

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

**“LA NANOTECNOLOGÍA Y SU RELACIÓN
CON LA INGENIERÍA QUÍMICA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERÍA QUÍMICA**

PRESENTA

NANCY NARA GUTIÉRREZ SILVA

DIRECTOR DE TESIS: DR. REYNALDO SANDOVAL GONZÁLEZ



MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Eduardo Rojo y de Regil**

VOCAL: **Profesor: Alejandro Anaya Durand**

SECRETARIO: **Profesor: Reynaldo Sandoval González**

1er. SUPLENTE: **Profesor: León Carlos Coronado Mendoza**

2° SUPLENTE: **Profesor: Alejandro León Iñiguez Hernández**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

EDIFICIO “E” DE LA FACULTAD DE QUÍMICA

ASESOR DEL TEMA: REYNALDO SANDOVAL GONZÁLEZ

(nombre y firma)

SUSTENTANTE (S): NANCY NARA GUTIÉRREZ SILVA

(nombre (s) y firma (s))

Agradezco a:

mi mamá por su apoyo, amistad, cariño y dedicación;
mi papá por sus consejos, apoyo, cariño y preocupación;
mis hermanos por su compañía;

Diego por su compañía, amistad, apoyo, cariño y comprensión;
la UNAM por la oportunidad de estudiar en la mejor universidad de México;
todos mis maestros por los conocimientos tanto académicos como de la vida cotidiana;
Dr. Reynaldo Sandoval y M. Rojo y de Regil por su dedicación, paciencia y consejos;
todos los que han sido parte de mi vida, que han hecho que sea como soy.

IF

If you can keep your head when all about you
Are losing theirs and blaming it on you;
If you can trust yourself when all men doubt you,
But make allowance for their doubting too;
If you can wait and not be tired by waiting,
Or, being lied about, don't deal in lies,
Or, being hated, don't give way to hating,
And yet don't look too good, nor talk too wise;
If you can dream - and not make dreams your master;
If you can think - and not make thoughts your aim;
If you can meet with triumph and disaster
And treat those two impostors just the same;
If you can bear to hear the truth you've spoken
Twisted by knaves to make a trap for fools,
Or watch the things you gave your life to broken,
And stoop, and build 'em up with worn-out tools;
If you can make one heap of all your winnings
And risk it on one turn of pitch-and-toss,
And lose, and start again at your beginnings
And never breathe a word about your loss;
If you can force your heart and nerve and sinew
To serve your turn long after they are gone,
And so hold on when there is nothing in you
Except the Will which says to them: "Hold on!"
If you can talk with crowds and keep your virtue,
Or walk with kings - nor lose the common touch;
If neither foes nor loving friends can hurt you;
If all men count with you, but none too much;
If you can fill the unforgiving minute
With sixty seconds' worth of distance run
Yours is the Earth and everything that's in it,
And - which is more
you'll be grown up my child!

Rudyard Kipling

EL DILEMA

Reír es arriesgarse a parecer tonto;
Llorar es arriesgarse a parecer sentimental;
Buscar a alguien es correr el riesgo de involucrarse;
Expresar los propios sentimientos es arriesgarse a ser rechazado;
Mostrar tus sueños a la gente es arriesgarse al ridículo;
Amar, al fin, es arriesgarse a no ser amado a su vez;
E ir hacia delante contra la suerte, es arriesgarse a fracasar.
Pero debe correrse el riesgo...
Porque el mayor peligro en la vida, es no arriesgar nunca nada;
Nunca hace nada, no tiene nada, no es nada.
Puede evitar el sufrimiento y el dolor, pero no puede sentir, cambiar,
crecer... ni amar.
Encadenado por su seguridad y su certeza, es un esclavo.
Ha pecado contra la libertad.
Porque sólo aquel que toma riesgo es realmente libre.

“MAQUIO”

La Nanotecnología y su relación con la Ingeniería Química

ÍNDICE

Introducción

CAPÍTULO I

Historia y evolución de la Ingeniería Química

CAPÍTULO II

Historia y evolución de la Nanotecnología

CAPÍTULO III

La Ingeniería Química y la Nanotecnología

CAPÍTULO IV

Impacto de la Nanotecnología en la vida moderna

CAPÍTULO V

Nanotecnología y la educación

CAPÍTULO VI

Futuro de la Nanotecnología

Conclusiones y recomendaciones

Bibliografía

ANEXO I

Cursos de nanotecnología en diferentes universidades extranjeras

ANEXO II

Plan de Estudios de la Universidad de las Américas Puebla,
Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular

Palabras clave: nanotecnología, ingeniería química, ingeniero químico, Facultad de Química, Centro Nacional de Información Sobre la Carrera de Ingeniería Química

INTRODUCCIÓN

*El siguiente gran paso de la humanidad es tan pequeño que a simple vista ningún humano sería capaz de verlo.*¹

La nanotecnología, o lo que sería lo mismo la ciencia aplicada para resolver problemas de la vida diaria del ser humano a una escala nanométrica (10^{-9} de un metro)², ha causado una gran inquietud en el mundo. Desde hace dos décadas los gobiernos y compañías han destinado millones de dólares de sus presupuestos a la investigación en esta área³. Hay varios aspectos por lo que esta nueva disciplina es tan interesante, por ejemplo: el cambio de propiedades de la materia a esta escala; la promesa de poder manipular átomos y consecuentemente poder hacer dispositivos sólo imaginables en este momento en vez de que los átomos aleatoriamente hagan una estructura y luego se encuentre el uso para dicha estructura.⁴

El concepto de la nanotecnología data de los años cincuentas, con el celebre discurso del premio Nobel de Física Richard Feynman⁵, pero la palabra nanotecnología surgió en el año 1974 en una conferencia de Norio Taniguchi. Actualmente se puede escuchar el sufijo “nano” en diversos productos en el mercado. Este sufijo se ha empleado a la ligera con fines de publicidad por empresas causando una concepción errónea en la población respecto a la

¹ DREXLER ERIC. Engines of creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor books editions. United States of America. 1986.

² BUITRAGO BOTERO, Diego Martín. La nanotecnología y el derecho: Análisis Jurídico de un mundo infinitesimal. Ponencia "I CONVENCION INTERNACIONAL DE INFORMATICA JURIDICA, DOCUMENTACION Y DOCUMENTO ELECTRONICO", Universidad Externado de Colombia los días 18 al 20 de 2006.

³ FOLADORI, GUILLERMO. . INVERNIZZI, Noela. Nanotecnología: ¿Beneficios para todos o mayor desigualdad?

⁴ DREXLER ERIC. Engines of creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor books editions. United States of America. 1986.

⁵ FEYNMAN, RICHARD. There's Plenty of Room at the Bottom. An Invitation to Enter a New Field of Physics. 1959.

definición correcta de “nano”. No obstante hoy en día se puede encontrar una gran variedad de aplicaciones de dicha tecnología en cosméticos, productos de limpieza, catalizadores y polímeros.

Dada la integración de la nanotecnología en la industria, es inevitable y necesario que la Ingeniería Química dedique parte de su tiempo al estudio de esta nueva tecnología.

La disciplina de la Ingeniería Química se creó en la década de los ochentas con George. E. Davis en Inglaterra para satisfacer una demanda de la industria. A medida que las exigencias de la población fueron creciendo y las nuevas tecnologías fueron surgiendo, la ingeniería química fue cambiando y modificándose hasta ser como la conocemos hoy.

En la actualidad la Nanotecnología es una nueva disciplina de la cual la Ingeniería Química ha sido partícipe desde su comienzo. Es inevitable que para ser una carrera actualizada, la Ingeniería Química deberá incluir una rama enfocada a la nanotecnología.

Esta tesis precisará y definirá qué es la Ingeniería Química, qué es la nanotecnología, cómo estas dos disciplinas están interactuando y cómo inevitablemente seguirán formando cada una parte de la otra. En esta tesis se demuestra el vínculo que existe y que debe continuar entre ambas disciplinas. Así mismo propone la inclusión de un bloque final dirigido a la nanotecnología en los planes de estudio de la carrera de Ingeniería Química con el fin de que dicha carrera siga siendo una disciplina vigente.

Otro objetivo importante de esta tesis es aportar información que enriquezca el

conocimiento de la Ingeniería Química. En el año 2000 se constituyó el Centro Nacional de Información Sobre la Carrera de Ingeniería Química, el cual fue propuesto por el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ). Este proyecto inicia con la entrevista del Ingeniero Carlos Mena Brito con el Director de la Facultad de Química en la cual se tuvo a bien designar como sede del Centro a la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, campus Ciudad Universitaria, la cual es coordinada por el Dr. Reynaldo Sandoval González con la colaboración del Ing. Eduardo Rojo y de Regil.

Con el objeto de enriquecer la información disponible en el Centro, se tomó la decisión de dirigir tesis de la licenciatura de la Carrera de Ingeniería Química con temas que coadyuven a contar con datos sobre el estado actual y el futuro de la carrera. Hasta el momento se han desarrollado 19 tesis que llevan este objetivo. A continuación se mencionan algunas:

- Análisis prospectivo de la oferta y demanda de ingenieros químicos y químicos en México.
- Estudio del índice de alumnos titulados en Ingeniería Química en México de 1991 a 2000.
- Análisis de los planes de estudio de la carrera de Ingeniería Química.
- Impacto de la tecnología de información en la industria química.
- Origen y perspectivas del posgrado en Ingeniería Química en México.
- Análisis de la Evolución profesional de los alumnos de Ingeniería

Química Generación 1988.

- Participación del ingeniero químico en la industria eléctrica en México.
- Análisis de la enseñanza experimental en la carrera de Ingeniería Química en universidades de Canadá, Estados Unidos de America y México.
- Opinión de los empleadores respecto a los egresados de Ingeniería Química.
- Estudio comparativo de los ingenieros químicos en México y en Gran Bretaña.
- Las disciplinas sociales y humanidades en la formación del ingeniero químico.

CAPÍTULO I

Historia y evolución de la Ingeniería Química

Origen

En el año 200 a.c. el romano Tertuliano utilizó la palabra “ingenium” para hacer alusión a máquinas bélicas.¹ Éste es el primer antecedente registrado de la “ingeniería”. De ésta forma la palabra ingeniería tomó una connotación militar hasta el siglo XIX. En 1767, fue creado uno de los primeros cuerpos de ingenieros no militarizados procedente de la Escuela Civil Española, de Ingenieros de Minas en Almadén; posteriormente en 1833 se fundó el Cuerpo de Ingenieros de Minas. En Francia en el año de 1794 se funda “L'Ecole Polytechnique” con el objetivo de formar “genie civile”, el cual era un cuerpo estatal de ingenieros. La primera persona de la que se tiene precedente que utiliza el título de “ingeniero civil” con motivo de diferenciar sus servicios de aquellos servicios militares fué el británico John Smeaton. En 1828 la "Institution of Civil Engineers" de Londres presenta una definición delineando a la ingeniería civil. De esta manera se establece el “status” profesional de dicha disciplina².

Revolución Industrial³

La Revolución Industrial tiene como antecedentes el crecimiento de la población, la revolución agraria, la tecnología, la máquina de vapor, la máquina de hilar y el liberalismo económico. El término de Revolución Industrial fue

¹ UNIVERSIDAD DE ALMERÍA. Departamento de ingeniería química. Ingeniería Química.

² ZUNINO, MIGUEL. Ingeniería Química Notas Sobre su Origen y Evolución.

³ GUARDIOLA ,J. CARLOS. Primera Revolución Industrial.

acuñado por el historiador Arnold Toynbee para referirse al desarrollo económico británico entre 1760 y 1840, consecuentemente para el resto de los países se le llama “desarrollo industrial”. Una de las características de la Primera Revolución Industrial fue la aplicación de la máquina a la industria en gran escala así como el perfeccionamiento de la máquina de vapor y la expansión de la industria del hierro.

La Segunda Revolución Industrial tuvo lugar en 1870 durante la cual se inició la producción de una serie de importantes cambios en la industria. Esta época termina en 1900 y se caracteriza por la unión de tres variables: la ciencia, la técnica y el capital financiero. Los tres sucesos tecnológicos más trascendentales de este periodo son: el proceso Bessemer para producir acero (1856), el perfeccionamiento del dínamo (1873) y la invención del motor de combustión interna (Otto, 1876). Estos hechos consecuentemente trajeron la masificación de la producción industrial y el creciente predominio de la ciencia como fundamento de la industria.

Otra rama que también se vio afectada en esta fase fue la académica. En Gran Bretaña se produjo la institucionalización de la ingeniería mecánica a consecuencia del desarrollo de la termodinámica con el estudio del vapor como vector energético por científicos como Carnot, Rankine, Helmholtz, Gibbs. Esta profesión fue consolidada y como resultado se creó un cambio en la producción industrial tanto de materias primas como de productos terminados.

Debido al aumento en la población, el efecto que se percibe es el de una demanda creciente de productos, causando el nacimiento de la industria química pesada, desarrollando el ingenio con procedimientos de fabricación

empleando grandes equipos para lograr la producción de gran volumen que coadyuvó a la fabricación de un número impresionante de productos para esa época. Los técnicos que dirigían las plantas eran llamados “químicos industriales” quienes poseían una formación basada en la química y en la ingeniería mecánica.

La industria química⁴

Es importante mencionar que se puede hablar de dos industrias químicas en el siglo XIX. La primera, la industria química inorgánica, que tiene sus principios entre los años 1830 a 1840; y la segunda, la industria química orgánica, la cual tuvo un gran impacto en la historia desde sus inicios.

En 1856 en Inglaterra fue descubierto el primer colorante sintético, la malva sintética, por William Henry Perkin. Este descubrimiento dio inicio a una nueva época: la de la industria química orgánica. A diferencia de la Revolución Industrial donde los inventos no fueron construidos científicamente sino más bien fueron producto de la tecnología empírica, esta nueva industria estaba basada en la ciencia. Aunque se considera este descubrimiento como el parte aguas entre la segunda Revolución Industrial y la era de la industria química, ya había antecedentes de esta industria química con el proceso Leblanc (1791) que era un proceso industrial para la producción de carbonato de sodio. Como consecuencia del marco histórico y el rápido desarrollo industrial que rodeó estos dos descubrimientos, la industria química tuvo un gran auge. Las condiciones de un desarrollo industrial general, originaron una gran demanda de materias primas. Así mismo, la influencia de la ciencia sobre la industria, el

⁴ ZUNINO, MIGUEL. Ingeniería Química Notas Sobre su Origen y Evolución.

crecimiento de la población y la creciente necesidad de alimentos fueron un poderoso estímulo para la aparición de nuevas industrias.

La siguiente síntesis cronológica muestra algunos de los procesos que modelaron la evolución de la industria química en esa época:

1791: carbonato de sodio, proceso Leblanc

1856: primer colorante sintético, Perkin

1866: carbonato de sodio, proceso Solvay

1891: extracción de azufre subterráneo, Frasch

1891: primera fibra artificial de nitrocelulosa, Chardonnet

1896: licuefacción del aire a escala industrial, Linde

1900: ácido sulfúrico por el método de contacto

1905: cianamida cálcica

1910: bicarbonato y cloro por electrólisis del cloruro de sodio

1910: fibra artificial, rayón viscosa

1913: síntesis del amoníaco a partir de sus elementos, B.A.S.F., Oppau, Alemania

Con el desarrollo de estos nuevos procesos, los nuevos conocimientos en la industria química orgánica y las crecientes necesidades de una población mundial cada vez más numerosa, nació y creció la industria química pesada, la cual fue fabricante de productos relativamente simples en volúmenes nunca imaginados hasta el momento.

En esta época se resolvieron problemas tan importantes como la fijación del nitrógeno atmosférico y se produjeron materias primas abundantes y baratas

que contribuyeron al desarrollo de una variada gama de actividades industriales.

Los técnicos que dirigían estas plantas eran llamados como ya se mencionó "químicos industriales", quienes poseían una formación que combinaba elementos de química y de ingeniería mecánica, siendo verdaderos especialistas en su tarea, aunque sin la condición que les permitiera proyectarse mucho más allá de lo que era su materia específica, no contaban con conocimientos suficientemente generales para cambiar de sector industrial en el cual se habían formado. Así fue como por necesidad de una industria que evolucionaba, nació una disciplina que se encargaría de los nuevos procesos y productos que se fueran creando y desarrollando, resolviendo problemas propios del creciente número de fábricas y sus nuevas maquinarias, situaciones que eran totalmente diferentes a las ya conocidas.

Por consiguiente los diferentes tipos de sustancias, productos, procesos, sistemas y avances tecnológicos, tenían que ser continuamente estudiados y desarrollados por alguien que se dedicara específicamente a ellos. Una disciplina debía desarrollar y optimizar dichos procesos. De esta forma es como fue creciendo la visión de lo que en la industria sería un Ingeniero Químico: una persona capaz de enfrentarse a los problemas y retos nuevos de la industria; desde que surge en la Revolución Industrial hasta nuestros tiempos. Debido a esto se ha definido y a la vez ampliado aún más la labor del Ingeniero Químico.

Durante la Primera Guerra Mundial; los contendientes se vieron forzados a autoabastecerse y ejercer una profunda influencia en el desarrollo industrial de

la época. Los problemas de cantidad y calidad rápidamente aumentaron al mismo tiempo que el factor económico se hizo cada vez más crítico. La necesidad de trabajar en todos sentidos con una mayor eficiencia generó la necesidad de racionalizar las distintas operaciones de fabricación y con ello creó un campo propicio para el nacimiento de una nueva expresión de la ciencia y la tecnología: la Ingeniería Química.

En la Segunda Guerra Mundial una gran parte de la industria química alemana fue destruida. La industria de los Estados Unidos de América estaba utilizando petroquímica para producir fibras, plásticos y muchos otros productos mientras que la importancia de la industria de colorantes enfrentó una decadencia. La industria química de los Estados Unidos de América tuvo una gran expansión y dominó el mercado hasta la década de los setentas. Después de una década de devastadoras guerras, la industria alemana y en general la industria química europea tuvieron un desarrollo importante.

Origen de la Ingeniería Química

George E. Davis⁵

El primer evento respecto al origen de la Ingeniería Química del que se tiene noticia fue el fracasado intento de George E. Davis en Londres de fundar una "Society of Chemical Engineers" en 1880. El mismo G. E. Davis en 1887 impartió un curso de Ingeniería Química en su cátedra en la "Manchester Technical School". Persistiendo en su esfuerzo, reunió el material de sus cursos y en 1901 publicó un libro en dos tomos titulado "A Handbook of Chemical

⁵ PEPPAS, NICHOLAS A. editor. *One Hundred Years of Chemical Engineering*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989.

Engineering". Mientras tanto, también aparecían en Estados Unidos de América las primeras manifestaciones de la Ingeniería Química, y fue en 1888 cuando Lewis M. Norton en el "Massachusetts Institute of Technology" (MIT), introdujo el "Curso X" (diez) con el cual se unieron ingenieros químicos formalmente en un grado.⁶ Poco después ese curso fue modificado y aumentado por William H. Walker. Simultáneamente, cursos parecidos empezaron a impartirse en otras universidades de los Estados Unidos de América, tales como Columbia, Michigan y Pennsylvania.

La evolución continuó y en 1908 se produjeron dos hechos interesantes que muestran la envergadura que ya empezaba a alcanzar la profesión: 1) la "American Chemical Society" organizó una división de químicos industriales e ingenieros químicos y autorizó la publicación del "Journal of Industrial and Engineering Chemistry", 2) casi simultáneamente, un grupo de ingenieros químicos se reunió en Filadelfia para fundar el "American Institute of Chemical Engineers". Consecuentemente a estos hechos, parecería que la aparición de una revista especializada y la fundación de dos entidades profesionales estaban certificando, de alguna manera, el nacimiento de la Ingeniería Química. Pero todavía serían necesarios algunos cambios y un poco más de tiempo para que la profesión alcanzara su verdadera identidad.

Hubo un periodo comprendido entre esta época y el año 1922 en el que la educación en Ingeniería Química era excesivamente descriptiva y carente de un conocimiento general que se aplicara a todas las industrias, lo cual generó crecientes insatisfacciones. Comentando este tipo de enseñanza, se dijo que

⁶ PAFKO W. Setting the Stage for a New Profession. Chemical Engineering in 1888.

aunque había un suficiente conocimiento de los principios de ingeniería civil, mecánica, química y física, no se reconocía la interacción de estos principios en un solo campo. Al parecer, lo que no se entendía era la necesidad de desarrollar conceptos generales e integrar el conocimiento a nuevos principios que fueran específicos de la Ingeniería Química. Es interesante señalar que H. Le Chatelier en su libro "Ciencia e Industria" (1925) formula críticas similares a la enseñanza tecnológica superior en Francia aunque el concepto "Ingeniería Química" no figura para nada en dicho libro.

Arthur D. Little

Arthur D. Little, actor fundamental del inicio de la nueva disciplina conocida como la Ingeniería Química, explicó así su punto de vista sobre esta nueva disciplina: "Con el creciente número y complejidad de los problemas surgidos de la rápida expansión de las industrias químicas, se empezó a reconocer gradualmente que había necesidad y sitio para una rama distinta dentro de la ingeniería, a la cual estos problemas (en la industria química) le fueran asignados. En respuesta a esta necesidad surgió la Ingeniería Química, no como una mezcla de química con ingeniería mecánica y civil sino como una rama separada de la ingeniería (tradicional), basada en las operaciones unitarias, las que en su propia secuencia y coordinación constituyen un proceso químico llevado a escala industrial".⁷

Un primer y fundamental intento reformista fue llevado a cabo por Arthur D. Little en 1915 cuando presentó al M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) su concepto de "operación unitaria", el cual en su parte medular

⁷ ZUNINO, M. Ingeniería Química Notas Sobre su Origen y Evolución.

decía lo siguiente: "Un proceso químico, cualquiera que sea la escala en que se efectúe, se puede considerar que se verifica por una serie coordinada de etapas, a las que llamamos operaciones unitarias, tales como la pulverización, secado, tostación, cristalización, filtración, evaporación, electrólisis, etc. El número de estas operaciones unitarias no es muy grande y en cada proceso químico intervienen relativamente pocas. La complejidad de la Ingeniería Química la determinan, por una parte, la gran variedad de condiciones (temperatura, presión, concentración, etc.) bajo las que pueden llevarse a cabo las operaciones unitarias, y por otra, las limitaciones que imponen los materiales de construcción de los aparatos, así como las propiedades físicas y químicas de las sustancias reaccionantes"⁸. También decía que "la capacidad de satisfacer amplia y adecuadamente las demandas de la profesión, puede ser alcanzada solamente a través del análisis de los procesos en acciones unitarias tal como ellas son realizadas en escala comercial bajo las condiciones impuestas por la práctica".

