



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

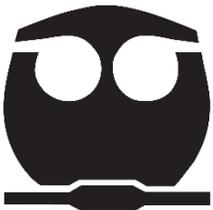
**LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO QUÍMICO EN EL  
ORIGEN Y DESARROLLO DE LA INGENIERÍA  
BIOMÉDICA MODERNA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**EMILIANO MANJARREZ MONDRAGÓN**



**MÉXICO, D.F.**

**AÑO 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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: REYNALDO SANDOVAL GONZÁLEZ**

**SECRETARIO:            PROFESOR: JOSÉ ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ**

**1er SUPLENTE:            PROFESOR: ALEJANDRO LEÓN IÑIGUEZ HERNÁNDEZ**

**2do SUPLENTE:            PROFESOR: ALEJANDRO ZANELLI TREJO**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**COORDINACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA, EDIFICIO E,  
FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD UNIVERSITARIA.**

**ASESOR DEL TEMA:**

**DR. REYNALDO SANDOVAL GONZÁLEZ \_\_\_\_\_**

**SUSTENTATE:**

**EMILIANO MANJARREZ MONDRAGÓN \_\_\_\_\_**

# ÍNDICE

## PÁGINA

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

### CAPÍTULO I

#### HISTORIA Y DESARROLLO DE LA INGENIERÍA QUÍMICA Y LA INGENIERÍA BIOMÉDICA.

- La Química y el hombre primitivo.....8
- La Química en el antiguo Egipto..... 10
- La Química en la antigua Grecia .....17
- Los átomos..... 21
- La alquimia.....23
- La transición: De la alquimia a la química.....30
- La Revolución Industrial..... 36
- Nacimiento de la Ingeniería Química..... 46
- Operaciones unitarias y fenómenos de transporte.....46
- Contribuciones de la Ingeniería Química al surgimiento de la Ingeniería Biomédica moderna..... 48

### CAPÍTULO II

#### DESARROLLO DE BIOMATERIALES

- Introducción a los biomateriales.....57
- Hidrogeles. Propiedades físicas, químicas y su uso en la industria farmacéutica..... 61
- Materiales usados en prótesis ortopédicas e implantes de articulación.....70
- Polisacáridos complejos. Alginato y chitosán.....79
- Proteínas. Estructura y su uso como biomateriales.....83

### **CAPÍTULO III**

#### **DESARROLLO DE ÓRGANOS ARTIFICIALES**

- La Ingeniería de tejidos..... 91
- Piel artificial.....93
- Corazón artificial.....99
- Riñón artificial.....107
- Páncreas artificial..... 114

### **CAPÍTULO IV**

#### **SISTEMAS Y EQUIPOS BIOMÉDICOS ELECTRÓNICOS.**

- Electrocardiografía..... 121
- Electroencefalografía..... 125
- Electromiografía..... 135
- Sistemas e Imágenes.....142
- Tomografía..... 143
- Imágenes por Resonancia Magnética Nuclear.....146
- Radiología..... 148
- Ultrasonidos.....150

### **CAPITULO V**

#### **LA INGENIERÍA BIOMÉDICA EN MÉXICO. OPORTUNIDAD DE CRECIMIENTO PARA LA INGENIERÍA QUÍMICA. ANÁLISIS GENERAL.**

- La Ingeniería Biomédica..... 152
- La Ingeniería Biomédica en México..... 154
- Oportunidad de creación de un módulo de Ingeniería Biomédica dentro del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM.....159
- La Ingeniería Biomédica como oportunidad laboral para el ingeniero químico.....165
- Proyección a futuro de la Ingeniería Biomédica.....166

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>167</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>172</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>173</b>

# INTRODUCCIÓN.

La Ingeniería Química es una disciplina que ha jugado un papel determinante para el desarrollo de la mayoría de los sectores industriales y científicos que existen en el mundo actual. La aplicación de los conceptos de Ingeniería Química para resolver problemas de otras disciplinas ha llevado a que esta se diversifique y a que cada vez la participación de ingenieros químicos sea más frecuente en trabajos multidisciplinarios de cualquier índole.

Por lo anterior, surgió la necesidad de crear un centro de información acerca de la carrera de Ingeniería Química en México en el cual se encuentren datos de relevancia acerca de dicha carrera y de la manera en la que esta ha influido y lo seguirá haciendo en la sociedad.

El Centro Nacional de Información sobre la Carrera de Ingeniería Química tuvo su inicio en el año 2000 con la entrevista del Ing. Carlos Mena Brito con la Dirección de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. La idea de la creación del centro se consolidó en 2004 cuando el ing. Hermenegildo Sierra Martínez, quien entonces fungía como presidente del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos hizo clara su intención de colaborar en mejorar el conocimiento y planeación de la Ingeniería Química mediante una carta (Anexo I).

Se designó como sede del proyecto a la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual está a cargo del Dr. Reynaldo Sandoval González con la colaboración del Ing. Eduardo Rojo y de Regil, quien, en palabras del Ing. Hermenegildo Sierra “ha dirigido este esfuerzo con resultados muy positivos, que son de gran utilidad para el desarrollo de la Ingeniería Química”.

El objetivo de la creación del Centro Nacional de Información sobre la Carrera de Ingeniería Química es el de tener un centro de información sobre datos importantes de la carrera de Ingeniería Química en México como son: índices de titulación, análisis de los planes de estudio, oferta y demanda de Ingenieros Químicos en México, análisis de los procesos de enseñanza y aprendizaje en distintos campos de la carrera, evolución profesional de alumnos egresados, participación de los Ingenieros Químicos en otros rubros de la industria distintos a la Química, opinión de la industria acerca de los Ingenieros Químicos egresados de la Facultad de Química, entre otros.

Para poder enriquecer el acervo de este centro, se tomó la decisión de dirigir tesis de alumnos de la carrera de Ingeniería Química donde se desarrollen temas que estudien y analicen la influencia de esta disciplina en los diversos sectores económicos, científicos y tecnológicos de nuestro país. Cabe señalar que el presente proyecto de tesis formará parte de dicho acervo bibliográfico.

En un futuro se espera la participación en el Centro de más personas y escuelas de todo el país relacionadas con la Ingeniería Química que aportarán información que ayude al desarrollo de la Ingeniería Química en México.

El Ingeniero químico es un profesionalista capaz de desempeñar diversas funciones en los aspectos técnicos, científicos, administrativos y humanos dentro de los sectores económicos que se relacionan con el desarrollo y ejecución de procesos productivos que transforman materias primas en productos útiles para la sociedad. Entre las principales áreas que el ingeniero químico tiene una participación activa e importante dentro de los diversos sectores industriales y científicos se encuentran las siguientes:

- Investigación y desarrollo de nuevos productos y procesos
- Diseño y construcción de plantas
- Operación, producción y mantenimiento
- Control de calidad
- Administración y gerencia
- Ventas y compras
- Docencia

No importa cuál sea el área donde el ingeniero químico se desempeñe siempre tendrá un objetivo específico, optimizar el proceso de producción de un bien o servicio útil al ser humano. Para lograr esto el ingeniero químico tiene que lograr el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles teniendo siempre como norma el cuidado del medio ambiente y el beneficio del ser humano. El ingeniero químico debe conocer a la sociedad pues es en esta donde impactará directamente su trabajo el cual se deriva de sus conocimientos de las ciencias básicas y la tecnología.

A través de su historia, la Ingeniería Química ha hecho una cantidad innumerable de aportaciones para el desarrollo de múltiples industrias tales como la industria de alimentos, farmacéutica, petroquímica, textil, cosmética, jabonera, entre muchas otras. Los nuevos retos de la humanidad han dado al ingeniero químico la tarea de involucrarse en trabajos multidisciplinarios donde se requieren profesionistas de las áreas de la Química, Biología, Electrónica, Medicina y Robótica para poder crear soluciones innovadoras que mejoren la calidad o nivel de vida de las personas lo cual es el común denominador de todas las profesiones.

En su edad temprana, la Ingeniería Química o Química Industrial como se conocía en ese entonces se relacionaba únicamente con la obtención de diversos productos químicos a escala industrial, no obstante desde sus orígenes, la Ingeniería Química contemplaba dentro de su campo de trabajo a aquellas tareas que estuvieran relacionadas a procesos bioquímicos es decir a la química de los seres vivos. El primer libro de Ingeniería Química que existió hacía mención de ciertos tratamientos químicos a bioproductos, es decir, las primeras menciones de lo que años después se llamarían procesos biotecnológicos.

Poco a poco los conocimientos de los procesos bioquímicos, químicos, biotecnológicos, médicos, ingenieriles e informáticos se unieron para resolver problemas relacionados con la salud del ser humano y es así como nació lo que el día de hoy se conoce como Ingeniería Biomédica.

Se define como Ingeniería Biomédica Moderna a la integración de los principios de la ingeniería con la Medicina, Física, Química, Biología y Matemáticas, para crear soluciones a problemas médicos y biológicos, de tal forma que los ingenieros biomédicos son los profesionistas que diseñan y desarrollan innovaciones en materiales, procesos, dispositivos y tecnologías informáticas para prevenir, diagnosticar y tratar enfermedades, rehabilitar pacientes y mejorar la salud y los sistemas de salud en general.<sup>1</sup>

Al igual que muchas otras disciplinas, la Ingeniería Biomédica no surgió por decreto o de la noche a la mañana sino que fue un proceso donde varias áreas de estudio hicieron aportaciones para poder corregir problemas o lesiones en el cuerpo humano. Es así como a través de muchas décadas, médicos, ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos, ingenieros en informática, biólogos, biotecnólogos y desde luego ingenieros químicos, entre otros profesionistas, sentaron las bases de lo que hoy se conoce como Ingeniería Biomédica.

---

<sup>1</sup> Fuente.- <https://ingenieria.uniandes.edu.co/ingenieria-biomedica>

Ante la carencia de conocimientos y de comprensión de los problemas biológicos y médicos de estos primeros ingenieros y la carencia de comprensión y capacidad de resolución de problemas ingenieriles por parte de los médicos se vio la necesidad de formar profesionales, que tuvieran las competencias para aplicar los principios y el método de la ingeniería a los problemas médicos y biológicos.

Es así como surge la Ingeniería Biomédica, sin embargo, el rápido avance de las diversas disciplinas que dieron lugar al nacimiento de la Ingeniería Biomédica ha hecho que esta disciplina siga recibiendo nuevas aportaciones de todas ellas. La Ingeniería Química moderna, es una disciplina que ha crecido en sus ámbitos de aplicación y se ha diversificado. Esta diversificación la ha llevado a incursionar de una manera más activa en tópicos como la biotecnología, los materiales avanzados, la nanotecnología, la industria farmacéutica y muchos más.

Debido a esta diversificación, el ingeniero químico ha hecho y seguirá haciendo aportaciones de suma importancia a la Ingeniería Biomédica. Ahora gracias a los avances en la ciencia e ingeniería de los materiales se desarrollan tejidos para sustituir zonas quemadas de la piel, se obtienen materiales para reemplazar huesos y cartílagos dañados y se encapsulan medicamentos en biopolímeros para que el fármaco activo sea liberado justo en el tejido objetivo.

El trabajo en conjunto de ingenieros biomédicos, ingenieros mecánicos, ingenieros mecatrónicos, médicos e ingenieros químicos ha permitido que se desarrollen extremidades “robóticas” del cuerpo humano para que personas discapacitadas puedan recobrar el movimiento y ha permitido que se construyan maravillosos equipos para investigar, diagnosticar y tratar múltiples enfermedades.

Como se ha mencionado con anterioridad la Ingeniería Química ha contribuido en muchos aspectos al nacimiento y desarrollo de la Ingeniería Biomédica y el papel de esta última en la sociedad ha sido mayúsculo al mejorar la calidad de vida de las personas de una manera sin igual, es por ello que surge la necesidad de saber cómo fueron los orígenes de ambas disciplinas, su desarrollo a través de la historia y hacia donde se encaminan juntas en el futuro.

El objetivo de esta tesis es profundizar en la historia de la Ingeniería Química desde sus orígenes hasta nuestros días así como conocer en qué áreas de los diversos sectores industriales la Ingeniería Química ha jugado un papel importante para su desarrollo, concentrándose principalmente en la Ingeniería Biomédica, su nacimiento dentro de la Ingeniería Química, su desarrollo como disciplina independiente, sus logros para mejorar la calidad de vida de las personas y por último vislumbrar los futuros avances dentro de Ingeniería Biomédica en los cuales la participación del ingeniero químico jugará un papel determinante.

# **CAPITULO I**

## **HISTORIA Y DESARROLLO DE LA INGENIERÍA QUÍMICA Y LA INGENIERÍA BIÓMEDICA.**

### **LA QUÍMICA Y EL HOMBRE PRIMITIVO**

La historia de la Ingeniería Química es tan antigua como la historia del hombre mismo. Desde su aparición, el ser humano ha buscado mejorar y facilitar su vida haciendo uso de los recursos existentes en la naturaleza. El primer proceso químico utilizado por el hombre fue la combustión. El fuego proporcionó al ser humano calor, luz y más tarde el medio para cocinar sus alimentos. Posteriormente el fuego fue la clave para el desarrollo y uso de materiales como los cerámicos, vidrio y diversos metales en las sociedades primitivas. Sin saberlo, el hombre de la antigüedad ya estaba desarrollando la Ingeniería Química.

También casi tan antigua como la humanidad es la preparación de pinturas y pigmentos con los que se coloreaban el cuerpo, se dibujaban escenas de la vida cotidiana en cuevas y se teñían pieles y diversos instrumentos. La domesticación y crianza de los animales llevó al hombre a una serie de innovaciones en el uso de estos productos.

Así se confeccionaron ropas a base de pieles, cuero, y lana, se produjeron quesos y yogurt a partir de la leche y mantequillas a base de la grasa de los animales. El hombre de la antigüedad se percató que el jugo de las frutas podría agriarse con el tiempo y se convertía en una bebida extrañamente estimulante. El desarrollo de la agricultura y la ganadería dieron lugar al asentamiento del hombre en grandes ciudades y estas dieron origen a las grandes civilizaciones de la antigüedad en las cuales los procesos químicos siguieron mejorando y aumentando en importancia.

## LA QUÍMICA EN EL ANTIGUO EGIPTO

En el Noreste de África, bordeando el río Nilo se desarrolló una de las más antiguas civilizaciones, la egipcia. El antiguo Egipto emerge de la prehistoria alrededor del 3400 a.C. Esta civilización, altamente desarrollada para su época, perduró por más de 3000 años durante los cuales diseminó su influencia a lo largo y a lo ancho del resto del mundo conocido en esa época. Los arqueólogos han encontrado influencias egipcias en otras civilizaciones de la antigüedad. Si bien los egipcios no tenían la noción de que estaban realizando procesos de una ciencia que más tarde se llamaría química, ellos hicieron gran uso de esta en diversas áreas.

Las técnicas artesanales que proveen datos acerca de la evolución de la química en el antiguo Egipto son la metalurgia, la elaboración del vidrio, la fabricación de colorantes y tinturas, la creación de perfumes y fragancias y el desarrollo de cosméticos. Muchas de estas técnicas alcanzaron un nivel asombroso de perfección en el antiguo Egipto.

## **Metalurgia en el antiguo Egipto**

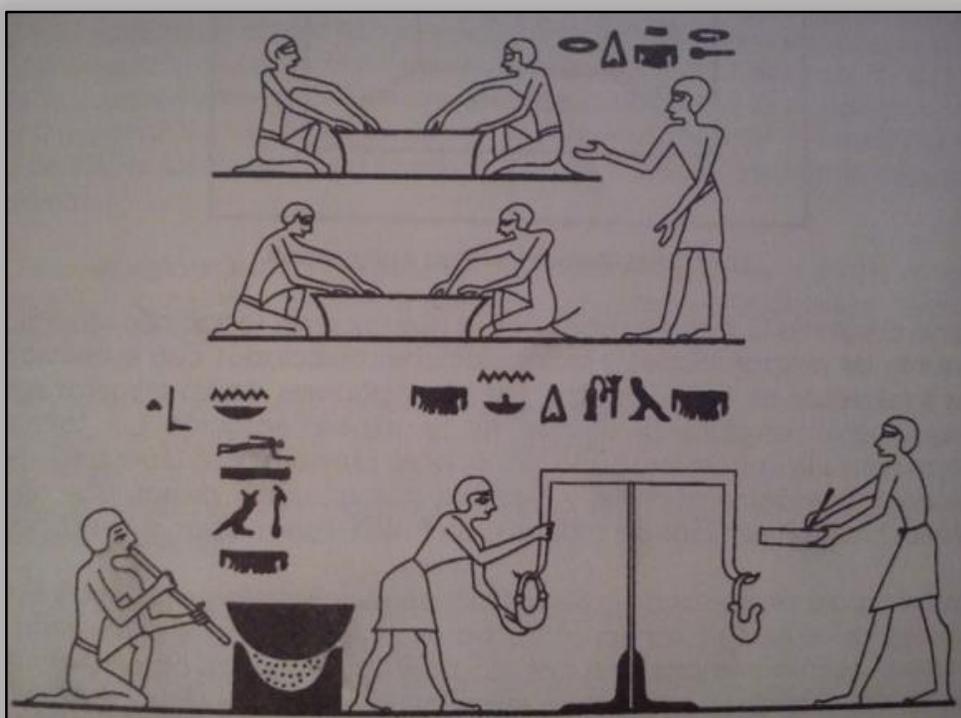
Las enormes cantidades de oro amasadas por los faraones fueron la envidia de reyes extranjeros, contemporáneos y posteriores. Sin embargo la riqueza del antiguo Egipto no se limitaba únicamente al oro, los egipcios desarrollaron una técnica muy elaborada para la obtención, trabajo y comercialización de una gran variedad de metales como ninguna otra civilización.

Ya en el siglo XXXIV a.C., en el comienzo del período histórico, los egipcios tenían un conocimiento preciso acerca de la ubicación de las minas de cobre y de los procesos de extracción del metal. El manejo de las minas y de las canteras era encomendado a los más altos funcionarios y a los hijos del faraón.

Los primeros desarrollos de las técnicas artesanales en el campo de la química de metales en Egipto datan de alrededor del 3000 a.C. y están vinculados con la producción de objetos de bronce y de estaño. El hierro era conocido en Egipto desde un período muy temprano y comenzó a utilizarse ampliamente alrededor del 800 a.C.

Los egipcios llamaban al hierro “el metal del cielo” lo que hace suponer que el primer espécimen empleado para su obtención provenía de meteoritos ya que el nombre babilónico tiene el mismo significado. De los otros metales no preciosos, el estaño se usaba en la manufactura del bronce, y se detectó que el cobalto se usaba como agente colorante en ciertos tipos de vidrio y barnices. El plomo, si bien nunca tuvo extensas aplicaciones, fue uno de los primeros metales conocidos ya que se ha encontrado en tumbas de las épocas predinásticas.

**Figura I.**  
**Lavado, pesaje y fusión del oro en el Antiguo Egipto.**



Fuente.- VALIENTE BARDERAS Antonio y STIVALET CORRAL Rudi Primo, El poder de la transformación, México D.F., Facultad de Química, 2011.

