

La biotecnología y la biomedicina*

(PRIMERA PARTE)

INTRODUCCIÓN

Los avances en la biología molecular y en la medicina están generando nuevas tecnologías y nuevas oportunidades para los ingenieros químicos. Las áreas potenciales para contribuir a la salud humana incluyen el diseño y fabricación de órganos artificiales, pruebas diagnósticas y fármacos terapéuticos.

En la agricultura, la fabricación de fármacos veterinarios y el aumento progresivo de técnicas de cultivo celular de plantas representan nuevas aplicaciones para los principios de la ingeniería química.

Otras oportunidades son el uso de sistemas, genéticamente contruidos, para la síntesis de productos químicos y el tratamiento biológico de desechos. Esta variedad, rica en posibilidades tecnológicas, ha atraído grandemente el interés de los competidores tecnológicos de los Estados Unidos. Ellos están diseñando programas básicos de investigación, y medios para explotar la potencialidad de la biotecnología. Aquí se describen las fronteras intelectuales que deben lograr los ingenieros químicos, las que incluyen el modelado de interacciones biológicas fundamentales, la investigación de los fenómenos de superficie e interfaciales que son cruciales para el diseño ingenieril de los sistemas vivos, la expansión del campo de la ingeniería de procesos hacia los sistemas biológicos y la realización de análisis de ingeniería de sistemas de órganos o de cuerpos completos.

Igualmente, se discuten las implicaciones de estos nuevos retos para la investigación y la educación de la ingeniería química.

Retos para los ingenieros químicos

La comercialización de los desarrollos en la biotecnología requerirá de un nuevo perfil de ingeniero

químico, que incluya tanto una sólida formación en las ciencias biológicas, como en principios de la ingeniería de procesos. Este ingeniero podrá aportar soluciones innovadoras y económicas a problemas relacionados con la atención a la salud y será capaz de implantar, a gran escala, los avances de la biología molecular.

El ingeniero químico, con formación biológica, se concentrará en áreas que van desde los sistemas biológicos moleculares y celulares (la ingeniería bioquímica) hasta los sistemas de órganos y cuerpos completos (la ingeniería biomédica). De esta manera, los ingenieros bioquímicos pondrán énfasis en los problemas de la ingeniería para adaptar la "nueva" biología a la obtención comercial de productos terapéuticos, para el diagnóstico y la alimentación. Por otra parte, los ingenieros biomédicos aplicarán los instrumentos del diseño y el análisis propios de la ingeniería química, para estudiar la función y respuesta de órganos y sistemas del cuerpo humano, para elucidar el transporte de sustancias en el cuerpo, y para diseñar órganos y tejidos artificiales y prótesis. Estas interesantes oportunidades para los ingenieros químicos están descritas detalladamente a continuación; primero, en función de su repercusión potencial en la sociedad, y, después, en términos de las fronteras intelectuales de la investigación.

La salud humana

Se necesitan ingenieros químicos para ayudar a transformar en productos prácticos los resultados de la investigación básica en salud. Ellos son quienes han diseñado procesos para la producción, segura y económica, de agentes terapéuticos y diagnósticos extremadamente complejos (ej: la insulina y el antígeno superficial contra la hepatitis-B).

* Texto tomado del capítulo III de Amundson, N.R. *et al*, *Frontiers in Chemical Engineering. Research needs and opportunities*, National Academy Press, 1988. La responsabilidad de este capítulo recae en el Comité de Ingeniería Bioquímica y Biomédica, presidido por A. E. Humphrey, de la Universidad de Lehigh. Su traducción e inclusión en la revista se basa en el amplio, reciente e importante desarrollo de estas disciplinas, dentro del campo de acción de los ingenieros químicos.

Educación Química agradece la traducción de Anne Albarelli y la corrección idiomática de Ageda Saavedra.

Organos y tejidos artificiales, y prótesis

Como ya se dijo, los ingenieros químicos también pueden hacer una contribución importante en el desarrollo de órganos y tejidos artificiales, y prótesis. De hecho, el primer órgano artificial exitoso—el riñón artificial— fue resultado de un programa novedoso (NIH), al principio de los años 60, que reunió a un equipo interdisciplinario de ingenieros químicos, científicos de materiales y médicos. Los ingenieros químicos aplicaron al diseño de este sistema los conceptos fundamentales de la mecánica de fluidos, la teoría de transporte a través de membranas, la transferencia de masa y la fisicoquímica interfacial. Fueron ellos quienes desarrollaron correlaciones que predecían la relación entre el desempeño en el tratamiento de sangre de un dializador con parámetros de operación, tales como área de membrana, dimensiones de canales, las velocidades de flujo de sangre y diálisis, la caída de presión en el sistema y la temperatura. Luego de cinco años, se encontraban en etapas avanzadas de desarrollo varios prototipos bien diseñados que usaban cartuchos de membranas desechables y equipo sofisticado de verificación y control.