Este concepto, que de alguna manera estaba creando la doctrina de los fundamentos y métodos del conocimiento científico de la ingeniería química, formaba parte de un informe que D. Little presentó en 1915 pero que fue aprobado hasta 1922. Para comprender mejor hasta qué punto se estaba planteando una definición de identidad, conviene mencionar que también se decía que la Ingeniería Química era una rama de la ingeniería con una base distintiva propia: el concepto de operación unitaria.

Las ideas de D. Little fueron predominantes en la profesión por mucho tiempo y básicamente, se mantuvieron hasta ahora como una condición prácticamente definitiva tanto de la ciencia como de su metodología. El propio D. Little habría de repetir mucho más tarde en 1930, que las operaciones unitarias eran, en

⁸ MARTINEZ SIFUENTES. et al. Procesos De Separación En Ingeniería Química.

esencia, de naturaleza física antes que química pero que estaban dirigidas en última instancia, a un resultado químico. Agregaba que ellas eran, comparativamente, pocas en número pero las condiciones bajo las cuales podían ser conducidas eran de lo más variadas y estaban determinadas por la naturaleza de los materiales en tratamiento, el tamaño de la operación y las temperaturas, presiones y demás factores involucrados en el proceso.

La asociación de la Ingeniería Química con el concepto de operación unitaria prevaleció durante muchos años pero naturalmente, en el marco de la evolución sostenida de una profesión que consolidaba su perfil propio y fue así como se diferenciaba cada vez más de la química y de las otras ingenierías, tomando un rumbo propio. Su expansión se percibe con claridad en la definición de Ingeniería Química que, en 1954, publicó el American Institute of Chemical Engineers la cual dice que consiste en la aplicación de los principios de las ciencias físicas junto con los principios de economía y relaciones humanas a los campos que se relacionan directamente con los procesos y los equipos de los procesos en los cuales la materia es tratada a los efectos de un cambio en su estado, contenido energético o composición.

Los años subsiguientes mostraron que la aceptación de la propuesta se iba generalizando al mismo tiempo que los métodos de estudio y de trabajo de la Ingeniería Química se iban enriqueciendo con nuevas herramientas, las que abrían interesantes campos de acción tanto en un sentido horizontal como vertical. La intención unificadora que concibió la operación unitaria se extendió a otra unidad operativa vinculada a la reacción química que se llamo "proceso unitario". Ejemplos clásicos de estos procesos fueron: hidrogenación, nitración,

oxidación, halogenación, neutralización y sulfonación, entre otros. Los años que habrían de transcurrir mostraron que esta expansión era más ingeniosa que práctica y que la generalización de la reacción química era más compleja y, seguramente, tenía que transitar por otros caminos. El concepto, en definitiva, tuvo y tiene su vigencia, pero su contribución al cuerpo de doctrina de la Ingeniería Química no tuvo la condición definitiva que ostenta la operación unitaria.

Una vez asimilada la idea de que no era suficiente hacer las cosas, sino que lo que importaba era comprenderlas, sobrevino una evolución que aportó nuevas herramientas al estudio de los fundamentos de aquellas unidades operativas. Algunos ejemplos son el análisis dimensional y escalamiento, balances de masa y energía, análisis económico, tratamiento del estado en régimen no permanente, equilibrios de fase multicomponentes, equilibrios y cinética química.

R. Byron Bird

La mentalidad fundamentalizadora inherente al Ingeniero Químico pronto iba a llevarlo a advertir que entre ciertas operaciones unitarias había importantes similitudes y que el estudio de las mismas podría resumirse en tres operaciones de cambio o, dicho de otra manera, que la fenomenología de la Ingeniería Química estaba gobernada por los llamados fenómenos de transporte y que la masa, el calor y la cantidad de movimiento se transfieren impulsados por un potencial, venciendo una resistencia y determinando así un cierto flujo de transferencia. Este concepto ya conocido para el flujo de electricidad resultaba singularmente generalizable a las operaciones unitarias. Tales ideas

comenzaron a tomar cuerpo a fines de la década de los cincuentas y se concretaron formalmente con la aparición de un libro de especial importancia: "Transport Phenomena" (1960) de R. Byron Bird, Warren E. Stewart y Edwin N. Lightfoot. La perspectiva de los años transcurridos y la aceptación lograda por la propuesta permite hacer varias observaciones. En primer lugar, cabe decir que, más allá de la reducción teórica que pudo atribuirse en un principio al concepto de fenómenos de transporte, el objetivo de lograr conocimientos que fueran cada vez más básicos, fue alcanzado plenamente. En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, la concepción de los fenómenos de transporte y su introducción a la enseñanza de la Ingeniería Química, contribuyeron a ampliar y consolidar su cuerpo de doctrina al tiempo que generaron elementos suficientes como para pensar ya en una ciencia de la Ingeniería Química definitivamente consolidada. No obstante, sería bueno recordar que el refinamiento conceptual así introducido no logró superar todos los aspectos experimentales de esta ciencia. Un buen ejemplo sería la permanente necesidad de la verificación práctica de los coeficientes de transferencia. En otro sentido, no todas las operaciones de cambio revisten la misma importancia para el ingeniero químico. Resulta claro que la transferencia de masa, por efecto de la naturaleza misma de las operaciones unitarias y de su objetivo último de transformación positiva de los materiales, habría de ser el fenómeno de transporte de mayor trascendencia en la ingeniería química.⁹

⁹ZUNINO, M. Ingeniería Química Notas Sobre su Origen y Evolución.

CAPÍTULO II

Historia y evolución de la Nanotecnología

La mayor revolución industrial de todos los tiempos sucede a una escala tan pequeña que pasa inadvertida para la mayoría de la gente.

Antecedentes

La palabra nanotecnología es desconocida para la mayoría de las personas. Aunque, de acuerdo con algunos conocedores de esta nueva disciplina, se trata de la próxima revolución tecnológica. Un estudio publicado por Baker y Asto, 2005 calcula que los productos relacionados con nanopartículas en el 2010 superará las ventas de 500 mil millones de dólares (sic)¹ y los analistas predicen que llegará a 1,000 billones de dólares anuales en 2015 (sic)².

Consecuentemente, el interés en la nanotecnología no se ha limitado a la comunidad científica y ha alcanzado los ámbitos gubernamentales e industriales tendiendo este comportamiento a alimentar el entusiasmo de la potenciabilidad de esta nueva tecnología. El primer país en reconocer el inmenso potencial de la nanotecnología fue Estados Unidos de América, cuando en enero de 2000 su presidente William Clinton inauguró la iniciativa nacional para la nanotecnología, con 500 millones de dólares como fondo inicial.³ En la actualidad otros 19 países, como Japón (actualmente el país con la mayor inversión en nanotecnología en el mundo) y Alemania han adoptado iniciativas similares.

¹ INVERNIZZI, NOELAY. FOLADORI, Guillermo. 2006. El despegue de las nanotecnologías. La nanotecnología: una solución en busca de problemas. Universidad Autónoma de Zacatecas. 2006. En: Comercio Exterior. Vol. 56. Núm. 4.

² NANOROADMAP conference, November 10, 2005, University of Padua, Padua, Italia

³ MOORE, ANDREW. Brave small world Biotechnology and nanotechnology may give rise to a completely new industry. EMBO Rep. 2001 February 15; 2(2): 86-88.

Desde el mencionado anuncio de la iniciativa nacional de Clinton en el 2000, la oficina de marcas y patentes de los Estados Unidos de América (United States Patent and Trademark Office, USPTO) ha visto un incremento exponencial en las patentes relacionadas con nanotecnología, a tal grado, que para diciembre de 2003 se habían otorgado cerca de 20 mil: 79% de los Estados Unidos, 12.5% de Japón y 3 % de Francia, entre las más importantes. Las principales firmas dueñas de estas patentes son: International Business Machines (IBM) con más de 2,500; seguida por Xerox Corp. con más de 1,200 y Minnesota Mining and Manufacturing (3M) con más de 950. La compañía japonesa con mayor número de patentes es Canon que ocupa el décimo segundo lugar de una lista de cerca de 550 empresas.⁴

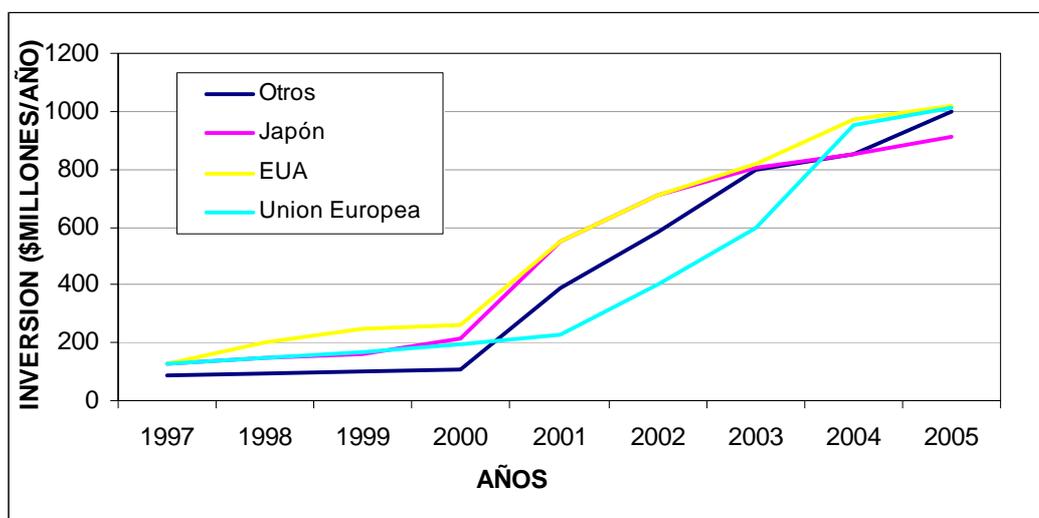


Figura No. 1 Inversión en nanotecnología.⁵

⁴ ROBERT PAULL , JOSH W., PETER H., MICHAEL S. Investing in nanotechnology. Nature Publishing Group. 2003.

⁵ ROCCO M. Still growing investment in nanotechnology.

Lo anterior, consecuentemente, ha llevado a que diversos grupos manifiesten inquietudes sobre los riesgos, cuestiones éticas, religiosas y sociales que conlleva esta nueva etapa en la ciencia.⁶

Antes de continuar, es imprescindible tener claro que la nanociencia es diferente a la nanotecnología por lo que la definición de ambas se exponen a continuación:

Nonociencia es el estudio científico de las propiedades del mundo nanométrico.⁷

Nanotecnología es el desarrollo y la aplicación práctica de estructuras y sistemas en una escala nanométrica (entre 1 y 100 nanómetros).⁸

Asimismo, también se puede pensar que la nanotecnología es la manipulación de átomos para crear estructuras y sistemas que tengan una aplicación determinada con el fin de facilitar el desarrollo de la humanidad.⁹

Es importante recalcar que la naotecnología implica una aplicación práctica y su objetivo es hacer cosas cada vez más pequeñas, en algunas ocasiones con propiedades que rebasan los límites físicos establecidos.¹⁰

La raíz de la palabra nanotecnología proviene del prefijo griego "nano" que significa "una mil millonésima" (una mil millonésima parte de un metro, es la unidad de medida que se usa en el ámbito de la

⁶ RIBEIRO, SILVIA. Los problemas de la nanotecnología III: *omnipotentes*.

⁷ Report of the national nanotechnology initiative workshop

⁸ NANOVIP ¿Qué es la nanotecnología

⁹ THE ROYAL ACADEMY. Nanoscience and Nanotechnology: *opportunities and uncertainties*. 2004.

¹⁰ ETC GROUP. La invasión invisible del campo.

Nanotecnología). Un átomo es más pequeño que un nanómetro, pero una molécula puede ser mayor. ¹¹

Para comprender el potencial de esta tecnología es conveniente saber que las propiedades físicas y químicas de la materia cambian a escala nanométrica. Bajo este límite se pueden observar nuevas propiedades en la materia que responden a las leyes de la Física Cuántica. La conductividad eléctrica, el color, la resistencia, la elasticidad, la reactividad, entre otras propiedades, se comportan de manera diferente que en los mismos elementos a mayor escala.¹²

Al hablar de Nanotecnología nos podemos referir a dos procesos:

A) "Top-down": Reducción de tamaño. Literalmente: desde arriba (mayor) hasta abajo (menor). Los mecanismos y las estructuras se miniaturizan a escala nanométrica. Este tipo de Nanotecnología ha sido el más frecuente hasta la fecha, más concretamente en el ámbito de la electrónica donde predomina la miniaturización.¹³

B) "Bottom-Up": Auto ensamblado. Literalmente: desde abajo (menor) hasta arriba (mayor). Se comienza con una estructura nanométrica como una molécula y mediante un proceso de montaje o auto ensamblado, se crea un mecanismo mayor que el mecanismo con el que se comienza. Este enfoque, que algunos consideran como el único y "verdadero" enfoque nanotecnológico, ha de permitir que la materia pueda controlarse de manera extremadamente

¹¹ YEADON, PETER. Pequeño es grande: *El amanecer de una nueva era*. Archfarm. Fascículos aperiódicos de arquitectura. Nº 9.

¹² CORREIA, A. SERRENA P., La nanociencia y sus aplicaciones. Revista del Colegio Oficial de Físicos.

¹³ DREXLER ERIC. Engines of creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor books editions. United States of America. 1986.

precisa. De esta manera se podrá liberar de las limitaciones de la miniaturización, muy presentes en el campo de la electrónica.¹⁴

Origen de la nanotecnología

Los nanomateriales, tal como algunos cerámicos nanoestructurados o las suspensiones coloidales se vienen usando desde hace siglos, por ejemplo en las pinturas de los vitrales de la edad media o aún más antiguos, algunas pinturas utilizadas por los Mayas para decorar sus vasijas de barro. Hay que mencionar que la información aquí descrita está limitada a ciertos aspectos recientes de la historia de las ideas sobre nanotecnología.

El premio Nóbel de Física, Richard Feynman, fue el primero en hacer referencia a las posibilidades de la nanociencia y la nanotecnología en el célebre discurso que dio en el Caltech (Instituto Tecnológico de California) el 29 de diciembre de 1959 titulado "Al fondo hay espacio de sobra" (There's Plenty Room at the Bottom). Feynman exploró la posibilidad de manipular individualmente átomos y moléculas de materiales. No obstante el término de nanotecnología se utilizó por primera vez en 1974, cuando Norio Taniguchi, un investigador de la Universidad de Tokio la utilizó para referirse a la habilidad para construir materiales a un nivel nanométrico.¹⁵

La principal industria interesada en miniaturizar fue la industria electrónica, la cual buscaba desarrollar herramientas para crear dispositivos electrónicos más pequeños (consecuentemente más rápidos y más complejos). En la década de

¹⁴ Ibíd

¹⁵ TANIGUCHI NORIO. "On the Basic Concept of 'NanoTechnology'" 1974 *Proc. ICPE*

los setentas la compañía IBM logró crear dispositivos y nanoestructuras con un tamaño de 40-70nm.

En el año 1981 el Scanning Tunnel Microscope (STM) fue inventado por Gred Binning y Heinrich Rohrer.¹⁶ Con este nuevo invento fue posible construir dispositivos y materiales a escala atómica y molecular. Este invento constituyó un parte aguas en la investigación y manipulación de átomos. Adicionalmente en 1986 el microscopio de fuerza atómica fue inventado (AFM, por sus siglas en ingles). Estas herramientas utilizan cabezales de escala nanométrica para crear la imagen de superficies con una resolución a nivel atómico así como recoger, deslizar o arrastrar átomos o moléculas sobre una superficie, y construir estructuras rudimentarias a nivel nanométrico. La mayor ventaja del AFM sobre el microscopio electrónico de transmisión es que no se requiere de tratamiento previo para la preparación de muestras.¹⁷

En 1984, los investigadores Richard Smalley, Robert Curl y Harold Kroto se percatan de la existencia de una nueva molécula de carbono, fullenero (buckyball).¹⁸ Esta molécula está constituida por 60 átomos de carbón y tiene la forma de una pelota de futbol. Este descubrimiento ha sido esencial para el desarrollo de la nanotecnología. Esta molécula tiene las características de ser superconductor, altamente estable y es capaz de soportar altas temperaturas y presión, además tiene la capacidad de reaccionar con otros átomos y moléculas conservando su estructura y forma estable. En el año 1990 se desarrolló una técnica para producir cantidades grandes de C₆₀.¹⁹

¹⁶ BARÓ VIDAL, ARTURO M. La física y la nanociencia: avances actuales y perspectivas de futuro.

¹⁷ PIROSHKA TERRAZAS-BANDALA, LUISA, et al. Análisis de membranas poliméricas compuestas por Microscopía de Fuerza Atómica. Tecnociencia Chihuahua, Vol. I, No. 2 • Mayo-Agosto 2007.

¹⁸ SHENKENBERG, D. Can the miracles promised by carbon nanotubes be realized?. Biophotonics, Mayo, 2008.

¹⁹ GADALLA, A. Solid C₆₀: Preparation and Characterization. Physics Department, Assiut University Assiut

Otro visionario en esta área es K. Eric Drexler quien predijo que la nanotecnología podría usarse para solucionar muchos de los problemas de la humanidad, pero también podría generar armas muy poderosas. Creador del "Foresight Institute" y autor de libros como "Máquinas de la creación"²⁰ muchas de sus predicciones iniciales no se cumplieron, y sus ideas parecen exageradas en la opinión de otros expertos, como Richard Smalley.

El inventor Eric Drexler ha desarrollado el último paso para la Nanotecnología de auto montaje, de dentro hacia fuera, se denomina "Nanotecnología molecular" o "fabricación molecular" (del cual no se ha llegado a un acuerdo si debería considerarse nanotecnología o una rama separada debido a sus dimensiones). Este desarrollo se relaciona con la creencia de que se pueden crear moléculas o mecanismos que sean capaces de crear cualquier material mediante procesos de montaje exponencial de átomos y moléculas, controlados con precisión. Este concepto se basa en que la totalidad del entorno perceptivo está construida mediante un limitado número de diferentes constituyentes (átomos) y estos átomos dan lugar a diversas creaciones, por lo que es fácil imaginar el potencial casi ilimitado que ofrece el montaje molecular.

Posteriormente, en 1991 Sumio Iijima observó los nanotubos. Los nanotubos son tubos extendibles de hojas de grafeno²¹ (graphene) enrolladas. Existen dos tipos de nanotubos, los de hoja simple (un tubo) o multi pared (varios tubos concéntricos). Ambos tubos comúnmente tienen diámetros que oscilan en los nanómetros y longitudes de micrómetros hasta centímetros. Las características

²⁰ DREXLER ERIC. Engines of creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor books editions. United States of America. 1986.

²¹ Grafeno.- una lámina de carbono de un átomo de espesor.
<http://mardukperu.blogspot.com/2007/09/grafeno-avances-en-nanoelectrnica.html>

físicas y químicas que presentan los nanotubos han tenido gran importancia en el tema de la nanotecnología. Mecánicamente se asemeja su dureza a la del diamante, aunque tienen flexibilidad en torno a su eje. Así mismo se ha descubierto que son buenos conductores de la electricidad.

En 1996, los investigadores Mirkin y Robert Letsinger de la Universidad Northwestern, descubrieron una forma de utilizar coloides de oro para ensamblar materiales inorgánicos. Este avance generó mucho interés en hacer arquitectura bio inorgánica diseñada a una escala nanométrica.²² En 1999, Chad A. Mirkin inventó la Pluma Sumergida (Dip-Pen) Nanolitográfica (DPN por sus siglas en inglés).²³ La cual se utiliza para escribir dejando sólo una capa de moléculas sobre el sustrato.

Estos descubrimientos originados en la nanociencia han contribuido con la nanotecnología, desarrollado una variedad de productos comerciales que actualmente son fáciles de conseguir en el supermercado o tiendas departamentales como los pantalones que no se requieren planchar y algunos cosméticos.²⁴

²² GADALLA, A. Solid C₆₀: Preparation and Characterization. Physics Department, Assiut University Assiut

²³ THE ROYAL SOCIETY Nanoscience and Nanotechnology: *opportunities and uncertainties*. 2004.

²⁴ TUÑÓN, RAINER. 2004. El tamaño si importa: *Nanopartículas*. Panamá: Corporación la Prensa.

CAPÍTULO III

La ingeniería química y la nanotecnología

Los grandes momentos de la organización humana, (hace más de 5mil y 3mil años) han sido caracterizados por los historiadores con base en los nuevos materiales utilizados en cada momento: la edad del cobre, la edad del bronce, la edad del hierro... El resto de la historia ha sido una búsqueda constante de nuevos materiales.¹

Uno de los mayores retos para el ingeniero químico en torno a la nanotecnología es educar a los fabricantes para utilizar correctamente la nueva tecnología y el de educar al consumidor sobre los verdaderos riesgos que se corren al utilizar esta tecnología.² La tendencia ha demostrado que los avances en el área de la nanotecnología y la industria es la de cambiar los procesos para elaborar bienes. El punto culminante de esta nueva tecnología se alcanzará en el momento cuando la producción se realice de abajo hacia arriba y no de arriba hacia abajo como se ha venido haciendo desde que el humano es productor. Esto se refiere a que la producción se hará juntando átomos y moléculas para formar un bien en lugar de cortar algo grande para formar varios bienes.