## El arte del vidrio en el antiguo Egipto

Este arte tiene un origen muy antiguo entre los egipcios, como resulta evidente en los cántaros u ornamentos encontrados en las tumbas. Algunas pinturas en las tumbas y templos han sido interpretadas como descriptivas del proceso de soplado de vidrio. Algunas pinturas también ilustran la fabricación de varas, cuentas, jarras y otras figuras formadas aparentemente cubriendo un molde de arcilla con vidrio y luego removiendo la arcilla.

Los artículos de vidrio egipcios eran de vidrios coloreados a menudo hermosamente decorados. De los análisis de los artículos de vidrio del antiguo Egipto se encontró que, generalmente, el vidrio era de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{CaO}$ . Científicos franceses analizaron un vaso de la cuarta dinastía que contenía cantidades apreciables de plomo. También se manufacturaban perlas artificiales hechas de vidrio, en tal cantidad que constituían un artículo importante en el negocio de exportación.

## **Textiles y pigmentos en el antiguo Egipto**

El comienzo del arte del tejido y de la obtención de pigmentos y colorantes se ha perdido en la antigüedad. El ropaje de las momias que se conserva en algunos museos, evidencian la habilidad del tejedor y la calidad del teñido.

El análisis químico de los pigmentos en las paredes de las tumbas, templos y otras estructuras que han estado protegidas de la exposición al clima y de las superficies decoradas de las cerámicas ha dado un conocimiento bastante completo de los materiales usados para esos propósitos. Se ha encontrado que los egipcios obtuvieron una serie de sustancias químicas minerales y vegetales para usarlas como pigmentos, por ejemplo el color rojo mostró ser óxido de hierro, uno de los amarillos era arcilla con hierro u ocre amarillo, uno de los azules era vidrio molido y un azul pálido era carbonato de cobre.

## Desarrollo de perfumes y esencias en el antiguo Egipto

A lo largo de la antigüedad, los egipcios fueron famosos por sus esencias y perfumes. Egipto era considerado el país más desarrollado para la fabricación de dichos productos. Como la destilación del alcohol no se conoció hasta el siglo IV d.C. las esencias se extraían macerando plantas, flores o astillas de maderas aromáticas en aceite, para obtener aceite esencial, que luego era agregado a otros aceites o grasas. Los materiales se colocaban en una pieza de tela que luego se retorció fuertemente hasta que se hubiera recuperado la última gota de la fragancia.

Los aceites empleados eran de una gran variedad. Los que más se usaban habitualmente eran el aceite de coco, de ricino y de semillas de ajonjolí. Según Teofrasto<sup>2</sup>, que hizo un cuidadoso estudio de las sustancias aromáticas, en un ensayo referido a las fragancias, el aceite de coco era el más apropiado para la elaboración de estas. Uno de los perfumes egipcios más famosos se elaboraba en la ciudad de Mendes<sup>3</sup>, en el delta del Nilo, desde donde luego se exportaba a otros países.

---

<sup>2</sup> Filósofo griego que vivió del año 371 al 287 a.C. Es famoso por realizar la primera clasificación sistemática de las plantas.

<sup>3</sup> Fue una antigua ciudad egipcia en la zona del delta del Nilo que corresponde a la moderna Tell el-Ruba.

## Desarrollo de cosméticos en el Antiguo Egipto

Los cosméticos son tan viejos como la vanidad. En Egipto su uso puede ser rastreado hasta el período más antiguo. La limpieza y la apariencia personal fueron altamente apreciadas en el antiguo Egipto y en los servicios sacerdotales la limpieza estaba estrictamente prescrita. Los sacerdotes tenían que lavarse varias veces al día. En un clima muy cálido los materiales desodorantes tenían mucha demanda.

La apariencia del cabello era de extrema importancia por lo que, además del cuidado diario se usaba un fijador a base de cera de abeja y resina. Tanto hombres como mujeres afeitaban sus vellos con navajas o se depilaban con cremas a base de diversos aceites naturales. Las mujeres usaban sombra para los ojos hecha a base de malaquita lo que le daba un tinte verdoso. Se usaba pintura para labios a base de grasa y rojo ocre y esmalte para uñas, probablemente a base de henna<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Es un tinte natural de color rojizo que se emplea para teñir el cabello y piel.

## LA QUÍMICA EN LA ANTIGUA GRECIA

Hacia el año 600 a.C., el sutil e inteligente pueblo griego dirigía su atención hacia la naturaleza del Universo y la estructura de los materiales que lo componían. Los eruditos griegos o filósofos (amantes de la sabiduría) estaban más interesados en el porqué de las cosas que en la tecnología y las profesiones manuales. En resumen fueron los primeros que se enfrentaron con lo que ahora llamamos “teoría química”.

El primer teórico fue Tales (aproximadamente 640-546 a. de C.). Tales fue un filósofo griego nacido en Mileto (Jonia), región situada en el Egeo, la costa oeste de lo que hoy es Turquía. Tales se planteó la siguiente cuestión: si una sustancia puede transformarse en otra tal y como un trozo de mineral azulado puede transformarse en cobre rojo, ¿cuál es la naturaleza de la sustancia resultante? ¿Es de cobre o de piedra azulada? ¿O quizá ambas cosas a la vez? ¿Puede cualquier sustancia transformarse en otra mediante un número determinado de pasos, de tal manera que todas las sustancias no serían diferentes aspectos de una materia básica?

Para Tales la respuesta a la última cuestión era afirmativa, porque de esta manera podía introducirse en el Universo un orden y una simplicidad básica. Quedaba entonces por decidir cuál era esa materia básica o “elemento”. Tales decidió que este elemento era el agua. De todas las sustancias, el agua es la que se encuentra en mayor cantidad sobre la tierra. La tesis de Tales sobre la existencia de un elemento a partir del cual se formaron todas las sustancias encontró mucha aceptación entre los filósofos posteriores. No así, sin embargo, el que este elemento tuviera que ser el agua.

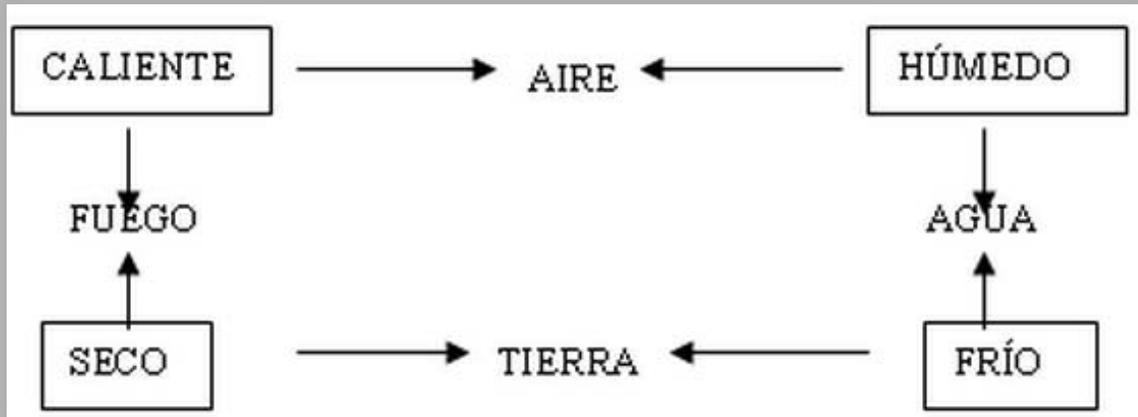
Los griegos no aceptaban la noción de vacío y por tanto no creían que en el espacio que hay entre la tierra y el cielo pudiera no haber nada. Como en la parte del espacio que el hombre conocía había aire, parecía razonable suponer que también lo hubiese en el espacio desconocido. Tal razonamiento llevó a Anaxímenes, también de Mileto, a la conclusión, hacia el 570 a.C., de que el aire era el elemento constituyente del universo. Postuló que el aire se comprimía al acercarse entre sí, formando así sustancias más densas como el agua.

Por otra parte el filósofo Heráclito (aproximadamente 540-475 a.C.), de la vecina ciudad de Éfeso, tomó un camino diferente. Heráclito planteó la siguiente cuestión: si el cambio es lo que caracteriza al universo, hay que buscar un elemento en el que el cambio sea más notable. Esta sustancia, para él, era el fuego, en continua mutación, siempre diferente a sí mismo. La fogosidad y el ardor presidían todos los cambios.

Empédocles (aproximadamente 490-430 a. de C.), nacido en Sicilia, fue un destacado discípulo de Pitágoras, que también trabajó en torno al problema de cuál es el elemento a partir del cual se formó el universo. Las teorías propuestas por sus predecesores de la escuela jónica lo pusieron en un compromiso, porque no veía de qué manera iba a decidirse por una u otra. Pero, ¿Por qué un solo elemento? ¿Y si fueran más? Podían ser el fuego propuesto por Heráclito, el aire de Anaxímenes, el agua de Tales y la tierra, que añadió el propio Empédocles.

Aristóteles (384-322 a.C.), el más influyente de los filósofos griegos, aceptó esta teoría de los *cuatro elementos*. Aristóteles concibió los elementos como combinaciones de dos pares de propiedades opuestas: frío y calor, humedad y sequedad. Las propiedades opuestas no podían combinarse entre sí. De este modo se forman cuatro posibles parejas distintas, cada una de las cuales dará origen a un elemento: calor y sequedad originan el fuego; calor y humedad, el aire; frío y sequedad, la tierra; frío y humedad, el agua. Sobre este esquema Aristóteles avanzó todavía un paso más al afirmar que cada elemento tiene una serie de propiedades específicas que le son innatas.

**Figura II**  
**Ejemplificación de la teoría de los cuatro elementos**



Referencia de la imagen.- Elaboración propia

Los cuerpos celestes presentaban características que parecían diferentes de las sustancias de la tierra. Aristóteles supuso que los cielos deberían estar formados por un quinto elemento, que llamó "éter" (término que proviene de una palabra que significa *resplandecer*, ya que lo más característico de los cuerpos celestes es su luminosidad). Como los cielos no parecían cambiar nunca, Aristóteles consideró al éter como perfecto, eterno e incorruptible, lo que lo hacía muy distinto de los cuatro elementos imperfectos de la tierra.

## LOS ÁTOMOS

La divisibilidad de la materia fue otro importante tema de discusión entre los filósofos griegos. Los trozos de una piedra partida en dos, incluso reducida a polvo, siguen siendo piedra y cada uno de los fragmentos resultantes puede volver a dividirse. Estas divisiones y subdivisiones ¿pueden continuar indefinidamente?

El jonio Leucipo (aproximadamente 450 a.C.) fue el primero en poner en duda la suposición de que cualquier trozo de materia, por muy pequeño que sea, siempre puede dividirse en trozos aún más pequeños. Leucipo sostuvo que finalmente una de las partículas obtenidas podía ser tan pequeña que ya no podría seguir dividiéndose. Su discípulo Demócrito (aproximadamente 470-380 a.C.), afincado en Abdera, ciudad al norte del Egeo, continuó en esta línea de pensamiento. Llamó *átomos*, que significa indivisible, a las partículas que habían alcanzado el menor tamaño posible.

Esta doctrina que defiende que la materia está formada por pequeñas partículas y que no es indefinidamente divisible, se llama *atomismo*. Demócrito supuso que los átomos de cada elemento eran diferentes en tamaño y forma, y que eran estas diferencias las que conferían a los elementos sus distintas propiedades. Así pues Demócrito postulaba que las sustancias existentes en el universo están compuestas de mezclas de átomos de diferentes elementos y una sustancia puede transformarse en otra alterando la naturaleza de la mezcla.

Así, en la antigua Grecia se dieron dos teorías que trataban de explicar la esencia de la materia; una, la atomista defendida por Demócrito y la otra de los cuatro elementos: tierra, aire fuego y agua de Aristóteles. La teoría de Aristóteles prevaleció pues se adaptaba más a las creencias de prácticamente todas las culturas del mundo antiguo, por eso la teoría atomista se hizo impopular y apenas se volvió a tener en cuenta hasta dos mil años después de Demócrito resultando triunfante esta vez.

## LA ALQUIMIA

En la época de Aristóteles, Alejandro Magno de Macedonia<sup>5</sup> conquistó el vasto imperio Persa. El imperio de Alejandro Magno se disgregó después de su muerte en el año 323 a.C., pero los griegos y macedonios mantuvieron el control de grandes áreas de Oriente Próximo. Durante varios siglos conocidos como el *Periodo Helenístico*, tuvo lugar una fructífera mezcla de culturas.

Ptolomeo, uno de los generales de Alejandro Magno, estableció un reino en Egipto, cuya capital fue la ciudad de Alejandría. En Alejandría, Ptolomeo y su hijo (Ptolomeo II) levantaron un templo a las Musas (el *Museo*) que cumplía con el mismo fin de lo que hoy llamaríamos instituto de investigación y universidad. Junto a él se construyó la mayor biblioteca de la antigüedad.

Al arte que trataba de explicar la transformación y los cambios de las sustancias se le comenzó a llamar *khemeia*. Como el arte de la *khemeia* parecía tan estrechamente ligado con la religión, el pueblo llano consideraba a sus practicantes adeptos de artes secretas y partícipes de un saber peligroso.

---

<sup>5</sup> Fue un Estado griego de la antigüedad clásica, en el norte de la actual Grecia.

La palabra *khemeia*, proviene, al parecer, del egipcio *keme* y significa *tierra negra*, que puede ser tanto la denominación del propio país de Egipto, como el símbolo de la materia prima de los alquimistas. También podría ser que la expresión derivara del griego *chyma*, que significa *fundir* o *derretir*.

Así el astrólogo con su inquietante conocimiento del futuro, el practicante de lo que más tarde se llamaría alquimia con su aterradora habilidad para alterar las sustancias y los sacerdotes con sus secretos sobre los dioses y posibilidad de invocar castigos divinos servían como modelos de cuentos populares de magos, hechiceros y brujos.

Poco a poco el misticismo se fue relacionando con la naturaleza de la materia, por ejemplo: había siete cuerpos celestes conocidos como *planetas* y también eran siete los metales conocidos: oro, plata, cobre, hierro, estaño, plomo y mercurio. Pareció atractivo emparejarlos y así los cambios químicos se incluyeron en una corriente esotérica relacionada a los astros que existían en el firmamento.

El primer practicante de la *khemeia* greco-egipcia que conocemos fue Bolo de Mendes (aproximadamente 200 a. de C.). Bolo se dedicó a lo que se había convertido en el principal objetivo de la *khemeia*: la transformación de cualquier metal común en oro (transmutación). A través de los siglos muchas personas se esforzaron en hallar el medio para producir oro.

Durante la dominación romana el arte de la *khemeia* entró en declive, junto con la decadencia general del conocimiento griego. Otra razón del declive de la *khemeia* es que con el nacimiento de la Cristiandad, el “pensamiento pagano” cayó en desgracia. El arte de la *khemeia*, por su estrecha relación con la religión del antiguo Egipto, se hizo particularmente sospechoso, convirtiéndose en una práctica clandestina.

En el siglo VII los árabes entraron en escena. Hasta entonces habían permanecido aislados en su península desértica, pero ahora, estimulados por la nueva religión del islam fundada por Mahoma, se extendieron en todas direcciones. Sus ejércitos victoriosos conquistaron extensos territorios del oeste de Asia y norte de África. En el 641 d.C. invadieron Egipto y tras rápidas victorias ocuparon todo el país; en los años siguientes Persia sufrió el mismo destino.

En árabe *khemeia* se convirtió en al-kimiya, siendo “al” el prefijo correspondiente a “la”. Finalmente la palabra se adoptó en Europa como alquimia y las personas que trabajaban en este campo eran llamados alquimistas. Ahora el término alquimia se aplica a todo el desarrollo de la química entre el 300 a.C. y el 1600 d.C., es decir un periodo de casi dos mil años.

El más célebre alquimista musulmán fue Jabir ibn-Hayyan. La mayor influencia de Jabir reside en sus estudios relacionados con la transmutación de los metales. Consideraba que el mercurio era el metal por excelencia, ya que su naturaleza líquida le confería la apariencia de poseer una proporción mínima de “material terroso”. Por su parte, el azufre poseía la notable propiedad de ser combustible y además poseía el color amarillo como el oro. Jabir creía que los diversos metales estaban formados por mezclas de mercurio y azufre y solamente restaba hallar algún material que facilitase la mezcla mercurio y azufre en la proporción necesaria para formar oro.

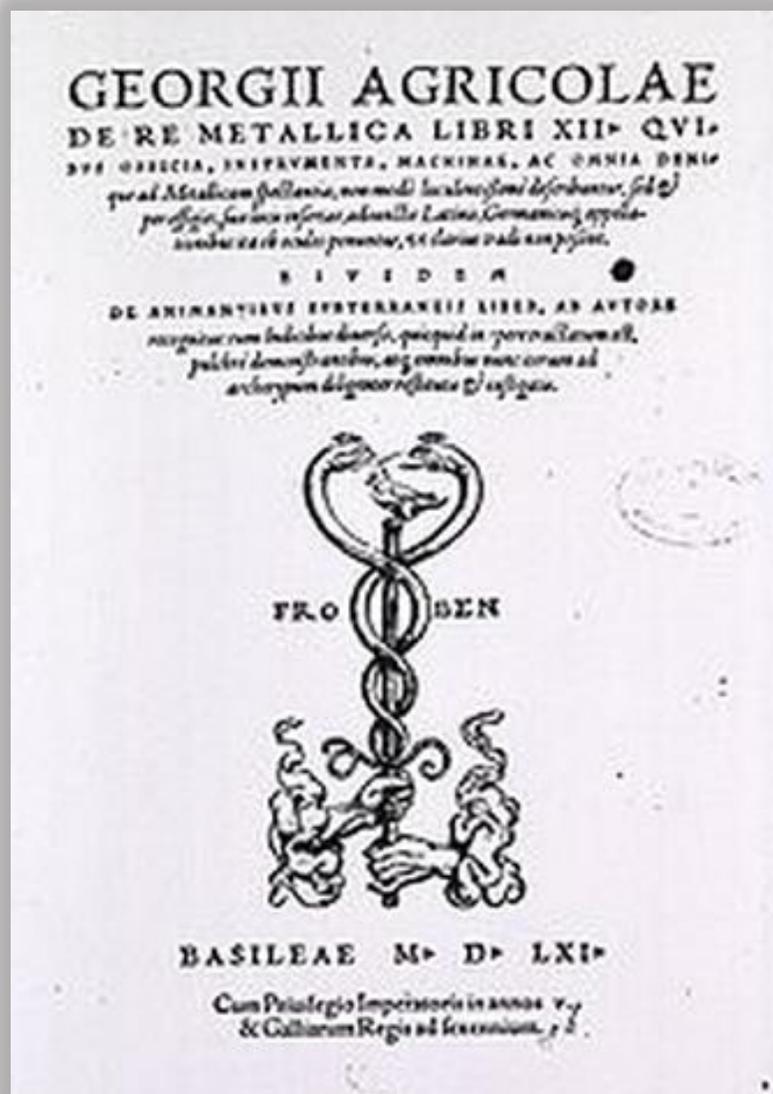
La antigua tradición sostenía que esta sustancia activadora de la transmutación era un polvo seco. Los griegos lo llamaban *xerion*, derivado de la palabra griega correspondiente a “seco”. Los árabes la cambiaron por *al-iksir*, y en Europa se convirtió finalmente en elixir. En Europa esta sustancia fue conocida también como la *piedra filosofal*.

