discurso debe englobar actitudes dirigidas a todas las sensibilidades en general con una expresividad oral y gesticular, desarrollada al azar, durante todo el periodo de su exposición. Con un conjunto de alumnos al comienzo de un curso reglado, que va a durar un considerable número de semanas, el profesor puede reconocer la diversidad de capacidades sensoriales de sus alumnos a partir de la realización de determinadas pruebas, que a modo de test, le facilite esta información.

Es muy probable que se encuentre ante un grupo de percepción diversificado dado que las personas somos diferentes. En dicho caso, después de una primera exposición de ideas, éstas se pueden recalcar con ejemplos visuales o sensitivos, de manera que todo el conjunto de oyentes perciban lo que se está explicando. Pero puede suceder que ante una temática concreta, tan sólo se interese un determinado grupo de personas que les atrae algo en común y que quizás lo perciben de modo semejante. Si esta es la situación del auditorio, conviene saberlo para plantear la exposición de manera que sea fácilmente comprensible por estas personas, y no de otra, aunque nos parezca a nosotros más interesante, porque la comunicación entre el orador y la audiencia no sería óptima.

En este artículo, dedicado a la enseñanza del concepto de *macromolécula*, se tendrá en cuenta que las personas que son visuales agradecerán el poder ver en la pizarra, o a través de otros medios visuales, las estructuras químicas mencionadas, la disposición de los átomos, las estructuras que adoptan en el espacio, los gráficos de diferentes magnitudes que representan su comportamiento. Puede servir el visualizar videos que muestren cómo son los reactores químicos donde se producen las reacciones y en qué condiciones lo hacen, o cómo son las

máquinas que procesan y transforman los materiales de los que estamos hablando.

Las personas auditivas requieren y utilizan un ritmo de lenguaje más ordenado, lento y seguro. Los términos cuidados y precisos, que se utilizan en la oratoria, favorecen que el significado de los conceptos puedan ser más fáciles de entender. Se debe evitar el uso de términos sinónimos para repetir la explicación de un concepto que quede poco claro, porque con ello se enreda la percepción del alumno que tiene dificultad para entender la idea explicada. En estos casos, es aconsejable recurrir a un ejemplo distinto.

Las personas cinestésicas son más lentas en su percepción y reaccionan preferentemente a reacciones táctiles o sensoriales. Una oratoria seguida, sin altibajos, monótona, puede desmotivarlas. En el desarrollo de una clase tradicional, serán estos alumnos los más solicitados para participar en la escena: alumno-profesor-tarima-pizarra, frente al resto del alumnado. En determinadas situaciones puede involucrarse a todo el grupo. Estas acciones participativas implican una extrema delicadeza y estimulación por parte del profesor para que la colaboración del alumno se efectúe con agrado, sin que suponga ridículo o animadversión. Por ejemplo, para conseguir que el alumno se aperciba de la dificultad de movimiento espacial que presenta la unidad repetitiva de una macromolécula lineal -o un segmento de longitud aleatoria de la misma- con respecto a sus vecinas, se propuso lo siguiente:

Todos los alumnos que estáis sentados en la misma fila de la clase estáis constituyendo una cadena macromolecular. Por favor, tres de vosotros -sentados en el centro de la fila- os vais a poner de pie con los brazos en cruz. Después de las sonrisas incipientes lo hacen, a la vista de que el profesor también se puso con brazos en cruz. Enseguida se dan cuenta de que tienen dificultades para extender los brazos sin molestar a su vecino, lo que les lleva a girarse en un determinado ángulo. La dificultad se incrementa si se les solicita que giren sobre sí mismos. Ahora su movimiento llega a estar impedido realmente. Los brazos extendidos se asocian con los grupos voluminosos de la unidad repetitiva de la macromolécula que inducen al retorcimiento de la cadena macromolecular de manera que su entorpecimiento sea mínimo.

Otro caso de interés, que es fácil de resaltar, es el del comportamiento de los extremos de la cadena respecto al movimiento de un segmento intermedio de la cadena macromolecular. *A los alumnos de la fila se les solicita que se cojan de la mano a modo de enlaces químicos. El alumno del extremo -situado próximo al pasillo- se mueve más fácilmente en el espacio de su entorno -se dice que dispone de mayor "volumen libre"- que uno situado en el medio de la fila, simplemente porque su capacidad de enlace es la mitad del que está situado en el centro, y no nota tanto impedimento estérico a su alrededor mientras efectúa los movimientos que representan los posibles cambios conformacionales de la macromolécula.*

Seguidamente proponemos las siguientes pruebas y ejercicios para conocer las características del grupo de alumnos y comprobar su grado de aprendizaje mediante:

✍ Un test de percepción que nos permita obtener el perfil de sensibilidades del auditorio.