Una vez que el ingeniero químico domine la nanotecnología y la aplique con mayor frecuencia a nivel industrial, su segundo reto será enseñar a los fabricantes a utilizarla para procesar sus productos. Algunas de las compañías multinacionales pioneras en investigación y desarrollo de nanotecnologías productivas en el mundo son:

¹ VILLAVACES, JOSÉ LUIS. Tecnología y Sociedad: un contrapunteo armónico. Revista de Estudios Sociales. N° 22.

² THE ROYAL ACADEMY. Nanoscience and Nanotechnology: *opportunities and uncertainties*. 2004.

SECTOR DE LA INDUSTRIA	MULTINACIONALES PIONERAS EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE NANOTECNOLOGÍAS
Computadores/electrónica	IBM, NEC, Fujitsu, Hitachi, Phillips, Hewlett Packard, Samsung, Motorola, Mitsubishi, General Electric, Microsoft
Alimentos	Kraft/Altria, Unilever, Nestle, Heinz, Sara Lee
Farmacéutica/cuidado salud	GlaxoSmithKline, Smith and Nephew, Merck
Producción/Almacenamiento de energía	BP, Exxon, Chevron/Texaco, Shell, Halliburton
Textiles/vestuario	Burlington Industries, Nike, Gap
Defensa/Aeroespacial	Sandia/Lockheed Martin, Boeing, Qinetiq, Raytheon
Cosméticos	L'Oreal, Body Shop, Boots
Químicos	DuPont, Degussa, Dow, Henkel, ICI
Automóviles	BMW, Renault, GM, Ford, Caterpillar
Agricultura	Syngenta, Monsanto, Bayer

Fuente: CORPORATE WATCH. En: FOLADORI, Guillermo. Nanotecnología: *Mercado vs Precaución*. Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad. ReLANS. 2007.

En el área comercial el consumidor no tendrá que adecuarse a esta nueva tecnología ya que recibirán el mismo producto. Por ejemplo en el área de la medicina, una tableta producida con nanotecnología se ingerirá de la misma forma que una tableta de hoy en día que no esta elaborada a base de nanotecnología. La gran diferencia para el consumidor, es que la tableta tendrá un efecto más rápido y más puntual que la tableta que no fue hecha con nanotecnología. A diferencia del consumidor, la farmacéutica y todos los involucrados en la elaboración de la tableta habrán tenido que emplear, cambiar y aprender una nueva forma de procesar las tabletas.

Una rama de la ingeniería química se ha empezado a especializar en la nanotecnología ya que es inevitable que esta no afecte a la industria. El primer paso será el comprender cómo la nanotecnología puede ser utilizada industrialmente. Por el momento existen, sobre todo en el campo de la comunicación, nuevas aplicaciones de la nanotecnología las cuales todavía pueden ser superadas.

Actualmente, la aplicación de la nanotecnología en la industria en su mayor parte se ha enfocado en el área de las características de los materiales, la producción de químicos, manufactura de alta precisión y tecnología de comunicación e información.

El determinar la figura, el tamaño, la distribución, las propiedades químicas y físicas de los materiales, es una parte importante que afecta el proceso industrial. El controlar las características de los materiales tiene dos propósitos: el control de calidad y la investigación, y el desarrollo de nuevos procesos, materiales y productos.

Hay que considerar que la nanotecnología no es nueva en todas las disciplinas. Por ejemplo, en el área de los catalizadores, las estructuras nanoescalares se han utilizado desde hace 100 años³. Sin embargo la industria considera que el parte aguas de la nanotecnología ocurrió al emplear nuevas herramientas que permitieron observar y medir las propiedades y los procesos a un nanonivel. Estas herramientas permiten estudiar, observar y analizar átomos individualmente. Consecuentemente, hay un mayor entendimiento de la relación entre la forma y propiedades de la materia que permite controlar el proceso a un nanonivel y diseñar materiales con propiedades específicas. Sin

³ THE ROYAL ACADEMY. Nanoscience and Nanotechnology: *opportunities and uncertainties*. 2004.

embargo, la comercialización de una gran gama de productos que se produzcan con nanotecnología sólo se industrializarán cuando sean predecibles, en cantidades suficientes y de una forma fiable. Mientras tanto muchos productos de éstos permanecerán limitados a productos con fines académicos, de investigación y desarrollo.

Las técnicas de fabricación de nanoestructuras son variadas y se diferencian en su calidad, velocidad y costos. Se puede generalizar que existen dos tipos de técnicas: la de reducción de tamaño, la cual es la más común y más utilizada, y la de auto ensamblado, la cual se desea dominar. La producción de auto ensamblado involucra el construir estructuras, átomo por átomo o molécula por molécula. Esto se puede lograr por medio de síntesis química, ensamblado por sí solo o ensamblado de posición. Esta última es la única técnica en la cual átomos y moléculas pueden ser colocados deliberadamente una por una.

La síntesis química es un método de producción de materias primas, las cuales pueden ser utilizadas directa o indirectamente en productos en forma de aglutinamiento, en forma desordenada o como los bloques de materiales de construcción, más ordenados. La fase precursora es el punto de partida, y el material puede estar en un estado físico (o de multi-fases) o arreglado espacialmente a otros componentes. El primer paso es la creación de una nueva fase o estado en donde las nanopartículas se forman o se pueden formar por medio de un paso químico. En otras palabras, el cambio de fase puede por sí mismo formar nanopartículas (no es común que esto pase, pero es posible), aunque generalmente se crean circunstancias en donde nanopartículas pueden ser creadas por ejemplo por medio de vaporización de una mezcla precursora. Cuando se crean las condiciones en donde nanopartículas pueden ser creadas,

usualmente una reacción química se lleva a cabo para obtener el material deseado. Una vez conseguidas las nanopartículas deseadas, la habilidad para procesarlas y el manejo es muy importante para los nanomateriales: el mezclar nanopartículas juntas antes de aglomerarlas y la sinergia puede generar totalmente nuevas nanofases complejas de materiales las cuales no se podrían dar de otra forma. Nanopartículas de óxidos de metales, tal como dióxido de titanio, óxido de zinc, dióxido de silicón, óxido de aluminio, zirconio y óxido de hierro son en la actualidad unas de las nanopartículas más importantes comercialmente.⁴ Estas nanopartículas se pueden obtener como polvos secos o suspensiones líquidas. Se cree que serán multifuncionales materiales inorgánicos, metálicos o semiconductores nanoescalares, por lo que se utilizaran en diversos sectores de la industria. Por ejemplo el óxido de zinc tendrá un uso comercial como material optoelectrónico, por ejemplo para celdas fotovoltaicas y pantallas, en donde se encontrará en el producto final, tal como productos de cuidado para la piel, en donde serán partículas libres.

⁴ JABEERA, B. ANIRUDHAN, T.S. SHIBLI S.M.A. Nano zinc oxide for efficient activation for aluminium zinc alloy sacrificial anode. *Journal of new materials for electrochemical systems* 8, 2005

Tabla 4.1 Velocidad de producción global estimada para varios nanomateriales y dispositivos basados en revistas químicas internacionales y resúmenes (2003-2004), e investigación de mercado (BCC 2001). Estas velocidades sólo deberán ser utilizadas como guías, ya que los números reales son confidenciales.⁵

Aplicaciones	Material/dispositivo	Velocidad de producción estimada (toneladas/annum)		
		Pasado	2005–2010	2011–2020
Aplicaciones Estructurales	Cerámicas, catalizadores, materiales compuestos, recubrimientos, Películas delgadas, polvos, metales	10	10 ³	10 ⁴ –10 ⁵
Productos de cuidado de la piel	Óxidos metálicos (dióxido de titanium, óxido de zinc, óxido de fierro)	10 ³	10 ³	10 ³ o menor
ICT	Tubos de una pared, nano electrónicos, materiales opto-eléctricos (dióxido de titanium, óxido de zinc, óxido de fierro), organic light-emitting diodes (OLEDs)	10	10 ²	10 ³ o mayor
Bioteología	Nanoencapsulados, Administración dirigida de medicamentos, bio-compatible, puntos quantum, compuestos, biosensors	Menos que 1	1	10
Instrumentos, sensores, caracterización	MEMS, NEMS, SPM, Litografía de punta húmeda, herramientas de escritura directa	10	10 ²	10 ² –10 ³
Ambiental	Nanofiltración, membranas	10	10 ²	10 ³ –10 ⁴

El auto ensamblado es una técnica de producción de abajo hacia arriba en donde los átomos o moléculas se arreglan a sí mismos en estructuras nanoescalares ordenadas por interacción física o química entre las unidades. La formación de cristales o copos de sal son ejemplos de procesos de auto

⁵ THE ROYAL ACADEMY. Nanoscience and Nanotechnology: *opportunities and uncertainties*. 2004.

ensamblado. Aunque el auto ensamblado ha existido en la naturaleza desde hace miles de años, el uso del auto ensamblado en la industria es relativamente nuevo. Hay un interés económico y ambiental en procesos en los cuales componentes de producción y materiales esencialmente se forman ellos mismos, en donde se crean menores residuos y se utiliza menos energía. Sin embargo, con el conocimiento limitado de estos fenómenos sólo podemos crear sistemas rudimentarios. Cuando tengamos un mayor entendimiento de los procesos a una escala nanométrica de termodinámica, cinética y modelaje a computadora mejorada, se espera que ayude al desarrollo de sistemas más complejos.

Hoy en día, el modelaje a computadora de la nanotecnología esta emergiendo como una herramienta de análisis de ingeniería fundamental para diseño de nanomateriales, nanodispositivos y nanosistemas novedosos de una forma similar al análisis de elemento finito (FEA por sus siglas en ingles finite element analysis), el cual fue y esta siendo utilizado para diseño y análisis de sistemas de ingeniería de macro a microescala, como por ejemplo circuitos integrados (IC, integrated circuits) y dispositivos de sistemas micro electro-mecánicos (MEMS, micro electro-mechanical systems) en un régimen de escala de medidas submilimétricas y en gran escala en estructuras de ingeniería como automóviles, aviones y barcos.

El modelado y simulación basado en nanotecnología computacional de CNT nanomecánico, materiales de compuesto de grado funcional, dispositivos electrónicos, actuadores y sensores, y maquinas moleculares esencialmente abarca la totalidad de la gama en la escala de tiempo en técnicas de simulación. Por ejemplo, simulación de características electrónicas y

aplicaciones de sensores se encuentran adecuadamente dentro de una exactitud alta del régimen cuántico. En cuanto a simulación para los procesos y caracterización de los materiales de composición funcional reforzada con CNT normalmente necesitarían técnicas de simulación a mesoescala, las cuales todavía no se han desarrollado lo suficiente.

La importancia de simulaciones basadas en nanotecnología computacional para avanzar las fronteras en la siguiente generación de materiales, dispositivos y aplicaciones de nanoestructuras se basa en tres razones. Primero, la escala de tiempo y longitud de importancia de fenómenos y sistemas de nanoescala han disminuido a un nivel en el cual se pueden dirigir directamente con modelaje teórico y simulación por computadora de alta fidelidad. Segundo, la exactitud en los métodos mecánicos cuántico y atómico se ha incrementado a tal grado que, en muchos casos, la simulación puede ser predecible. Tercero, el poder bruto de CPU disponible para análisis y simulación rutinaria continúa incrementándose, por lo que cada vez es más viable introducir más elementos reales en el diseño de aplicaciones y características en la base de simulación.

No obstante, es importante mencionar que han habido muchos intentos para desarrollar una “gran herramienta de simulación” integrada, basada en aproximaciones a través de diferentes escalas de tamaño y tratando de lograr una integración sin restricciones a través de la interfase.

En realidad, la mayoría de los esquemas de integración se enfocan en materiales y dispositivos muy específicos y no funcionan para otros.

Una técnica de proceso potencial comprende el uso de fuerza y campos externos, por ejemplo, eléctrico o magnético, para acelerar el proceso de auto

ensamblado que por lo regular es lento, el cual es atractivo para el contexto de la industria. Esto se conoce como auto ensamblado directo.

La generación de nanotubos de carbono ha causado un gran interés en la industria por sus propiedades. Sus usos potenciales incluyen composiciones, plásticos conductores, sensores, baterías y celdas de combustible. Aunque hoy en día se pueden fabricar nanotubos de carbono, no se cuenta con el conocimiento del mecanismo de crecimiento de éstos, así como la selectividad y la producción uniforme con dimensiones y propiedades físicas específicas. Este es el caso de varios nanomateriales, por lo que es deber del ingeniero químico el estudiar y establecer la ruta que siguen los procesos para obtener los productos deseados, los equipos necesarios y sus características así como los criterios que representen los procesos para diseñar equipos que proporcionen una selectividad del producto deseado. Sin embargo, hoy en día, existe la idea de dominar el ensamblado posicional. En este ensamblado átomos y moléculas son manipuladas y posicionadas deliberadamente una por una. El ensamblado posicional es extremadamente laborioso y actualmente no es adecuado como un proceso industrial a escala atómica. Se cree que en el futuro el escaneado de imagen de microscopio (SPM) sea de utilidad en la industria y dé la posibilidad de definir las características y medir la superficie con una precisión a nivel atómica, ayudando a desarrollar el ensamblado posicional, culminando en la industria a escala atómica.

La fabricación de arriba hacia abajo, como se ha mencionado anteriormente, se lleva a cabo empezando con una pieza de material grande y moler o maquilar una nanoestructura de este material removiendo el material como por ejemplo en circuitos o microcircuitos o "microchips". Esto se puede llevar a cabo al usar

técnicas tales como ingeniería de precisión y litografía, las cuales han sido desarrolladas y refinadas por la industria semiconductora en los últimos 30 años. La fabricación de arriba hacia abajo ofrece fiabilidad y complejidad de dispositivos, aunque utilicen una gran cantidad de energía, y produzcan mayor cantidad de desecho que los fabricados por el método de abajo hacia arriba.

La ingeniería de precisión y la fabricación aseguran mucho de la industria de micro-electrónicos desde su producción de semiconductores planos de bajo daño utilizado como sustrato para circuitos de computadora “wafers” hasta las etapas mecánicas utilizada para posicionar los “wafers”, la producción de la precisión óptica utilizada para imprimir los patrones en los “wafers”. Adicionalmente la ingeniería de alta precisión se utiliza en la actualidad para la elaboración de productos tales como discos duros de computadora, reproductores de CD y DVD.

Las máquinas herramientas de alta precisión son capaces de alcanzar una alta precisión con la cual pueden ser definidas algunas formas (hasta 1 parte en 10^7 , o mejor que 100nm en distancias de décimas de centímetros) y lograr una superficie terminada de alta calidad. Para lograr esto se han creado y utilizado materiales avanzados para las herramientas de corte, basándose en diamantes o cubos de nitrito de boro creando máquinas precisas y duraderas. Utilizando nuevos diseños de apoyos de alineamiento y rotatorios que emplean películas de fluidos y sensores para controlar las dimensiones combinadas con control de numeración y tecnología avanzada “servo-drive”. Para poder ejecutar estas técnicas es necesario el control preciso de proceso y temperatura.

La litografía predomina en la fabricación de tecnología de comunicación e información (ICT). Este proceso se basa en hacer patrones en “wafles” de

semiconductores en una secuencia de pasos de fabricación. La litografía involucra la fabricación de patrones en una superficie al ser expuesta a la luz, iones o electrones y subsecuentemente depositar material en la superficie para producir el dispositivo deseado. La habilidad para hacer patrones a escala nanométrica es fundamental para el éxito de la industria tecnología de información (IT) y tecnología internacional de mapas de semiconductores (ITRS). El proceso a base de electrones e iones es una técnica, aunque muy precisa, muy lenta para ser utilizada directamente en producción masiva. Por tal motivo sólo es utilizada para producir dispositivos de alta precisión y de investigación. Por otro lado la litografía óptica es utilizada para producir dispositivos semiconductores. Aunque esta última tiene menor resolución que la técnica a base de rayo, ésta provee una producción a mayor escala de menor costo. El proceso de litografía óptica se utiliza para la producción de dispositivos semiconductores. Aunque éste no cuenta con la resolución del proceso a base de electrones e iones, es un buen proceso para la fabricación a gran escala por su rapidez y costo.

Actualmente, estas técnicas de nanotecnología tienen principalmente las siguientes aplicaciones industriales:

Aeroespacial: Materiales más livianos y más resistentes que pueden reducir considerablemente la energía necesaria para darle potencia a un avión o a un cohete, disminuyendo sus costos de funcionamiento.

Automotriz: La generación de poder mediante energías limpias y renovables usando hidrógeno o celdas solares, lo cual tendrá un fuerte impacto en los nuevos vehículos. La nanotecnología pretende hacer estas tecnologías viables, económicas y suficientes.

Medicina: El desarrollo de nuevos medicamentos y tratamientos que se pueden lograr a través de la estructuración de moléculas capaces de reconocer y destruir las bacterias y los virus deseados sin afectar a los demás organismos por lo que son menos invasivos y más efectivos.

Semiconductores: El estudio detallado de las capacidades conductoras de materiales como el carbono ha demostrado que mediante la estructuración atómica, se pueden lograr cualidades nunca antes pensadas. Los computadores orgánicos están a menos de 5 años de ser una realidad. La necesidad de aumentar la capacidad conductiva de los materiales actuales se da por la imposibilidad de aumentar la conductividad de los elementos actuales, como el silicio y otras aleaciones.

Energía: La nanotecnología promete grandes avances en la capacidad de generación de energía mediante celdas solares. Nuevos compuestos de polímeros-fullerenos han mostrado nuevos horizontes para celdas solares con mejores capacidades de generación energética.

El desarrollo de nuevos materiales también tendrá un impacto positivo en la construcción, los deportes, la producción textil, los cosméticos y los lubricantes. Es evidente que la nanotecnología está siendo estudiada por diversos científicos. Para poder aplicar procesos de microescala a macroescala y lograr la manufactura de los nuevos productos, es necesaria la participación del ingeniero químico.

La perspectiva del ingeniero químico relacionada con la industria, procesos industriales, equipos y criterios debe ir modificándose para poder enfrentar una nueva era. Es de suma importancia que los conocimientos de los ingenieros químicos se vayan modificando y adecuando hacia la nanotecnología

estudiándola desde ahora para que en un tiempo no muy lejano puedan determinar y crear modelos matemáticos del comportamiento de nanomateriales, sus procesos y la maquinaria y equipo a emplear a nivel industrial para facilite su labor en la nueva industria.

CAPÍTULO IV

Impacto de la Nanotecnología en la vida moderna¹

*“Es un gran equívoco el pensar hoy en día, que la nanotecnología es una ciencia futurista que podría llegar a nuestros hogares en veinte o treinta años, ya está aquí, [...] hoy respiramos, bebemos nanotecnología, nos vestimos con nanotecnología, y convivimos con nanotecnología sin tan siquiera saberlo”.*²

Es indudable que uno de los impactos más grandes de la Nanotecnología es la cantidad de recursos que se emplean para su estudio. Es inevitable que el humano, al tratar constantemente de mejorar su vida, deje a un lado la posibilidad de investigar y estudiar las diferentes, nuevas, posibles aplicaciones que esta nueva tecnología le puede proporcionar. El tiempo que las empresas, gobiernos, universidades, investigadores y gente común dedican hoy en día a tratar el tema de la nanotecnología así como temas relacionados con ésta va aumentando. Esto tiene un impacto directo en nuestra vida ya que en vez de discutir sobre leyes de cualquier otra índole, destinar presupuestos a otro sector, enfocar los planes de estudio a otras áreas, se debía hablar sobre el mejoramiento y expansión de esta disciplina, de los presupuestos que se deben de destinar para la investigación de la misma, sobre los temas a enseñar y cómo enseñarlos a cualquier nivel y buscar nuevos desarrollos que tengan que ver con la nanotecnología.

¹ En esta sección es importante señalar que al mencionar la vida moderna se va a referir a los últimos 5 años. Se cree que para la ciencia este periodo de tiempo no es muy grande y puede considerarse actual sin caer en gran error.

² VILLAVECES, JOSÉ LUIS. Tecnología y Sociedad: un contrapunteo armónico. Revista de Estudios Sociales. N° 22.

En la actualidad el nanotubo de carbono es una de las estructuras que cuenta con uno de los mayores avances y con mayor número de aplicaciones en el campo de la nanotecnología. Dos de los campos en los cuales está teniendo aplicación es en el área tecnológica y biomédica. Gracias a sus excepcionales cualidades de resistencia y flexibilidad, hoy en día se puede encontrar diferentes objetos en el mercado fabricados con este material, tales como raquetas, bicicletas y artículos similares entre otros.