Se creía que el sorprendente elixir poseía otras maravillosas propiedades y surgió la idea de que constituía un remedio para todas las enfermedades y que podía conferir la inmortalidad. Por ello se habla del *elixir de la vida* y los alquimistas que trataban de producir oro también querían conseguir la inmortalidad.

De los árabes la alquimia pasa a la Europa medieval. Así pues, a partir de 1200 aproximadamente los escolásticos europeos pudieron asimilar los hallazgos alquimistas del pasado e intentar avanzar con ellos. El descubrimiento de los ácidos minerales fuertes fue el adelanto más importante de la época. Los europeos lograron llevar a cabo muchas reacciones químicas y disolver numerosas sustancias con ayuda de los ácidos minerales fuertes, cosa que no pudieron conseguir los griegos ni los árabes con el vinagre, el ácido más fuerte de que disponían.

Georg Bauer (1494-1555) se interesó en la mineralogía por su posible conexión con los fármacos. De hecho la conexión entre la medicina y los fármacos y la combinación médico-mineralogista fue un rasgo destacado de la química durante los dos siglos y medio siguientes. Bauer es más conocido como Agrícola que en latín quiere decir campesino (lo mismo que Bauer en alemán). El libro de Agrícola *De Re Metallica (Sobre la Metalurgia)* se publicó en 1556 y en él se reúnen conocimientos prácticos sobre diversos minerales. *De Re Metallica*, el más importante trabajo sobre tecnología química anterior a 1700 d.C. estableció la mineralogía como ciencia.

Figura III  
El libro *De Re Metallica*



Referencia de la imagen.- <http://www.minrec.org/libdetail.asp?id=15>

Más tarde Johann Rudolf Glauber (1604-1668), descubrió un método para preparar ácido clorhídrico por medio de la acción del ácido sulfúrico sobre la sal común. En el proceso obtuvo un residuo, el sulfato sódico, que actualmente se sigue llamando “sal de Glauber”. Glauber se familiarizó con esta sustancia, la estudió intensivamente y advirtió su actividad laxante. La llamó “sal mirabile” (sal maravillosa) y la consideró un curalotodo, casi el elixir de la vida.

Glauber se dedicó a la fabricación de este compuesto, así como de otros que consideró de valor medicinal y que también resultaron ser de gran valor como modo de ganarse la vida. Si bien esta ocupación era menos espectacular que la fabricación de oro, resultó más útil y provechosa.

La realidad económica hablaba a gritos incluso para aquellos que se mostraban impenetrables al razonamiento científico. Había demasiado de útil y provechoso en el conocimiento de los minerales y las medicinas como para perder el tiempo en una interminable carrera de locos tras el oro. De hecho, en el curso del siglo XVII la alquimia entró en franca decadencia y en el siglo XVIII se transformó en lo que hoy llamamos química.

## LA TRANSICIÓN: DE LA ALQUIMIA A LA QUÍMICA

Con todo y a pesar de su avance, el conocimiento químico quedó retrasado respecto a otras ramas de la ciencia. La importancia de las mediciones cuantitativas y de la aplicación de técnicas matemáticas a otras ciencias había permitido su rápido desarrollo desde muy antiguo, tal es el caso de la astronomía y la física por ejemplo.

El científico italiano Galileo Galilei (1564-1642), que en los años 1590-1599 estudió el comportamiento de los cuerpos durante su caída, protagonizó espectacularmente la aplicación de las matemáticas y las mediciones cuidadosas a la física. Los resultados de su trabajo condujeron, casi un siglo después, a las importantes conclusiones del científico inglés, Isaac Newton (1642-1727). En su libro *Principia Mathematica*, publicado en 1687, Newton introdujo sus tres leyes del movimiento, que durante más de dos siglos sirvieron como base a la ciencia de la mecánica. En el mismo libro Newton presentó su teoría de la gravitación la cual continúa siendo válida en nuestros días. En relación con esta teoría Newton utilizó el cálculo infinitesimal, una nueva y poderosa rama de las matemáticas que él mismo ideó.

Con Newton, la revolución científica alcanzó su climax, sin embargo, este cambio de la descripción meramente cualitativa a las cuidadosas mediciones cuantitativas no se registró en la química hasta un siglo después del trabajo de Newton. De hecho, Newton, mientras construía la estructura de la astronomía y la física permanecía inmerso en la alquimia buscando ardientemente recetas para fabricar oro por transmutación.

## Los gases

El físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) logró probar, en 1643, que el aire ejercía presión. Demostró que el aire podía sostener una columna de mercurio de setenta centímetros de altura y con ello inventó el barómetro.

Robert Boyle (1627-1691) publicó en 1622 la Ley de Boyle<sup>6</sup>. En sus experimentos, Boyle halló que el volumen de una muestra de aire variaba con la presión según una proporción inversa simple y lo descubrió vertiendo mercurio gota a gota en un tubo muy largo, de construcción especial y dejando una muestra de aire en el extremo corto, cerrado. Si se añadía suficiente mercurio como para someter al aire a una presión doble, el volumen del aire encerrado se reducía a la mitad. Si la presión se triplicaba, el volumen se reducía a un tercio. Por otra parte si se reducía la presión el aire se expandía.

Boyle no especificó que la temperatura debe mantenerse constante para que dicha ley sea válida. El físico francés Edme Mariotte (1630-1684), que descubrió independientemente la Ley de Boyle hacia el año 1680 especificó que la temperatura debe mantenerse constante. Por esta razón, en la Europa continental se alude con frecuencia a la ley de Boyle como la Ley de Mariotte.

---

<sup>6</sup> Establece que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, cuando la temperatura es constante.

Si bien el tratamiento que se les dio a los gases en estos estudios fue meramente físico, los estudios de Boyle marcan el final de los términos alquimia y alquimista. Boyle suprimió la primera sílaba del término alquimia en su libro *El químico escéptico*, publicado en 1661. Desde entonces, la ciencia fue la Química y los que trabajaban en este campo eran los químicos.

Gracias a los experimentos de Boyle el atomismo comenzó a renacer ya que al ver que el aire podía comprimirse con facilidad, surgió el planteamiento de que la compresión del aire significaría simplemente la supresión del espacio vacío en el volumen, colocando a los átomos en estrecho contacto.

Los numerosos e importantes descubrimientos hechos en relación con los gases tenían que ser reunidos en una teoría global, lo que ocurrió hacia finales del siglo XVIII. Su autor estaba en escena. Era el químico francés Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Desde el principio de sus investigaciones químicas, Lavoisier reconoció la importancia de las mediciones precisas. Lavoisier calentó metales como el estaño y plomo en recipientes cerrados con una cantidad limitada de aire. Ambos metales desarrollaron en su superficie una capa de calcinado hasta un momento determinado que ya no avanzaba más, al final el calcinado pesaba más que el propio metal, pero todo el recipiente (calcinado, aire, etc.) pesaba lo mismo que antes de calentarlos. De este resultado se dedujo que si el metal había ganado peso al calcinarse parcialmente, entonces algo en el recipiente tenía que haber perdido una cantidad de peso equivalente.

Lavoisier notó, en efecto, que si en el curso de los experimentos se tenían en cuenta todas las sustancias que tomaban parte en la reacción química y todos los productos formados, nunca habría un cambio de masa. Por eso Lavoisier sostuvo que la masa no se creaba ni se destruía, simplemente cambiaba de unas sustancias a otras. Esta es la *Ley de la conservación de la masa*, que sirvió de piedra angular a la Química del siglo XIX.

En 1789 Lavoisier publicó el *Tratado elemental de Química*, el cual aportó al mundo una visión unificada del conocimiento químico según sus nuevas teorías, nomenclatura y descubrimiento. Este tratado fue el primer texto moderno de química. Entre otras cosas, el libro incluía una lista de todas las sustancias consideradas como elementos hasta entonces. Debido a sus aportaciones Antoine Laurent Lavoisier es considerado como el padre de la Química Moderna.

En 1799 Joseph-Louis Proust (1754-1826) demostró que el carbonato de cobre, por ejemplo, contenía cobre, carbono y oxígeno en proporciones definidas de masa, no importando cómo se hubiera preparado en el laboratorio ni cómo se hubiera aislado de las fuentes naturales, así formuló la generalización de que todos los compuestos contenían elementos en ciertas proporciones definidas y no en otras combinaciones, independientemente de las condiciones bajo las que se hubiesen formado. Esto se llamó la *Ley de las proporciones definidas* o a veces *Ley de Proust*.

En 1803 el químico inglés John Dalton (1766-1844) publicó *la Ley de las proporciones múltiples*, la cual señala que dos elementos pueden combinarse en más de una proporción, en cuyo caso exhiben una gran variación de proporciones de combinación y en cada variación se forma un compuesto diferente. Por ejemplo el oxígeno y carbono se pueden combinar en proporciones distintas para forman monóxido de carbono y dióxido de carbono. La ley de las proporciones múltiples encaja perfectamente con las nociones atomistas.

En 1808 Dalton publicó *Un nuevo sistema de filosofía química*, en el que discutía con gran detalle su teoría atómica la cual expresaba que toda la materia se componía de partículas extremadamente pequeñas llamadas átomos y que todos los átomos de un elemento son iguales y estos difieren de los átomos de cualquier otro elemento.

En 1811 el químico italiano Amadeo Avogadro (1776-1856) propuso lo que se conoce como la *Hipótesis de Avogadro* la cual da por sentado que números iguales de partículas de un gas, a una temperatura dada, darán siempre volúmenes iguales, independientemente del gas que se trate.

## LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Los sectores industriales modernos son el resultado de la gran Revolución Industrial que comenzó en Inglaterra en el siglo XVII y que transformó para siempre los métodos de producción empleados por el hombre. Los pequeños talleres artesanales fueron desapareciendo para ser reemplazados por grandes fábricas, en las cuales trabajaban cientos de obreros y donde se alcanzaban grandes producciones en un tiempo menor.

Antes de la Revolución Industrial existían únicamente tres fuentes principales de energía. Los campesinos utilizaban grandes animales tales como caballos y bueyes para arar la tierra, se colocaban grandes ruedas en los ríos para que estas fueran movidas por la corriente de agua y el hombre desempeñaba todas las tareas restantes con su propia fuerza.

El importante crecimiento experimentado por la economía británica en los siglos XVI y XVII había tenido como efecto una dramática escasez de madera, por lo que se comenzaba a recurrir al carbón vegetal como fuente de energía alternativa. El crecimiento acelerado de la economía inglesa en el siglo XVIII incrementó la demanda. Pareció entonces evidente que el carbón mineral, muy abundante y de gran calidad en el país era la única solución sin embargo el uso de este recurso planteaba un doble problema.

En primer lugar, la tecnología existente hacía casi imposible su extracción de las minas más profundas pues no se conocía un método eficaz de bombeo de agua. En segundo lugar, tampoco existía algún método que permitiera valerse de él como combustible en los altos hornos de fundición de hierro.

En 1698, el ingeniero militar Thomas Savery había ideado un mecanismo, al que llamó con toda intención “la amiga del minero”, capaz de extraer agua de las minas, pero tenía una gran tendencia a explotar además de que era extremadamente ineficiente, por lo que no llegó a introducirse con éxito en el sector.

Diez años más tarde, en 1708, Thomas Newcomen, de profesión ferretero, patentó la primera máquina de vapor, que pudo probar tiempo después en una veta de carbón de Staffordshire. Pero, aunque se trataba de una gran innovación técnica que impulsaba de forma notable la producción de carbón, presentaba también grandes inconvenientes. En primer lugar, era tan grande que requería de un edificio aparte para su instalación, además, era térmicamente ineficiente ya que la condensación del vapor se realizaba en el mismo cilindro motriz, calentándolo tanto que era necesario enfriarlo de manera continua.

El inconveniente no se resolvió hasta 1769. Fue entonces cuando el técnico de la Universidad de Glasgow James Watt patentó una nueva máquina de vapor en la que el enfriamiento del mismo se realizaba de forma independiente del cilindro motriz, en un condensador externo, lo que reducía de forma apreciable el consumo de combustible. La máquina de Watt permitió un incremento exponencial de la producción de carbón en Inglaterra en las décadas siguientes, tal como se muestra en la tabla I.

**Tabla I**  
**Producción de carbón mineral en Inglaterra entre 1700 y 1829**

Año	1700	1750	1800	1829
<b>Producción (miles de toneladas)</b>	2.50	4.75	10	16

Fuente.- ASHTON, Thomas Southcliffe. *La Revolución Industrial*, 1973. p. 50.

La máquina de Watt había resuelto parte del problema al hacer posible el suministro de carbón para los hornos, pero de poco servía ese suministro si no se desarrollaba una técnica capaz de utilizar el carbón mineral en lugar de madera. En 1784 Henry Cort, un metalúrgico de Lancaster, perfeccionó un proceso denominado pudelación que permitía obtener un hierro forjado de gran calidad a partir de hierro fundido. A partir de ese momento fue posible fabricar objetos y piezas metálicas de todos los tamaños y con un gran número de aplicaciones, condición imprescindible para el desarrollo ilimitado de la industria. En la tabla II se puede observar el crecimiento de la producción de hierro en Inglaterra entre 1740 y 1830.

**Tabla II**  
**Producción de hierro en Inglaterra entre 1740 y 1830**

Año	1740	1760	1780	1800	1820	1830
Producción (Miles de toneladas)	18	28	40	150	400	700

Fuente.- CIPOLLA, Carlo María. *The Fontana Economic History of Europe*, vol 3. p. 201.

La Revolución Industrial trajo consigo grandes cambios para la industria textil. Hasta antes de la Revolución Industrial, la fabricación de ropa era una técnica artesanal muy lenta. La manufactura textil incluía tres fases principales: el hilado de algodón, su tejido y por último el teñido de las telas resultantes. De las tres, la que sufría un mayor atraso era la primera, que aún seguía valiéndose de los tradicionales husos medievales, a los que se había sumado más tarde la rueca.

En 1733 un mecánico de Lancashire llamado John Kay inventó la llamada “lanzadera volante” la cual incrementó la velocidad del tejido. El desequilibrio entre el hilado de algodón y el tejido (haciendo uso de la lanzadera volante) era tal que por cada tejedor se requerían diez personas ocupadas en hilar algodón para nutrir al telar. Era necesario pues, sustituir el procedimiento de hilado tradicional por uno más rápido de forma que su ritmo se igualara al del tejido y fuera así posible satisfacer la demanda creciente de telas.

En 1764 James Hargreaves, un carpintero tejedor de Blackburn, en Lancashire, inventó una máquina conocida como “spinning Jenny” que permitía el hilado de ocho hilos a la vez. Sin embargo, la torsión del hilo no era del todo satisfactoria. Cinco años más tarde Richard Arkwright patentó una máquina llamada “water frame” (bastidor de agua) que podía ya funcionar valiéndose de la energía hidráulica y sin interrupciones lo que aceleró aún más la producción del hilo, ahora con buena torsión pero demasiado rígido.

La mejora definitiva se produjo en 1785 cuando Samuel Crompton, un tejedor de Bolton, aunó las ventajas de ambas máquinas en su “mule Jenny”, que no sólo logró producir un hilo mucho más fino y homogéneo que sus predecesoras, sino que disparó la velocidad de hilado al valerse por primera vez para funcionar de la máquina de vapor inventada por Watt.

**Tabla III**  
**Evolución de la industria textil inglesa del algodón por periodos (1695-1821)**

Periodo	1695-1704	1740-1749	1772-1774	1798-1800	1805-1807	1819-1821
Importación de algodón (millones £)	1.14	2.06	4.2	41.8	63.1	141.0

Fuente.- BERG, Maxine. *La era de las manufacturas*, p. 32.

Las crecientes necesidades de movimiento de mercancías hicieron necesaria la construcción de nuevos medios de transporte. Un avance técnico de gran relevancia fue el ferrocarril o mejor dicho, la sustitución de la tracción animal por la locomotora de vapor como fuerza motriz del transporte terrestre sobre rieles.

El desarrollo del ferrocarril impulsado por vapor tuvo varios intentos fallidos hasta que la tecnología adecuada estuvo disponible. En 1804, el ingeniero de minas Richard Trevithick patentó la primera locomotora impulsada por vapor, la “Pen-y-darran”, de escasa potencia y un peso tan elevado que deformaba los frágiles rieles de hierro colado sobre los que circulaba. Bastante tiempo después, en 1826 Timothy Hackworth, un herrero de Newcastle creó la “Royal George” que apenas tenía pequeños avances sobre la máquina de Trevithick.

Fue hasta 1829 cuando Robert Stephenson logró resolver con la “Rocket” los problemas de sus predecesoras al conciliar por fin una potencia y velocidad aceptables con un peso lo bastante ligero para circular sin problemas sobre los rieles de hierro colado de que se disponía entonces. Al año siguiente, en 1830, Inglaterra inauguraba la primera línea de ferrocarril de todos los tiempos, la cual unía las ciudades de Manchester y Liverpool.

**Tabla IV**  
**La expansión de los ferrocarriles entre 1840 y 1900**  
**(Datos en millas)**

Año	Gran Bretaña	Francia	Alemania	Estados Unidos
1840	830	360	341	2.820
1850	6620	1890	3640	9020
1860	10430	5880	6980	30630
1870	15540	9770	11730	53400
1880	17935	14500	20690	84393
1890	20073	22700	26750	161397
1900	21855	25000	32330	194262

Fuente.- COLE, George Douglas Howard. *Introducción a la historia económica*, 1963.

Los historiadores consideran que alrededor del año 1880 se produjeron acontecimientos suficientemente relevantes como para asumir que se había iniciado una Segunda Revolución Industrial. Tres acontecimientos importantes ocurrieron entonces: El proceso Bessemer para producir acero en 1856, el perfeccionamiento de la dínamo en 1873 y la invención del motor de combustión interna por Otto en 1876. Estas innovaciones tecnológicas fueron acompañadas por otro tipo de transformaciones que definieron la época. De ellas, dos son sumamente importantes: la masificación de la producción industrial y el creciente predominio de la ciencia como fundamento de la tecnología.

El agotamiento de complejo tecnológico construido sobre el carbón y la máquina de vapor, dejó paso a un nuevo complejo en el que el protagonismo absoluto correspondió al petróleo y la electricidad, con el motor de combustión interna como heredero de la vieja máquina de Watt. La electricidad se convirtió en la fuente de energía que movía la inmensa mayoría de las fábricas ahora dotadas de cadenas más o menos automáticas, así como la condición indispensable para el desarrollo de un sinnúmero de nuevos sectores como la radio, la televisión y la informática.

Sin la electricidad no habría sido posible el desarrollo de otro gran conglomerado de sectores creados sobre el motor de combustión, que utiliza petróleo refinado como combustible, pero requiere sistemas eléctricos de mayor o menor complejidad para funcionar.