A mediados de los años 70, la hemodiálisis había pasado de ser un procedimiento experimental a un medio bien establecido, confiable y seguro para mantener a los pacientes que sufrían de deficiencia renal aguda y crónica. Hoy la hemodiálisis y su proceso asociado, la hemofiltración, son procedimientos comunes en los hospitales y clínicas, y han contribuido a reducir la mortalidad y la morbilidad, debidas a deficiencias renales.

El éxito del riñón artificial puede atribuirse a la sencillez relativa de su tarea, que consiste en eliminar las sustancias no deseadas, mediante una separación a base de membranas que se lleva a cabo con un aparato externo al cuerpo. Entre los próximos objetivos de diseño de órganos artificiales, están la producción de páncreas e hígado, aunque cabe señalar que éstos son sistemas mucho más complejos, en los cuales se realizan numerosas reacciones químicas. En estos casos, el reemplazo puede tomar la forma de órganos híbridos artificiales, que contengan células vivas y funcionales en una matriz artificial. El desarrollo de tales sistemas dependerá críticamente de las contribuciones de los ingenieros químicos dentro del equipo multidisciplinario.

El concepto de páncreas artificial ilustra cómo los ingenieros químicos pueden desarrollar nuevos órganos artificiales o semiartificiales, sobre todo si profundizan en la fisiología y la bioquímica de órganos completos, y si son capaces de establecer una comunicación efectiva con los endocrinólogos y los fisiólogos. Por ejemplo, un ingeniero químico que trabajara solo podría concebir una bomba motorizada injertable para la inyección de insulina, controlada por la retroalimentación de un sensor electrónico de glucosa. Si hablara con un endocrinólogo, este ingeniero tal vez pudiera diseñar un aparato injertable que contuviera células pancreáticas o islotes de Langerhaus, que funcionaran como un páncreas normal. Al trabajar con un fisiólogo

subcelular y un enzímólogo, el ingeniero químico quizá pudiera inventar lo que en efecto fuera una célula islote artificial: un aparato de "membrana inteligente", que percibiera niveles de glucosa en la sangre y, en respuesta, liberara insulina de una reserva encapsulada por la membrana.

Cada una de estas ideas de diseño son potencialmente útiles; pero la que finalmente se ponga en práctica será la que se fabrique más fácilmente, la más confiable y duradera en condiciones reales de uso. La elección amplia de opciones y alternativas hace que este campo de investigación sea particularmente emocionante y gratificante para los ingenieros químicos.

Los órganos artificiales que realizan las funciones físicas y bioquímicas del corazón, del hígado, del páncreas o del pulmón, son un tipo de reemplazo de órganos. Otro objetivo de oportunidad, aunque bastante diferente, es el desarrollo de los materiales biológicos que juegan un papel más pasivo en el cuerpo, como, por ejemplo:

- soluciones poliméricas biocompatibles, cuyas propiedades reológicas las hagan apropiadas para reemplazar fluidos sinoviales en articulaciones o en los humores acuoso y vítreo del ojo;
- sistemas que estimulen temporalmente la regeneración de masa corporal perdida o enferma, y después sean absorbidos o degradados por el organismo (por ejemplo, una "segunda piel" para pacientes con quemaduras); y
- sistemas electroquímicos de transmisión de señales, que permitieran al sistema nervioso controlar y comunicarse con las prótesis músculo-esqueléticas.

El diagnóstico

Una segunda área rica en oportunidades para los ingenieros químicos es el diseño y fabricación de sistemas y aparatos para el diagnóstico. Los biólogos moleculares han descubierto o creado una variedad de enzimas y anticuerpos monoclonales que pueden detectar una gran variedad de enfermedades, desórdenes y defectos genéticos.