Los adelantos en la nanotecnología han hecho posible fabricar nuevos sensores nanotecnológicos basados en proteínas, los cuales pueden detectar el mercurio en concentraciones de aproximadamente una parte en 10^{-15} o una cuadrillonésima.³ También se están fabricando nanopartículas de óxido de europio que se están aplicando para llevar a cabo un método sumamente sensible que mide atracina, un plaguicida, que se encuentra con frecuencia en aguas subterráneas,⁴ entre otras aplicaciones. La temprana detección de elementos nocivos al ambiente permite una pronta respuesta, lo que minimiza los daños sobre el ambiente y sobre quienes nos beneficiamos de él y reduce los costos de eliminación de la contaminación.⁵ La nanotecnología también se encuentra en catalizadores que sirven para reducir las emisiones de las industrias y los vehículos. Otro ejemplo de nanopartículas que ayudan a limpiar el ambiente son las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) que absorben energía de la luz y entonces oxidan las moléculas orgánicas que se encuentran cerca. Esta propiedad de fotocatalisis se explota para fabricar revestimientos que atraen y oxidan los contaminantes, por ejemplo, en las emisiones de los

³ BONTIDEAN, I. (1998). Detection of heavy metal ions at femtomolar levels using proteína-based biosensors. *Analytical Chemistry*, Vol. 70

⁴ FENG et al. 2003 Functionalized Europium Oxide Nanoparticles Used as a Fluorescent Label in an Immunoassay for Atrazine. *Analytical Chemistry*, 75

⁵ INTERAXN S.L. Informe de vigilancia tecnológica sobre aplicación de biosensores al diagnóstico simultáneo de enfermedades infecciosas.

vehículos y las industrias. Algunos nuevos nanocatalizadores se pueden utilizar a temperatura ambiente, esto representa una enorme ventaja respecto de los catalizadores tradicionales, que habitualmente funcionan a altas temperaturas y requieren mayor insumo energético. Esta capacidad para funcionar a temperatura ambiente, facilita la aplicación de los materiales nanoestructurados en muchos productos de consumo y uso doméstico a pequeña escala.⁶

Uno de los problemas más trascendentales en el mundo actual es la escasez de alimentos. En este campo la nanotecnología también se ha abierto paso en forma de plaguicidas nanométricos. En Alemania, uno de los países que más ha desarrollado plaguicidas, se encuentran BASF y Bayer Corp. Science, las cuales han desarrollado plaguicidas utilizando nanotecnología. BASF, es la cuarta corporación agroquímica más importante del mundo y reconoce la utilidad potencial de la nanotecnología en la formulación de pesticidas.⁷ Esta compañía ha desarrollado un plaguicida que tiene un ingrediente activo cuyo tamaño ideal es de 10 a 150 nm. La ventaja de la nano fórmula es que el plaguicida ya sea herbicida, insecticida o fungicida, se disuelve más fácilmente en el agua para simplificar su aplicación en los cultivos, siendo más estable y óptimo en su capacidad química.⁸

Bayer Corp. Science por su lado ha desarrollado un pesticida para Agro Químicos que asumen la forma de emulsiones nanométricas en la gama de 10 a 400nm. La compañía describe el invento como “un concentrado de micro emulsión”, con la ventaja de que reduce la tasa de aplicación. Este producto

⁶ UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. Nanocatalizadores para el mejormaeinto del medio ambiente: La ciencia en la UNAM a través del Subsistema de la Investigación Cientffica 2007

⁷ ETC GROUP. La invasión invisible del campo.

⁸ *Ibíd.*

muestra una “acción más rápida y confiable” y “un efecto de mayor duración”.⁹

A continuación se presentan algunas aplicaciones actuales de Nanomateriales:

NANOMATERIALES	PROPIEDADES	APLICACIONES
Clusters de átomos		
<i>Quantum wells</i>	Capas extrafinas de material semiconductor con nuevas propiedades	Láser para CDs, telecomunicaciones, óptica, memorias, monitores.
Nanogranos		
Nanocápsulas	Destino en tamaño nano de múltiples contenidos	Lubricantes para ingeniería, industria farmacéutica y cosmética (entrega de droga a células afectadas, lápices labiales, pasta dentífrica, filtros solares, cremas)
Catalíticos	Mejoran la reacción química y pueden ser reutilizados	Materiales, energía, producción de alimentos, salud, agricultura, pinturas, tratamientos de agua, filtros, limpieza de superficie, descontaminación del aire.
Nanofibras		
Nanotubos de carbono	50 a 100 veces mas fuertes que el acero y 1/6 de su peso	Industria aeroespacial, automotriz, construcción.
Materiales Nanoestructurados		
Nanocompuestos	Compuestos de metales, polímeros y materia biológica que permiten comportamiento multifuncional	Aplicados donde pureza y conductividad eléctrica importan, como microelectrónica, llantas de automóviles, equipos deportivos, ropa, textiles, antisépticos.

Fuente: Información seleccionada de HUW ARNALL (2003), con ejemplos adicionados de diversas fuentes, dado por: FOLADORI, Guillermo and INVERNIZZI, Noela. 2005, p. 3.

⁹ *Ibid.*

En resumen algunos de los productos con que podemos identificar hoy que se producen a base de nanotecnología son: pantalones anti-manchas y anti-arrugas, lavadoras con nanopartículas de plata, cosméticos con nanopartículas de plata, bicicletas, raquetas de tenis hechas con nanotubos, medicamentos más precisos, entre otros.

Al utilizar nanoestructuras que nos den como resultado igual o mejores beneficios que las estructuras actuales, la contaminación se irá disminuyendo ya que se requerirán menores recursos para fabricar dichas estructuras y en el caso de que se mantenga la tendencia actual, el resultado será más eficiente, proporcionándonos un mundo menos contaminado. Pero no se debe de olvidar que se debe hacer análisis de beneficios en función de los costos para tener en cuenta el verdadero impacto ambiental de estos materiales, ya que muchos materiales nanoestructurados ahorran energía durante su utilización, pero su manufactura puede consumir mucha energía.¹⁰

La nanotecnología ya no es una fantasía, es algo real. Puede estar en contacto con nuestra piel, por medio de cosméticos y bloqueadores solares; también en los campos agrícolas, como plaguicidas nanoencapsulados; en nuestros refrigeradores, como aditivos alimentarios, y en nuestro cuerpo, como vehículos para la administración de medicamentos. Además, están presentes en materiales que componen muchos objetos de uso cotidiano, como prendas de vestir (camisas y pantalones “que no se manchan”, “que no se tienen que planchar”), artículos de cocina de teflón, filtros de lavaropas, coberturas de hornos, neumáticos de automóviles, pantallas de televisión, teléfonos celulares

¹⁰ ALCCA, QUISPE FERNANDO. Propiedades y aplicaciones de los nanotubos.

y muchos más...¹¹ En el proceso de adquisición de una vida mas sencilla, se observan aplicaciones de la nanotecnología¹².

¹¹ RIBEIRO, SILVIA. Los problemas de La nanotecnología.

¹² FUNDACIÓN HEINRICH BÖLL. Etc. Group. 2003

CAPÍTULO V

Nanotecnología y la educación

Es evidente que la nanotecnología está presente y seguirá afectando nuestras vidas. Ante esta situación se debe tratar de comprender los efectos que tiene en el ser humano, su ambiente y cómo se puede utilizar de la mejor forma. Para lograr entender esto se debe estudiar el comportamiento de los materiales, su fabricación y su destrucción. Es inevitable que los sectores de educación a nivel regional, nacional y mundial integren esta ciencia en la educación de la humanidad. Es un recurso que las compañías han visto como un potencial ingreso económico para el que llegue a dominarla. Consecuentemente, existe una gran demanda de personas con conocimientos en esta disciplina. Para satisfacer esta necesidad diversas universidades alrededor del mundo han empezado a crear planes de estudio a nivel licenciatura, maestría y doctorado que enseñen esta disciplina. Más aun, existen centros dedicados a la enseñanza que proponen planes de estudio para incorporar esta nueva disciplina a nivel primaria, secundaria y preparatoria.

Actualmente se pueden encontrar diversas universidades que ofrecen maestrías y doctorados en esta área. A continuación se mencionan algunas de las universidades que imparten cursos relacionados con nanotecnología.¹

¹ Wikipedia. *Nanotechnology*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>

País	Universidad	Nivel
Alemania	University of Würzburg	
	Munich University of Applied Sciences	Maestría
	Saarland University	Diplomado
	University of Ulm	Maestría
Australia	Flinders University	Licenciatura
	University of Wollongong	Licenciatura
	RMIT University	Licenciatura
	Curtin University	Licenciatura
	University of New South Wales	Licenciatura
	University of Technology, Sydney	Licenciatura
	University of Western Sydney	Licenciatura
	University of Queensland	Licenciatura
	La Trobe University, Melbourne	Licenciatura
	The University of Melbourne	Maestría
	Massey University, New Zealand	Licenciatura
	St Helena Secondary College ^[2] , Melbourne	Preparatoria
Brasil	Universidade Federal do ABC	Maestría y Doctorado
	Centro Universitário Franciscano, UNIFRA	Maestría
Canadá	University of Alberta	Licenciatura
	University of Toronto	Licenciatura
	University of Waterloo	Licenciatura
	McMaster University	Licenciatura
Dinamarca	University of Aalborg	Licenciatura, Maestría y Doctorado
	University of Aarhus	Licenciatura, Maestría y Doctorado
	Technical University of Denmark	Licenciatura y Maestría y Doctorado
	Copenhagen University	Licenciatura y Maestría y Doctorado
España	Universidad de Alicante	Maestría
EUA	University of North Carolina at Charlotte	Doctorado
	Louisiana Tech University	Licenciatura, Maestría y Doctorado
	Rice University	Maestría
	University at Albany, The State University of New York	
	Dakota County Technical College	

	Chippewa Valley Technical College	
	Richland College	
	University of Central Florida	
	North Dakota State College of Science	
	Oklahoma State University, Okmulgee	
Francia	Grenoble University of Innovation	Maestría
Holanda	Radboud University Nijmegen	Maestría y Doctorado
	Leiden University	Maestría
	Delft University of Technology	Maestría y Doctorado
India	Andhra University	Maestría
	Nano Indian: India's nanotechnology education and research portal	
	Panjab University, Chandigarh	Maestría
	University of Madras	Maestría
	Indian Institute of Technology Madras	
	Indian Institute of Technology Kanpur	
	Indian Institute of Technology Bombay	
	Indian Institute of Technology Kharagpur	
	Indian Institute of Technology Delhi	
	Indian Institute of Technology Guwahati	
	Indian Institute of Science	Maestría
	Jadavpur University	Maestría y Doctorado
	Amity University	Licenciatura y Maestría
	Vellore Institute of Technology	Maestría
	University of Rajasthan	Maestría
	Sathyabama University	Maestría
	Anna University	
Israel	Technion	Maestría y Doctorado
Italia	University of Venice	Maestría
México	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOEP)	Maestría y Doctorado
	Universidad de las Américas	Licenciatura
Noruega	Norwegian University of Science and Technology	Maestría
	University of Bergen	Licenciatura
Reino Unido	University of Sussex	Licenciatura
	University of Leeds	Licenciatura y Maestría
	University of Manchester	Doctorado
	University of Cambridge	Maestría y

		Doctorado
	Cranfield University	Maestría y Doctorado
	Imperial College London	Maestría
	University College London	Maestría
	University of Oxford	Maestría
Republica Checa	Technical University of Ostrava	Licenciatura y Maestría
	Technical University of Liberec	
Singapur	National University of Singapore	Licenciatura
Suecia	Eidgenosslsche Technische Hochschule (ETH), Zurich	Maestría y Doctorado
Suiza	Lund University	Maestría
	Chalmers University of Technology	Maestría
Tailandia	Chulalongkorn University	Licenciatura
	Mahidol University	Maestría
Turkia	Bilkent University(Institute of Materials Science and Nanotechnology)	Maestría y Doctorado

Con el fin de que el ingeniero químico tenga una formación actualizada y dado que para dar un curso de nanotecnología se requiere que el estudiante tenga conocimientos previos de 4 a 6 diferentes disciplinas en el área de ciencias e ingeniería (y ya que la carrera de ingeniería química proporciona estos cursos a los estudiantes) debería ser de gran interés y sería acertado el proponer la creación de un paquete terminal de materias optativas para la carrera de ingeniería química en las cuales se pudiera tener un acercamiento a la nanotecnología. Para poder hacer y proponer este grupo terminal de materias se aconseja que se tenga un objetivo concreto en mente. Un objetivo podría ser el que el ingeniero químico pudiera, con mayor facilidad, integrarse al área de la nanotecnología, si así lo deseara, una vez concluida la carrera. En este caso se recomendaría integrar cursos de la carrera de química. Dos materias que se recomienda que se incluyan de la carrera de química son fundamentos de espectroscopía (1309) y química cuántica I (1404). El objetivo del curso de

espectroscopía es introducir a los estudiantes de química a los fenómenos ondulatorios y vibracionales en los medios materiales. Este curso tiene una visión semi-clásica de las funciones de respuesta lineal más comunes en química como son la susceptibilidad eléctrica y magnética. Comprende conceptos de gran uso en química como son la polarización y el índice de refracción. Así mismo, obtendrán una introducción a los aspectos más generales de la simetría en química. Estos temas facilitaran la comprensión de temas cubiertos en Química Cuántica, Químicas Inorgánicas, Químicas Orgánicas y Químicas Analíticas.² En tanto que el objetivo del curso de química cuántica I es presentarán los conceptos y técnicas básicas que el químico emplea en la actualidad para comprender y predecir las propiedades de las moléculas o, dicho de otra manera, se analizan en detalle los conceptos modernos de enlace químico. Este curso complementa al de Estructura de la Materia en dos sentidos: es más formal y más amplio. Ello es posible gracias a varios factores que se acumulan entre ambos cursos: un dominio de ciertas técnicas matemáticas, un conocimiento ampliado de la química de sistemas específicos, el uso de la espectroscopía y los conceptos elementales de Estructura de la Materia y, en el aspecto que llamaríamos efectivo, una maduración profesional. La parte final de este curso describe los modelos cuantitativos de distintas espectroscopías. Los alumnos conocerán la teoría cuántica en tal forma que puedan aplicarla a problemas químicos evaluando la calidad de sus aproximaciones y por tanto la validez, general o restringida, de sus conclusiones. Tendrán una perspectiva de las similitudes y diferencias de los tipos de enlace químico y de los métodos y conceptos con que se les suele

² Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Programa de estudios fundamentos de espectroscopía

describir, sus alcances y sus limitaciones.³ Estos dos cursos actualmente se imparte en la Facultad de Química de la UNAM para la carrera de Química. Otros dos cursos que se recomiendan como paquete terminal de materias, los cuales actualmente no se imparten en la Facultad de Química, son: Introducción a la Nanotecnología el cual consistiría en enseñar al estudiante los micro/nanoprosos existentes y las tecnologías que los caracterizan incluyendo técnicas de litografía blanda y nanolitografía avanzada; una visión general de técnicas de escaneo de exploración de microscopia tal como AFM, STM (scanning tunneling microscope) y NSOM (Near-Field Scanning Optical Microscopy, microscopios de barrido con sondas). Introducción a nanomateriales tal como fullerenos, nanotubos de carbón y copolímeros de bloque. Propiedades y efectos de mecánica cuántica de nanoestructuras. Una visión general de aplicaciones de nanotecnología en dispositivos MEMS, microelectrónicos y fotónicos. Otra clase que se recomienda es la de Materiales de Nanoestructura en donde se vería tipos de materiales y polvos. Nanocomposiciones. Micas y recubrimientos delgados, MEMS, fullerenos y nanotubos. Cómo procesar las técnicas de sol-gel, deposición de vacío, auto-ensamblado, consolidación. Propiedades y caracterización.⁴

Para obtener el mayor provecho de dichos cursos sería interesante pero no indispensable la creación de un curso que guiara los conocimientos adquiridos en los diversos cursos para la aplicación en la nanotecnología. Esto no quiere decir que en este curso de la carrera se enseñaran materias aisladas u optativas, más bien se implementaría como un seminario en donde se discutiría

³ UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE QUÍMICA. Programa de estudios química cuántica

⁴ <http://www.registrar.ualberta.ca/pdfcal/09-10calendarpdf/CourseListings.pdf>

la integración de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y el grupo de materias terminales al enfoque de la nanotecnología. La nanotecnología es demasiado amplia como para poder verse con profundidad en cursos de una licenciatura. Se debe tener claro que el objetivo es darle herramientas al egresado de la carrera de Ingeniería Química para poder facilitar su integración a un grupo en el área de nanotecnología, más no hacerlo experto en el tema. Asimismo, se considera que la carrera de ingeniería química es la carrera en la cual se puede integrar dicho plan terminal sin tener que hacer modificaciones al plan de estudios actual y crear una formación adecuada a los estudiantes para tener éxito en el estudio y desarrollo de la nanotecnología.

CAPÍTULO VI

Futuro de la nanotecnología

... hay una diferencia, después de todo, entre saber que algo es posible y saber cómo hacerlo. Y en este caso, el mundo tiene ejemplos de éxitos análogos.¹

La finalidad de la nanotecnología es el poder manejar los átomos individualmente para producir algo en específico. Esto se refiere a poder manipular átomos, juntar un átomo con otro en un determinado orden, con una ubicación deseada y con los enlaces necesarios para poder formar el material, compuesto o sustancia que uno requiere.

Desde 1959, los visionarios de la nanociencia y la nanotecnología han compartido sus ideas para determinar la dirección de la nanotecnología. K. Eric Dexter, cree que el hombre puede lograr unir átomos en un orden determinado ya que las fuerzas en las que están basadas, las uniones, son los principios de la ingeniería mecánica. Esta teoría, como es frecuente en nuevas disciplinas, ha tenido seguidores al igual que otros investigadores quienes se muestran incrédulos a esta visión.

Se prevé que la nanotecnología tenga un gran potencial que traerá beneficios a muchas áreas. Al mismo tiempo se reconoce que las aplicaciones de dicha tecnología tendrán un efecto importante en cuestiones de seguridad, reglamentación, religión y ética.

Existen fuertes corrientes en la industria para reducir la resistencia mecánica en la ingeniería que se puede conseguir con la miniaturización, minimizando su desgaste. Mientras la tendencia hacia la miniaturización continua, la

¹ DREXLER ERIC. Engines of creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor books editions. United States of America. 1986.

investigación de métodos de producción para su aplicación industrial incrementará, la cual se guiará particularmente por las industrias de los electrónicos y la computación. Las diferentes técnicas utilizadas en la nanotecnología como son EBL (electron beam lithography, litografía por haz de electrons)², FIB (focuse ion beam, bombardeo de iones focalizados o por haz de electrones focalizad) y RIE (Reactive Ion Etching, grabado por iones reactivos) se están volviendo más exactas y más económicas para ser utilizadas en un contexto de producción.

Inevitablemente el ingeniero químico ha sido, es y será parte de esta transición. El ingeniero químico se dedica a administrar recursos para obtener productos útiles al hombre, entre otras actividades, por lo tanto es inevitable que si aparece un nuevo recurso como la nanotecnología, éste no se vea involucrado en la aplicación de la misma. Así mismo, debido a su formación y conocimientos adquiridos, el ingeniero químico posee la capacidad para poder entender, aplicar y desarrollar la nanotecnología.

Se puede predecir con gran certeza que en los próximos años los nanomateriales proveerán formas de mejorar el desempeño en una gama de productos que incluyen electrónicos a base de silicón, pinturas, baterías, sensores de silicón de micro-máquinas y catalizadores. Más adelante, se podrán ver compuestos que tomen ventaja de las propiedades de los nanotubos. También se podrá observar lubricantes a base de nanoesferas inorgánicas; materiales magnéticos utilizando granos de nanocristales; nanocerámicos utilizados para hacer mejores y más percederas prótesis médicas; componentes de automóviles u hornos de altas temperaturas y

² La EBL se basa en la definición de motivos submicrónicos mediante el rastreo de un haz energético de electrones sobre una resina.

membranas desarrolladas por nanoingeniería para la purificación de agua energéticamente más eficiente.

En relación a electrónicos, optoelectrónicos y componentes relacionados con la tecnología de la información y comunicación, en el año 2004 el estándar fue de 90 nm, pero se prevé que en el año 2016 sea de solo 22nm³. Mucha de la miniaturización de los “chips” de computadora ha involucrado a la nanotecnología y se espera que continúe en los siguientes 5 a 15 años. El almacenamiento de datos, utilizando propiedades ópticas y magnéticas para crear la memoria, también dependerá del avance que tenga la nanotecnología. Se están explorando alternativas para electrónicos a base de silicón que involucran a la nanotecnología. Por ejemplo: electrónicos flexibles para pantallas flexibles, sensores para detectar químicos en el ambiente, para verificar si es comestible la comida o para monitorear el estado mecánico de esfuerzos entre edificios. Hay mucho interés en puntos cuánticos, nanopartículas semiconductoras que pueden “sintonizarse” para emitir o absorber partículas de luz para uso en celdas de energía solar o etiquetas biológicas fluorescentes.

La nanotecnología relacionada con bio-nanotecnología y nanomedicina es muy prometedora. Se está investigando con gran entusiasmo, cómo puede influir esta disciplina en diagnósticos médicos, en la liberación de fármacos a sitios específicos en el cuerpo e imágenes moleculares. Existe interés en la aplicación de la nanotecnología, enfocando hacia la producción de materiales y dispositivos tales como un puente para ingeniería de células y tejidos, y sensores que pueden ser utilizados para monitoreo relacionado con la salud humana. Es

³ THE ROYAL ACADEMY Nanoscience and Nanotechnology: *opportunities and uncertainties*. 2004.

probable que muchas de las aplicaciones no sean utilizadas sino hasta dentro de diez años o más, debido a las pruebas y validación que deben realizarse antes de su puesta en práctica. Se cree que algún día se podrá hacer una retina artificial. A medida que se vaya perfeccionando la bio nanotecnología será capaz de construir estructuras biológicas naturales a un nivel molecular, como las proteínas.

Actualmente se están patentando en este campo de la nanotecnología procesos, métodos, productos y usos. Para poder obtener una patente se requiere que tenga una aplicación industrial, por lo que esto demuestra que la nanotecnología se está utilizando actualmente en la industria y se está produciendo artículos, con esta tecnología, a gran escala. Al paso del tiempo se otorgarán nuevas patentes que involucran las nuevas aplicaciones de la nanotecnología. El número de patentes relacionadas con la nanotecnología va en aumento exponencial, por lo que se puede deducir con gran certeza que ésta disciplina, en el futuro, influirá en el desarrollo de la humanidad en áreas que van desde la industria de la construcción hasta la electrónica, pasando por la medicina y otros campos.