En cuanto al petróleo, es obvio que se encuentra en la base de una verdadera revolución de los transportes. El motor de combustión fue adaptado a ferrocarriles, de modo que la locomotora a vapor dejó paso al diésel. El petróleo dio lugar a un sector nuevo y de enorme magnitud, como fue el automóvil, erigido en el transcurso de tan sólo unas décadas. Su impacto fue sobre la demanda de otros sectores como la metalurgia, el caucho, la electricidad, el vidrio, las pinturas y muchos otros; Fue tan inmenso el desarrollo producido por el uso del petróleo y sus derivados que casi produjo una Revolución Industrial por sí solo.

La industria química no quedó fuera de la Revolución Industrial. El gran nivel de desarrollo que alcanzó la industria química en esta época resulta lógico si se tiene en cuenta que el crecimiento de la población y la creciente necesidad de alimentos fueron un poderoso estímulo para la aparición de nuevas industrias, las cuales a su vez dieron lugar a una gran demanda de materias primas.

De este modo se originó la industria química pesada la cual fabricaba productos relativamente simples a una escala nunca antes imaginada, dichas sustancias eran fabricadas en las modernas plantas químicas las cuales eran dirigidas por técnicos denominados “químicos industriales” los cuales poseían una gran capacidad para resolver problemas y situaciones relacionados al funcionamiento y producción de la planta, esto gracias a su sólida formación que combinaba elementos de química y de ingeniería mecánica. El químico industrial es el antecedente directo de lo que hoy se conoce como ingeniero químico.

La siguiente síntesis cronológica muestra algunos de los eventos clave en el desarrollo de la industria química en la época de la Segunda Revolución Industrial.

**Tabla V. Cronología de eventos en el desarrollo de la industria química.**

<b>AÑO</b>	<b>ACONTECIMIENTO HISTÓRICO</b>
1789	Nicholas Le Blanc desarrolla su proceso para producción de carbonato sódico a partir de cloruro sódico.
1806	Se construye la primera planta de sosa Le Blanc en Charlefontaine (Francia).
1811	Primera fábrica de gas en Freiburg (Alemania).
1822	Comienza a operar en Inglaterra la primera planta de destilación de alquitrán de hulla.
1831	Phillips descubre en Inglaterra el método de contacto para la producción de ácido sulfúrico.
1839	Goodyear y Hancock descubren el efecto vulcanizante del azufre sobre el caucho natural.
1846	Se consigue sintetizar el ácido acético.
1850	Se fabrica por primera vez la nitroglicerina.
1853	Samuel Kier construye en Pittsburgh la primera refinería de petróleo.
1854	Se extrae y comienza a utilizarse queroseno a partir del petróleo.
1855	Se obtienen aluminio mediante reducción con sodio.
1856	Se comienza a utilizar el procedimiento Bessemer.
1863	Ernest Solvay perfecciona el procedimiento Solvay de obtención de carbonato sódico.
1866	Alfred Nobel descubre la dinamita.
1869	BASF comienza la fabricación de la alizarina (Alemania).
1880	George Davis propone la fundación de la «Society of Chemical Engineers» en Inglaterra.
1883	Osborne Reynolds publica su célebre artículo donde propone su número adimensional.
1889	Se obtienen por primera vez hidróxido sódico y cloro.
1895	Linde desarrolla su proceso para licuación de aire.
1899	Síntesis y comercialización de la aspirina por parte de Bayer.

Fuente.- <http://www2.uah.es/rosal/virtual/otros/Industria%20Qu%EDmica.pdf>

Al pasar del tiempo, la industria química siguió creciendo en tamaño e importancia y fue así que surgió la necesidad de establecer el perfil de aquellos profesionales que se encargarían del continuo desarrollo y mejora de esta rama de la industria. Fueron muchas las personas que contribuyeron a la definición de lo que hoy llamamos Ingeniería Química.

## **NACIMIENTO DE LA INGENIERÍA QUÍMICA**

En 1887 George E. Davis, un inspector de plantas industriales, y considerado el padre de la Ingeniería Química, ofrece 12 conferencias sobre “la operación de los procesos químicos” y convoca a la formación de una nueva profesión: la Ingeniería Química, en la Universidad de Manchester, Inglaterra, en 1888. En 1901 escribe el *Handbook of Chemical Engineering* considerado como el primer texto de la profesión. En 1888 Lewis M. Norton ofrece el primer programa de cursos de Ingeniería Química de 4 años de duración, en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) EUA.

## **OPERACIONES UNITARIAS Y FENÓMENOS DE TRANSPORTE**

El 1915 Arthur D. Little presentó una idea reformista, el concepto de “operación unitaria” cuyo significado se logra comprender con el siguiente enunciado: “Cualquier proceso químico, cualquiera que sea su escala, puede ser resuelto en una serie coordinada de lo que podría denominarse “acciones unitarias” tales como pulverización, mezclado, calentamiento, absorción, precipitación, cristalización, filtración, disolución, etc.

Otro concepto revolucionario dentro de la Ingeniería Química es el de "fenómenos de transporte", dicho concepto terminó de concretarse en 1960 con la publicación del libro Transport Phenomena de R. Byron Bird, Warren E. Stewart, y Edwin N. Lightfoot. La teoría de los fenómenos de transporte sugiere que los procesos relacionados a la Ingeniería Química están gobernados por la transferencia de la cantidad de movimiento, la energía y de la masa.

## **CONTRIBUCIONES DE LA INGENIERÍA QUÍMICA AL SURGIMIENTO DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA MODERNA**

El desarrollo de áreas como operaciones unitarias, fenómenos de transporte, cinética química y termodinámica, permitió grandes avances dentro del campo de la Ingeniería Química y el surgimiento de actividades de bioingeniería dentro de esta. Esta nueva tendencia se inició por un grupo de profesores e investigadores de varias universidades y laboratorios gubernamentales. Estos investigadores se dieron cuenta que los ingenieros químicos podrían hacer contribuciones dentro de áreas distintas a las tradicionales, los ingenieros químicos pronto comenzarían a hacer grandes aportaciones a disciplinas como ciencias bioquímicas y biomédicas así como al estudio y desarrollo de polímeros.

Otros ingenieros químicos condujeron importantes estudios de transferencia de masa en varios dispositivos para filtrado de sangre. Un punto importante en la investigación de Edward Merrill en el MIT en 1959, tiene que ver con su atención a problemas relacionados a difusión de solutos en biomembranas y a aplicaciones de biomembranas para desarrollar dispositivos como riñones artificiales.

Clark Colton y Edward Leonard fueron pioneros en estas áreas. El trabajo realizado por estos dos personajes ayudó a definir gran parte de las propiedades de transporte de diferentes membranas de hemodiálisis. Una celda de difusión fue usada en algunos de los primeros estudios de Colton en el MIT a mediados de la década de 1960 para analizar la permeabilidad del soluto en las membranas de hemodiálisis de los pacientes. Estos estudios permitieron establecer un riguroso y consistente conjunto de protocolos para caracterizar el transporte de masa en las membranas de hemodiálisis. Colton nos proporcionó un mejor entendimiento de cómo algunos solutos pueden ser desechados por hemodiálisis.

Si bien los ingenieros químicos estaban haciendo contribuciones significantes a problemas biomédicos relacionados a las propiedades de transporte, estos también estaban trabajando en problemas biomédicos relacionados a la mecánica de fluidos. Lightfoot resumió varios problemas de fluidos resueltos a través del análisis de la mecánica de fluidos Newtonianos en conductos elásticos lo que más tarde ayudó a comprender el complejo flujo de sangre en las válvulas del corazón.

Otra gran contribución a los estudios del flujo de sangre fue la tesis de doctorado de Ajit Yoganathan en el *California Institut of Technology*, esta tesis permitió que durante los 25 años siguientes, el equipo de trabajo de Yoganathan hiciera mayores contribuciones al entendimiento del flujo de sangre en un corazón artificial. Cuando el modelado matemático de fenómenos biomédicos evolucionó considerablemente en la década de 1980 los ingenieros químicos pudieron hacer aportaciones increíbles a campos como el estudio del cáncer y la arterioesclerosis.

Con un cuidadoso estudio de la transferencia de calor en los tumores, Rakesh Jain desarrolló un grandioso modelo matemático de gradientes de temperatura en tumores y por tanto contribuyó en gran medida a un mejor entendimiento y a la detección del cáncer. En la tabla VI podemos ver algunas de las aportaciones tempranas de ingenieros químicos al campo de la Ingeniería Biomédica.

**Tabla VI.**  
**Aportaciones tempranas de la Ingeniería Química a la Ingeniería Biomédica**

<b>Tema</b>	<b>Investigador</b>	<b>Año</b>
Reología de la sangre	E.W.Merrill, MIT	1959
Diseño del riñón artificial	E. Leonard, Columbia	1959
Estudio de la hemodiálisis	C.K. Colton, MIT	1966
Biomembranas	A.Michaels, MIT	1966
Biomateriales no Trombogénicos	E.W.Merrill, MIT	1967
Efecto de la radiación en biomateriales	A.Hoffman, MIT	1969
Lentes de contacto	N.A. Peppas, Purdue U.	1976
Liberación de proteínas desde una matriz polimérica	R. Langer, MIT	1976
Liberación de fármacos desde hidrogeles	N.A. Peppas, Purdue U.	1979

Fuente.- Peppas, N . A., and Langer R., *Origins and Development of Biomedical Engineering within Chemical Engineering*, AIChE, 2004.

## **La Ingeniería Química y los Biomateriales**

En los primeros días de la Ingeniería Biomédica, los ingenieros químicos fueron pioneros en el desarrollo de la ciencia e ingeniería de los biomateriales. Esto está probablemente asociado con la gran contribución de los ingenieros químicos a la ciencia de los polímeros. De 1965 a principios de la década de 1980, las contribuciones de Allan Hoffman, Edward Merrill, Buddy Ratner, Stewart Cooper, Nicholas Peppas, Robert Langer, Larry McIntire, Michael Sefton, David Tirrell y otros personajes dieron origen al campo de la ciencia de biomateriales. La tabla VII resume algunos grupos de biomateriales a los cuales los ingenieros químicos hicieron contribuciones en la edad temprana de la Ingeniería Biomédica.

**Tabla VII**

**Algunas contribuciones significantivas a la Ciencia e Ingeniería de Biomateriales hechas por Ingenieros Químicos.**

<b>Biomaterial</b>	<b>Investigador</b>	<b>Año</b>
Acetato de celulosa como material para hemodiálisis	C. Colton, MIT	1966
Hidrogeles	A. Hoffman, MIT	1966
	E. Merrill, MIT	1966
Poli vinil alcohol	E. Merrill, MIT	1969
	N. Peppas, Purdue	1975
	M. Sefton, U. Toronto	1976
Poliuretanos	S. Cooper, U. Wisconsin	1972
Poli hidroxietil metacrilato.	A. Ratner, U. Washington	1973
Poli óxido de etileno	E. Merrill, MIT	1974
Poli anhídridos	R. Langer, MIT	1982

Fuente.- Peppas, N . A., and Langer R., *Origins and Development of Biomedical Engineering within Chemical Engineering*, AIChE, 2004.

Las primeras contribuciones en biomateriales involucran a la investigación de Merrill y sus colaboradores, quienes hicieron algunos de los primeros estudios para comprender que factores pueden influir en la compatibilidad de los biomateriales con la sangre que están en contacto. Es decir Merrill condujo los primeros estudios para comprender una idea que más tarde se llamaría *biocompatibilidad*.

Los estudios iniciales de Merrill estudiaban si la heparina podría permitir que una superficie fuera antitrombogénica. Él y otros ingenieros condujeron estudios para analizar si el alto contenido de agua de los hidrogeles podría hacerlos útiles para prevenir la trombogénicidad del biomaterial. Merrill y sus compañeros llevaron a cabo estos estudios haciendo pruebas con polímeros hidrofóbicos como el poli(dimetil-siloxano) sin embargo todos los polímeros con los que trabajó resultaron ser altamente trombogénicos.

En 1974, Merrill y su equipo comenzaron a estudiar el polióxido de etileno (POE) y demostraron que este polímero puede ser usado como un biomaterial. Ellos encontraron que cuando el POE era adsorbido sobre las paredes de un recipiente de vidrio, se prevenía la absorción de ciertas proteínas y otros agentes biológicos de la solución que yacía en el recipiente.

A partir de entonces cientos de ingenieros químicos han desarrollado diversos biomateriales con aplicaciones diferentes. Poniendo a prueba sus conocimientos de las diversas ramas de la química así como la física de fluidos y muchas otras disciplinas. Algunos de los avances más importantes serán tratados por serado posteriormente en el presente trabajo.

## **La Ingeniería Química y la Liberación Controlada de Fármacos.**

Una de las áreas que se ha beneficiado mayormente de las contribuciones de la Ingeniería Química ha sido la liberación controlada de fármacos. En la actualidad estos sistemas tienen ventas del orden de 25 billones de dólares al año y han salvado un sinnúmero de vidas. Alan Michaels, ingeniero químico del MIT y Stanford, fue quizá de los primeros científicos en llevar a cabo estudios que mostraban como algunas membranas pueden controlar la liberación de ciertos fármacos en el organismo. Alan Michaels también fue pionero en los trabajos relacionados al suministro de ciertas moléculas a través de la piel (administración transdérmica de fármacos). Michaels y su equipo de trabajo desarrollaron los primeros métodos para predecir qué clase de fármacos podían ser suministrados a través de la piel.

A principios de la década de 1970 Langer y su equipo de investigación crearon estructuras porosas a base de polímeros hidrofóbicos como el etilen vinil acetato y de otras macromoléculas como péptidos y proteínas. A través de dichas estructuras porosas, las macromoléculas eran liberadas a lo largo de cientos de días. Actualmente estos sistemas representan la forma más común de tratar a pacientes que padecen múltiples enfermedades tales como cáncer, endometriosis y pubertad precoz.

Los ingenieros químicos han contribuido en gran medida a la creación de modelos matemáticos que caractericen el fenómeno de liberación controlada de fármacos. Peppas demostró que una simple relación exponencial describe la liberación de fármacos de la mayoría de los sistemas creados para este fin. Según la matriz donde se encuentra el fármaco o el medio donde este se difundirá, el modelo matemático puede cambiar. Un área de suma importancia en cuanto a la distribución de fármacos en el organismo es la farmacocinética.

### **La Ingeniería Química y la Ingeniería de Tejidos**

Los ingenieros químicos han jugado un papel importante en el desarrollo de procesos para la formación de nuevos tejidos. La idea inicial de esta rama de la Ingeniería Biomédica era la de diseñar un tejido fuera del cuerpo que después pudiera ser trasplantado al cuerpo donde funcionaría igual que el tejido anterior al que está reemplazando. El trabajo de los ingeniero químicos en esta área es de suma importancia y los resultados deben ser cada vez más perfectos ya que hemos llegado al punto en que piel nueva puede ser creada para víctimas con quemaduras graves y donde se hacen implantes de cartílago para que el paciente pueda recuperar el movimiento.

# **CAPITULO II**

## **DESARROLLO DE BIOMATERIALES.**

### **INTRODUCCIÓN A LOS BIOMATERIALES**

Entre los restos de diversas culturas de la antigüedad se han encontrado restos de materiales que han tenido como finalidad reemplazar alguna parte perdida del cuerpo humano como por ejemplo un dedo. De esta manera se puede saber que desde tiempos inmemoriales el ser humano ha buscado la forma de sanar el cuerpo o recuperar funciones perdidas en la guerra o algún accidente haciendo uso de los recursos presentes de forma directa o indirecta en la naturaleza.

Como se mencionaba en el capítulo anterior, En la década de 1960 surgió un grupo de ingenieros químicos que comenzaron a desarrollar polímeros con diversas aplicaciones farmacéuticas. De esta manera surgió lo que hoy en día se conoce como la ciencia de los biomateriales. Desde entonces la ciencia de los biomateriales ha alcanzado niveles asombrosos de perfección en ciertas aplicaciones como piel quemada, huesos fracturados y usos oftalmológicos y tratamientos farmacéuticos.

Se define a un biomaterial como cualquier material de origen natural o sintético que entra en contacto con tejidos, sangre o fluidos biológicos y que está destinado para reemplazar alguna parte o función de un organismo en aplicaciones protéticas, de diagnóstico o terapéuticas sin afectar adversamente al organismo viviente y sus componentes.<sup>7</sup> Los biomateriales que se han desarrollado hasta el día de hoy han tenido un uso diverso en las áreas mostradas en la tabla VIII.

---

<sup>7</sup> Fuente.- Neuman, M. R., *An Introduction to Biomaterials*, CRC Press, Estados Unidos de Norte América, 2012.

**Tabla VIII**

**Algunas aplicaciones de los biomateriales.**

Aplicación	Ejemplo	Imagen
Ortopedia	Fijaciones de acero para fracturas.	
Odontología	Prótesis dentales	
Liberación controlada de fármacos	Parches poliméricos para liberación paulatina de medicamentos	
Ingeniería de tejidos	Piel artificial para sustituir zonas quemadas del cuerpo	
Cardiología	Implantes vasculares	
Oftalmología	Lentes de contacto	

Resulta obvio que no cualquier material puede usarse para reemplazar una función del cuerpo humano, esto se debe a la biocompatibilidad de los materiales. La biocompatibilidad es la capacidad de un material para funcionar de forma apropiada en una aplicación específica del organismo<sup>8</sup>. Para que un material sea biocompatible y por lo tanto pueda ser usado como un biomaterial se tiene que asegurar que no ocurra ninguno de los siguientes casos:

- Causar una reacción peligrosa en el tejido (dolor, inflamación o necrosis)
- Tener una reacción tóxica en el sistema
- Que el material tenga propiedades cancerígenas.

La ciencia de los biomateriales es un asunto interdisciplinario, los biomaterialistas incluyen a físicos, biólogos, cirujanos, odontólogos y por supuesto ingenieros químicos. A continuación se detallarán las propiedades, características y algunas aplicaciones de los biomateriales más comúnmente usados.

---

<sup>8</sup> Fuente.- Neuman, M. R., *An Introduction to Biomaterials*, CRC Press, Estados Unidos de Norte América, 2012.

## **HIDROGELES. PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y SU USO EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA.**

Los hidrogeles son cadenas poliméricas tridimensionales e hidrófilas capaces de hincharse al absorber grandes cantidades de agua o de ciertos fluidos biológicos y de retener a estos. Las cadenas poliméricas que forman a los hidrogeles pueden estar compuestas de un solo tipo de monómero o de varios tipos de monómeros.

Los hidrogeles tienen numerosas aplicaciones particularmente en el sector médico y farmacéutico ya que se asemejan mucho a los tejidos de los seres vivos más que cualquier otro biomaterial, esto se debe a su alto contenido de agua y a su consistencia suave que se asemeja bastante a la de un tejido natural. El gran contenido de agua de estos materiales contribuye en gran medida a su biocompatibilidad. En consecuencia, los hidrogeles pueden usarse para desarrollar lentes de contacto, biosensores, órganos artificiales y mecanismos para el transporte y liberación de ciertos fármacos.