Se requiere de ingenieros químicos para incorporar estos materiales en aparatos y sistemas, sobre la parte de la persona en la que se realiza la prueba, que sean rápidos, baratos, exactos, y no susceptibles de errores. Por ejemplo, aunque existe un procedimiento enzimático inmunoabsorbente (ELISA) para detectar anticuerpos de citomegalovirus (CMV) en muestras de sangre, no puede ser confiablemente utilizado en la práctica, para seguir el curso de una nueva infección CMV. Un error introducido en la prueba, debido a los diferentes responsables de efectuar la determinación de cada muestra nueva de sangre de la serie, es suficiente para poner en duda la interpretación de las tendencias de la serie entera, incluso si los cambios en la magnitud del resultado son pequeños. Es importante poder seguir las tendencias en los anticuerpos CMV, porque las infecciones CMV pueden amenazar la vida de los individuos con sistemas inmunes comprometidos, además de que las infecciones

CMV congénitas son las mayores causas de defectos de nacimiento.

La investigación en ingeniería química que conduce al diseño de aparatos y sistemas rápidos y "exactos", incluye lo siguiente:

- desarrollo de medios porosos, selectivamente absorbentes y funcionales, a los que se puedan sujetar inmunoagentes, y que sean sensibles ante ensayos ópticos rápidos después de su contacto con fluidos corporales;
- diseño de sustratos fluidos, factibles de permitir que volúmenes pequeños de muestra entren en contacto eficiente con los reactivos, y que sean de respuesta altamente reproducible;
- diseño de sistemas de fabricación flexibles, para producir una amplia variedad de los caros anticuerpos monoclonales que se necesitan en juegos de pruebas diagnósticas.

En varias empresas farmacéuticas, los ingenieros químicos están usando reactores huecos de fibra, para cultivar anticuerpos monoclonales, que produzcan hibridomas en un proceso de lote, *in vitro*. La investigación sobre el diseño del reactor para optimizar la producción de anticuerpos monoclonales tendrá una repercusión significativa en el futuro desarrollo, en la economía y en el uso de pruebas diagnósticas.

La prevención y curación de enfermedades

La actividad biológica de la siguiente generación de compuestos, ya sean los necesarios para prevenir enfermedades (tales como vacunas) o bien para curarlas (como medicamentos), dependerá de configuraciones moleculares tridimensionales, diseñadas con precisión. Estas configuraciones se pueden crear más fácilmente mediante la síntesis biológica de los compuestos o de sus precursores biológicamente derivados, usando células que hayan sido alteradas por técnicas de recombinación de DNA. La fabricación de estos compuestos, algunos de los

cuales están enlistados en la tabla 1, originarán nuevos retos para los ingenieros químicos. En los procesos que involucran bacterias o levadura como fuentes de producto, la fabricación de moléculas con la configuración tridimensional correcta tal vez pudiera requerir etapas adicionales para modificar o reestructurar las proteínas. Los procesos con cultivos de tejidos vegetales o de mamíferos como fuentes de producto, requerirán nuevos tipos de reactores capaces de cultivar células especializadas, procedimientos de control y sensores adaptados para el procesamiento biológico, además de procedimientos de purificación extremadamente especiales y finos para asegurar que los productos de la pureza adecuada puedan producirse sin cambio químico o pérdida de configuración. Estos son enormes problemas para la ingeniería. Sin embargo, los ingenieros químicos involucrados desde hace mucho tiempo en la fabricación de antibióticos, péptidos y proteínas simples, tienen la experiencia necesaria para resolverlos.

Un reto tan importante como fabricar fármacos, lo constituye el de producir nuevos métodos de administrarlos. La práctica común de administrar dosis de fármacos periódicamente, puede conducir a concentraciones iniciales en el cuerpo lo suficientemente altas como para inducir efectos secundarios indeseables. Más tarde, en tanto que se metabolice o elimine el fármaco, su concentración puede bajar del nivel de eficacia. Este problema es particularmente importante con los fármacos que son metabolizados o eliminados rápidamente del cuerpo, y con aquéllos que tienen un intervalo terapéutico limitado (aquél entre lo terapéuticamente efectivo y las concentraciones tóxicas). A veces se puede obtener el efecto farmacológico óptimo, mediante el establecimiento y mantenimiento de una situación estable de concentración del fármaco o mediante una secuencia cronológica de su administración. La liberación controlada de