Un grupo de investigadores de la Universidad de Toronto ha creado la siguiente relación donde se mencionan las diez aplicaciones más prometedoras de la nanotecnología:

- Almacenamiento, producción y conversión de energía
- Mejoras en la productividad agrícola
- Tratamiento y purificación de aguas
- Diagnóstico y tratamiento de enfermedades
- Sistemas de administración de fármacos

- Procesamiento de alimentos
- Tratamiento de la contaminación atmosférica
- Construcción
- Monitoreo de la salud
- Detección y control de plagas
- Informática

El futuro de la nanotecnología y una de las metas más ambiciosas de los científicos es poder controlar los átomos para poder fabricar a gran escala cualquier producto.

A lo que se pretende llegar en la industria química es el usar nanoescalares “bloques de construcción” para ensamblar nanoestructuras organizadas, que a su vez puedan ser ensambladas para producir productos comerciales. Del entendimiento adquirido por los químicos y físicos respecto del modelaje y mediciones de nano-materiales, de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, la industria se concentrará en los procesos que utilicen fabricación a una escala nano, de tal forma que se mantengan los efectos y funciones deseados. Por otro lado los nanocomponentes se combinan para formar materiales y productos a macro-escala. Esto involucrará el desarrollo de la tecnología basada en materiales de auto-ensamble o probablemente en métodos de ensamblado directo, lo cual permite de alguna forma el ensamblado en paralelo de productos, en conjunto con herramientas de modelaje y medición. Se prevé que este tipo de estructuras y materiales sean explotados a partir de los años 2020 en el sector de biotecnología e industria tecnológica (IT).⁴

⁴ THE ROYAL ACADEMY. Nanoscience and Nanotechnology: *opportunities and uncertainties*. 2004.

A pesar del auge, la difusión y la inversión que está teniendo la nanotecnología es importante que aumente considerablemente, en los próximos años, la educación de esta tecnología en las aulas de la carrera de Ingeniería Química, con el fin de garantizar la participación del Ingeniero Químico y no quedar excluidos de este nuevo campo. A nivel de educación, la nanotecnología abarca muchos campos de conocimiento, por este motivo es difícil el tomar una decisión certera de la forma de implementación y enseñanza en las aulas. A diferencia de la Ingeniería Química que tuvo su origen debido a la necesidad de una disciplina que estudiara un área específica. La nanotecnología es tan extensa y abarca tantas áreas tales como la biología, la física, y la química, incluyendo diversos materiales, que probablemente se llegue a hacer una disciplina de la nanotecnología y esta se divida en diferentes áreas. Otra posibilidad sería que cada área tenga una especialidad en nanotecnología.

Otro aspecto fundamental para determinar el futuro de la nanotecnología, el cual no se han discutido con mucha frecuencia, es relativo a la aceptación de nuevos productos en el ámbito político. Es posible que se sustituyan recursos naturales por nanoproductos, con lo cual la estructura comercial internacional se rediseñará. Se sabe que los gobiernos y las empresas por medio de cabildeo, influyen en el desarrollo y la implementación de nuevos productos. ¿Qué tan dispuestas están las grandes empresas y gobiernos en dejar de ocupar el petróleo, tener una industria 100% limpia?, ¿hasta qué punto dejaran implementar estas prácticas? Estos son aspectos claves que aunque no se relacionan con las posibilidades de la implementación de la nanotecnología, hablando científicamente, sí afectarán en gran medida la comercialización y

desarrollo de productos y servicios relacionados con esta creciente y nueva disciplina.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Ingeniería Química se creó para satisfacer una necesidad que se produjo durante la Revolución Industrial y el desarrollo industrial. Esta disciplina tuvo a bien encargarse de los procesos en la industria química pesada al tener una formación de química e ingeniería mecánica. Es importante recalcar que anterior a esta disciplina la innovación era producto de la tecnología empírica. Al crearse esta disciplina la innovación se basó en la ciencia. Gracias a la Revolución Industrial, la Ingeniería Química tuvo un auge. En esta época, el ingeniero químico se dio a la tarea de estudiar y desarrollar continuamente las sustancias, productos, procesos, sistemas y avances tecnológicos, mismos que lo fueron moldeando. Un segundo y tercer auge de la Ingeniería Química fueron la Primera y Segunda Guerra Mundial en la cual se requería producir una gran cantidad de productos químicos de buena calidad.

George E. Davis fue la primera persona, de la cual se tiene conocimiento, que trato de consolidar la Ingeniería Química al tratar de fundar en 1880 la "Society of Chemical Engineers". En 1901 publicó un libro en dos tomos titulado "A Handbook of Chemical Engineering". En los Estados Unidos de América la primera manifestación de la Ingeniería Química fue en 1888 por Lewis M. Norton quien impartió un curso en MIT. Uno de los sucesos más importantes para la Ingeniería Química fue cuando en 1908 se creó una división en la "American Chemical Society" y se autorizó la publicación del "Journal of Industrial and Engineering Chemistry" y la creación del "American Institute of Chemical Engineers". Posterior a estos sucesos vendrían varias personas que fortalecerían el campo de la Ingeniería Química con sus conocimientos como son:

Arthur D. Little, con el concepto de operaciones unitarias; y

R. Byron Bird, con el concepto de fenómenos de transporte.

Así como la Ingeniería Química se consolidó por una necesidad que surgió en la Revolución Industrial, la nanotecnología aunque existe desde los Mayas y la Edad Media se está fortaleciendo hoy en día. En 1959, el premio Nóbel de Física Richard Feynman dio un discurso en donde mencionaba la idea de la nanotecnología. Durante varios años después del discurso, este concepto la mayoría de la gente sólo lo podía visualizar en películas de ciencia ficción. Los científicos no tenían las herramientas para poder desarrollar esa tecnología. Hoy en día este concepto no es sólo de interés para los científicos. Desde la iniciativa de los Estados Unidos de América en el 2000, para la nanotecnología, con 500 millones de dólares como fondo inicial, esta área ha tenido un gran crecimiento. En este momento este concepto no es sólo importante para los científicos sino que también es de gran interés para muchas empresas, gobiernos e instituciones. Estas entidades gastan billones de dólares en investigación en esta área. Algunos de los conocimientos más importantes en esta área señalan que las propiedades de materiales a nivel nanométrico son en su mayoría desconocidos por lo que se debe investigar las nuevas características que presentan para poder producirlos y hacer uso y explotación de dichos materiales.

Para desarrollar estructuras a nanoescala, se puede llevar acabo dos tipos de procesos, reducción de tamaño o auto ensamblado. Unos de los inventos que han ayudado al desarrollo de esta disciplina es el del STM en 1981 y AFM en 1986. Gracias a estos inventos se han podido desarrollar nuevos materiales como son los nanotubos, fulleneros, los cuales tienen propiedades de

superconductores, una dureza impresionante y una gran flexibilidad. Consecuentemente, el aprovechamiento de estas moléculas en bienes comunes, como raquetas de tenis y cosméticos, se ha dado obteniendo un mayor beneficio para los consumidores. Hoy en día aunque existen varios procesos a nivel nanométrico los de mayor exactitud siguen siendo muy costosos.

La Ingeniería Química es una carrera que, desde su creación en los años mil ochocientos, se ha modificado y ha desarrollado nuevas tecnologías y conocimientos. La Ingeniería Química en conjunto con la nanociencia han hecho posible la creación de nuevas moléculas para fabricar bienes a gran escala.

Uno de los mayores retos para los ingenieros químicos es el de enseñar a los técnicos de la industria la aplicación de la nanotecnología en los procesos, modificar los procesos, equipos y criterios para crear y desarrollar una industria nanométrica.

Esta tesis demuestra el vínculo e interacción innegable entre la nanotecnología y la Ingeniería Química. Esta tesis aporta información que enriquece el acervo del Centro Nacional de Información Sobre la Carrera de Ingeniería Química con el fin de mantener la excelencia en los planes de estudio presentes y futuros de la carrera de Ingeniería Química.

Considerando que la Universidad Autónoma de México es una casa de estudios superiores y su finalidad es el educar a la población, siendo la Facultad de Química parte de ella y tomando en cuenta las conclusiones anteriormente comentadas se recomienda que para que la carrera de Ingeniería Química se mantenga actualizada:

- la implementación de un bloque terminal de materias introductorias a la nanotecnología. En concreto se recomienda las siguientes materias: Fundamentos de Espectroscopía (1309), Química Cuántica I (1404), Introducción a la Nanotecnología, Materiales de Nanoestructura y un seminario.

Así mismo, se recomienda realizar un estudio o una tesis, en algunos años, que exponga los cambios que han tenido los procesos, equipos y criterios de los ingenieros químicos en la industria nanométrica.

Aunque en esta tesis no se hizo énfasis en la ética, sería importante ver la posibilidad de integrar una clase de ética en las escuelas de ciencias ya que al ser los estudiantes de éstas los que descubren nuevas tecnología, las cuales pueden ser empleadas para el bien de la humanidad o para el mal, es importante que las instituciones educativas hagan conciente a sus estudiantes de la responsabilidad que recae en ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCCA, Quispe Fernando. *Estructura y Síntesis de Nanotubos de Carbono*. Capítulo 5 Propiedades y aplicaciones de los nanotubos. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/alcca_qf/cap5.PDF
- BARLOW, Jim. *Farm Technology: Remote-sensing lab aims to foster growth of precision farming*. 7 de noviembre de 2005. <<http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html>>
- BARÓ VIDAL, Arturo M. *La física y la nanociencia: avances actuales y perspectivas de futuro*. 1 de enero de 2006. <<http://www.encuentros-multidisciplinarios.org/Revistan%C2%BA12/Arturo%20Bar%C3%B320Vidal.pdf>>
- BUITRAGO BOTERO, Diego Martín. *La nanotecnología y el derecho: Análisis Jurídico de un mundo infinitesimal*. Ponencia "I CONVENCION INTERNACIONAL DE INFORMATICA JURIDICA, DOCUMENTACION Y DOCUMENTO ELECTRONICO", Universidad Externado de Colombia los días 18 al 20 de 2006. 12 de marzo de 2007. <http://www.informatica-juridica.com/trabajos/La_nanotecnologia_y_el_Derecho.asp>
- CHANG, Kenneth. *Lo diminuto es hermoso: Traduciendo "Nano" en práctica*. <http://www.universoanimal.com/lo_diminuto.pdf> 28 de septiembre de 2007.
- CHEN, Hongda; WEISS, Jochen and SHAHIDI, Fereidoon. *Nanotechnology in Nutraceuticals and Functional Foods*. *Food Technology*. 03.06. 25 de agosto de 2007 <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/4A403244-F5EF-428F-A53F-F31B8730BFD8/0/0306nano.pdf>
- CHACÓN, Oscar. *Nanotecnología en grasas y alimentos nutracéuticos y funcionales*. Instituto Universitario de Tecnología Agro-Industrial. Venezuela. 5 de mayo de 2006. 10 de octubre de 2006. <<http://grasasciencia.blogspot.com/2006/05/nanotecnologia-en-grasas-y-alimentos.html>>.
- CINTAS IZARRA, Luis. *Nanotecnología: La Revolución Industrial Del Siglo XXI*. [16 de octubre de 2006]. <<http://weblogs.madrimasd.org/alimentacion/archive/2006/08/16/37553.aspx>>
- COMISIÓN DE LA ÉTICA DE LA CIENCIA Y DE TECNOLOGÍAS. *Ética y nanotecnología: dotarse de medios para actuar*. Québec. 2006. p. 3. 8 de junio de 2006. <http://www.ethique.gouv.qc.ca/IMG/pdf/Resume_nanos-espagnol-nv.pdf>
- COMISIÓN DE MEDIO AMBIENTE, SALUD PÚBLICA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA - *PARLAMENTO EUROPEO 2004 -2009. Enmiendas 1 – 20*. 17.10.2007. 24 de noviembre de 2007. <http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2004_2009/documents/am/607/607306/607306es.pdf>
- COMMISSION DE L'ÉTHIQUE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIES (Francia). *Ética y nanotecnología: dotarse de medios para actuar*. Gouvernement du Québec, 2006. 30 de abril de 2006.

- <http://www.ethique.gouv.qc.ca/IMG/pdf/Resume_nanos-espagnol-nv.pdf>
- CONFERENCIA CIENCIA 2000. MUSEO DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. RESTREPO RIVAS, Luis Guillermo. *Un vistazo al mundo del microcosmos y sus posibilidades tecnológicas*. Medellín. 2000. 11 de febrero de 2005. <http://luisguillermo.com/Ciencia2K.pdf>
- CORREIA A., SERRENA P., *La nanociencia y sus aplicaciones*. Revista del Colegio Oficial de Físicos. http://www.cofis.es/pdf/fys/fys16_lanano.pdf
- CRUZ RESÉNDIZ, MARY, et al, *Microscopio de Fuerza Atómica*. Encuentro de Investigación en Ingeniería Eléctrica, Zacatecas, Zac. Marzo 17-18, 2005. 5 de junio de 2007. http://www.reduaz.mx/eninvie/CDinvie/I_2MicroscopioFA.pdf
- DEL VALLE GONZALES, Yenier. 2007. *Ropas con Nanopartículas*. Cuba: Jobabo en Red. 12 de octubre de 2007. <http://www.ltunas.jovenclub.cu/mcpios/jobabo/joven-club/ropas-con-nanopart-culas-6_es.html>
- DIAZ, D., Facultad de Química UNAM.
- DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE). 12 de agosto de 2007. <<http://www.rae.es/>>
- DREXLER ERIC. *Engines of creation. The Coming Era of Nanotechnology*. Anchor books editions. United States of America. 1986.
- ETC GROUP. *Agenda relacionada con el comercio para el desarrollo y la equidad (T.R.A.D.E.)* Noviembre 2005. <www.etcgroup.org/upload/publication/pdf_file/599>
- ETC GROUP. *La inmensidad de lo mínimo: Tecnologías que convergen en la nanoescala*. 12 de octubre de 2006. <<http://www.etcgroup.org/upload/publication/170/01/atomtec1.pdf>>
- ETC GROUP. *La invasión invisible del campo*. 28 de marzo de 2007. Disponible en: <http://www.etcgroup.org/upload/publication/82/02/invasin_campo.pdf>
- ETC GROUP. *Medicina nanológica. Aplicaciones medicas de las nanotecnologías: ¿Cuál es su impacto en las comunidades marginadas?* p. 15. 30 de marzo de 2007. <http://www.etcgroup.org/es/materiales/publicaciones.html?pub_id=598>
- Reunión de 26 gobiernos sobre Nanotecnología. Boletín de Prensa. Canadá: ETC Group. 2004. 15 de octubre de 2007. <http://209.85.165.104/search?q=cache:9LiDX3O4y48J:www.etcgroup.org/es/materiales/publicaciones.html%3Fpub_id%3D99+nanotecnolog%C3%ADa+a+disposici%C3%B3n+del+consumidor&hl=es&ct=clnk&cd=2&gl=co&client=firefox-a>
- EURORESIDENTES. 2005. *Nanotecnología para teléfonos celulares*. España: Euroresidentes. 10 de octubre de 2006. <<http://www.euroresidentes.com/Blogs/nanotecnologia/2005/06/nanotecnologia-para-telefonos-celulares.html>>
- FENG et al. 2003 *Functionalized Europium Oxide Nanoparticles Used as a Fluorescent Label in an Immunoassay for Atrazine*. Analytical Chemistry, 75
- FERNÁNDEZ MUERZA, Alex. *Los nuevos materiales del futuro serán nano, inteligentes y biomiméticos*. Departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad de Santiago de Compostela. 26 de julio de 2006. <<http://encontrarte.aporrea.org/media/45/los%20nuevos%20materiales.pdf>>

- FEYNMAN, Richard. *There's Plenty of Room at the Bottom. An Invitation to Enter a New Field of Physics.* 1959. 02 de septiembre 2006. <<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>>
- FIGUERAS, Albert, PASCUAL, Jordi, et al. *Nanomateriales. Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI.* 24 de julio de 2006. Disponible en: <<http://www.csic.es/documentos/coleccion/colecciones/divulgacion/materiales.pdf>>
- FLORES, Fernando. *La revolución de la nanotecnología en los alimentos.* Chile. La Revista del Campo. 12 de febrero de 2006. <<http://www.fernandoflores.cl/node/2033>>
- FLOREZ, Javier. *Riesgos de Aplicación de la nanotecnología.* Buena Siembra. La Revista de Acuاریo. Nov. 2005. 28 de mayo de 2006. <<http://buenasiembra.com.ar/ecologia/articulos/riesgos-de-la-aplicacion-de-la-nanotecnologia-586.html>>
- FOLADORI, Guillermo. INVERNIZZI, Noela. *Nanotecnología: ¿Beneficios para todos o mayor desigualdad?* 27 de mayo de 2007. <http://www.cspo.org/ourlibrary/documents/foladori_inv_nano.pdf>
- FREYMAN RICHARD P. *There's Plenty of room at the bottom.* December 1959. 27 de mayo de 2007. <http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html>>
- GADALLA, A., *Solid C₆₀: Preparation and Characterization.* Physics Department, Assiut University Assiut. 29 de mayo de 2007. <http://www.astf.net/SRO/sro4/third%20scope%20priorities%20of%20scientific%20research%20and%20specialized%20domains%20in%20science/Scientific%20areas%20of%20priorities/New%20Material/Accepted/700A.pdf>
- GARDNER, Elizabeth. *Brainy Food Academia, Industry Sink their Teeth into Edible Nano.* .Small Times, Publicado el: 21 de junio de 2002. 29 de agosto de 2005. <http://www.smalltimes.com/Articles/Article_Display.cfm?ARTICLE_ID=267909&p=109>
- GIRALDO GALLO, Jairo. GONZÁLEZ, Edgar. GÓMEZ BAQUERO, Fernando. *NANOTECNOLOGÍA: Nociones preliminares sobre el universo nanoscópico.* Bogotá. UNIBIBLOS - Universidad Nacional de Colombia. 2007. http://www.funlaci.org/Imagenes/libro_nano/nanointro.pdf
- GUARDIOLA ,J. Carlos. *Primera Revolución Industrial.* 5 de Diciembre de 2007. <http://personales.com/espana/malaga/Guardiolapage/tema1.htm>
- Hernández, Y., Holguín, G., et al. *Síntesis de nanotubos de carbono por el método de arco de descarga eléctrica.* Revista Colombiana de Física, vol.36, no.2, 2004. 24 de Abril de 2005. <http://calima.univalle.edu.co/revista/Vol36_2/articulos/pdf/3602296.pdf>
- HIDALGO, Pedro. 2007. *Europa preocupada por el uso de nanomateriales en productos cosméticos.* Europa. Health and Consumer protection. 11 de agosto de 2007. <<http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia>>
- INTERAXN S.L. *Informe de vigilancia tecnológica sobre aplicación de biosensores al diagnóstico simultaneo de enfermedades infecciosas.* www.madrimasd.org/biotecnologia/Informes/Informes_GetFile.aspx?id=6754&or derid=0
- INVERNIZZI, Noela. FOLADORI, Guillermo. *El despegue de las nanotecnologías.* La

- nanotecnología: una solución en busca de problemas*. Universidad Autónoma de Zacatecas. 2006. Comercio Exterior. Vol. 56. Núm. 4. (30 de abril de 2006). 3 de julio de 2006. <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1993307>>
- JABEERA, B., ANIRUDHAN, T.S. SHIBLI S.M.A. *Nano zinc oxide for efficient activation for aluminium zinc alloy sacrificial anode*. Journal of new materials for electrochemical systems 8, 2005
- JOSEPH, Tiju and MORRISON, Mark. *Nanotechnology in Agriculture and Food*. Europa. Instituto de Nanotecnología. 2006. 11 de marzo de 2007. <www.nanoforum.org>
- LECHUGA, Laura. *Nanobiotecnología: Avances Diagnósticos y Terapéuticos*. Instituto de Microelectrónica de Madrid (IMM-CNM). 2006. Revista de Investigación en Gestión de la innovación y tecnología. Madri+d. N° 35. (mar. 2006). 13 de diciembre de 2006. <<http://www.madrimasd.org/revista/revista35/tribuna/tribuna2.asp>>
- LIZCANO, ALVAREZ. Jesús. *Proyecciones económicas y sociales de la nanociencia y la nanotecnología*. Catedrático de la Universidad Autónoma de Madrid. Encuentros multidisciplinares. Vol. 4, N° 12, 2002, págs. 39-45. 12 de septiembre de 2007 <<http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%C2%BA12/Jes%C3%BAs%20Lizcano%20Alvarez.pdf>>
- LÓPEZ RUIZ, Miguel. *Normas técnicas y de estilo para el trabajo académico*. UNAM. México. 2003.
- LUX RESEARCH. *The Nanotech Report. Investment Overview and Market Research for Nanotechnology*. Ed. 4. 27 de abril de 2007. <<http://www.luxresearchinc.com/pdf/NVE.pdf>>
- MACHÉ, Rainer. *Nanotecnología y agricultura*. 29 de noviembre de 2007. <http://www.deere.com/es_ES/images/library/publications/furrow/2005/2005_o1.pdf>
- MARTINEZ SIFUENTES et al. *Procesos de separación en ingeniería química*. 28 de diciembre de 2006 <<http://www.editorial-acd.com/libros/libros%20publicados/PROCESOS%20DE%20SEPARACION%20EN%20INGENIERIA%20QUIMICA/ROCHA-B.pdf>>
- MARTINO, Diego. *Nanotecnología y precaución*. Diario ambiental – Centro Latinoamericano de Ecología Social. 17 de marzo de 2007. 23 de agosto de 2007. <<http://www.diarioambiental.com/?p=13>>
- MONTAGUE, Peter. *La nanotecnología y el principio de la precaución*. 20 de mayo de 2007. <<http://www.lvejo.org/rachel/syma816.doc>>
- MOORE, ANDREW. *Brave small world Biotechnology and nanotechnology may give rise to a completely new industry*. EMBO Rep. 2001 February 15; 2(2): 86–88. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1083831>
- MUÑOZ, Hernán. 2007. *Efectos de la Radiación Electromagnética Sobre la Salud*. Chile. Departamento de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile. 13 de marzo de 2008. <http://chileprimerosanjoaquin.bligoo.com/content/view/105259/Efectos_de_la_Radiaci_n_Electr.html>