## **Clasificación de los Hidrogeles**

Los hidrogeles pueden clasificarse de acuerdo a la naturaleza electrónica de las moléculas que forman las redes poliméricas, de esta manera los hidrogeles pueden ser neutros o iónicos. Otra manera útil de clasificar a los hidrogeles es de acuerdo al tipo de unidades que forman las cadenas del polímero que da origen al hidrogel, a los hidrogeles cuyas cadenas poliméricas están formadas por un solo tipo de monómero se les conoce como hidrogeles de cadenas homopoliméricas y a aquellos hidrogeles cuyas cadenas poliméricas están formadas por diversos monómeros unidos entre sí se les conoce como hidrogeles de cadenas copoliméricas. Finalmente, los hidrogeles pueden clasificarse de acuerdo a la estructura física y posición espacial de las redes poliméricas que los forman, de esta manera los hidrogeles pueden clasificarse como amorfos, semicristalinos, hidrocoloides e hidrogeles macromoleculares.

## **Monómeros**

Como se mencionó anteriormente, una forma bastante útil de clasificar a los hidrogeles es de acuerdo a la naturaleza electrónica de sus monómeros, así los hidrogeles pueden ser iónicos o neutros. La naturaleza química y el número de las unidades de monómero pueden ser controlados al realizar la síntesis del polímero. Un resumen de los monómeros que más se utilizan en la preparación de hidrogeles en el área farmacéutica se da en la tabla IX.

**Tabla IX**

**Monómeros comúnmente usados en hidrogeles con aplicaciones farmacéuticas.**

<b>ABREVIACIÓN</b>	<b>MONÓMERO</b>
HEMA	Hidroxietil metacrilato
HEEMA	Hidroxietoxietil metacrilato
HDEEMA	Hidroxidietoxietil metacrilato
MEMA	Metoxietil metacrilato
MEEMA	Metoxietoxietil metacrilato
MDEEMA	Metoxidietoxietil metacrilato
DMAEG	Dimetilacrilato de etilenglicol
NVP	N-vinil-2-pirrolidona
AcV	Acetato de vinilo
AA	Acido acrílico
HPMA	N-(2-hidroxipropil) metacrilamida
EG	Etilenglicol
APEG	Acrilato de polietilenglicol
MAPEG	Metacrilato polietilenglicol
DAPEG	Diacrilato de polietilenglicol
DMAPEG	Dimetilacrilato de polietilenglicol

Fuente.- Peppas, N . A., and Langer R., *Origins and Development of Biomedical Engineering within Chemical Engineering*, AIChE, 2004.

A partir de estos monómeros desde 1961 se han desarrollado gran cantidad de polímeros para desarrollar hidrogeles que funcionen como agentes de transporte y liberación controlada de ciertos medicamentos. Los hidrogeles han ganado gran terreno en el sector farmacéutico ya que dichas sustancias pueden interactuar con la capa de mucosa del tracto gastrointestinal, colon, nariz y otras partes del cuerpo debido a que poseen un mayor tiempo de residencia en el sitio de la liberación del fármaco que el fármaco por sí solo.

La interacción entre los hidrogeles y las glicoproteínas presentes en la mucosa es vía puente de hidrógeno, así pues los materiales que contienen un gran número de grupos carboxilo e hidroxilo son los más adecuados para este tipo de aplicación. La difusión del fármaco a través de la interface polímero-mucosa es un fenómeno sumamente importante que tiene que ser considerado para el desarrollo de un hidrogel con finalidad farmacéutica.

## Estructura

La funcionalidad de los hidrogeles como transportadores de fármacos y sus buenos resultados en la mayoría de las aplicaciones se debe principalmente a su estructura. Los parámetros más importantes que se toman en cuenta para caracterizar la estructura de un hidrogel son la fracción de volumen de polímero en el hidrogel ( $v_2, S$ ), masa molar del polímero (MC) y el tamaño promedio de la red que se forma por los entrecruzamientos del polímero ( $\epsilon$ ).

La fracción de volumen del polímero en el hidrogel es una medida de la cantidad de fluido que ha sido retenido por el polímero, formándose así el hidrogel. El peso molecular entre dos entrecruzamientos que pueden ser de naturaleza física o química es una medida del grado del entrecruzamiento entre las cadenas del polímero. Es importante señalar que debido al entrecruzamiento aleatorio que ocurre en el momento de la polimerización, el valor de MC es un promedio y no un valor exacto que defina cada punto del hidrogel.

La distancia entre dos entrecruzamientos adyacentes,  $\epsilon$ , es la medida del espacio disponible entre las cadenas macromoleculares para que exista la difusión del fármaco, este valor también se reporta únicamente como un promedio por las mismas razones que el de MC. Estos parámetros que están relacionados entre sí, se pueden determinar teóricamente o a través del uso de diversas técnicas experimentales.

## **Propiedades físicas, químicas y toxicológicas de los hidrogeles. Factores que afectan el hinchamiento de los hidrogeles**

La razón de entrecruzamiento es uno de los factores más importantes que afectan el hinchamiento de los hidrogeles. Se define como la proporción entre los moles del agente de entrecruzamiento y los moles de las unidades repetidas del polímero. Entre más grande sea la proporción de entrecruzamiento la presencia del agente de entrecruzamiento en la estructura del hidrogel será mayor.

Los hidrogeles altamente entrecruzados o reticulados tienen una estructura más sólida y se hincharán menos que los mismos hidrogeles con proporciones de entrecruzamiento menores. El entrecruzamiento dificulta la movilidad de las cadenas de polímero por lo tanto el grado de hinchamiento del hidrogel disminuye.

La estructura química del polímero también afecta el grado de hinchamiento de los hidrogeles. Aquellos hidrogeles que contengan grupos hidrófilos se hinchan en mayor grado comparados con aquellos hidrogeles que contienen grupos hidrofóbicos. El hinchamiento de los hidrogeles sensibles al medio en el que se encuentran se ve afectado por diversos agentes estimulantes. El hinchamiento de los hidrogeles sensibles a la temperatura se debe a los cambios de temperatura en el medio donde se encuentran y el hinchamiento de los hidrogeles sensibles al pH y a la fuerza iónica se debe a los cambios de pH y de fuerza iónica del medio.

Las propiedades mecánicas de los hidrogeles son sumamente importantes para el uso farmacéutico de estos. Un hidrogel que sea usado como un agente de transporte de algún fármaco debe mantener la integridad de dicho fármaco hasta que se libere justo en el lugar donde se necesita.

## **Aplicación de los hidrogeles en la administración de fármacos**

A partir de la década de 1960 se han propuesto diversas estrategias para lograr una administración de fármacos más efectiva que los métodos tradicionales. Entre dichas estrategias los hidrogeles se han considerado como candidatos perfectos para desarrollar sistemas de liberación controlada de fármacos, sistemas bioadheribles o sistemas de fármacos dirigidos a ciertos tejidos en específico. Los sistemas de liberación de fármacos basados en hidrogeles se pueden usar para administrar diversos medicamentos de forma oral, ocular, epitelial y subcutánea.

La administración de fármacos por la vía oral ha sido el método más común por la cual se han administrado hidrogeles con fines farmacéuticos. A través de la administración peroral, los hidrogeles pueden liberar el fármaco en cuatro sitios específicos: boca, estómago, intestino delgado y colon. Al controlar sus propiedades físicas, químicas y biológicas los hidrogeles pueden ser muy útiles para liberar ciertos fármacos en los sitios que se desee.

Los hidrogeles también pueden adherirse a diversas regiones del tracto gastrointestinal y de esta manera incrementar la concentración local del fármaco y así asegurar la absorción del medicamento en ese sitio.

Por ejemplo, una tableta bioadhesiva está comercialmente disponible bajo el nombre de Aftach®. Este producto se compone de una capa bioadhesiva hecha a base de hidroxipropilcelulosa y poli(ácido acrílico). Este dispositivo es un sistema de liberación local de acetona de triamcinolona, fármaco que se usa para el tratamiento de aftas.

Así como se han desarrollado hidrogeles para tratamientos bucales también numerosos hidrogeles se han diseñado para suministrar fármacos en sitios específicos del tracto gastrointestinal, por ejemplo, Patel y Amiji propusieron un tratamiento para la infección causada por *Helicobacter pylori* la úlcera péptica. Para lograr la liberación del antibiótico en el ambiente ácido del estómago desarrollaron diversos hidrogeles catiónicos sensibles al pH. Los hidrogeles estaban hechos a base de chitosán liofilizado. El antibiótico se liberó de forma gradual y tuvo resultados muy satisfactorios al cabo de pocos días.

## **MATERIALES USADOS EN PRÓTESIS ORTOPÉDICAS E IMPLANTES DE ARTICULACIÓN**

La necesidad de utilizar implantes ortopédicos se da por una gran variedad de circunstancias como fracturas, diversos traumas, artritis y enfermedad degenerativa del disco. Diversos dispositivos ortopédicos se han venido desarrollando para aliviar dolor, mejorar la movilidad de los pacientes y evitar la deformación causada por las enfermedades antes mencionadas. Algunos de los dispositivos que se han desarrollado son prótesis para reemplazar articulaciones, dispositivos para reparar fracturas e implantes en la espina y otras partes del sistema óseo. Los productos que más presencia tienen en el mercado dentro del sector ortopédico son los implantes para la reconstrucción en cadera, rodilla y espina.

El objetivo del uso de los biomateriales en implantes ortopédicos es restablecer la integridad estructural y funcionalidad de las articulaciones y huesos dañados y minimizar las complicaciones como falla estructural del implante, aflojamiento y desgaste de la superficie del implante. Para lograr estos objetivos el proceso de selección del material a utilizar debe satisfacer las demandas químicas y mecánicas del medio biológico donde se encontrarán y del cual formarán parte.

Los materiales que serán usados en un implante ortopédico son sometidos a pruebas mecánicas donde se les aplican diversas fuerzas externas para generar tensión, compresión, flexión y torsión. Los materiales seleccionados para un implante ortopédico, al igual que cualquier otro biomaterial deben ser biocompatibles con los tejidos circundantes.

## **Materiales**

Los materiales utilizados para desarrollar dispositivos de implantes ortopédicos se pueden dividir principalmente en tres grandes grupos: metales, cerámicos y polímeros.

## **Metales**

Los metales suelen ser atractivos para este tipo de aplicaciones debido a su alta resistencia mecánica. Con los grandes avances en la química de metales diversos sistemas de metales y aleaciones se han desarrollado para ser usados como implantes en el cuerpo humano. A continuación se describirán los metales más usados en el campo ortopédico debido a factores como su biocompatibilidad, bajo costo, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y alta ductilidad.

## **Acero inoxidable**

El acero inoxidable más utilizado para fabricar implantes de uso biomédico es el tipo 316LV del *American Iron and Steel Institute (AISI)* que tiene la misma composición que el F138 del *American Society for Testing and Materials (ASTM)*. La composición del 316LV y F138 es prácticamente la misma y ambas se derivan del acero inoxidable 18-8 (18% cromo, 8% níquel), el cual tiene diversas aplicaciones comerciales. Cuando el acero inoxidable se utiliza en aplicaciones biomédicas se requiere mayor resistencia a diversos fenómenos derivados del contacto con fluidos biológicos, entre ellos la corrosión. La adición de molibdeno (3%) y níquel (12%) a la aleación 18-8 y la reducción del contenido de carbono (0.03% máximo) en dicha aleación confiere una mayor resistencia del implante a la corrosión. De todas las aleaciones que se utilizan en implantes el acero inoxidable es el que tiene menor costo y es por ello que es el más utilizado.

## **Aleaciones a base de cobalto**

Las dos aleaciones cobalto-cromo (Co-Cr) más utilizadas como implantes son: cobalto-cromo-molibdeno (Co-Cr-Mo) (ASTM F-75 y F-76) y cobalto-níquel-molibdeno (Co-Ni-Mo) (ASTM F-562). Otras aleaciones a base de cobalto que han sido aprobadas para utilizarse en implantes son la que incorpora tungsteno en su composición (Co-Cr-Ni-W) (ASTM F-90) y la que incorpora hierro además de tungsteno (Co-Ni-Cr-Mo-W-Fe) (ASTM F-563). Las aleaciones a base de cobalto tienen mejores propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y biocompatibilidad que el acero inoxidable pero su fabricación es mucho más costosa.

### ***Aleaciones a base de titanio***

Otras aleaciones que han sido utilizadas en el área biomédica son aquellas a base de titanio, las dos más utilizadas son: titanio comercial y Ti-6Al-4V que contiene 6% de aluminio y 4% de vanadio. El titanio comercial debe cumplir con un máximo de impurezas, particularmente oxígeno ya que las propiedades mecánicas varían demasiado de acuerdo al contenido de impurezas. Entre más impurezas contenga la aleación esta es más resistente pero menos dúctil. Las principales desventajas del titanio puro son su baja elasticidad y su baja resistencia a la abrasión la cual ocasiona que el metal se desgaste al estar en contacto con otra superficie metálica. Las mayores ventajas del titanio puro son su bajo peso y su alta resistencia a la corrosión, particularmente a la corrosión ocasionada por soluciones salinas, esto se debe a una capa de óxido que se forma espontáneamente sobre la superficie del titanio.

Al añadir 6% de aluminio y 4% de vanadio al titanio puro se obtiene una aleación con propiedades mecánicas similares al acero inoxidable pero mayor resistencia a la corrosión. El principal inconveniente de las aleaciones a base de titanio es su relativa blandura comparadas con las aleaciones Co-Cr-Mo. En consecuencia las aleaciones de titanio no son usadas como implantes en zonas donde la dureza del material es el principal criterio de diseño. Sin embargo, las aleaciones a base de titanio son el material de elección en pacientes que tienen hipersensibilidad a cualquiera de los componentes del acero inoxidable o aleaciones Co-Cr.

## ***Nuevas aleaciones y recubrimientos***

Las nuevas aleaciones que se han diseñado para fabricar implantes ortopédicos han sido desarrolladas al añadir pequeñas cantidades de nuevos elementos a las tres aleaciones mencionadas anteriormente, esto les confiere nuevas propiedades específicas tanto químicas como mecánicas. Algunos metales como el zirconio (Zr) y tantalio (Ta) se han utilizado en circunstancias muy especiales debido a su estabilidad química, alta resistencia mecánica y su increíble resistencia al desgaste, sin embargo la fabricación de las piezas hechas a base de estos metales ha resultado ser altamente costosa.

Actualmente, la superficie de hueso dañada se recubre para mejorar el desempeño de los implantes al estimular el crecimiento del hueso y mejorando la fijación entre las partes de hueso separadas por alguna fractura. Los recubrimientos incluyen capas de titanio, materiales porosos como la hidroxiapatita o algunos otros materiales hechos a base de fosfato de calcio.

## Cerámicos

Los materiales cerámicos reducen la osteólisis y son reconocidos como materiales favorables para ser usados en articulaciones por su alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión, buena biocompatibilidad y alta estabilidad en ambientes biológicos. Los materiales cerámicos no han sido utilizados para reparar fracturas debido a su baja ductilidad. Diversos cerámicos hechos a base de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y zirconia ( $\text{ZrO}_2$ ) han sido utilizados en reemplazos totales de cadera en los últimos 35 años. Los implantes diseñados con cerámicos a base de alúmina resultan bastante atractivos debido a su alta resistencia al desgaste, alta lubricación y a que no libera restos reactivos en el organismo.

Ciertos cerámicos que contienen óxidos de silicio, sodio, calcio, y fósforo ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) son conocidos actualmente por ser los únicos materiales que forman enlaces con el hueso lo que ha ayudado a que los implantes hechos de estos materiales se fijen bastante bien al hueso. A estos materiales se les conoce como *materiales bioactivos*<sup>9</sup> por su tendencia a formar enlaces químicos con el hueso (y en algunos casos a tejidos suaves). Lo que confiere a estos materiales su bioactividad es una reacción de intercambio iónico entre el implante bioactivo y los fluidos biológicos circundantes, dicha reacción produce una capa de fosfato de calcio sobre el implante que es químicamente equivalente a la fase mineral del hueso. Esta equivalencia es responsable de la relativa fuerza del enlace entre el implante y el hueso huésped.

---

<sup>9</sup> Materiales que tienden a interactuar en el organismo de tal forma que sustituyen a un tejido vivo en cuanto a su funcionalidad.

## **Polímeros**

### ***Poliétileno de alto peso molecular***

Debido a su bajo coeficiente de fricción con los metales y cerámicos, el polietileno de alto peso molecular ha sido ampliamente usado desde principios de la década de 1960 como una superficie ligante en varios implantes de articulaciones sintéticas. La mayor desventaja de este compuesto es su alto grado de desgaste ya que cuando la articulación entra en función, al caminar por ejemplo, el polietileno de alto peso molecular tiende a adherirse a la superficie metálica o cerámica del implante en forma de pequeñas partículas, al poco tiempo estos pequeños fragmentos adheridos en la superficie son acarreados por los fluidos circundantes y llevados a otras partes del organismo donde finalmente son degradados por diversas enzimas. Después de algún tiempo el implante tiene que ser retirado y reemplazado por uno nuevo.

Varias pruebas de desgaste han demostrado que la resistencia del polietileno de alta densidad puede mejorarse al inducir el entrecruzamiento de las cadenas poliméricas por medio de métodos químicos o de irradiación, sin embargo, este puede afectar algunas propiedades físicas del polímero tal como la fuerza mecánica debido a la baja cristalinidad después del entrecruzamiento.

## **Polimetilmetacrilato**

El polimetilmetacrilato (PMMA) es usado ampliamente como un pegamento para unir huesos fracturados y también como un sustituto permanente de hueso en el tratamiento de diversas fracturas. El desarrollo de un pegamento permanente para huesos ha sido útil ya que redujo bastante el aflojamiento que ocurre cuando se reemplaza totalmente una articulación y en algún punto del implante existe algún otro polímero como el polietileno de alto peso molecular que como se mencionó anteriormente, es degradable.

El PMMA hecho con fines ortopédicos se polimeriza *in situ*<sup>10</sup> a partir de metilmetacrilato pre-polimerizado y el monómero metilmetacrilato (MMA). También se añaden los iniciadores adecuados para comenzar con el proceso de polimerización el cual ocurre normalmente en un periodo de 15 minutos. El iniciador, peróxido de benzoilo, es un sólido a temperatura ambiente y se añade en forma de polvo al MMA pre-polimerizado. El iniciador es la fuente de radicales libres que dará inicio al proceso de polimerización. También se añade un acelerador a la reacción para aumentar la rapidez de la esta. Dicha polimerización es exotérmica alcanzando el material los 92°C en su superficie y 122°C en su centro.

Un problema importante de la polimerización in situ del PMMA es la liberación de trazas del monómero MMA a la circulación. El MMA tiene el potencial para causar diversos efectos tóxicos al entrar al torrente sanguíneo como caída de presión e incluso la muerte.

---

<sup>10</sup> In situ es una expresión latina que significa “en el sitio” o “en el lugar” y que es generalmente utilizada para designar un fenómeno observado en el lugar, o una manipulación realizada en el lugar en cuestión.

Mecánicamente, el PMMA es resistente pero quebradizo cuando se ha endurecido por completo. Comparado con otros termoplásticos, el PMMA ha demostrado excelentes propiedades como resistencia al tensionarse, rigidez al flexionarse y resistencia a deslizarse sin embargo sus ventajas son inferiores a las de las aleaciones metálicas.