✍ Un texto, con la explicación del concepto de macromolécula y algunas de sus propiedades más relevantes, que se ha redactado para los tres tipos de sensibilidad, y que debe ser

El alumno, el profesor y las macromoléculas

leído por el profesor, en voz alta, al auditorio.

✍ Un test de comprensión que permita detectar el nivel de aprendizaje alcanzado por el alumno.

Perfil de sensibilidades del grupo de aprendizaje

El *Test de Sensibilidad Perceptiva* consiste en dictar una lista de palabras que están relacionadas con el tema propuesto de manera directa, o indirecta. En este caso las hemos seleccionado para que guarden cierta relación con el concepto de *macromolécula* que pretendemos enseñar. Cada persona indicará cómo las percibe. Si es de una manera visual, escribiendo una "V" en la casilla junto a la palabra propuesta; si la considera auditiva, escribirá una "A", y si la considera cinestésica, escribirá una "C". Del análisis de este test se obtendrá el porcentaje de personas sensibles a cada tipo de percepción.

La lista de palabras que se propone es la siguiente:

SONIDO	PEGAJOSO	AGUDO	
HUECO	EJE	SUCIO	
AMORFO	DEFORMABLE	ESTRUCTURA	
DIALOGANTE	AROMÁTICO	EXTREMO	
DILATADO	CHIRRIANTE	GRANDE	
SIMETRÍA	ESCAMOSO	FRÁGIL	
SECO	REFRESCANTE	CONTRACCIÓN	
HOLGADO	PENETRANTE	FRECUENCIA	
TUPIDO	BRILLANTE	TENAZ	
BLANDO	SUSURRANTE	TRANSPARENTE	
ACÚSTICO	ESTREPITOSO	GEL	
OPACO	MATE	CRISTALINO	
MALEABLE	FLUÍDO	DÚCTIL	
TENSO	OVILLADO	REPETITIVO	
FRESCO	PLOMIZO	VIBRANTE	

El profesor debe realizar este test para averiguar el nivel de correlación con las respuestas de los alumnos de su grupo. El autor de este artículo obtuvo el siguiente resultado: un 17,8% fueron percepciones auditivas, un 42,2% visuales y el 40% cinestésicas. Cada profesor obtendrá un resultado, seguramente diferente, pero no importa porque el interés se centra en la correspondencia que exista con su grupo de alumnos.

Representando el porcentaje obtenido en ordenadas para cada uno de los alumnos, que se enumerarán en el eje de abscisas, se obtiene un gráfico en el que se puede visualizar la dispersión de percepciones para la tipología auditiva; se obtendrá otro para la visual y otro para la cinestésica. Con este procedimiento se puede observar la dispersión existente y su valor medio, con respecto al del profesor.

Textos para la exposición oral del concepto de macromolécula

A continuación se presentan tres versiones de lo que podría ser una explicación básica del concepto de *macromolécula* con distintos estilos de lenguaje, dirigidos a los diferentes tipos de audiencia. El concepto básico de *macromolécula* que se quiere transmitir es el de un **compuesto químico de gran peso molecular cuya estructura química está formada por la repetición de una unidad química, o varias, de bajo peso molecular -unidad repetitiva-**. Como un caso particular de macromolécula surge el concepto de *polímero* que, tal y como sugiere el origen griego de este término, "poli" (muchos) y "mero" (unidad), representa a una macromolécula con una única unidad repetitiva. En muchas macromoléculas obtenidas por síntesis intervienen dos unidades repetitivas distintas y entonces nos referimos a ellas como *copolímeros*; aunque este término se utiliza, en general, para designar a cualquier macromolécula constituida por un número indiferente de unidades repetitivas.

El texto de la *Versión 1*, que consideramos de estilo cinestésico, está expresado con palabras y conceptos químicos que, en principio, el alumno debe haber aprendido en los cursos de enseñanza media. El texto de la *Versión 2* es menos formal, más coloquial y auditivo; y el de la *Versión 3* utiliza una expresividad visual, que puede ser comprendido por cualquier persona, aunque carezca de nociones de química. Estos textos, a modo de ejemplo, pueden corresponderse con explicaciones orales del profesor y se pueden complementar con gráficos y dibujos en una pizarra, o pantalla.

Versión 1: Las macromoléculas

Una fila de muchas personas se cogen de la mano para formar una cadena humana. Esta imagen es similar a la que podemos asociar a una macromolécula caracterizada por una unidad repetitiva. De la misma manera, una cadena peptídica -consideremos la estructura primaria de una proteína convencional- está formada por una secuencia de restos de aminoácidos unidos entre sí por enlaces peptídicos y dejando como grupos laterales el resto de la estructura de cada aminoácido.