- NANOMATERIALS IN CONSUMER PRODUCTS. Policy department economic and scientific policy (IP/A/ENVI/IC/2006-193)*
http://www.nanet.nu/upload/centre/nanet/links_ikoner/rapporter%20under%20links/brug%20af%20nanomaterialer%20og%20produkter/4%20nanomaterials%20in%20consumer%20products_2006.pdf
- Nanoroadmap conference*, November 10, 2005, University of Padua, Padua, Italia
http://www.nanotec.it/nanoroadmap_conference/FLYER_Padua.pdf
- NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE AND NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. ROCCO M. C. Past, present, future.* 2007. 15 de abril de 2007.
 <http://www.nano.gov/NNI_Past_Present_Future.pdf>
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology.* 2001. p 3-4 . 14 de mayo de 2005.
 <<http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/>>
- NANOVIP 2006. ¿Qué es la nanotecnología?* 7 de Agosto de 2006
<http://www.nanovip.com/what-is-nanotechnology-spanish>
- OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY. ORNL's nanobiosensor technology gives new access to living cell's molecular processes.* 2004. 14 de enero de 2005.
 <http://www.ornl.gov/info/press_releases/get_press_release.cfm?ReleaseNumber=mr20040427-00>
- OBSERVATORIO CUBANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA. Elementos iniciales para el análisis sobre la nanotecnología en Cuba.* Cuba. 2002. p. 35. 12 de enero de 2005. <<http://www.occyt.cu/varios/informenano.pdf>>
- PAFKO W. 2000. Setting the Stage for a New Profession. Chemical Engineering in 1888.* 27 de febrero de 2006. http://www.pafko.com/history/h_1888.html
- PALZ, H., PILLEUX, M., PENNAROLI, J. Producción de nanopartículas de cobre.* 20 de enero de 2007. <<http://cabierta.uchile.cl/revista/21/articulos/pdf/edu1.doc>>
- PEPPAS, NICHOLAS A., One Hundred Years of Chemical Engineering.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989.
 <http://www.chemheritage.org/pubs/magazine/feature_engineering_print.html>
- PIROSHKA TERRAZAS-BANDALA, LUISA, et al. Análisis de membranas poliméricas compuestas por Microscopía de Fuerza Atómica.* Tecnociencia Chihuahua, Vol. I, No. 2 • Mayo-Agosto 2007. 12 de septiembre de 2007.
<http://tecnociencia.uach.mx/data/files/num2/membranas.pdf>
- REPORT OF THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE WORKSHOP. Environmental, health, and safety research needs for engineered nanoscales materials.* 11 de agosto de 2007.
 <http://www.nano.gov/NNI_EHS_research_needs.pdf>
- RIBEIRO, Silvia. Los problemas de la nanotecnología III: omnipotentes.* 12 de abril de 2007. http://www.rel-uita.org/agricultura/ambiente/problemas_nanotecnologia-3.htm
- RIBEIRO, Silvia. Los problemas de La nanotecnología.* 20 de noviembre de 2007. <http://www.pharmaportal.com.ar/tem_tecnologia_08.html>
- RIBEIRO, Silvia. Los problemas de la nanotecnología: salud y ambiente.* La Jornada. 28 de noviembre de 2005. 29 de noviembre de 2007.
 <http://www.organicconsumers.org/espanol/280905_nano.htm>

- RIBEIRO, Silvia. Nanotecnología: *del campo a su estómago*. La Jornada. 11 de noviembre de 2004. 28 de noviembre de 2007. http://www.odg.cat/documents/deutes/b20_ribeiro_nano.pdf
- RIUS SUÑE, Gemma. Electron beam lithography for Nanofabrication. 10-03-2008. http://www.tdr.cesca.es/TDX-1120108-160434/index_cs.html
- ROBERT PAULL, JOSH W., PETER H., MICHAEL S. *Investing in nanotechnology*. Nature Publishing Group. Vol. 21 No. 10, octubre 2003. 24 de septiembre 2007 http://www.foley.com/files/tbl_s31Publications/FileUpload137/1592/NATURE_BIOTECH_InvestingInNanotechnology.pdf
- ROCCO, M. *Still growing investment in nanotechnology*. <http://nano.sdu.dk/NanoNews.html>
- ROJAS, Gustavo. *Nanotecnología en alimentos*. Agronomía y Forestal N° 33. 2007. 12 de octubre de 2007. <http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/33/nanotecnologia.pdf>
- RUBIO, Ángel. *Aplicaciones de la nanociencia: motores moleculares y dispositivos*. [11 de octubre de 2007. <<http://dipc.ehu.es/arubio/docs/kike.pdf>>.
- SAMPSON, Mark T. *Type of buckyballs shown to cause brain damage in fish*. Eurekalert, 28 de marzo de 2004. 29 de octubre de 2007. <www.eurekalert.org>
- SAMSUNG. 2005. *Nueva Tecnología Silver Nano Health System para una Vida más Saludable*. Argentina: Samsung Electronics Argentina. 13 de octubre de 2007. <http://www.samsung.com/ar/presscenter/pressrelease/pressrelease_20050321_0000108182.asp>
- SANCHEZ, Tutor. *Nanociencia y Nanotecnología: la Tecnología Fundamental del siglo XXI*. enero 2005. 05 de mayo de 2007. <<http://fisica.ciens.ucv.ve/svf/Feiasofi/nanociencia.pdf>>.
- SARDÁ, Marta. *Nanotecnología: La revolución de lo invisible*. [10 de Febrero de 2007]. < <http://www.galeon.com/divulcat/articu/186a.htm> >
- SERVICE, Robert F. *Nanomaterials Show Signs of Toxicity*. Science Vol. 300. april 11, 2003. p. 243. 28 de mayo de 2007. < http://rachel.org/files/document/Nanomaterials_Show_Signs_of_Toxicity.PDF >
- SHENKENBERG, D. *Can the miracles promised by carbon nanotubes be realized*. Biophotonics, Mayo, 2008. 23 agosto 2008. <http://www.photonics.com/content/bio/2008/May/features/91652.aspx>
- Taniguchi Norio, *On the Basic Concept of NanoTechnology 1974 Proc. ICPE*
- THE ROYAL SOCIETY. *Nanoscience and Nanotechnology: opportunities and uncertainties*. 2004. 11 de febrero de 2007. <<http://www.nanotec.org.uk/report/Nano%20report%202004%20fin.pdf>>
- TINKER, Nathan. *NANOBUSINESS ALLIANCE. BUSINESS OF NANOTECHNOLOGY SURVEY*. 2001. p 4. 11 de marzo de 2007. <<http://www.altassets.com/pdfs/NBA.pdf>>
- TUÑÓN, Rainer. 2004. *El tamaño si importa: Nanopartículas*. Panamá: Corporación la Prensa. 19 de marzo de 2007. <<http://209.85.165.104/search?q=cache:q-wi7kuFXnAJ:ediciones.prensa.com/mensual/contenido/2004/10/08/hoy/negocios/43594.html+nanopartículas+de+plata+salud&hl=es&ct=clnk&cd=7&gl=co&client=>

- firefox-a>
- UNESCO. COMITÉ DE ÉTICA SOBRE EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TECNOLOGÍA. *Nanotechnologies and ethics: policies and actions*. 2007. 11 de abril de 2007. <<http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001521/152146e.pdf>>
- UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. *Nanocatalizadores para el mejormaeinto del medio ambiente*. La ciencia en la UNAM a través del Subsistema de la Investigación Científica 2007
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE QUÍMICA. *Programa de estudios química cuántica*. http://quimica.unam.mx/IMG/pdf/1404QuimicaCuantica_I.pdf
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE QUÍMICA. *Programa de estudios fundamentos de espectroscopía*. <http://quimica.unam.mx/IMG/pdf/1309FundamentosdeEspectroscopia.pdf>
- UNIVERSIDAD DE ALMERÍA. Departamento de ingeniería química. Ingeniería Química. 08 de septiembre de 2006 <http://www.ual.es/Universidad/Depar/IngQuimi/contenido/IngenieriaQuimica.htm>
- VILLAVACES, José Luis. *Tecnología y Sociedad: un contrapunteo armónico*. Revista de Estudios Sociales. N° 22. (dic. 2005).
- Wikipedia. *Nanotechnolog*. 8 de mayo 2006 <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>
- YEADON, Peter. *Pequeño es grande: El amanecer de una nueva era*. Archfarm. Fascículos aperiódicos de arquitectura. N° 9. (nov. 2006) . 09 de septiembre de 2007. <<http://www.archfarm.org/fasciculos/Archfarm-09-pantalla.pdf>>
- ZUNINO, MIGUEL. *Ingeniería Química Notas Sobre su Origen y Evolución*. 09 de septiembre de 2007. <http://www.aiqu.org.uy/historia/Evolucion.htm>

ANEXO I

Cursos de nanotecnología en diferentes universidades extranjeras

Dada la naturaleza de los planes de estudio de las universidades estadounidenses se presentan diferentes universidades, cursos sobre nanotecnología impartidas en las mismas y sus respectivos resúmenes.

Louisiana Tech University

<http://www.latech.edu/registrar/bulletin/2008-2009/partiv.pdf>

201: Fundamentals of Nanosystems Engineering.

Req., CHEM 102 and PHYS 201. Fundamentals of nanotechnology and its application to engineering systems, emphasizing basic principles, materials, measurement tools, fabrication techniques, and applications.

301: Nanosystems Engineering Research Seminar.

Req., NSE 201, and ELEN 334. Introduction to methods of research and development for nanosystems engineering projects such as literature reviews, scientific writing and presentation, and research program development.

303: Nanosystems Engineering Laboratory.

Req., CHEM 251, 253; Coreq., MSE 406. Laboratory instruction and practical experiences with fabrication equipment, metrology instruments, and clean room/lab environments associated with nano systems engineering.

401: Nanosystems Engineering Design I

Req., NSE 301. Open-ended, team-based engineering design/research projectx that draw on the students' entire academic experience utilizing the engineering design process.

402: Nanosystems Engineering Design II.

Req., NSE 401. A continuation of NSE 401 with emphasis on detailed system design.

403: Nanosystems Engineering Design III. 3-0-1. Preq., NSE 402. A continuation of NSE 402 with emphasis on prototype construction and evaluation.

404: Advanced Materials for Micro/Nano Devices and Systems.

Preq., MEMT 201 and ELEN 334. Fundamentals of advanced materials used for the realization of micro/nano devices and systems, emphasizing the properties and characteristics of various materials.

405: Nanotechnology Principles.

Fundamentals of nanotechnology, emphasizing the basic principles, materials, fabrication, measurement, and applications of nanotechnology.

406: Micro/Nano Scale Materials Measurements and Analysis.

Fundamentals of micro/nano scale materials measurements and analysis, based on modern techniques.

407: Nanosystems Engineering Senior Design II.

Preq., NSE 406. A continuation of NSE 406 with emphasis on detailed system design.

408: Nanosystems Engineering Senior Design III.

Preq., NSE 407. A continuation of NSE 407 with emphasis on prototype construction and evaluation.

410: Nanosystems and Devices.

Preq., NSE 490, MSE 404, MSE 406. Overview of nanosystems, nanodevices, and nanosensors including synthesis, modeling, analysis, design and optimization and their application in areas such as nanofluidics, magnetics, electronics, and biotechnology.

412: Introduction to Solid State Physics.

Preq., PHYS 202. Introduction to the fundamentals of material structures at the atomic, nano- and microscale emphasizing properties.

420: Nanosystems Modeling.

Req., CHEM 251. Application of molecular simulation to nanosystems engineering problems. Molecular modeling principles and techniques such as quantum mechanics, molecular dynamics, and Monte Carlo methods.

490: Nanosystems Modeling.

Req., CHEM 251. Application of molecular simulation to nanosystems engineering problems. Molecular modeling principles and techniques such as quantum mechanics, molecular dynamics, and Monte Carlo methods.

503: Topics in Molecular Sciences and Nanotechnology.

Independent study. Topics and course policies to be established by instructor for each student. May be repeated for credit up to 6 semester hours with topic change.

504: Advanced Materials for Micro/Nano Devices and Systems.

Req., MSE 501. Fundamentals of advanced materials used for the realization of micro/nano devices and systems, emphasizing the properties and characteristics of various materials.

505: Nanotechnology Principles.

Fundamentals of nanotechnology, emphasizing the basic principles, materials, fabrication, measurement, and applications of nanotechnology.

506: Micro/Nano Scale Materials Measurements and Analysis.

Fundamentals of micro/nano scale materials measurements and analysis, based on modern techniques.

511: Selected Topics in Nanotechnology.

The topic or topics will be selected so as to expose students to current research areas in nanotechnology. May be repeated for credit up to 6 semester hours with topic change.

520: Protein Engineering.

Req., Approval of instructor. Protein structure and function, DNA structure, protein design, gene design, biophysical techniques for analysis of protein

structure, proteins and peptides in biotechnology, biomedicine, and nanosystems bioengineering

549: Practicum in Molecular Sciences and Nanotechnology.

Preq., 12 semester hours of graduate work. Experimental or computational study of a relevant problem in one of molecular sciences and nanotechnology research areas.

551: Research and Thesis in Molecular Sciences and Nanotechnology.

Preq., 12 semester hours of graduate work. Registration in any quarter is for three semester hours credit or multiples thereof. Maximum credit applicable towards the degree is six semester hours.

PENSTATE

<http://www.cneu.psu.edu/edAcademicCap.html>

Materials, Safety, and Equipment Overview for Nanotechnology

This course provides an overview of the materials, safety and equipment issues encountered in the practice of “top down” and “bottom up” nanofabrication. It focuses on safety, environmental and health issues in equipment operation and materials handling as well as on cleanroom protocol. Topics to be covered include: cleanroom operation, OSHA lab standard safety training, health issues, biosafety levels (BSL) guidelines, and environmental concerns. Safety issues dealing with nanofabrication equipment, materials, and processing are also discussed including those pertinent to biological materials, wet benches, and processing tools such as thermal processing tools, plasma based equipment, beam, stamping, and imprinting lithography tools. Safety issues pertinent to vacuum systems and pumps, and gas delivery systems as well as toxic substance handling and detection are covered. Specific material handling procedures to be discussed will include corrosive, flammable, and toxic materials, biological materials, carcinogenic materials, DI water, solvents, cleaners, photo resists, developers, metals, acids, and bases.

Basic Nanotechnology Processes

This course is a hands-on introduction to the processing involved in “top down”, “bottom up”, and hybrid nanofabrication. The majority of the course details a step-by-step description of the equipment, facilities processes and process flow needed to fabricate devices and structures. Students learn to appreciate processing and manufacturing concerns including process control, contamination, yield, and processing interaction. The students design process flows for micro- and nano-scale systems. Students learn the similarities and differences in “top down” and “bottom up” equipment and process flows by undertaking hands-on processing. This hands-on exposure covers basic nanofabrication processes and device and material characterization.

Materials in Nanotechnology

This course is an in-depth, hands-on exposure to materials fabrication approaches used in nanofabrication. Students learn how these processes are guided by chemical or physical means or by some combination of these. Hands-on exposure will include self-assembly; colloidal chemistry; atmosphere, low-pressure and plasma enhanced chemical vapor deposition; sputtering; thermal and electron beam evaporation; nebulization and spin-on techniques. This course is designed to give students hands-on experience in depositing, fabricating

and self-assembling a wide variety of materials tailored for their mechanical, electrical, optical, magnetic, or biological properties.

Patterning for Nanotechnology

This course is a hands-on treatment of all aspects of advanced pattern transfer and pattern transfer equipment including probe techniques; stamping and imprinting; block co-polymer approaches; e-beam, optical contact and optical stepper systems. The first part of this course is an overview of all pattern generation processes covering aspects from substrate preparation to tool operation. A second section concentrates on photolithography and examines such topics as mask, template, and mold generation. Chemical makeup of resists will be discussed including polymers, solvents, sensitizers, and additives. The role of dyes and antireflective coatings will be discussed. In addition, critical dimension (CD) control and profile control of resists will be investigated. Another section will discuss the particle beam lithographic techniques such as e- and ion beam lithography. An additional section covers probe pattern generation and the final section explores embossing lithography, step-and-flash, stamp lithography, and self assembling-based lithography.

Materials Modification in Nanotechnology

This course will cover in detail the processing techniques and specialty hardware used in modifying properties in nanofabrication. Material modification steps to be covered will include etching, functionalization, alloying, stress control, surface energy modification, and doping. Avoiding unintentional materials modification will also be covered including such topics as use of diffusion barriers, encapsulation, electromigration control, corrosion control, wettability, stress control, and adhesion. Hands-on materials modification and subsequent characterization will be undertaken.

Characterization, Testing of Nanotechnology Structures and Materials

This course examines a variety of techniques and measurements essential for testing and for controlling material fabrication and final device performance. Characterization includes electrical, optical, physical, and chemical approaches. Tools to be covered include scanning probe microscopies (AFM, STM, NSOM), electron beam microscopies (transmission electron microscopy (TEM)) and scanning electron microscopy (SEM)), secondary ion mass spectroscopy (SIMS), Auger electron spectroscopy (AES), light (UV-Vis-IR) based techniques, and x-ray techniques. Hands-on characterization experience will include use of tools such as the atomic force microscope (AFM), scanning electron

microscope (SEM), fluorescence microscopes, and Fourier transform infrared spectroscopy

University of California Los Angeles

<http://www.registrar.ucla.edu/schedule/catalog.aspx?qry=nano&funsel=1>

Bioengineering

120. Biomedical Transducers

Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Requisites: Chemistry 30A, Electrical Engineering 1 or Physics 1C, Mathematics 32B. Principles of transduction, design characteristics for different measurements, reliability and performance characteristics, and data processing and recording. Emphasis on silicon-based microfabricated and nanofabricated sensors. Novel materials, biocompatibility, biostability. Safety of electronic interfaces. Actuator design and interfacing control.

M131. Nanopore Sensing

(Same as Biomedical Engineering CM131.) Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Requisites: courses 100, 120, Life Sciences 2, 3, Physics 1A, 1B, 1C. Analysis of sensors based on measurements of fluctuating ionic conductance through artificial or protein nanopores. Physics of pore conductance. Applications to single molecule detection and DNA sequencing. Review of current literature and technological applications. History and instrumentation of resistive pulse sensing, theory and instrumentation of electrical measurements in electrolytes, nanopore fabrication, ionic conductance through pores and GHK equation, patch clamp and single channel measurements and instrumentation, noise issues, protein engineering, molecular sensing, DNA sequencing, membrane engineering, and future directions of field.

Biomedical Engineering

CM131. Nanopore Sensing

(Same as Bioengineering M131.) Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Requisites: Bioengineering 100, 120, Life Sciences 2, 3, Physics 1A, 1B, 1C. Analysis of sensors based on measurements of fluctuating ionic conductance through artificial or protein nanopores. Physics of pore conductance. Applications to single molecule detection and DNA sequencing. Review of current literature and technological applications. History and instrumentation of resistive pulse sensing, theory and instrumentation of electrical measurements in electrolytes, nanopore fabrication, ionic conductance through pores and GHK equation, patch clamp and single channel measurements and

instrumentation, noise issues, protein engineering, molecular sensing, DNA sequencing, membrane engineering, and future directions of field. Concurrently scheduled with course C231.

C231. Nanopore Sensing

Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Requisites: Bioengineering 100, 120, Life Sciences 2, 3, Physics 1A, 1B, 1C. Analysis of sensors based on measurements of fluctuating ionic conductance through artificial or protein nanopores. Physics of pore conductance. Applications to single molecule detection and DNA sequencing. Review of current literature and technological applications. History and instrumentation of resistive pulse sensing, theory and instrumentation of electrical measurements in electrolytes, nanopore fabrication, ionic conductance through pores and GHK equation, patch clamp and single channel measurements and instrumentation, noise issues, protein engineering, molecular sensing, DNA sequencing, membrane engineering, and future directions of field. Concurrently scheduled with course CM131.

282. Biomaterial Interfaces

Lecture, four hours; laboratory, eight hours. Requisite: course CM180 or CM280. Function, utility, and biocompatibility of biomaterials depend critically on their surface and interfacial properties. Discussion of morphology and composition of biomaterials and nanoscales, mesoscales, and macroscales, techniques for characterizing structure and properties of biomaterial interfaces, and methods for designing and fabricating biomaterials with prescribed structure and properties in vitro and in vivo.

299. Seminar: Biomedical Engineering Topics

Seminar, two hours; outside study, four hours. Designed for graduate biomedical engineering students. Seminar by leading academic and industrial biomedical engineers from UCLA, other universities, and biomedical engineering companies such as Baxter, Amgen, Medtronic, and Guidant on development and application of recent technological advances in discipline. Exploration of cutting-edge developments and challenges in wound healing models, stem cell biology, angiogenesis, signal transduction, gene therapy, cDNA microarray technology, bioartificial cultivation, nano- and micro-hybrid devices, scaffold engineering, and bioinformatics.

Chemical Engineering

10. Introduction to Chemical and Biomolecular Engineering

Lecture, one hour; outside study, two hours. General introduction to field of chemical and biomolecular engineering. Description of how chemical and biomolecular engineering analysis and design skills are applied for creative solution of current technological problems in production of microelectronic devices, design of chemical plants for minimum environmental impact, application of nanotechnology to chemical sensing, and genetic-level design of recombinant microbes for chemical synthesis.