### ***Polidimetilsiloxano***

Las siliconas son una familia de polímeros sintéticos con enlaces repetidos silicio-oxígeno en sus cadenas. La silicona más común es el polidimetilsiloxano (PDMS). El PDMS es un material inodoro que no permite el crecimiento bacteriano y que no mancha o corroe otros materiales. Las siliconas también resisten al agua y a muchos químicos tales como ácidos, amoníaco y alcoholes. Las siliconas son usadas en muchas aplicaciones debido a su estabilidad, baja toxicidad y alta compatibilidad con los tejidos y fluidos del cuerpo.

Las siliconas se pueden entrecruzar fácilmente a diversos elastómeros y así evitar que sus propiedades físicas varíen por factores externos. Esto ha logrado que se puedan realizar implantes de articulaciones de dedos así como implantes de otros tejidos suaves.

## **POLISACARIDOS COMPLEJOS. ALGINATO Y CHITOSÁN.**

### **ALGINATO**

Los alginatos son unos biopolímeros que se obtienen de las algas pardas marinas de la familia de las "feofíceas"<sup>11</sup>. Fueron estudiados por primera vez en 1883 por el químico E. C. Stanford. Actualmente, las algas siguen siendo la fuente principal de materia prima para la producción de este biopolímero. Los alginatos son sales del ácido algínico, un polisacárido natural formado por cadenas lineales constituidas por dos unidades repetitivas que derivan de los ácidos  $\beta$ -D-manurónico (M) y  $\alpha$ -L-gulurónico (G).

La importancia de los alginatos viene dada por su capacidad para formar hidrocoloides, es decir la capacidad de hidratarse en agua caliente o fría dando lugar a soluciones viscosas, dispersiones o geles. Los alginatos son, de esta manera, modificadores del comportamiento de una masa de agua y por tanto útiles como espesantes, estabilizantes, gelificantes y formadores de películas. El resultado es un elevado número de aplicaciones en la industria química, farmacéutica y alimentaria.

---

<sup>11</sup> Las feofíceas son una clase de algas, también llamadas algas pardas, pluricelulares, de sólo vida acuática.

Una de las aplicaciones más importantes del alginato es la inmovilización o encapsulación de células para formar órganos artificiales o para producir sustancias con algún fin terapéutico. Las células se mezclan con el alginato y la mezcla se somete a un baño de cloruro de calcio para inducir una gelación instantánea, de esta manera las células vivas quedan atrapadas en el gel de alginato.

La porosidad del gel de alginato es tal, que el oxígeno y los nutrientes pueden penetrar en el gel mientras que los productos de las células tales como proteínas se pueden difundir al exterior. Dichos geles de alginato pueden implantarse in situ para actuar como sistemas continuos de producción de diversas sustancias como la insulina. Estas “biofabricas” han sido implantadas en animales y personas con diabetes y tienen un tiempo de vida aproximado a un año.

## CHITOSÁN

La quitina es un polímero estructural que se encuentra presente en las conchas y cáscaras de animales como cangrejos, langostas y camarones. La química moderna describe al chitosán como un polisacárido catiónico de alto peso molecular derivado de las conchas de los crustáceos por medio de la desacetilación de la quitina. El chitosán es un polisacárido lineal compuesto de D-glucosamina y N-acetil glucosamina. La proporción entre la glucosamina y la N-acetil glucosamina se conoce como grado de desacetilación. Los monómeros desacetilados (glucosamina) están distribuidos en la cadena del polímero de una forma aleatoria. Los grupos amino del chitosán pueden actuar como un polielectrolito y pueden transportar una carga positiva ( $-NH_3^+$ ) por lo que el chitosán es un polímero catiónico.

La estabilidad del chitosán es un factor importante que debe considerarse cuando se planea utilizar en alguna aplicación biomédica. Como la mayoría de los biopolímeros, el chitosán está sujeto a la degradación conforme pasa el tiempo. Los enlaces glicosídicos están sujetos al ataque de los fluidos biológicos. La ruptura de los enlaces causa el acortamiento de las cadenas de chitosán lo que causa reducción de la viscosidad a lo largo del tiempo.

El término “impureza” se refiere a la presencia de sustancias y materiales externos en la muestra de biopolímero. La mayor parte del quitosán se produce a partir de conchas de diversos crustáceos mismas que se recuperan como un subproducto de la industria de alimentos. El procesamiento de la quitina a quitosán puede eliminar muchos de los contaminantes. Sin embargo, el quitosán es un compuesto catiónico por lo que es difícil alcanzar un nivel altamente puro para aplicaciones biomédicas. Entre las impurezas que contiene la quitina se encuentran proteínas, metales pesados.

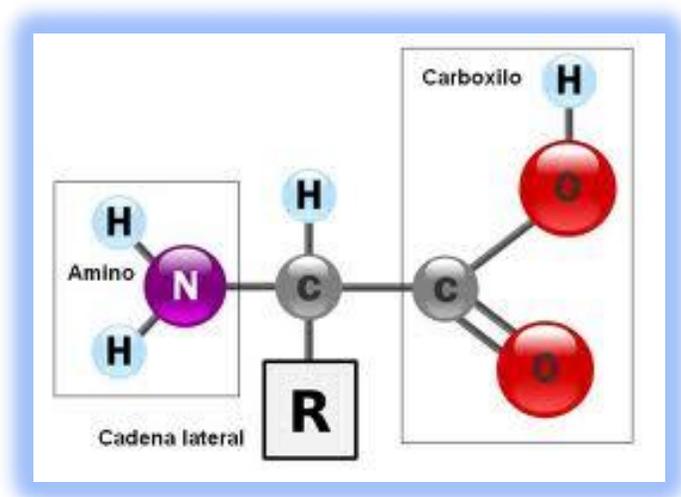
### **Aplicaciones del quitosán**

Uno de los objetivos de la ingeniería de tejidos es facilitar la recuperación y regeneración de tejidos sin que haya evidencia de cicatriz. Actualmente la ingeniería de tejidos busca desarrollar soportes o matrices para poder sostener crecimientos celulares y así formar tejidos que posteriormente puedan ser trasplantados a algún tejido dañado del cuerpo humano. Al igual que cualquier otro biomaterial, el soporte o matriz deber ser biocompatible y su degradación no debe generar productos secundarios. Además de ser biocompatible, el quitosán posee propiedades bioadhesivas y antimicrobianas lo que fomenta la integración del tejido en el área deseada. Así pues los soportes hechos a base de quitosán puro o de quitosán mezclado con algún otro polímero en proporciones variadas son cada vez más utilizados con fines de ingeniería de tejidos.

## PROTEÍNAS. ESTRUCTURA Y SU USO COMO BIOMATERIALES.

Los aminoácidos son moléculas formadas por un grupo amino y un grupo ácido carboxílico unidos al mismo átomo de carbono central, el cual también tiene comúnmente un átomo de hidrogeno y otro grupo que es variable como se puede apreciar en la figura IV.

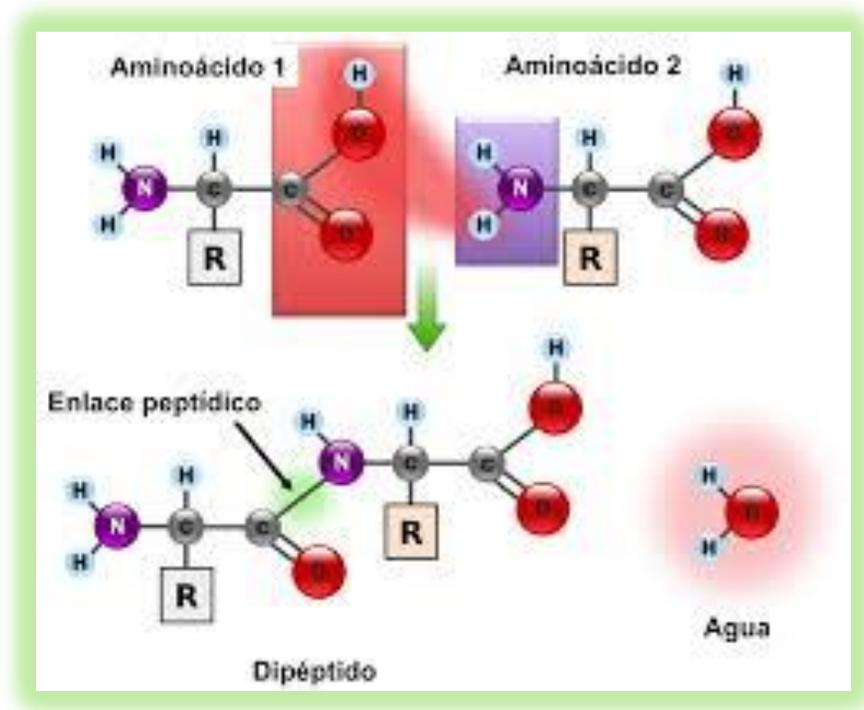
**Figura IV**  
**Estructura de los aminoácidos.**



Fuente.- [http://www.argenbio.org/adc/uploads/imagenes\\_doc/composicion\\_%20delas\\_%20celulas/aminoacido.JPG](http://www.argenbio.org/adc/uploads/imagenes_doc/composicion_%20delas_%20celulas/aminoacido.JPG)

Las proteínas son polímeros naturales formados por la unión de aminoácidos a través del enlace peptídico. El enlace peptídico es el enlace que se forma entre el grupo carboxílico del primer aminoácido y el grupo amino del segundo aminoácido. Esta unión se puede dar de manera secuencial entre un número indefinido de aminoácidos lo que da lugar a las proteínas.

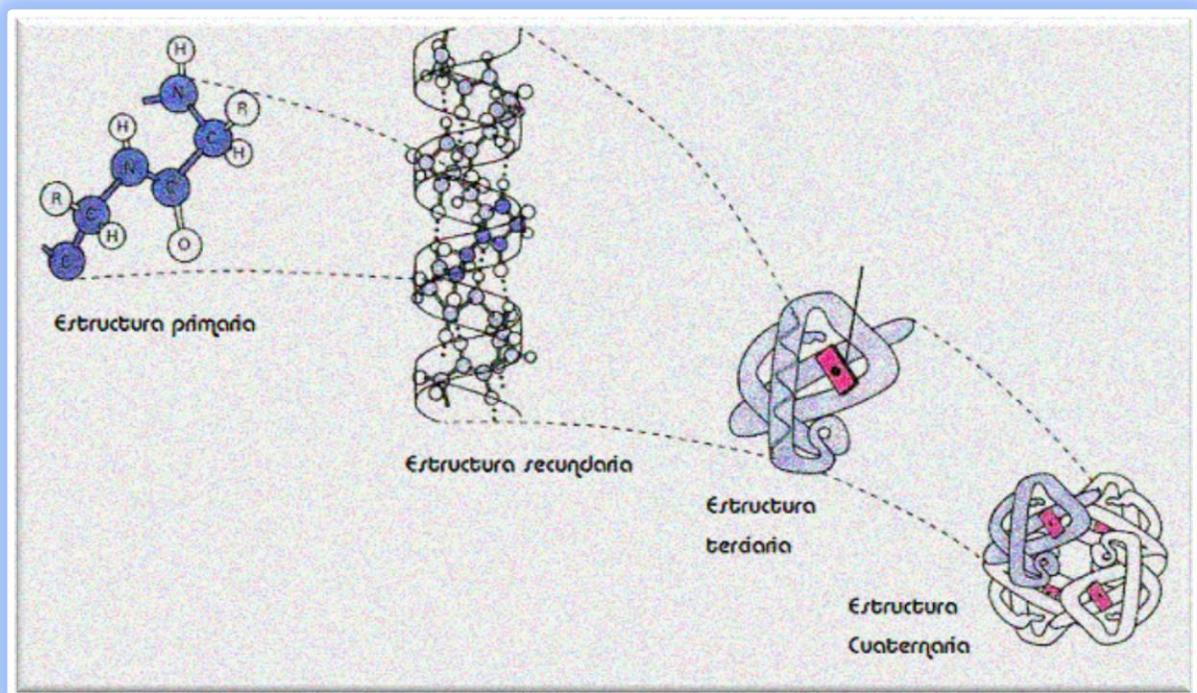
**Figura V**  
**Enlace peptídico entre dos aminoácidos.**



Fuente.- [http://www.argenbio.org/adc/uploads/imagenes\\_doc/composicion\\_%20delas\\_%20celulas/aminoacido.JPG](http://www.argenbio.org/adc/uploads/imagenes_doc/composicion_%20delas_%20celulas/aminoacido.JPG)

Las cadenas de aminoácidos dan lugar a cuatro niveles estructurales de las proteínas. La estructura primaria de las proteínas es simplemente la secuencia lineal de aminoácidos unidos a través del enlace peptídico. La estructura secundaria se alcanza cuando se forman puentes de hidrogeno entre los aminoácidos de la estructura primaria. Cuando una proteína de estructura secundaria se une entre sí forma la estructura terciaria y finalmente diversas estructuras terciarias pueden interactuar entre sí para dar origen a la estructura cuaternaria de las proteínas.

**Figura VI**  
**Niveles estructurales de las proteínas.**



Fuente.- <http://quimicasbiologas-churniaz.blogspot.mx/2010/06/estructura-primaria-secundaria.html>

### ***¿Por qué usar a las proteínas como biomateriales?***

Las proteínas son compuestos estructurales de suma importancia en la mayoría de los tejidos de los seres vivos y también son parte importante de la bioquímica de los organismos ya que algunas de ellas actúan como enzimas, hormonas y reguladoras de diversas funciones celulares.

Como la estructura y las propiedades de los tejidos naturales dependen en gran medida de las proteínas que los constituyen, las proteínas y diversos polímeros sintéticos que contienen aminoácidos en su estructura se han desarrollado para reparar y sustituir tejidos del cuerpo humano. Como los aminoácidos que forman a las proteínas se producen naturalmente en el cuerpo humano, los biomateriales formados a base de proteínas se degradan en productos menos tóxicos que cualquier otro polímero sintético además de que se reduce el riesgo de tener alguna reacción del tipo inmunológico. Las propiedades químicas y mecánicas de los biomateriales desarrollados a partir de las proteínas pueden ser diseñadas para aplicaciones específicas.

## Colágeno

Una gran variedad de células en el cuerpo humano producen colágeno, quizá más notablemente los fibroblastos<sup>12</sup>. Para propósitos de ingeniería de tejidos e implantes el colágeno se obtiene de tejidos bovinos, equinos o porcinos y se puede procesar de diversas formas tales como películas, fibras y geles.

Para evitar la rápida degradación *in vivo*<sup>13</sup> y para incrementar su fuerza mecánica, el colágeno debe entrecruzarse ya sea física o químicamente. La fotooxidación, irradiación con rayos UV y tratamientos térmicos son ejemplos de métodos físicos de entrecruzamiento. Una de las ventajas de usar métodos físicos de entrecruzamiento es que no generan subproductos potencialmente tóxicos aunque comúnmente se utilizan fijadores químicos ya que los métodos físicos generalmente producen entrecruzamientos débiles.

---

<sup>12</sup> El fibroblasto es un tipo de célula residente del tejido conectivo, ya que nace y muere allí. Sintetiza fibras y mantiene la matriz extracelular del tejido de muchos animales.

<sup>13</sup> En ciencia, *in vivo* se refiere a experimentación hecha dentro o en el tejido vivo de un organismo vivo. Pruebas con animales y los ensayos clínicos son formas de investigación *in vivo*.

## ***Aplicaciones del colágeno***

La mayor parte de la investigación en relación al colágeno se ha enfocado en la fabricación de tejidos de colágeno para imitar las propiedades mecánicas y biológicas de los tejidos naturales particularmente de tejidos de la piel, tendones y ligamentos y así generar implantes de colágeno para sustituir los tejidos antes mencionados.

## ***Elastina***

La elastina es una proteína insoluble cuyas cadenas de aminoácidos están fuertemente entrecruzadas. La composición de la elastina incluye a la glicina, alanina, valina y prolina.

La elastina humana se encuentra predominantemente en los vasos sanguíneos y en el tejido pulmonar. El ligamento de nuca (el ligamento que conecta la base del cráneo a la espina) es casi elastina pura con una pequeña cantidad de colágeno. En aplicaciones biomédicas la elastina se prepara comúnmente en forma de gel o fibras. Los geles de elastina se obtienen mediante hidrólisis. Para obtener la elastina en forma de gel se incrementa la concentración y temperatura del medio durante la gelación. La elastina se desnaturaliza por encima de los 66°C por lo que los calentamientos y enfriamientos repetidos por abajo de los 66°C no alterarán sus propiedades mecánicas.

## ***Aplicaciones de la elastina***

Los implantes de elastina pura han sido una herramienta popular para la reparación y el reemplazo de tejido vascular. Una técnica para lograr la mejor fijación del implante de tejido de elastina en el tejido huésped es difundir colágeno a través del tejido de elastina. Se ha encontrado que el cobre es un buen promotor para la producción de elastina en las células musculares,

Esta estrategia se ha utilizado para producir fibras de elastina para implantes de tejido. Algunos biomateriales hechos a base de elastina pueden calcificarse lo que ocasiona que existan depósitos de minerales sobre el material implantado. La calcificación puede combatirse con estrategias basadas en una especie de limpieza con cloruro de aluminio.

# **CAPITULO III**

## **DESARROLLO DE ÓRGANOS ARTIFICIALES.**

En la historia de la humanidad, siempre nos han aquejado los distintos problemas con la salud, uno de los principales es la falta de funcionalidad de ciertas partes de nuestro cuerpo, debido a distintas causas como enfermedades, accidentes, síndromes, desgastes, malas posiciones, entre otros. Estos han sido fuente de mala calidad de vida para las personas, enfermedades crónicas, operaciones recurrentes, inversión de dinero tratando de dar solución a cada una de ellas y el gasto de tiempo en ello.

Diariamente ingresan en los hospitales de todo el mundo miles de personas por causa del mal funcionamiento de alguno de sus órganos. En muchos casos la situación se solucionaría con un trasplante, pero debido a la carencia de órganos trasplantables, solo una mínima parte de estos pacientes pueden ser trasplantados. Para solucionar este problema la Ingeniería Química ha colaborado intensamente con la Ingeniería Biomédica y la medicina elaborando órganos artificiales que puedan llegar a suplir órganos con un mal funcionamiento, por esta razón desde hace más de cincuenta años hasta hoy han aparecido entonces el corazón artificial, la piel artificial, implantes en el oído y un sin número de suplencias para órganos fallidos

## LA INGENIERÍA DE TEJIDOS

Hoy en día con el advenimiento de la biología molecular, la genética, la clonación y el desarrollo de materiales, los científicos han propuesto lo que llamaron la ingeniería de tejidos, es decir, una técnica con la cual se buscan obtener tejidos y órganos a partir de cultivos de células sobre membranas de diferentes materiales biodegradables que inducidas apropiadamente pueden llegar a reemplazar los órganos o tejidos que sean requeridos, aunque se espera que para un futuro con el avance de la genética<sup>14</sup>, se puedan tomar células madre indiferenciadas, para ser cultivadas y con los apropiados estímulos estas puedan diferenciarse en los órganos o tejidos que se necesiten reemplazar.