Tabla 1. Importantes objetivos terapéuticos

Terapéutico	Acción
Antígenos	Estimulan la respuesta de anticuerpos
Interferón	Regula la respuesta celular de infecciones virales y proliferación cancerosa
Activadores de tejidos generadores de plasma	Detienen la trombosis mediante la disolución de coágulos
Hormona de crecimiento humano	Invierte el hipopituitarismo en niños
Péptidos neuroactivos	Imitan los péptidos que controlan el dolor del cuerpo
Péptidos regulatorios	Estimulan el crecimiento de hueso y cartílago
Linfóquinos	Modulan las reacciones de inmunización
Albúmina de suero humano	Trata el trauma físico
Gamma globulina	Previene las infecciones
Factores antihemofílicos	Tratan los desórdenes hereditarios de sangrado
Anticuerpos monoclonales	Proporcionan el diagnóstico específico <i>in situ</i> y liberación del fármaco

medicamentos con un tiempo de vida media corta, para lograr un intervalo largo, puede realizarse, por ejemplo, mediante la administración del fármaco a través de bombas de flujo lento, por medio de cápsulas que se desintegren a diferentes velocidades, o en bolsas que se inserten bajo el párpado o se peguen en la piel.

Los ingenieros químicos han sido los autores en el diseño y fabricación de polímeros capaces de tal liberación controlada para largos periodos.

Otro método para la liberación de fármacos consiste en fijar su administración en un lugar específico del cuerpo. Puede ser que esto se logre acoplando un fármaco a un anticuerpo que ha sido liberado para atacar a un receptor específico, en el sitio mismo de la enfermedad. Por ejemplo, este método haría posible la exposición selectiva de tejidos tumorales a concentraciones altas de fármacos tóxicos. Para producir tales medicamentos y para elucidar la cinética del transporte de anticuerpos monoclonales a través del cuerpo hacia los sitios señalados, se necesita de la participación de los ingenieros químicos.

Otras áreas de terapia que están en condiciones de recibir colaboración interdisciplinaria son: el diseño de bombas y sondas de propósitos específicos, injertos estériles que permitan el acceso de fuera del cuerpo a las venas y órganos, y técnicas para verificar los niveles del fármaco. Los esfuerzos de los ingenieros químicos para mejorar la adquisición de datos y el manejo cuantitativo de la farmacocinética, pueden conducir al diseño de mejores procedimientos de administración del fármaco y mejor sincronización para aumentar al máximo su liberación en los órganos que lo necesitan, además de reducir al mínimo la exposición de otros órganos.

La agricultura

Existen oportunidades amplias para que los ingenieros químicos ayuden a desarrollar productos bioquímicos agrícolas. Estas oportunidades son paralelas a las fronteras que se han abierto en el área de la salud humana. En la agricultura, una comprensión más profunda de los procesos biológicos en las plantas ha abierto el camino a fungicidas que son derivados biológicos, y a herbicidas que son altamente potentes y atacan a una especie determinada, además de ser seguros para el ambiente. La introducción rápida de estos compuestos para su uso amplio requerirá de práctica en el diseño de procesos, su control y la tecnología de separación necesarios para asegurar que se fabriquen libres de contaminantes, que amenazarían el medio ambiente o la seguridad del trabajador.

En la agricultura, un segundo reto para el ingeniero químico es el perfeccionamiento de farmacéuticos veterinarios (v.g.: hormonas peptídicas que sean promisorias para estimular el crecimiento, la fertilidad y la eficiencia alimentaria en animales de granja) y vacunas. Las perspectivas de mejoramiento de estos compuestos son similares a las brillantes

ideas relacionadas con los fármacos y las vacunas para humanos, y los requerimientos para la práctica de la ingeniería química son parecidos.

Una tercera oportunidad es el desarrollo en gran escala de técnicas de cultivo de tejidos vegetales. Estas técnicas convierten grupos de células no diferenciadas en células diferenciadas de raíces y tallos, genéticamente seleccionadas y listas para plantarse. Tales clones vegetales ya se usan para producir nuevas variedades de cosechas, más resistentes a las adversidades ambientales y a las enfermedades. Los ejemplos incluyen árboles resistentes a las enfermedades y papas libres de virus. Se continuarán usando técnicas de cultivo de células para aumentar la productividad de las cosechas, permitiendo a los horticulturistas propagar rápidamente nuevas especies vegetales que muestren las siguientes características:

- una resistencia mayor contra las plagas, las sequías o la salinidad del suelo;
- una productividad más alta o velocidades de crecimiento intensificadas;
- la habilidad de producir cantidades aumentadas o calidades más altas de proteínas a partir de semillas u otros productos vegetales, tales como alcaloides, carotenos, látex y esteroides; y
- una mayor eficiencia en la fijación de nitrógeno y la fotosíntesis.