C121. Membrane Science and Technology

Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Requisites: courses 101A, 101C, 103. Fundamentals of membrane science and technology, with emphasis on separations at micro, nano, and molecular/angstrom scale with membranes. Relationship between structure/morphology of dense and porous membranes and their separation characteristics. Use of nanotechnology for design of selective membranes and models of membrane transport (flux and selectivity). Examples provided from various fields/applications, including biotechnology, microelectronics, chemical processes, sensors, and biomedical devices. Concurrently scheduled with course C221.

C221. Membrane Science and Technology

Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Requisites: courses 101A, 101C, 103. Fundamentals of membrane science and technology, with emphasis on separations at micro, nano, and molecular/angstrom scale with membranes. Relationship between structure/morphology of dense and porous membranes and their separation characteristics. Use of nanotechnology for design of selective membranes and models of membrane transport (flux and selectivity). Examples provided from various fields/applications, including biotechnology, microelectronics, chemical processes, sensors, and biomedical devices. Concurrently scheduled with course C121.

Chemistry and Biochemistry

118. Colloidal Dynamics Laboratory

Lecture, two hours; laboratory, eight hours. Requisites: courses 110A and 110B, with grades of B or better, or equivalent statistical mechanics courses from engineering, mathematics, or physics. One aspect of dispersions of microscale particles in viscous liquids is that such dispersions can be used as visual model systems for studying phases

that chemistry undergraduate students typically learn about for nanoscale and molecular systems, yet they do not see. Temperature continuously excites molecules and causes rearrangements, giving dynamic views of macromolecules and particles in many fields, including cell and molecular biology, chemical engineering, chemistry, materials science, and physics.

C126A. Computational Methods for Chemists

Lecture, four hours; laboratory, four hours. Preparation: programming experience in either BASIC, Fortran, C, C++, Java, or Pascal. Requisites: course 110A, Mathematics 33B. Theoretical, numerical, and programming tools for constructing new chemical applications, including simple force fields and resulting statistical mechanics for simple molecules, simple ab-initio methods for organic molecules and nanotubes, and classical dynamics and spectroscopy. Concurrently scheduled with course C226A.

C140. Bionanotechnology

Lecture, three hours. Requisites: courses 30C, 110A. Basic physical, chemical, and biological principles in bionanotechnology; materials and strategies for top-down and bottom-up fabrication of ordered biologically derived molecules, characterization and detection techniques, and biomimetic materials and applications at nanoscale. Concurrently scheduled with course C240.

219S. Seminar: Research in Physical Chemistry -- Nanoscience

Seminar, three hours. Advanced study and analysis of current topics in physical chemistry. Discussion of current research and literature in research specialty of faculty member teaching course.

C226A. Computational Methods for Chemists

Lecture, four hours; laboratory, four hours. Preparation: programming experience in either BASIC, Fortran, C, C++, Java, or Pascal. Requisites: course 110A, Mathematics 33B. Theoretical, numerical, and programming tools for constructing new chemical applications, including simple force fields and resulting statistical mechanics for simple molecules, simple ab-initio methods for organic molecules and nanotubes, and classical dynamics and spectroscopy. Concurrently scheduled with course C126A.

C240. Bionanotechnology

Lecture, three hours. Requisites: courses 30C, 110A. Basic physical, chemical, and biological principles in bionanotechnology; materials and

strategies for top-down and bottom-up fabrication of ordered biologically derived molecules, characterization and detection techniques, and biomimetic materials and applications at nanoscale. Concurrently scheduled with course C140.

Electrical Engineering

3. Introduction to Electrical Engineering

Lecture, two hours. Introduction to field of electrical engineering; research and applications across several areas, such as communications, control, electromagnetics, embedded computing, engineering optimization, integrated circuits, MEMS, nanotechnology, photonics and optoelectronics, plasma electronics, signal processing, and solid-state electronics.

128. Principles of Nanoelectronics

Lecture, four hours; discussion, four hours; outside study, four hours. Requisites: course 1, or Physics 1A and 1B. Introduction to fundamentals of nanoscience for electronics nanosystems. Principles of fundamental quantities: electron charge, effective mass, Bohr magneton, and spin, as well as theoretical approaches. From these nanoscale components, discussion of basic behaviors of nanosystems such as analysis of dynamics, variability, and noise, contrasted with those of scaled CMOS. Incorporation of design project in which students are challenged to design electronics nanosystems.

225. Physics of Semiconductor Nanostructures and Devices

Lecture, four hours; outside study, eight hours. Requisite: course 223. Theoretical methods for calculating electronic and optical properties of semiconductor structures. Quantum size effects and low-dimensional systems. Application to semiconductor nanometer scale devices, including negative resistance diodes, transistors, and detectors.

M257. Nanoscience and Technology

(Same as Mechanical and Aerospace Engineering M287.) Lecture, four hours; outside study, eight hours. Introduction to fundamentals of nanoscale science and technology. Basic physical principles, quantum mechanics, chemical bonding and nanostructures, top-down and bottom-up (self-assembly) nanofabrication; nanocharacterization; nanomaterials, nanoelectronics, and nanobiodetection technology. Introduction to new knowledge and techniques in nano areas to understand scientific principles behind nanotechnology and inspire students to create new ideas in multidisciplinary nano areas.

279AS. Special Topics in Physical and Wave Electronics

Lecture, four hours; outside study, eight hours. Special topics in one or more aspects of physical and wave electronics, such as electromagnetics, microwave and millimeter wave circuits, photonics and optoelectronics, plasma electronics, microelectromechanical systems, solid state, and nanotechnology. May be repeated for credit with topic change.

279BS. Seminar: Physical and Wave Electronics

Seminar, two to four hours; outside study, four to eight hours. Seminars and discussions on current and advanced topics in one or more aspects of physical and wave electronics, such as electromagnetics, microwave and millimeter wave circuits, photonics and optoelectronics, plasma electronics, microelectromechanical systems, solid state, and nanotechnology. May be repeated for credit with topic change.

Engineering

M101. Principles of Nanoscience and Nanotechnology

(Same as Materials Science M105.) Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Enforced requisites: Chemistry 20, and Electrical Engineering 1 or Physics 1C. Introduction to underlying science encompassing structure, properties, and fabrication of technologically important nanoscale systems. New phenomena that emerge in very small systems (typically with feature sizes below few hundred nanometers) explained using basic concepts from physics and chemistry. Chemical, optical, and electronic properties, electron transport, structural stability, self-assembly, templated assembly and applications of various nanostructures such as quantum dots, nanoparticles, quantum wires, quantum wells and multilayers, carbon nanotubes.

102. Synthetic Biosystems and Nanosystems Design

Lecture, four hours; outside study, eight hours. Requisites: course M101, Life Sciences 3. Introduction to current progress in engineering to integrate biosciences and nanosciences into synthetic systems, where biological components are reengineered and rewired to perform desirable functions in both intracellular and cell-free environments. Discussion of basic technologies and systems analysis that deal with dynamic behavior, noise, and uncertainties. Design project in which students are challenged to design novel biosystems and nanosystems for nontrivial task required.

103. Environmental Nanotechnology: Implications and Applications

Lecture, four hours; discussion, two hours; outside study, six hours. Recommended requisite: course M101. Introduction to potential implications of nanotechnology to environmental systems as well as potential application of nanotechnology to environmental protection. Technical contents include three multidisciplinary areas: (1) physical, chemical, and biological properties of nanomaterials, (2) transport, reactivity, and toxicity of nanoscale materials in natural environmental systems, and (3) use of nanotechnology for energy and water production, plus environmental protection, monitoring, and remediation.

Environmental Health Sciences

C180. Principles of Nanobiological Interactions and Nanotoxicology

Lecture, four hours. Preparation: basic understanding of biology and chemistry at level required for admission to University of California at undergraduate level in engineering, physical, or natural sciences. Introduction to commonly used vocabulary in nanoscience required to appreciate biological interactions and potential toxicity of nanomaterials. Discussion of synthesis and physical-chemical characterization of engineered nanomaterials. Development of understanding of unique properties of engineered nanomaterials and how these properties contribute to biological interactions. Relation of properties of engineered nanomaterials to their potential for transport, reactivity, uptake, and toxicity in natural environments and in body. Concurrently scheduled with course C280.

C280. Principles of Nanobiological Interactions and Nanotoxicology

Lecture, four hours. Preparation: basic understanding of biology and chemistry at level required for admission to University of California at undergraduate level in engineering, physical, or natural sciences. Introduction to commonly used vocabulary in nanoscience required to appreciate biological interactions and potential toxicity of nanomaterials. Discussion of synthesis and physical-chemical characterization of engineered nanomaterials. Development of understanding of unique properties of engineered nanomaterials and how these properties contribute to biological interactions. Relation of properties of engineered nanomaterials to their potential for transport, reactivity, uptake, and toxicity in natural environments and in body. Concurrently scheduled with course C180.

Honors Collegium

103. Scientific Knowledge, Industrial Growth, and Social Policy

Lecture, three hours; laboratory, two hours. Examination, using nanotechnology, of both benefits and risks to economy and society when new technologies are in process of development.

174. Future Impact of Nano in New Technologies

Seminar, four hours. Examination, for general audience, of science behind nanotechnology and way in which nano can potentially influence medical care, environment, energy issues, military, government, and economics. Demonstration of how nano, like current technology, cannot be separated from ethical, cultural, political, and social issues.

Materials Science and Engineering

M105. Principles of Nanoscience and Nanotechnology

(Same as Engineering M101.) Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Enforced requisites: Chemistry 20, and Electrical Engineering 1 or Physics 1C. Introduction to underlying science encompassing structure, properties, and fabrication of technologically important nanoscale systems. New phenomena that emerge in very small systems (typically with feature sizes below few hundred nanometers) explained using basic concepts from physics and chemistry. Chemical, optical, and electronic properties, electron transport, structural stability, self-assembly, templated assembly and applications of various nanostructures such as quantum dots, nanoparticles, quantum wires, quantum wells and multilayers, carbon nanotubes.

110. Introduction to Materials Characterization A (Crystal Structure, Nanostructures, and X-Ray Scattering)

Lecture, four hours; discussion, one hour; outside study, seven hours. Requisite: course 104. Modern methods of materials characterization; fundamentals of crystallography, properties of X rays, X-ray scattering; powder method, Laue method; determination of crystal structures; phase diagram determination; high-resolution X-ray diffraction methods; X-ray spectroscopy; design of materials characterization procedures.

M216. Science of Conservation Materials and Methods I

(Same as Conservation M216.) Seminar, one hour; laboratory, three hours. Recommended requisite: course 104. Introduction to physical, chemical, and mechanical properties of conservation materials (employed

for preservation of archaeological and cultural materials) and their aging characteristics. Science and application methods of traditional organic and inorganic systems and introduction of novel technology based on biomineralization processes and nanostructured materials.

272. Theory of Nanomaterials

Lecture, four hours; outside study, eight hours. Strongly recommended requisite: course 200. Introduction to properties and applications of nanoscale materials, with emphasis on understanding of basic principles that distinguish nanostructures (with feature size below 100 nm) from more common microstructured materials. Explanation of new phenomena that emerge only in very small systems, using simple concepts from quantum mechanics and thermodynamics. Topics include structure and electronic properties of quantum dots, wires, nanotubes, and multilayers, self-assembly on surfaces and in liquid solutions, mechanical properties of nanostructured metamaterials, molecular electronics, spin-based electronics, and proposed realizations of quantum computing. Discussion of current and future directions of this rapidly growing field using examples from modern scientific literature.

Mechanical and Aerospace Engineering

C187L. Nanoscale Fabrication, Characterization, and Biodetection Laboratory

Lecture, two hours; laboratory, two hours; outside study, eight hours. Multidisciplinary course that introduces laboratory techniques of nanoscale fabrication, characterization, and biodetection. Basic physical, chemical, and biological principles related to these techniques, top-down and bottom-up (self-assembly) nanofabrication, nanocharacterization (AEM, SEM, etc.), and optical and electrochemical biosensors. Students encouraged to create their own ideas in self-designed experiments. Concurrently scheduled with course C287L.

C187L. Nanoscale Fabrication, Characterization, and Biodetection Laboratory

Lecture, two hours; laboratory, two hours; outside study, eight hours. Multidisciplinary course that introduces laboratory techniques of nanoscale fabrication, characterization, and biodetection. Basic physical, chemical, and biological principles related to these techniques, top-down and bottom-up (self-assembly) nanofabrication, nanocharacterization (AEM, SEM, etc.), and optical and electrochemical biosensors. Students encouraged to create their own ideas in self-designed experiments. Concurrently scheduled with course C287L.

250M. Introduction to Microfluids/Nanofluids

Lecture, four hours; outside study, eight hours. Requisite: course 150A. Introduction to fundamentals of microfluids. No-slip and slip boundary conditions. Sedimentation and diffusion in liquids. Osmotic pressure and Donnan equilibrium in fluid mixtures. Fundamentals of surface phenomena, spreading, and contact angles. Introduction to van der Waals interactions, electrical double layer, and zeta potential. Basics of non-Newtonian fluid mechanics.

258A. Nanomechanics and Micromechanics

Lecture, four hours; outside study, eight hours. Requisite: course M256A. Analytical and computational modeling methods to describe mechanics of materials at scales ranging from atomistic through microstructure or transitional and up to continuum. Discussion of atomistic simulation methods (e.g., molecular dynamics, Langevin dynamics, and kinetic Monte Carlo) and their applications at nanoscale. Developments and applications of dislocation dynamics and statistical mechanics methods in areas of nanostructure and microstructure self-organization, heterogeneous plastic deformation, material instabilities, and failure phenomena. Presentation of technical applications of these emerging modeling techniques to surfaces and interfaces, grain boundaries, dislocations and defects, surface growth, quantum dots, nanotubes, nanoclusters, thin films (e.g., optical thermal barrier coatings and ultrastrong nanolayer materials), nano-identification, smart (active) materials, nanobending and microbending, and torsion.

M287. Nanoscience and Technology

(Same as Electrical Engineering M257.) Lecture, four hours; outside study, eight hours. Introduction to fundamentals of nanoscale science and technology. Basic physical principles, quantum mechanics, chemical bonding and nanostructures, top-down and bottom-up (self-assembly) nanofabrication; nanocharacterization; nanomaterials, nanoelectronics, and nanobiodetection technology. Introduction to new knowledge and techniques in nano areas to understand scientific principles behind nanotechnology and inspire students to create new ideas in multidisciplinary nano areas.

C287L. Nanoscale Fabrication, Characterization, and Biodetection Laboratory

Lecture, two hours; laboratory, two hours; outside study, eight hours. Multidisciplinary course that introduces laboratory techniques of nanoscale fabrication, characterization, and biodetection. Basic physical, chemical, and biological principles related to these techniques, top-down

and bottom-up (self-assembly) nanofabrication, nanocharacterization (AEM, SEM, etc.), and optical and electrochemical biosensors. Students encouraged to create their own ideas in self-designed experiments. Concurrently scheduled with course C187L.

C287L. Nanoscale Fabrication, Characterization, and Biodetection Laboratory

Lecture, two hours; laboratory, two hours; outside study, eight hours. Multidisciplinary course that introduces laboratory techniques of nanoscale fabrication, characterization, and biodetection. Basic physical, chemical, and biological principles related to these techniques, top-down and bottom-up (self-assembly) nanofabrication, nanocharacterization (AEM, SEM, etc.), and optical and electrochemical biosensors. Students encouraged to create their own ideas in self-designed experiments. Concurrently scheduled with course C187L.

University of Alberta

<http://www.registrar.ualberta.ca/pdfcal/09-10calendarpdf/CourseListings.pdf>

AREC 173 The Plate, the Planet and Society

A cornerstone course that provides an introduction to social perspectives on everything from what we eat for breakfast to how we protect endangered species and agricultural landscapes. Topics covered include current issues around food production and consumption and issues related to sustainability of our natural and social systems. Debates over new technologies (e.g., GMOs, nanotechnology), food, environment, and health can only be understood in the context of political, economic and personal decisions. Prerequisites: none. [Rural Economy]

CH E 487 Heterogeneous Catalysts

The preparation, characterization and use of heterogeneous catalysts with emphasis on the effects of catalyst nano-structure on catalytic activity, selectivity and stability. Prerequisites: MAT E 211 and CH E 345.

CHEM 333 Inorganic Materials Chemistry

Fundamentals of the synthesis, structure and properties of inorganic solids, thin films, and nanoscale materials, to be complemented with case studies of modern applications of inorganic materials; selected topics such as catalysis, molecular and nanoparticle-based computing, telecommunications, alternative energies, superconductivity, biomedical technologies, and information storage will be discussed. Techniques for characterization and analysis of materials on the nano and atomic level will be introduced. Prerequisite: CHEM 241.

CHEM 436 Synthesis and Applications of Inorganic and Nano-materials

Introduction to methods of synthesizing inorganic materials with control of atomic, meso-, and micro-structure. Topics include sol-gel chemistry, chemical vapor deposition, electro-synthesis of materials, solid-state reactions, solid-state metathesis and high-temperature self-propagating reactions, template-directed syntheses of micro and mesoporous materials, micelles and colloids, synthesis of nanoparticles and nanomaterials. Applications of these synthetic techniques to applications such as photonic materials, heterogeneous catalysts, magnetic data storage media, nanoelectronics, display technologies, alternative energy technologies, and composite materials will be discussed. Prerequisite: CHEM 243 and one 300-level CHEM course; or CHEM 341; or CHEM 333; or consent of the instructor.

MAT E 458 Nanomaterials for Biological Applications

Survey of nanomaterials for nanofabrication. Nanofabrication techniques. Characterization tools. Biological applications for diagnostic and therapeutic options. Prerequisite: CH E 243 or equivalent, or consent of Instructor.

E E 459 Introduction to Nanotechnology

Existing micro/nanofabrication and characterization technologies including advanced nanolithography and soft lithography techniques. Overview of scanned probe microscopy techniques such as AFM, STM, and NSOM. Introduction to nanomaterials such as fullerenes, carbon nanotubes, and block copolymers. Quantum mechanical effects and properties of nanostructures. Overview of applications of nanotechnology in microelectronics, photonics and MEMS devices.

MAT E 495 Nanomaterials and Biomedical Applications

Survey of nanostructured materials, including processing techniques, properties (mechanical, physical and chemical), characterization, and characterization tools. Introduction to biomedical applications of nanomaterials for diagnosis, therapy and medical implants. Credit may not be obtained in this course if previous credit has been obtained in MAT E 458. Prerequisite: CH E 243 or equivalent, or consent of instructor

CHEM 536 Synthesis and Applications of Inorganic and Nano-materials

Introduction to methods of synthesizing inorganic materials with control of atomic, meso-, and micro-structure. Topics include sol-gel chemistry, chemical vapor deposition, electro-synthesis of materials, solid-state reactions, solid-state metathesis and high-temperature self-propagating reactions, template-directed syntheses of micro and mesoporous materials, micelles and colloids, synthesis of nanoparticles and nanomaterials. Applications of these synthetic techniques to applications such as photonic materials, heterogeneous catalysts, magnetic data storage media, nanoelectronics, display technologies, alternative energy technologies, and composite materials will be discussed. Not open to students with credit in CHEM 436.

CHEM 544 Characterization Methods in Nanoscience

Introduction to techniques in determining the composition and structure of materials on the nanometer scale. Characterization of atomic, meso-, and micro-structure of materials including impurities and defects. Major topics will include diffraction (X-ray, electron, neutron), electron microscopy (transmission, scanning, and Auger) and associated spectroscopies (EDX, EELS), surface sensitive spectroscopies (e.g., XPS, AES, IR) and

spectrometry (SIMS), synchrotron techniques, X-ray absorption, fluorescence and emission, and scanned probe microscopies (AFM, STM, etc.). The techniques will be examined through real-world nanotechnology case studies. Not open to students with credit in CHEM 444.

ECE 659 Applications of Nanotechnology

Quantum, nanophotonic, nanoelectronic and nanobiotechnological devices. Fabrication techniques for devices: self-assembly, organic and hybrid materials and devices, lithographic technologies. Applications of nanotechnology devices in computing, human health, telecommunications.

MEC E 664 Adv Design and Simulation of Micro and Nano Electromechanical Sensors (MEMS/NEMS)

Advanced topics dealing with MEMS technologies, transduction mechanisms, and microfabricated sensors and actuators. Sensors for acceleration, rotation rate, pressure, and different micro actuators. MEMS in microfluidics and biomedical applications. Chemical, gas, and biosensors. Prerequisite: MEC E 563 and consent of Instructor. Not open to students with credit in MEC E 564.

PHARM 610 Advanced Drug Delivery Systems

The focus of this course is on the design and development of novel delivery systems for various treatment and diagnostic applications. A particular attention will be paid to the physicochemical principles behind the development of different drug delivery systems, their biological application and significance. Emphasis is given to polymer based systems and assembled nano-carriers for the delivery of therapeutic drugs, proteins, vaccines and genes. Prerequisite: Consent of Faculty.