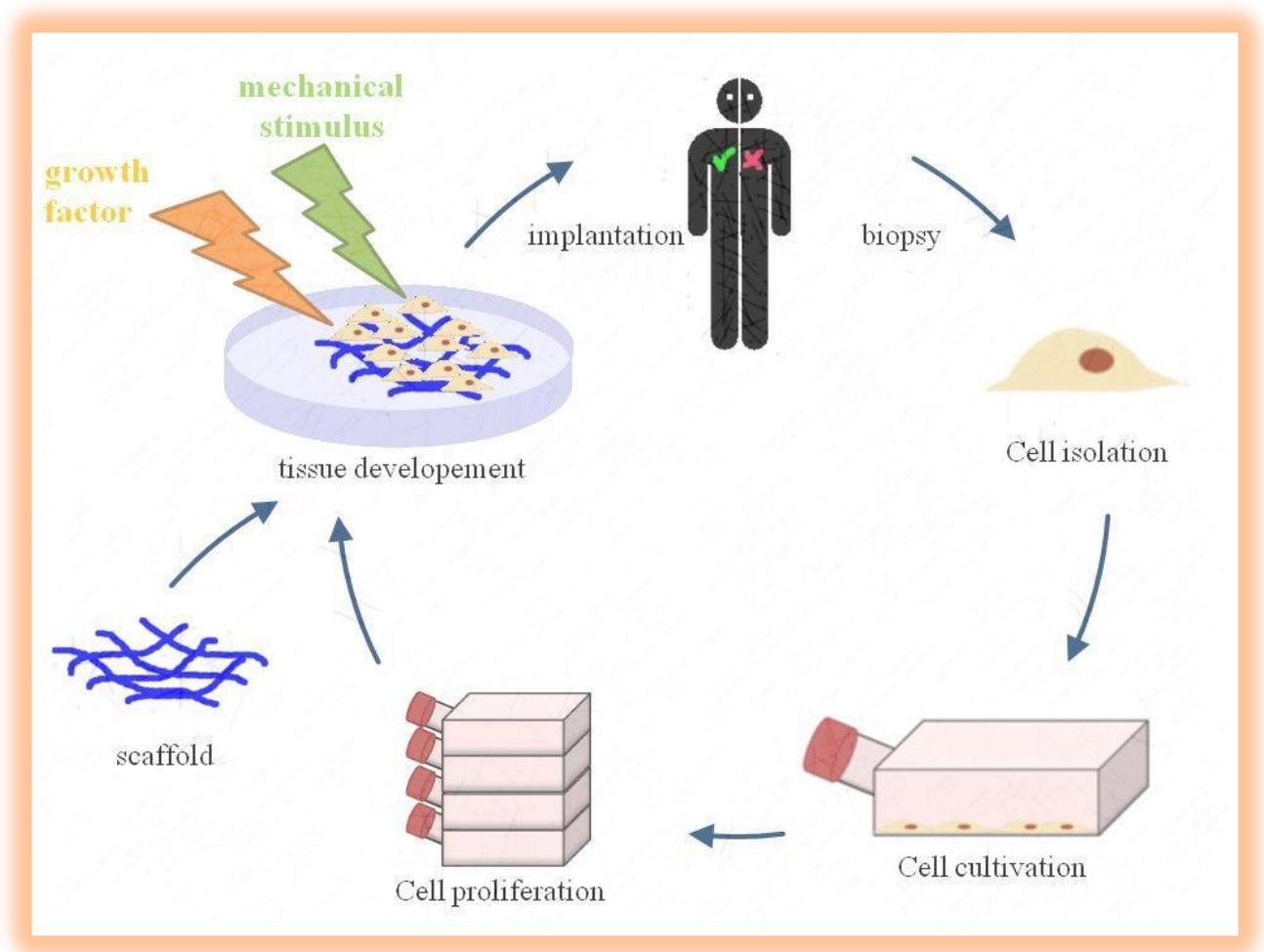
La ingeniería de tejidos parte del hecho de que cuando se inyectan células aisladas en alguna parte del cuerpo humano, estas no son capaces de formar tejidos, sin embargo, cuando estas células se ponen muy cerca unas de otras fuera del cuerpo, son capaces de formar una estructura más compleja, es decir, un tejido que más tarde puede ser sustituido en el cuerpo humano, de forma muy general, en la figura VII se muestra el proceso de generación de un tejido con la técnica de Ingeniería de Tejidos. Con esta técnica se ha logrado reemplazar tejidos de diversas partes del cuerpo tales como piel, nervios, tejido cardiovascular e hígado aunque también se ha trabajado en la construcción de órganos enteros para ser trasplantados.

---

<sup>14</sup> La genética es el campo de la biología que busca comprender la herencia biológica que se transmite de generación en generación.

Figura VII

Generación de tejidos por Ingeniería de Tejidos.



Fuente.- <http://gigantesquedesaparecen.blogspot.mx/2013/04/ingenieria-de-tejidos-organos-nuevos.html>

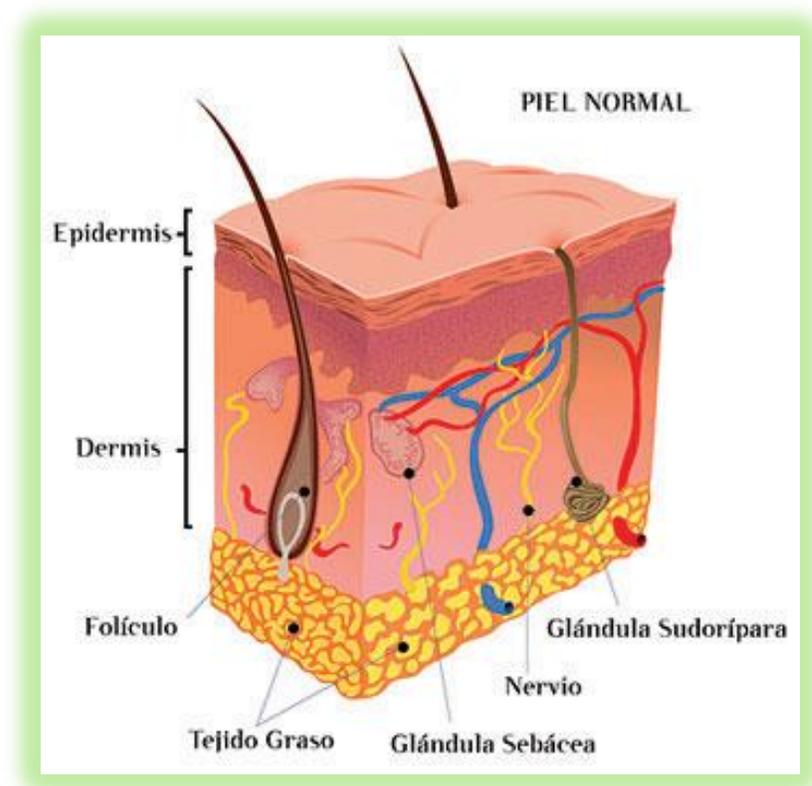
## **PIEL ARTIFICIAL**

La piel es el órgano más grande del cuerpo humano con una superficie aproximada de 2 m<sup>2</sup>, en los adultos, el peso de la piel representa el 30% de su peso total y sus vasos sanguíneos pueden llegar a contener hasta 1800ml de sangre. La piel es una barrera de protección del cuerpo contra las influencias externas: mecánicas, físicas y químicas. La piel contiene además nervios que son capaces de llevar al cerebro mensajes tales como el dolor. La piel regula la temperatura del cuerpo dilatando los capilares que se encuentran en ella y contrayéndolos en respuesta al frío.

La piel se compone principalmente de dos capas, la dermis y la epidermis. La epidermis se compone en su mayoría por queratinocitos, que se encuentran segmentados en el estrato córneo, además de un factor importante que son los melanocitos o también llamados como los pigmentocitos, que dan la pigmentación a la piel. La dermis es una capa profunda de tejido conjuntivo en la cual se tienen la peculiaridad de la abundancia de las fibras de colágeno y elásticas que se disponen de forma paralela y que le dan a la piel la consistencia y elasticidad característica del órgano.

Figura VIII

La piel y las diferentes capas que la constituyen



Fuente.- <http://www.fmd.org.mx/index.php?piel>

La interacción de la piel con el medio que la rodea a través de factores mecánicos, físicos y químicos hace que esta se vea en peligro de ser dañada por alguno de ellos. Así pues las lesiones de la piel pueden ir desde simples cortaduras o raspaduras hasta quemaduras de un alto grado ocasionadas por fuego o por alguna sustancia química.

Tan solo en los Estados Unidos de Norte América se reportan anualmente alrededor de 2.4 millones de personas con algún tipo de quemadura de las cuales 4,500 sufren quemaduras mortales. Según datos de la Secretaría de Salud, en México se reportaron 114 mil 385 casos de quemaduras en el año 2008<sup>15</sup>.

El problema de las quemaduras ha dado lugar al desarrollo de la Ingeniería de Tejidos enfocada al desarrollo de piel de laboratorio que pueda ser trasplantada a personas que tengan alguna lesión de quemadura en la piel. Esta técnica se ha ido perfeccionando con la finalidad de obtener mejores resultados funcionales y estéticos en el paciente. El proceso de fabricación de piel en el laboratorio sigue el protocolo de la Ingeniería de Tejidos y se describe a continuación.

Primero se toma una biopsia, es decir una muestra de piel del paciente de alrededor de un centímetro cuadrado y luego se aíslan sus componentes más pequeños: los queratinocitos (las células predominantes de la epidermis, la capa externa de la piel) y los fibroblastos (células que se encuentran en la capa de la piel llamada dermis). Ya que se tienen los queratinocitos y los fibroblastos por separado, se hacen crecer mediante técnicas de cultivo y añadiéndoles factores de crecimiento.

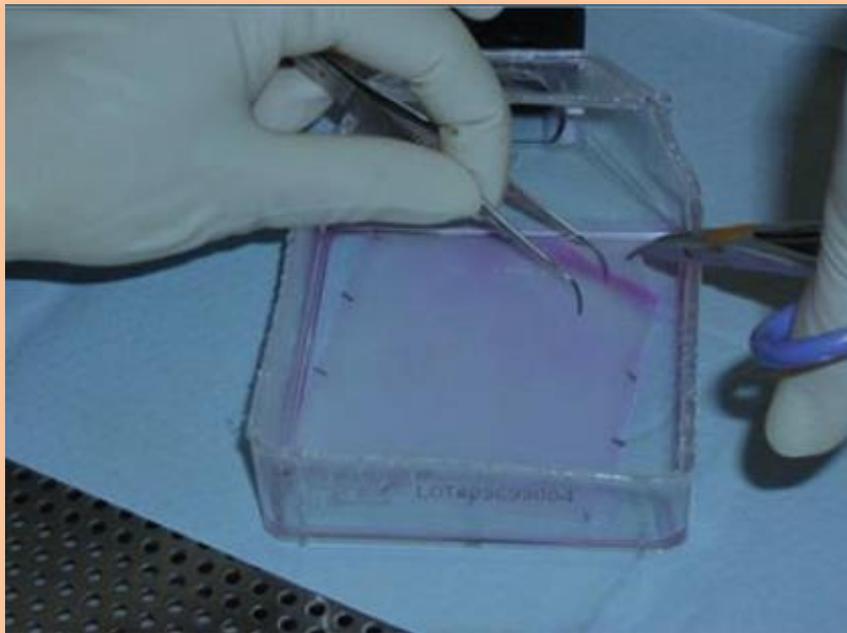
---

<sup>15</sup> <http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/61/2010/oct/20101005-VI/Proposicion-12.html>

Posteriormente se toman los fibroblastos y se colocan en plasma humano, de tal manera que se obtiene un hidrogel formado de fibrina, una proteína presente en la sangre, donde los fibroblastos posteriormente producirán colágeno, el principal componente de la dermis.

**Figura IX**

**Piel artificial**

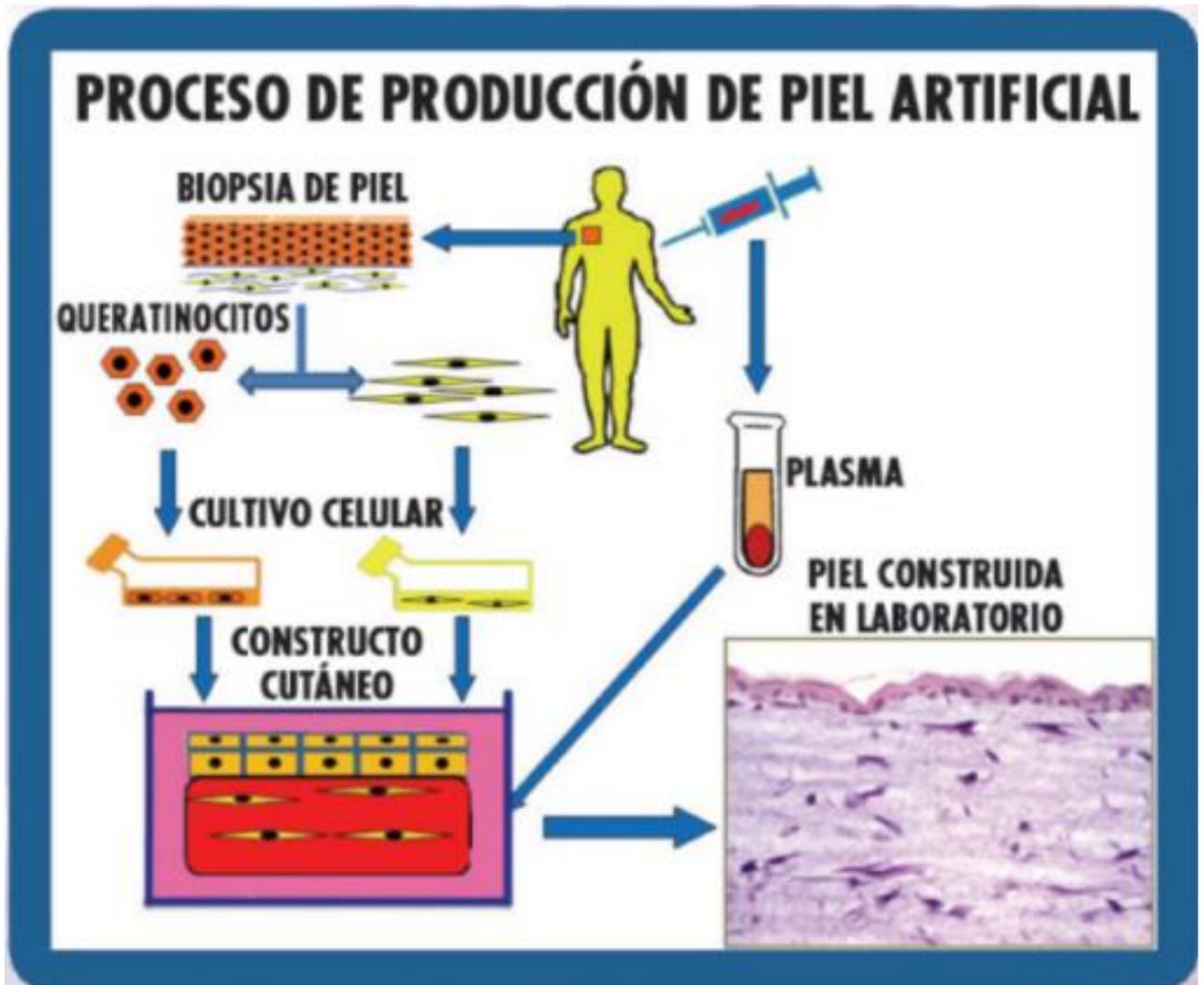


Fuente.- Fuente.- [http://www.unamiradaalaciencia.unam.mx/download/pdf\\_prensa/unamirada\\_245.pdf](http://www.unamiradaalaciencia.unam.mx/download/pdf_prensa/unamirada_245.pdf)

El siguiente paso es obtener la epidermis. Para ello los queratinocitos se colocan por encima del hidrogel de colágeno formado por los fibroblastos. El producto final es un símil de la dermis y la epidermis, útil para el tratamiento de lesiones cutáneas tales como quemaduras.

Figura X

Proceso de producción de piel artificial en laboratorios de la Facultad de Medicina de la UNAM.



Fuente.- [http://www.unamiradaalaciencia.unam.mx/download/pdf\\_prensa/unamirada\\_245.pdf](http://www.unamiradaalaciencia.unam.mx/download/pdf_prensa/unamirada_245.pdf)

La ventaja de esta técnica es que la piel proviene del propio paciente; además la pequeña muestra que se toma del enfermo para la producción inicial es suficiente para generar toda la piel que necesite para recuperarse. La piel artificial que se obtiene en los laboratorios es un poco más blanca que la piel natural ya que carece de melanina y de pelo, pero se sigue trabajando para desarrollar piel con folículos pilosos y glándulas sudoríparas.

**Figura XI.**

**Niño con quemaduras rehabilitado con piel artificial.**



Fuente.- [http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108\\_2005\\_Groups/08/](http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/08/)

## **CORAZÓN ARTIFICIAL**

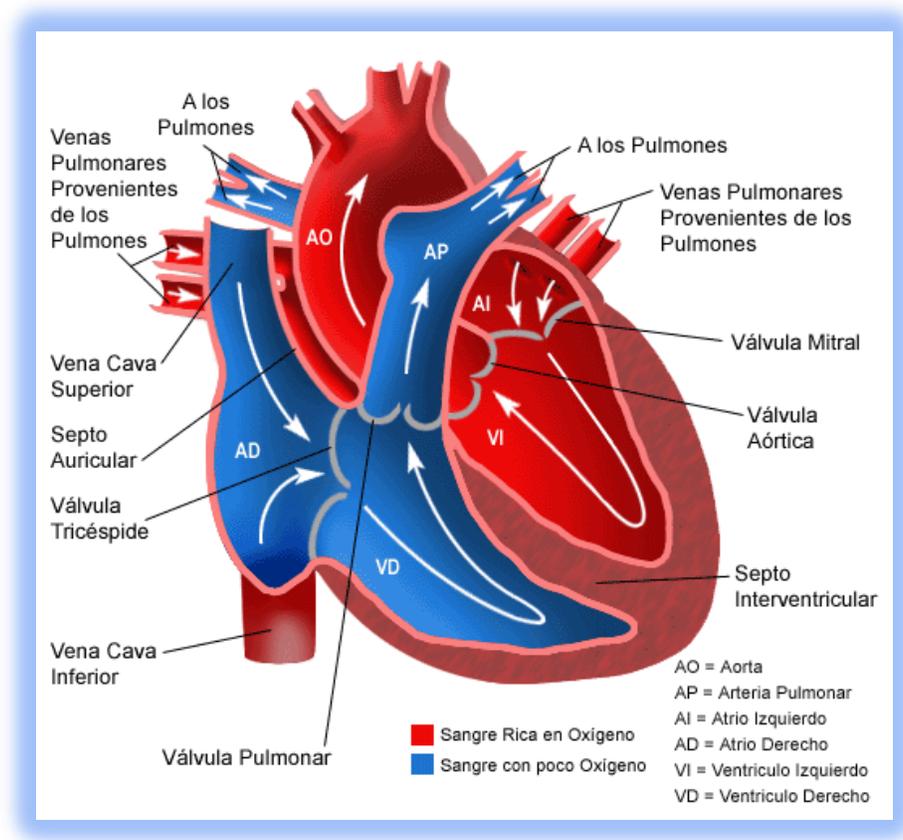
El corazón es el órgano muscular principal del aparato circulatorio en todos los animales que poseen un sistema circulatorio. En el ser humano es un músculo hueco y piramidal situado en la cavidad torácica. Funciona como una bomba aspirante e impelente, impulsando la sangre a todo el cuerpo. El corazón es un órgano muscular autocontrolado, una bomba aspirante e impelente, formada por dos bombas en paralelo que trabajan al unísono para propulsar la sangre hacia todos los órganos del cuerpo.