Si todos los restos de aminoácido son iguales, o si todas las personas de la cadena humana fuesen hombres se puede decir que estamos ante un caso particular de macromolécula a la que denominamos polímero. En el caso de que la proteína estuviese formada por dos o más restos de aminoácido diferentes, como si en la cadena humana participasen hombres, mujeres, niños y niñas, a la macromolécula la denominaríamos copolímero.

Las unidades repetitivas de muchas macromoléculas sintéticas disponen de grupos funcionales reactivos sobre los que se puede injertar otras unidades químicas y provocar el crecimiento de cadenas laterales de longitud variable. Esta ramificación tiene importancia cuando adquiere un tamaño comparable al del propio esqueleto principal y se dice que la macromolécula está ramificada. Los componentes del almidón: amilosa y amilopeptina, son dos macromoléculas -son polisacáridos de constitución química idéntica- cuya diferencia estriba en que la primera presenta una estructura de cadena lineal y la segunda de cadena ramificada.

Versión 2: Las macromoléculas

Las vibraciones de los enlaces moleculares son susceptibles de ser excitados cuando se les comunica energía por distintos procedimientos: calentamiento, radiación, ultrasonidos, interacciones químicas con otras especies químicas como radicales, iones, etc. Si la vibración alcanza una frecuencia suficiente, los enlaces se romperán y se reordenarán formando otras agrupaciones moleculares. Cuando esta reordenación molecular consiste en la adición secuencial de una unidad se constituye una macromolécula y los valores de su peso molecular pueden llegar a ser del orden de un millón o más.

La macromolécula se denomina polímero cuando la unidad repetitiva es única y copolímero si están presentes dos o más unidades repetitivas diferentes. Por ejemplo, la secuencia de unidades: ABCABCABC... etc., representa a un copolímero lineal cuya unidad repetitiva es (ABC). Una macromolécula es ramificada si a partir de una unidad repetitiva se desarrolla una secuencia de unidades que adquieren una longitud comparable con la de la cadena principal.

Versión 3: Las macromoléculas

Las moléculas de bajo peso molecular pueden unirse entre sí para constituir grandes moléculas o macromoléculas. La imagen de esta disposición espacial se corresponde con la de un largo tren constituido por muchos vagones iguales. Cada vagón se corresponde con la unidad repetitiva que representa a la macromolécula.

Las macromoléculas formadas por la repetición de una misma unidad molecular se denominan polímeros. Las características fisicoquímicas de esta unidad repetitiva identifica y es responsable de las propiedades de la macromolécula de la misma manera que la forma de los vagones identifican si el tren es de cercanías, de largo recorrido, o de alta velocidad. Se denominan copolímeros a las macromoléculas constituidas por dos o más unidades repetitivas distintas de igual manera que un convoy se puede constituir con vagones de carga, de pasajeros, con vagones dormitorio, etc.

Al sintetizar determinadas macromoléculas lineales, la unidad repetitiva puede disponer de algún grupo funcional reactivo a través del cual pueden desarrollarse cadenas laterales lo mismo que crecen las ramas de un árbol, constituyendo una macromolécula ramificada.

Una vez que el profesor ha realizado el test de percepción al conjunto de alumnos, y conoce la distribución perceptiva del grupo, elige una de las tres versiones anteriores para ser leída a todos los alumnos.

El siguiente estado del aprendizaje implica que el alumno comprenda la información que ha recibido y reflexione sobre ella en su lugar de estudio, sea éste su casa o la biblioteca. Esta etapa de reflexión conlleva la resolución de cuestiones, ejercicios, o problemas directamente relacionados con los conceptos explicados.

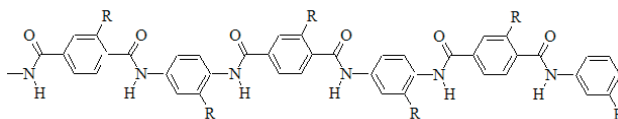
Tras un periodo de tiempo conveniente para la comprensión y reflexión del concepto que se trata de transmitir, se propone un test para analizar lo aprendido por el alumno. Todos deberán ser capaces de reconocer una macromolécula a partir de su estructura química desarrollada, identificar la "unidad repetitiva" de la macromolécula y distinguir entre macro-

molécula lineal y ramificada. El resultado del test ha de corresponderse, al menos, con el porcentaje de alumnos que hay en el grupo con la sensibilidad correspondiente a la versión leída.

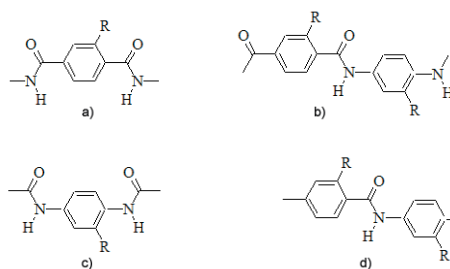
Otra forma posible de comprobar la importancia de la comunicación en función de las características del grupo de alumnos sería la siguiente: seleccionar tres grupos de alumnos atendiendo a sus características de percepción valoradas según el test de percepción. A cada grupo de alumnos se lee la versión correspondiente: 1 para los cinestésicos, 2 para los auditivos y 3 para los visuales. En este caso los resultados del aprendizaje deben ser altos.