ANEXO II

Plan de Estudios de la Universidad de las Américas Puebla, Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular

Primer Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
Matemáticas Básicas	64	64
<p>Introducción a la Nanotecnología</p> <p>Motivar en el estudiante el aprendizaje de la nanotecnología como una nueva forma de integrar, en escalas nanométricas, y producir de forma multidisciplinaria elementos y dispositivos nuevos que se encuentran en la intersección de las ciencias básicas (química, física, biología y matemáticas), tecnologías de fabricación para materiales y dispositivos orgánicos e inorgánicos para distintas disciplinas de aplicación (medicina, electrónica y comunicaciones, robótica/mecatrónica, sistemas computacionales). Lograr que el estudiante se inserte mentalmente en este universo, comprenda algunos de los grandes desafíos del desarrollo de esta área y conozca algunas de sus posibles aplicaciones. Despertar la conciencia de posibles problemas de seguridad y ética si estas tecnologías no son usadas adecuadamente.</p>	48	48
<p>Soluciones Algorítmicas</p> <p>Se espera que al final del curso el estudiante sea capaz de resolver un problema computacional bien definido, programando en un lenguaje de alto nivel, utilizando una metodología estructurada y cubriendo los lineamientos de calidad en el diseño y la documentación del programa generado.</p>	32	32
<p>Laboratorio de Soluciones Algorítmicas</p> <p>En este curso se realizarán una serie de prácticas en la computadora de los conceptos presentados en el curso de programación estructurada (is-211).</p>	64	0
Segundo Idioma I	48	48
Laboratorio Segundo Idioma I	16	0

Pensamiento y Lenguaje	48	48
En este curso se pretende que el estudiante desarrolle las habilidades de pensamiento crítico y creativo, tal y como está previsto en el perfil institucional del egresado. En la modalidad de taller, este curso básico está centrado en el desarrollo de las habilidades discursivas, mediante la práctica constante e integradora de la lectura, la escritura y la expresión oral; asumiendo éstas como habilidades de pensamiento y como actividades críticas; buscando claridad, certeza, relevancia, profundidad, amplitud, lógica, significado e imparcialidad.		
Estudio General I	48	48

Segundo Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
Química General	48	48
Presentar al estudiante con los conceptos básicos de las ciencias químicas, su composición y sus transformaciones que le permitan una mejor comprensión de los fenómenos físicos que le rodean y sirvan como fundamento para cursos posteriores de química u otros relacionados con el uso y transformación de materiales. Además, a través de diferentes lecturas e investigaciones, el alumno desarrollará una actitud crítica y reflexiva ante el conocimiento.		
Laboratorio de Química General	48	0
Bajo la supervisión del profesor de laboratorio el alumno aplicará en forma experimental técnicas utilizadas en la industria para la determinación de algunas constantes físicas, trabajará en forma segura con sustancias químicas tóxicas, utilizando las técnicas adecuadas. Reafirmará conocimientos teóricos del estado sólido. Determinará propiedades de los líquidos. Sintetizará algunos compuestos de los elementos de transición.		
Cálculo I	64	64
Se presenta al estudiante los conceptos básicos de funciones y del cálculo diferencial e integral promoviendo la aplicación de estos conocimientos en la solución de problemas prácticos.		
Segundo Idioma II	48	48

Laboratorio Segundo Idioma II	16	0
<p>Escritura en las Profesiones</p> <p>Es un curso en el que se pretende que el alumno produzca discursos expositivos y argumentativos complejos, y que aplique habilidades de investigación y de estructuración textual en la elaboración de documentos propios de su profesión, tomando en cuenta las convenciones metodológicas y los estándares intelectuales diseñados para este fin. Se busca proporcionar al estudiante las herramientas del pensamiento crítico y creativo que le ayuden a comprender la relación entre escribir y pensar en el ámbito de su disciplina; se espera que asuma la lectura como una práctica que le permitirá adquirir contenidos de aprendizaje cada vez más profundos de sus materias. Empleará gradualmente la escritura para aportar ideas sustanciales en su ámbito profesional.</p>	48	48
<p>Electrónica de Circuitos Integrados</p> <p>Que el estudiante construya conocimientos de los bloques funcionales analógicos para el diseño de circuitos integrados analógicos con una visión completa y concisa de la ingeniería en alta escala de integración para la fabricación vlsi. Estudiar las metodologías de diseño analógico vlsi, así como las estructuras y topologías para del diseño de circuitos analógicos orientados hacia la integración a gran escala.</p>	48	48
<p>Laboratorio de Electrónica de Circuitos Integrados</p> <p>Complementar los conocimientos adquiridos en el curso teórico de electrónica mediante la simulación en programas computacionales especializados, el comportamiento de las celdas básicas vlsi más comunes. Practicar las metodologías de diseño analógico vlsi, así como las estructuras y topologías para del diseño de circuitos analógicos orientados hacia la integración a gran escala.</p>	32	0
<p>Álgebra Lineal</p> <p>Álgebra lineal es el estudio de los espacios vectoriales, de las transformaciones lineales entre ellos y de algunos objetos directamente relacionados como matrices y formas cuadráticas.</p>	64	64

Tercer Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
Química Orgánica I Distinguir los diferentes grupos funcionales y las estructuras de los compuestos orgánicos. Manejar adecuadamente la nomenclatura, estereoquímica, estructura y reactividad en procesos ácido-base. Identificar diferentes reacciones orgánicas y sus mecanismos.	48	48
Laboratorio de Química Orgánica I Adquirir las habilidades necesarias e identificar el material básico, requerido para cualquier laboratorio de Química Orgánica. Utilizar dicho material en la separación, purificación e identificación de sustancias orgánicas. Aplicar todos requerimientos de seguridad para trabajar en el laboratorio.	32	0
Química Inorgánica I Conocimiento de la acción de la energía en la formación de los enlaces químicos, tanto en átomos como en las moléculas, así como de las fuerzas que sustentan la estructura molecular. Se destacan las diversas definiciones de ácidos y bases, y su relación con el estudio de la química de las soluciones. Se brindan fundamentos de la química de los metales de transición y de las propiedades generales de sus compuestos.	48	48
Laboratorio de Química Inorgánica I Realizar reacciones de formación de complejos en solución y reconocerlos por sus propiedades. Experimentar la estabilidad relativa de algunos complejos. Observar los productos de una reacción, estructuras y propiedades termodinámicas. Realizar espectros de identificación de grupos.	32	0
Cálculo II Técnicas de integración, superficies de grado menor o igual a dos, derivadas parciales, integrales múltiples, sucesiones y series.	64	64
Segundo Idioma III	48	48
Laboratorio Segundo Idioma III	16	0

Circuitos Digitales Sistemas de numeración; funciones de verdad; álgebra de boole; minimización de funciones de boole; mapas de karnaugh; implicantes primos; circuitos con salida múltiple; funciones y códigos especiales; pals; flip-flops; análisis de circuitos secuenciales síncronos; diseño de circuitos secuenciales síncronos; registros y contadores; circuitos secuenciales asíncronos.	48	48
Laboratorio de Circuitos Digitales Se trata de un curso práctico que complementa, a través de trabajo de laboratorio, el entendimiento de los conceptos teóricos presentados en el curso de circuitos digitales.	32	0

Cuarto Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
Química Orgánica II Identificar los diversos mecanismos de reacción iónicos de los compuestos orgánicos y la química de los grupos funcionales, desde un punto de vista práctico.	48	48
Laboratorio de Química Orgánica II Aplicar las técnicas y habilidades necesarias para llevar a cabo reacciones orgánicas en diferentes grupos funcionales. Identificar los diferentes mecanismos de reacción iónica en la experimentación de las reacciones orgánicas. Aplicar conocimientos teóricos de espectroscopia para la identificación de reactantes y productos.	48	0
Materiales Moleculares I Dominar los conocimientos en las propiedades, estructura y materiales derivados de distintos compuestos químicos, desde el punto de vista de las ciencias químicas y considerando su potencial aplicación tecnológica como materiales nanoestructurados. Entender la relación existente entre estructura y propiedades moleculares, y aquellas a nivel macroscópico.	32	32

Cálculo Vectorial <p>Se presenta al estudiante el lenguaje, los métodos y la interpretación de los conceptos fundamentales del cálculo vectorial, así como su aplicación a una gran variedad de problemas.</p>	48	48
Ecuaciones Diferenciales Ordinarias <p>Se estudian las técnicas y métodos de solución de ecuaciones ordinarias de primer orden, de segundo y de orden superior homogénea y no homogénea. Se plantean y resuelven problemas de aplicación. También se estudia la transformada de laplace, misma que se utilizará para resolver problemas de valores iniciales y ecuaciones integro-diferenciales.</p>	48	48
Física de Estado Sólido <p>Este curso es parte esencial para entender el comportamiento de los dispositivos usados en los cursos de electrónica, diseño digital, diseño VLSI digital y diseño VLSI analógico. Presentará al estudiante los principios de la electrónica del estado sólido y los principios del estado sólido al diseño de circuitos con transistores.</p>	48	48
Diseño Digital VLSI <p>Que el estudiante aprenda a diseñar sistemas digitales con una visión completa y concisa de la ingeniería en alta escala de integración para la fabricación de circuitos integrados vlsi. Utilizar las metodologías de diseño vlsi, así como las estructuras y topologías para del diseño de compuertas lógicas y circuitos secuenciales orientados hacia la integración a gran escala típica de los circuitos integrados modernos.</p>	48	48
Laboratorio de Diseño Digital VLSI <p>Complementar los conocimientos construidos en el curso teórico de diseño digital vlsi mediante la simulación en programas computacionales especializados, el comportamiento de los sistemas digitales vlsi más comunes.</p>	32	0

Quinto Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
<p>Biorgánica</p> <p>Distinguir diferentes reacciones con nucleófilos de carbono, así como las reacciones y métodos de obtención de los halogenuros de arilo y compuestos organometálicos. Describir un mecanismo con diferentes enolatos. Resolver problemas relacionados al rol que tienen los productos naturales derivados del acetato y los compuestos nitrogenados naturales en la química de la vida.</p>	48	48
<p>Laboratorio de Biorgánica</p> <p>Aplicar las habilidades necesarias para llevar a cabo reacciones orgánicas de síntesis de etapas múltiples, reacciones catalíticas y reacciones de compuestos nitrogenados y oxigenados naturales, así como la realización de pruebas bioquímicas. Poner en práctica los conocimientos teóricos de espectroscopia. Descubrir una continuidad con laboratorios anteriores.</p>	64	0
<p>Materiales Moleculares II</p> <p>Incrementar los conocimientos en las propiedades, estructura y materiales derivados de distintos compuestos químicos, desde el punto de vista de las ciencias químicas y considerando su potencial aplicación tecnológica como materiales nanoestructurados. Entender la relación existente entre estructura y propiedades moleculares y aquellas a nivel macroscópico.</p>	32	32
<p>Laboratorio de Materiales Moleculares</p> <p>Incrementar los conocimientos en las propiedades, estructura y materiales derivados de distintos compuestos químicos, desde el punto de vista de las ciencias químicas y considerando su potencial aplicación tecnológica como materiales nanoestructurados. Entender la relación existente entre estructura y propiedades moleculares y aquellas a nivel macroscópico.</p>	32	0
<p>Química Inorgánica Avanzada</p> <p>Describir los aspectos fundamentales de la síntesis, cinética y mecanismos de reacción de los compuestos de coordinación así como entender la estructura, reactividad y propiedades de los compuestos organometálicos, para finalmente discutir algunos aspectos de la química descriptiva de los metales de transición, su abundancia y efectos ambientales y biológicos.</p>	32	32

Laboratorio de Química Inorgánica Avanzada	32	0
Métodos Numéricos Se estudian los principales problemas numéricos de la ingeniería reforzando el entendimiento de los métodos y el uso de la computadora como herramienta fundamental.	48	48
Física Moderna I Se estudian fundamentos de la mecánica cuántica desde un punto de vista que combina la formalidad con la intuición.	48	48
Estudio General II	48	48

Sexto Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
Química Orgánica Avanzada Distinguir compuestos heterocíclicos y terpénicos, puesto que muchos de ellos se encuentran como tales en la naturaleza y son la clave de muchos procesos biológicos. Identificar reacciones pericíclicas, fotoquímicas y aplicarlas en problemas cotidianos. Aplicación de estos conocimientos en la resolución de problemas prácticos en el laboratorio.	32	32
Laboratorio de Química Orgánica Avanzada Aplicar las habilidades necesarias para llevar a cabo reacciones orgánicas de síntesis de etapas múltiples, reacciones catalíticas y reacciones de compuestos nitrogenados y oxigenados naturales, así como la realización de pruebas bioquímicas. Poner en práctica los conocimientos teóricos de espectroscopia. Descubrir una continuidad con laboratorios anteriores.	32	0
Teoría Electromagnética Que el estudiante domine el manejo conceptual de los fundamentos de la teoría electromagnética, así como su aplicación en el análisis, diseño y construcción de líneas de transmisión para dispositivos ópticos en tecnología de óptica integrada para aplicaciones en sistemas de comunicaciones ópticas.	48	48

Sensores <p>En este curso se estudian los elementos que forman un sistema de medición. Se presentan los conceptos básicos de los transductores, sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de nivel, sensores de flujo y transductores especiales. Estudio de las etapas de acondicionamiento de señales analógicas y conversión analógica a digital, para el desarrollo de sistemas de adquisición de datos.</p>	48	48
Laboratorio de Sensores <p>Construcción y prueba experimental de elementos que forman un sistema de medición. Elaboración de prototipos de transductores, sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de nivel, sensores de flujo y transductores especiales. Estudio de las etapas de acondicionamiento de señales analógicas y conversión analógica a digital, para el desarrollo de sistemas de adquisición de datos.</p>	32	0
Diseño Analógico VLSI <p>El estudiante tendrá la capacidad de diseñar, simular y describir el layout de circuitos integrados analógicos y de modo mixto vlsi. El énfasis se pone en el diseño de circuitos cmos pero es posible que en los proyectos se amplíe el estudio a circuitos bicmos. Se hace especial énfasis en el diseño de amplificadores operacionales, bloque básico para filtros, comparadores y convertidores a/d y d/a. Diseño de la plantilla para el circuito integrado. Uso extensivo de herramientas computacionales como matlab, hspice y cadence.</p>	48	48
Fisicoquímica de Superficies <p>Se estudian conceptos fundamentales de los fenómenos de superficies, con énfasis en la catálisis y la electrocatálisis. Se estudian las diferentes técnicas de microscopía y espectroscopía como herramientas de análisis de superficies de sólidos.</p>	32	32
Laboratorio de Fisicoquímica de Superficies	32	0
Estudio General III	48	48

Séptimo Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
<p>Introducción a los Sistemas Microelectromecánicos (MEMS)</p> <p>Presentar los fundamentos de materiales, dispositivos integrados y técnicas microfabricación de dispositivos mems, con el fin de que el estudiante pueda diseñar, fabricar y probar los mismos, con la posibilidad de realizar prácticas en alguna industria ó centro de investigación que cuente con líneas de fabricación de semiconductores a nivel nano.</p>	48	48
<p>Óptica Integrada</p> <p>Dominar el manejo conceptual y operacional de los fundamentos de la óptica, así como su aplicación en el análisis, diseño y construcción de dispositivos de ópticos en tecnología de óptica integrada para aplicaciones en sistemas de comunicaciones ópticas.</p>	48	48
<p>Laboratorio de Óptica Integrada</p> <p>Incrementar y consolidar los conocimientos adquiridos en el curso teórico de óptica integrada mediante la comprobación experimental de los diferentes efectos estudiados.</p>	32	0
<p>Sensores Moleculares</p> <p>Construir los conceptos fundamentales que determinan los procesos de reconocimiento molecular, tanto químicos como biológicos, sus estructuras, propiedades y su aplicación en el desarrollo de sensores para la detección de moléculas en distintos estados de agregación, empleando las variaciones en propiedades que pueden ser medidas con facilidad empleando algún sensor de estado sólido.</p>	32	32
<p>Laboratorio de Sensores Moleculares</p> <p>Discusión de los conceptos fundamentales que determinan los procesos de reconocimiento molecular, tanto químicos como biológicos, sus estructuras, propiedades y aplicación en el desarrollo de sensores para la detección de moléculas en distintos estados de agregación, empleando las variaciones en propiedades que pueden ser medidas con facilidad mediante el uso de algún sensor de estado sólido.</p>	32	0

Sistemas Embebidos Conocimiento teórico y práctico sobre los componentes básicos en los que se fundamenta la arquitectura y programación de sistemas embebidos con la utilización de recientes técnicas para el diseño y la programación de microprocesadores y microcontroladores, elementos periféricos asociados, memoria e interfaces de entrada/salida, buses, sistemas de comunicación y control. Aplicación de los métodos de simulación de flujo de datos para el diseño de sistemas embebidos para adquisición, procesamiento y transmisión de información aplicada a mems y nanoestructuras.	48	48
Mecánica Cuántica I Se proporcionan las bases de la mecánica cuántica, que es parte fundamental del desarrollo de la física microscópica. El conocimiento obtenido en este curso, y las habilidades adquiridas en el entendimiento de los problemas correspondientes, son cruciales para el entendimiento y manejo de la física.	48	48
Responsabilidad Social Este curso tiene un enfoque metodológico complejo y basado en la experiencia de servicio social, busca afianzar en el estudiante la comprensión de la Responsabilidad Social (RS), contribuyendo a promover la comprensión de la realidad local, nacional y global, el análisis crítico del entorno y la toma de conciencia de los impactos individuales y organizacionales, para así ejercer una gestión responsable de tales impactos.	16	16

Octavo Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
Química Computacional Presentar al estudiante una herramienta fundamental en la simulación de las propiedades y comportamiento de las moléculas y las reacciones químicas aprendidas a lo largo de los cursos anteriores, misma que le permitirá reafirmar y consolidar lo aprendido.	16	16
Laboratorio de Química Computacional	64	0

Telecomunicaciones <p>Las tecnologías de la información y particularmente de la telecomunicaciones han permeado casi todas las actividades humanas desde la industria, el comercio, las comunicaciones, la planeación, la medicina hasta la toma de decisiones y la enseñanza. La asignatura permitirá formar especialistas en nanotecnología e ingeniería molecular en el área de telecomunicaciones, una de las más importantes. El estudiante será capaz de innovar, transmitir conocimiento y realizar investigación básica y aplicada en las diversas áreas basadas en tecnologías y sistemas de intercambio de información en mems y nanoestructuras.</p>	48	48
Nanobiotecnología <p>Analizar el estado actual de las aplicaciones de sistemas biomoleculares en el desarrollo de dispositivos o técnicas de nanotecnología e ingeniería molecular. Familiarizar al estudiante con las distintas técnicas de manipulación y etiquetado de nanopartículas.</p>	32	32
Optativa I		
Materiales para Electrónica Molecular <p>Aplicar los conceptos aprendidos acerca de las propiedades moleculares y electrónicas en la racionalización de las propiedades, estructura y diseño de materiales moleculares para aplicaciones en electrónica molecular.</p>	32	32
Estudio General IV	48	48
Proyecto de Titulación I <p>Validar la capacidad de integración de conocimientos teórico-prácticos adquiridos por el estudiante a lo largo de la licenciatura, para la resolución de un problema concreto dentro de la orientación elegida.</p>	64	0

Noveno Semestre

Lista de asignaturas o unidades de aprendizaje	Horas	
	Con docente	Independientes
<p>Nanotecnología y Sociedad</p> <p>Argumentar las implicaciones sociales del desarrollo de la nanociencia y nanotecnología si estas tecnologías no se desarrollan y usan de forma adecuada. Despertar en el estudiante la conciencia de posibles problemas de control en áreas de salud, ética y seguridad. Presentar los grandes ejes de debate sobre el impacto y el significado de la nanotecnología en la sociedad, como son: productividad y equidad, calidad de vida, escenarios sociales y económicos futuros, tecnologías convergentes, seguridad nacional y exploración del espacio, ética, gobernabilidad, riesgo e incertidumbre, políticas públicas, aspectos legales e internacionales, interacción con el público, educación y desarrollo humano.</p>	32	32
<p>Optativa II</p>		
<p>Proyecto de Titulación II</p> <p>Validar la capacidad de integración de conocimientos teórico-prácticos adquiridos por el estudiante a lo largo de la licenciatura, para la resolución de un problema concreto dentro de la orientación elegida.</p>	64	0
<p>Estudio General V (Co-Curricular)</p>	48	48

Optativas

Asignatura o unidades de aprendizaje optativas	Horas	
	Con docente	Independientes
Temas Selectos de Nanotecnología I Profundizar los conocimientos en algún tema de las nanociencias y la nanotecnología desde un punto de vista actual.	48	48
Temas Selectos de Nanotecnología II Profundizar los conocimientos en algún tema de las nanociencias y la nanotecnología desde un punto de vista actual.	48	48
Óptica Desarrollar habilidades conceptuales para entender a dos modelos físicos que permitan describir fenómenos luminosos, y así poder analizar instrumentos ópticos contemporáneos.	48	48
Física Moderna II Se revisan las teorías y experimentos importantes que asentaron los fundamentos de la física del siglo XX. En particular, se estudia la mecánica cuántica en cuanto a sus aplicaciones a átomos, moléculas y sólidos. Así mismo se dan los fundamentos de la física nuclear y de partículas.	48	48
Física Computacional Se le enseñará al alumno las bases para modelar matemáticamente, mediante modelos deterministas y estocásticos, a sistemas físicos.	48	48
Química Analítica Instrumental Introducir al estudiante en el amplio campo de las técnicas instrumentales de análisis, de tal manera que pueda desarrollar un carácter crítico para juzgar la exactitud y precisión de los datos experimentales. La disciplina en el estudio y la responsabilidad en el trabajo de laboratorio asociado al curso, darán al estudiante los medios necesarios para perfilar estos juicios.	48	48

<p>Química Orgánica Sintética</p> <p>Seleccionar las materias primas que se requieren para la síntesis de una molécula orgánica compleja aplicando el método de retrosíntesis. Identificar y aplicar las técnicas más adecuadas para la preparación de un compuesto orgánico a partir de las materias primas seleccionadas. Distinguir y aplicar las diferentes estrategias de la síntesis orgánica. Resolver problemas de síntesis de diferentes sustancias orgánicas.</p>	48	48
<p>Espectroscopía Aplicada</p> <p>Presentar la determinación estructural por datos espectroscópicos de sustancias orgánicas desde los puntos de vista particulares de cada método y de conjunto con las técnicas existentes para este propósito para analizar y resolver problemas tanto teóricos como aplicados y tener un mejor conocimiento de las propiedades de los materiales. Este curso contribuye a formar egresados competitivos para desempeñarse en la industria química y la posibilidad de continuar sus estudios de posgrado en cualquier institución.</p>	48	48