Actualmente, el trabajo de cultivo de células se hace principalmente a mano y por horticultores que trabajan en invernaderos grandes. Los ingenieros químicos podrían incrementar grandemente la utilidad de este método de propagación vegetal, mediante el desarrollo de procesos eficientes y automatizados para la producción de plantas a partir de células clonadas.

La síntesis bioquímica

Mediante la manipulación de la maquinaria genética de la célula, es posible lograr que la mayoría de los sistemas celulares produzcan virtualmente cualquier material bioquímico. Desafortunadamente, el crecimiento de sistemas celulares (sobre todo en cultivos de tejidos) está restringido por la inhibición y la represión asociadas a la formación del producto final; por lo tanto, es difícil elaborar productos terminales en concentraciones altas. Además, siempre se cultivan las células en una solución acuosa, así que los productos bioquímicos producidos por rutas celulares deben tener un valor intrínsecamente alto, para que el costo de su recuperación de la disolución acuosa diluida se reduzca al mínimo. Por consiguiente, la mayoría de los productos bioquímicos de interés comercial que se van a producir por medios biotecnológicos, serán de alto valor, tales como enzimas, biopolímeros o cofactores metabólicos. En lo general, su potencia es tan alta que solamente se necesitarán en pequeñas cantidades. En consecuencia, el reto para los ingenieros químicos en la obtención de estos productos no es tanto el escalamiento progresivo del proceso, sino la ob-

Tabla 2. Rutas potenciales para la fabricación de productos químicos de alto consumo, por medio de la fermentación de glucosa

Producto	Microorganismo(s)
Etanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Zymomonas mobilis</i>
Butanol	<i>Clostridium acetobutylicum</i>
Ácido adípico	Especies diversas de <i>Pseudomonas</i>
Metiletilcetona	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
Glicerina	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Especies diversas de <i>Dunaliella</i>
Ácido cítrico	<i>Aspergillus niger</i>

tención de un rendimiento alto y lograr pérdidas mínimas durante éste.

Las enzimas son una clase importante de compuestos bioquímicos; éstas son los catalizadores necesarios en los ciclos de reacciones químicas en los sistemas vivos, y ejercen su papel con una delicada precisión química. Las mismas tienen un gran potencial en la química sintética, porque pueden efectuar reacciones estereoespecíficas, evitando la producción de un isómero de una molécula compleja indeseable. Actualmente, muchas de las enzimas que se usan en el procesamiento industrial (v.g.: aquéllas que convierten almidón en azúcar o leche en queso) se derivan de fuentes microbianas, porque rebasan el alcance práctico de la tecnología química sintética actual. La biotecnología ofrece la posibilidad, mediante el control celular genético, de fabricar enzimas —no solamente aquéllas que se usan actualmente en escala industrial, sino otras para usos nuevos en la química sintética. La síntesis y el procesamiento de estas moléculas complejas requieren de condiciones que mantengan sus estructuras tridimensionales específicas. Un reto para los ingenieros químicos será el desarrollo de procesos que puedan satisfacer los requerimientos rigurosos para la producción y recuperación óptimas de enzimas.


Otro reto será la comprensión de las transformaciones químicas que las enzimas catalizan. La meta sería determinar cómo estas transformaciones pueden ser usadas o ajustadas, mediante cambios en la estructura de las enzimas, para elaborar compuestos difíciles o costosos de producir por la química sintética tradicional.

Emprender este reto pondrá al ingeniero químico en contacto estrecho con los bioquímicos y los químicos sintéticos.

El medio ambiente y los recursos naturales

La biotecnología promete mejorar la calidad de nuestro medio ambiente por medio de la introducción de nuevas técnicas microbianas y enzimáticas para la eliminación y destrucción de contaminantes tóxicos en los desechos municipales e industriales.

La reducción de yacimientos minerales de alta calidad ha hecho que los Estados Unidos resienta una escasez de metales (por ejemplo: cromo, manganeso y niobio), que son importantes para la producción de acero de alta resistencia y otras aleaciones. Se tiene conocimiento de sistemas biológicos que poseen una considerable afinidad respecto de los metales y quizá se usen microorganismos genéticamente producidos para separar metales de ríos, cuyos desechos estén muy diluidos, así como de fuentes subterráneas o del océano. Para poner en práctica tales ideas de recuperación, se necesitará de los ingenieros químicos, quienes diseñarán sistemas que permitan que estos microorganismos funcionen óptimamente y trabajarán eficazmente con grandes volúmenes de soluciones diluidas o, en el caso de la extracción *in situ* de metales, operarán eficientemente cuando la misma Tierra sea el biorreactor.