Test de comprensión del concepto de macromolécula a partir de una exposición oral.

[1] La siguiente estructura química representa un segmento de una macromolécula



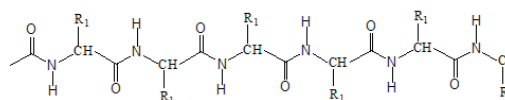
De entre las siguientes opciones, seleccione la estructura que representa la unidad repetitiva.



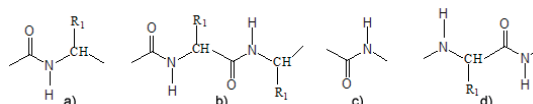
[2] ¿Cuántas unidades repetitivas contiene el segmento de la macromolécula [1].

- (a): 1
- (b): 2
- (c): 3
- (d): 4
- (e): otro número.

[3] Observe la estructura química siguiente:



De las siguientes opciones, seleccione la que se corresponde con la unidad repetitiva.



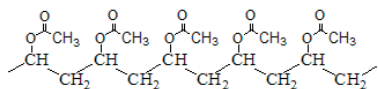
[4] ¿Cómo deberían ser las estructuras químicas de "R₁" en [3], para que la macromolécula sea una proteína?

- (a): Iguales.
- (b): Distintas.

El alumno, el profesor y las macromoléculas

- (c): Alternadas y distintas.
 (d): Distintas y siguiendo una determinada secuencia.
 (e): Distintas y siguiendo una secuencia al azar.

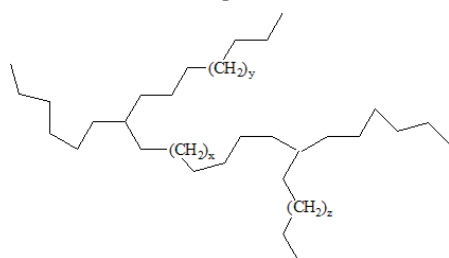
[5] La estructura química siguiente corresponde a una macromolécula:



- (a): Ramificada .
 (b): Superficial.
 (c): Lineal.
 (d): Reticulada.
 (e): Espacial

[6] El siguiente dibujo representa segmentos de una cadena macromolecular cuya unidad repetitiva es $-\text{CH}_2-$. Suponiendo que $x \gg y > 10$ y $x \gg z > 10$, el dibujo representa una macromolécula que es:

- (a): Lineal.
 (b): Reticulada.
 (c): Ramificada.
 (d): Un copolímero de injerto.
 (e): Una mezcla de cadenas poliméricas.



Si el resultado del ejercicio ha sido positivo el aprendizaje ha sido efectivo. En caso contrario, el alumno deberá mejorar su aprendizaje acudiendo a la tutoría del profesor, a sus apuntes y al libro de texto para:

1. Recordar el objetivo del aprendizaje.
2. Reconocer y entender todos los términos del vocabulario utilizado.
3. Reflexionar sobre el proceso explicativo y los ejemplos planteados por el profesor.
4. Comprobar si se ha superado el aprendizaje con un nuevo test de comprensión.

Por supuesto que después de este esfuerzo, siempre estará disponible el profesor para aliviar el trance que supone no conseguir la meta propuesta. Pero no antes.

Esta propuesta es una alternativa, no excluyente, al aprendizaje por vía experimental, al que en nuestra opinión, se debería prestar una mayor atención, dado que facilita la adquisición de un conjunto de habilidades y comportamientos que no se consiguen en el proceso de aprendizaje teórico.

NOTA: El autor agradece de antemano la colaboración de los profesores de química de Enseñanzas Medias, o de la Universidad, que quieran comprobar la bondad de estas pruebas comunicándome los resultados obtenidos con sus respectivos grupos de alumnos.

Agradecimientos: El autor agradece al Vicerrectorado de Innovación Docente de la Universidad del País Vasco UPV-EHU la financiación de este proyecto. (Programa 2004).



La **XXI Reunión Bienal de Química Orgánica** se celebrará en Valladolid (www.asomatevalladolid.com) del 18 al 20 de septiembre de 2006; os invitamos a todos a participar activamente en esta Reunión.

Durante la celebración del congreso se dedicará una de las sesiones a la memoria de nuestro compañero, el Prof. MARCIAL MORENO MAÑAS, Catedrático de Química Orgánica de la Universidad Autónoma de Barcelona, fallecido recientemente.

Contacto

Dpto. de Química Orgánica.
 Facultad de Ciencias.
 Paseo Prado de la Magdalena, s/n;
 47005-Valladolid
 C-e: bienal@qo.uva.es