Tal vez otro aporte de la biotecnología sea proporcionar una nueva fuente para ciertos productos petroquímicos. Se han encontrado rutas biológicas para un cierto número de compuestos orgánicos que se derivan actualmente del petróleo (tabla 2). Para los productos químicos con estructura compleja, estas rutas puedan ser más eficientes que otras alternas, desde el punto de vista económico (por ejemplo, que aquéllas que usan gas de síntesis obtenido por gasificación del carbón). En gran medida, el que esto se realice o no dependerá de los esfuerzos de la investigación de la ingeniería en el bioprocesamiento y en otras áreas. 

(Concluirá en el siguiente número.)

CALIDAD Y COMPROMISO CON LA EDUCACIÓN

MATEMATICAS QUIMICA

CALCULO CON GEOMETRIA ANALITICA

Sexta Edición Volumen 1
George B. Thomas, Jr. / Ross L. Finneg
Instituto de Tecnología de Massachusetts

En esta obra el propósito central es que el cálculo se convierta en un campo de acción en la enseñanza de las matemáticas, ingeniería y ciencias en general. Los autores hacen fácil el aprendizaje del cálculo y han incluido ejercicios de alta calidad didáctica, utilizando casos reales diseñados gradualmente. El estudiante emplea una variedad de técnicas, el análisis de problemas resueltos, ejemplos, aplicaciones prácticas e ilustraciones, todo dispuesto en un orden de aprehensión lógica. También se hace referencia a 27 programas para microcomputadora Apple II apropiados para estudiantes de cálculo.

1 volumen de 1181 páginas. Cartoné ilustrado 21x27 cm.

PROBABILIDAD Y ESTADISTICA

Segunda Edición
Morris H. De Groot
Carnegie-Mellon University

Ofrece una presentación balanceada de los métodos clásico y bayesiano de probabilidad y estadística, con énfasis en la teoría pero también considerando las aplicaciones. Analiza los diferentes enfoques de la probabilidad y de la inferencia estadística con objetividad. También se analizan las ventajas de varios procedimientos estadísticos. Aunque los teoremas y sus pruebas se presentan en el lugar apropiado se incluyen ejemplos ilustrados y ejercicios con aplicaciones numéricas de los resultados desarrollados. Los requerimientos matemáticos son el cálculo elemental y el conocimiento de las propiedades básicas de vectores y matrices.

1 volumen de 644 páginas. Rústica, 16x23 cm.

De venta en librerías de prestigio

ESTRUCTURA ATOMICA

Un enfoque químico

Diana Cruz-Garriz / José A. Chamizo
Andoni Garriz
Facultad de Química U.N.A.M.

Se ha desarrollado un nuevo enfoque universitario, una mejor presentación introductoria al tema de la estructura atómica, lográndose un curso intermedio en el cual el alumno alcanza una mayor comprensión del tema y una mejor preparación para la aplicación de los conceptos en las asignaturas de química y fisicoquímica. Contiene ejemplos resueltos, problemas de aplicación con solución y problemas adicionales. Sin duda, este libro satisface mejor que ningún otro la necesidad de preparación para las carreras del área de química.

1 volumen de 820 páginas. Rústica ilustrado 16x23 cm.

FISICOQUIMICA

Segunda Edición
Gilbert W. Castellan
University of Maryland

La excelente calidad de este libro se basa en el enfoque unificador en cada tema, se hace hincapié en áreas como la cinética, estructuras y especialmente la termodinámica como tema medular del libro por constituir la esencia de la fisicoquímica. Sin olvidar el significado físico de los contextos matemáticos orientados a un razonamiento básico en física; por el contrario, se analizan en un amplio ámbito experimental. Se han revisado y añadido los recientes adelantos e incluido nuevos capítulos sobre espectroscopia atómica y polímeros.

1 volumen de 1057 páginas. Rústica ilustrado 17x25.5 cm.

QUIMICA ORGANICA

Segunda edición
Robert Thornton Morrison / Robert Neilson Boyd
New York University

En esta inigualable obra de merecida aceptación mundial por su calidad didáctica se tiene como propósito principal ser un texto para principiantes. Se divide en tres partes: fundamentos de la química orgánica, biomoléculas y temas especiales. Esta nueva edición incluye la sustitución nucleofílica, efectos de grupos vecinos, la estereoquímica, los enlaces secundarios, así como la conjugación, la teoría de la resonancia y los métodos sintéticos.

1 volumen de 1375 páginas. Cartoné ilustrado 18.5x26 cm.