Las aurículas son cámaras de recepción, que envían la sangre que reciben hacia los ventrículos, que funcionan como cámaras de expulsión. La aurícula derecha recibe sangre poco oxigenada desde la vena cava inferior (VCI), que transporta la sangre procedente del tórax, el abdomen y las extremidades inferiores y desde la vena cava superior (VCS), que recibe la sangre de las extremidades superiores y la cabeza. La vena cava inferior y la vena cava superior vierten la sangre poco oxigenada en la aurícula derecha. Esta la traspasa al ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide, y desde aquí se impulsa hacia los pulmones a través de las arterias pulmonares, separadas del ventrículo derecho por la válvula pulmonar.

Una vez que se oxigena a su paso por los pulmones, la sangre vuelve al corazón izquierdo a través de las venas pulmonares, entrando en la aurícula izquierda. De aquí pasa al ventrículo izquierdo, separado de la aurícula izquierda por la válvula mitral. Desde el ventrículo izquierdo, la sangre es propulsada hacia la arteria aorta a través de la válvula aórtica, para proporcionar oxígeno a todos los tejidos del organismo. Una vez que los diferentes órganos han captado el oxígeno de la sangre arterial, la sangre pobre en oxígeno entra en el sistema venoso y retorna al corazón derecho.

El corazón impulsa la sangre mediante los movimientos de sístole (auricular y ventricular) y diástole. Se denomina sístole a la contracción del corazón (ya sea de una aurícula o de un ventrículo) para expulsar la sangre hacia los tejidos. Se denomina diástole a la relajación del corazón para recibir la sangre procedente de los tejidos. Un ciclo cardíaco está formado por una fase de relajación y llenado ventricular (diástole) seguida de una fase de contracción y vaciado ventricular (sístole).

**Figura XII.**  
**Anatomía de corazón**



Fuente.- [www.stanfordchildrens.org](http://www.stanfordchildrens.org)

Cerca de 17 millones y medio de personas fallecen al año en el mundo por enfermedades isquémicas del corazón, ubicándose como primera causa de muerte en el plano global. En México, la mortalidad por esos padecimientos ocupa el segundo lugar, después de la diabetes mellitus, señala el documento *Diez principales causas de mortalidad en hombres y mujeres*, de la Secretaría de Salud.

La prevalencia y la forma de interactuar de los factores de riesgo cardiovascular en los mexicanos, obesidad, diabetes, tabaquismo, hipertensión, sedentarismo y aumento de triglicéridos y colesterol en la dieta, así como la presencia de enfermedades del corazón en población cada vez más joven reflejan una tendencia al aumento de ese tipo de males. La insuficiencia cardiaca es decir, la incapacidad del corazón de distribuir la cantidad idónea de sangre al organismo para cubrir las necesidades de oxigenación y nutrición, afecta a 750,000 hombres y mujeres, y registra una incidencia de diez por ciento, es decir, 75,000 casos nuevos al año.

El sistema nacional de salud alerta sobre la problemática y realiza campañas de medicina preventiva, pero muchos enfermos deberán recibir atención hospitalaria, con un impacto directo debido a la inversión en servicios especializados. Un reemplazo sintético del corazón es una de las aspiraciones más anheladas de la medicina moderna. El beneficio obvio de un corazón artificial funcional sería reducir la necesidad de trasplantes de corazón, ya que la demanda para donantes de corazones siempre es mayor que la oferta (situación que sucede con todos los órganos).

Si bien el corazón es conceptualmente simple (en su esquema más básico es un músculo que funciona como una bomba), posee una serie de características intrínsecas que hacen muy complejo su emulación mediante materiales sintéticos y fuentes de suministro de energía. Estas dificultades dan lugar a una serie de consecuencias que pueden complicar la implantación de un corazón artificial. Algunas complicaciones incluyen el rechazo del trasplante (debido a que el organismo detecta la presencia de un cuerpo extraño), la necesidad de tomar anticoagulantes de forma permanente, y la necesidad de utilizar baterías externas que limitan la movilidad del paciente a horas o días.

La comunidad científica del país trabaja en la generación de fármacos y terapias, y en el desarrollo de tecnología para mejorar la calidad de vida de los pacientes y disminuir los costos de los tratamientos. Un resultado de esa labor ha sido el corazón artificial creado por un equipo multidisciplinario de expertos que coordina el doctor Emilio Sacristán Rock, profesor del Área de Ingeniería Biomédica de la UAM y director del Centro Nacional de Investigación en Imagenología e Instrumentación Médica (CI<sub>3</sub>M)

El ventrículo artificial diseñado en esta casa de estudios es un sistema de soporte básico que puede aplicarse contra cualquier padecimiento en el que el órgano natural no esté en condiciones óptimas para realizar las funciones de bombeo y oxigenación de la sangre, y requiera apoyo temporal de corto, mediano o largo plazos.

Esto no significa que el corazón natural no trabaje, sino que precisa de ayuda para hacerlo, como sucede en los periodos de recuperación de una cirugía cardiovascular, una poscardiotomía, un choque cardiogénico, una afección viral o cuando se está en espera de un trasplante, entre otros casos. Dicha maquinaria de soporte puede utilizarse fuera del cuerpo o introducida en la cavidad abdominal, según la cardiopatía del paciente y el tiempo en que este necesite la asistencia.

Los atributos principales del artefacto son la universalidad, el bajo costo respecto de las bombas artificiales especializadas que se usan en la actualidad y las ventajas tecnológicas.

El sistema funciona en todas las aplicaciones, es decir, en cualquier cardiopatía, por lo que se evitarían inversiones elevadas en soportes mecánicos especializados y en entrenamiento del equipo médico; ambas circunstancias constituyen problemas importantes en el país, donde apenas tres nosocomios tienen un programa de esta índole. Frente al obstáculo que representa la adquisición de soportes mecánicos especializados por más de 50,000 dólares, el ventrículo artificial ofrece una alternativa tecnológica de bajo costo, ya que tendría un precio aproximado de 2,000 dólares.

En el diseño se utilizaron materiales y tecnologías innovadoras que le otorgan ventajas competitivas respecto de las máquinas de bombeo creadas cuatro décadas atrás. El corazón artificial elaborado en la UAM es una cápsula ovoidal de titanio o de policarbonato para funciones de largo y corto plazos, respectivamente, apenas más grande que la palma de una mano y con un peso de 700 gramos; se conecta a una consola móvil de operación encargada de regular el latido, la presión y el volumen del líquido sanguíneo que circule.

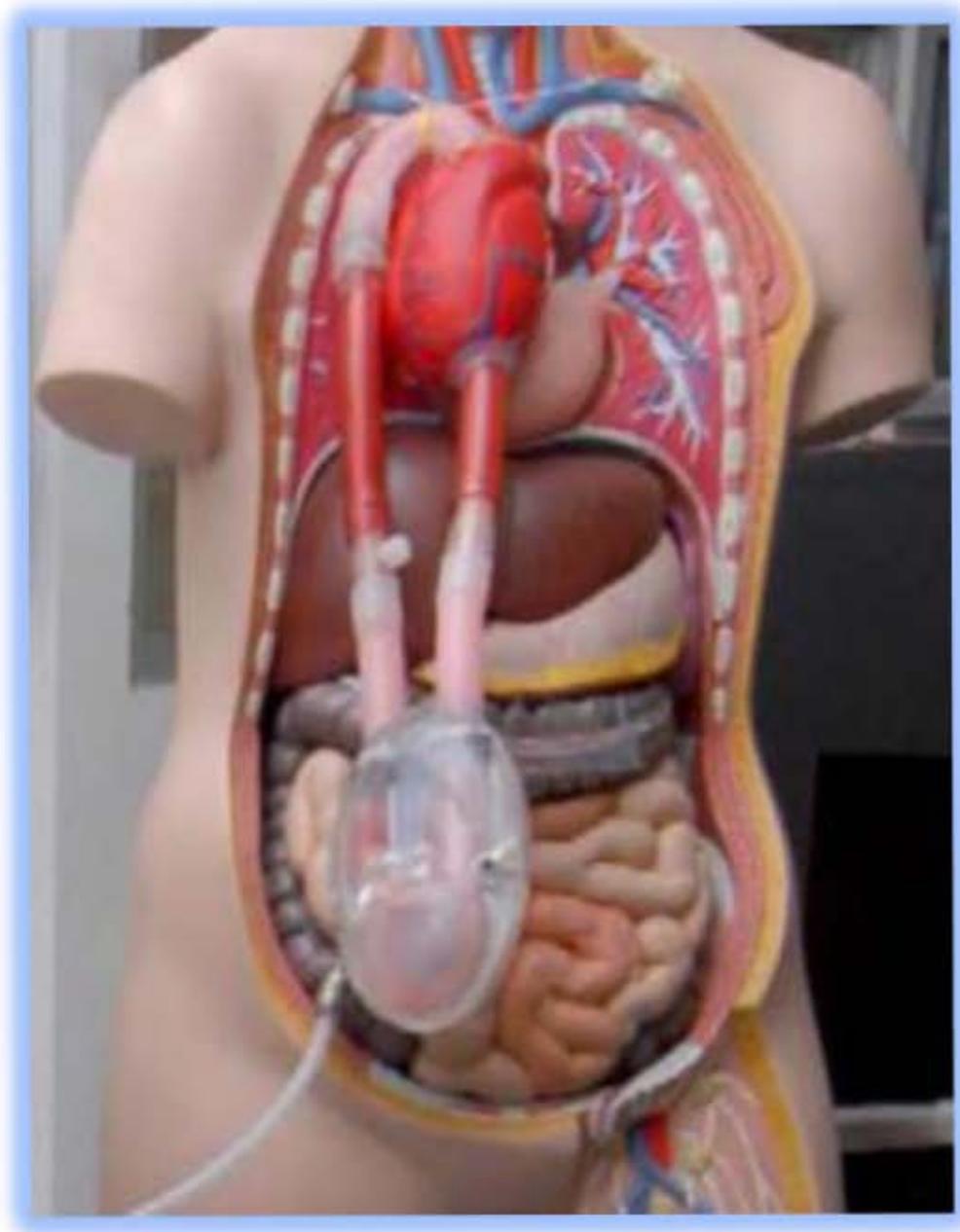
Las válvulas fueron elaboradas con silicón para dotarlas de elasticidad y asemejarlas a las naturales; estas propiedades se adaptan con éxito a los flujos de presión de la sangre, evitando daño a este líquido fundamental por causa de estrés o rotura de células, lo que provocaría procesos inflamatorios, de coagulación o pérdida de capacidad de las células para transportar oxígeno.

Todos los materiales utilizados son biocompatibles, no causan reacción alérgica o rechazo ni generan inflamación o formación de coágulos; esto fue probado en una primera fase experimental con cerdos y ovejas durante seis horas.

En 2009 inició una etapa de ensayo de más largo plazo con ovejas a las que se les implantó el ventrículo artificial durante un mes. La aplicación del ventrículo artificial en humanos será realizada en el Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, los centros Médico Nacional Siglo XXI y Médico Nacional 20 de Noviembre, y en el Hospital Regional de Especialidades número 34 de Monterrey, Nuevo León, de acuerdo con la decisión del comité médico instituido para el inicio de las pruebas clínicas respectivas. El protocolo está listo y sólo se espera la autorización legal para comenzar la fase clínica en pacientes graves cuya opción de sobrevivencia dependiere de la implantación del ventrículo artificial.

**Figura XIII**

**Corazón artificial (izquierda inferior) desarrollado por la UAM.**



Fuente.- <http://www.comunicacionsocial.uam.mx/semanario/v-xvii/num3/num3.pdf>

## RIÑÓN ARTIFICIAL

Los riñones son órganos excretores en los organismos vertebrados. Los riñones en el ser humano están situados en la parte posterior del abdomen. Hay dos, uno a cada lado de la columna vertebral. El riñón derecho descansa detrás del hígado y el izquierdo debajo del diafragma y adyacente al bazo. Los riñones filtran la sangre del aparato circulatorio y eliminan los desechos (diversos residuos metabólicos del organismo, como son la urea, el ácido úrico, la creatinina, el potasio y el fósforo) mediante la orina, a través de un complejo sistema que incluye mecanismos de filtración, reabsorción y excreción. Diariamente los riñones filtran unos 200 litros de sangre para producir hasta 2 litros de orina. La orina baja continuamente hacia la vejiga a través de unos conductos llamados uréteres. La vejiga almacena la orina hasta el momento de su expulsión.

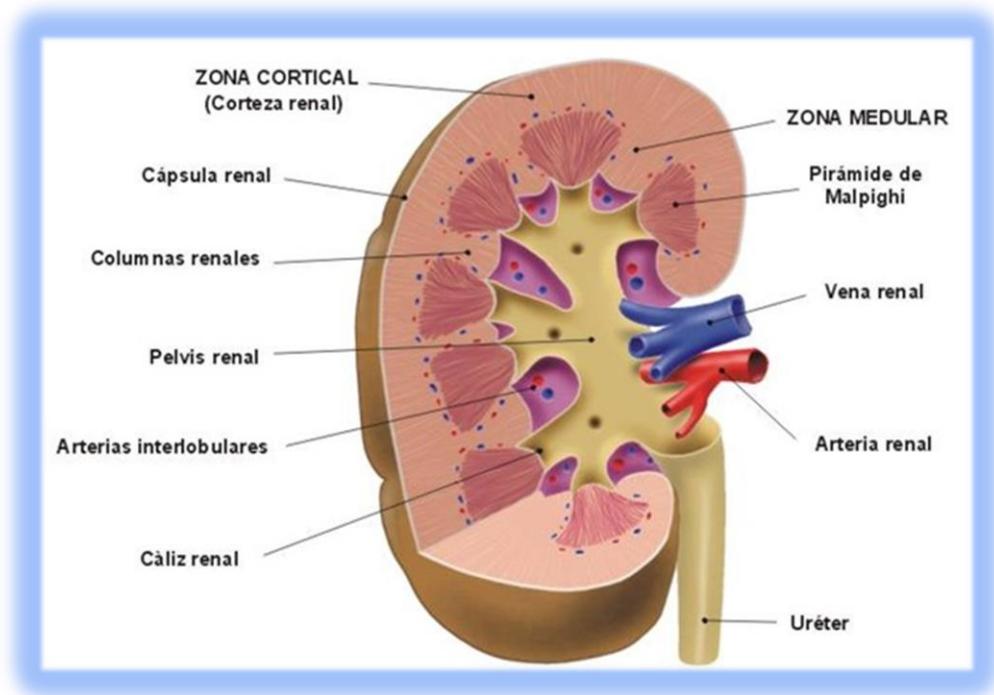
A nivel microscópico, el riñón está formado por 1 a 3 millones de unidades funcionales, que reciben el nombre de nefronas. Es en la nefrona donde se produce realmente la filtración del plasma sanguíneo y la formación de la orina; la nefrona es la unidad básica constituyente.

Las nefronas regulan en el cuerpo el agua y la materia soluble (especialmente los electrolitos), al filtrar primero la sangre bajo presión, y enseguida reabsorbiendo algún líquido y moléculas necesarios nuevamente dentro de la sangre mientras que excretan otras moléculas innecesarias. La reabsorción y la secreción son logradas con los mecanismos de cotransporte y contratransporte establecidos en las nefronas y conductos de recolección asociados.

Las funciones principales del riñón se enlistan a continuación:

- Excretar los desechos mediante la orina.
- Regular la homeostasis del cuerpo.
- Regular el volumen de los fluidos extracelulares.
- Regular la producción de la orina.

**Figura XIV**  
**Anatomía del riñón.**



Fuente.- <http://www.areaciencias.com/diseccion-ri%C3%B1on.htm>

La insuficiencia renal o fallo renal se produce cuando los riñones no son capaces de filtrar adecuadamente las toxinas y otras sustancias de desecho de la sangre. Fisiológicamente, la insuficiencia renal se describe como una disminución en el flujo plasmático renal, lo que se manifiesta en una presencia elevada de creatinina en el suero.

Todavía no se entienden bien muchos de los factores que influyen en la velocidad con que se produce la insuficiencia renal o falla en los riñones. Los investigadores todavía se encuentran estudiando el efecto de las proteínas en la alimentación y las concentraciones de colesterol en la sangre para la función renal.

El riñón artificial es un sistema que sustituye la función de los riñones en caso de insuficiencia renal aguda o crónica. Desde la década de 1970 se utilizan riñones artificiales, que han sido perfeccionados considerablemente desde su aparición. La diálisis por este sistema se denomina hemodiálisis (*hemo* en griego significa "sangre"). En este procedimiento se crea un circuito externo a través del cual fluye la sangre corporal. Mediante un filtro se extraen las sustancias que interesa eliminar del organismo, y a continuación la sangre vuelve al cuerpo. Después de unas cuatro horas de tratamiento la concentración de estas sustancias en el cuerpo ha bajado suficientemente, de manera que el paciente puede volver a realizar su vida normal. Deberá volver a los dos o tres días, ya que para mantener el cuerpo en las debidas condiciones, es preciso que se someta a la hemodiálisis tres veces por semana durante unas cuatro horas cada vez. Los componentes principales de un aparato de hemodiálisis son los siguientes:

**Aparato.-** Cumple la función de bombear la sangre a través de los tubos de circulación externa, de mezclar el líquido concentrado con agua para obtener la dilución adecuada, y de monitorizar las constantes esenciales durante todo el proceso.

**Dializador.-** Es un recipiente cilíndrico de unos 40 cm de largo, dentro del cual hay un número muy elevado de finos capilares semipermeables. La sangre fluye por el interior de estos capilares, mientras que por fuera fluye el líquido de diálisis, es decir el concentrado diluido. En base al principio de difusión y convección, las sustancias a eliminar de la sangre pasan a través de estos capilares y son absorbidas por el líquido. El dializador es pues el elemento principal de la hemodiálisis, ya que es el dispositivo en el que se realiza la filtración de la sangre.

**Tubos para la circulación externa de la sangre.-** Uno de ellos transporta la sangre desde la vena por la que sale del cuerpo, a través de la bomba hasta el dializador. El otro lleva la sangre desde el dializador, de nuevo por la bomba, hasta la vena por la que la sangre retorna al organismo.

**Dispositivos de acceso a los vasos sanguíneos.-** Es uno de los aspectos más delicados de la hemodiálisis. Sobre todo en pacientes que están sometidos al tratamiento durante años, los vasos sanguíneos se resienten considerablemente como consecuencia de las frecuentes punciones. Por este motivo se utilizan agujas especialmente pulidas, para ocasionar el mínimo desgarro, o bien se implantan tubos externos de silicona, los llamados “shunts”, que conducen la sangre desde una arteria hasta una vena por fuera de la piel, y que sirven para puncionar en ellos cada vez que se realiza una diálisis.

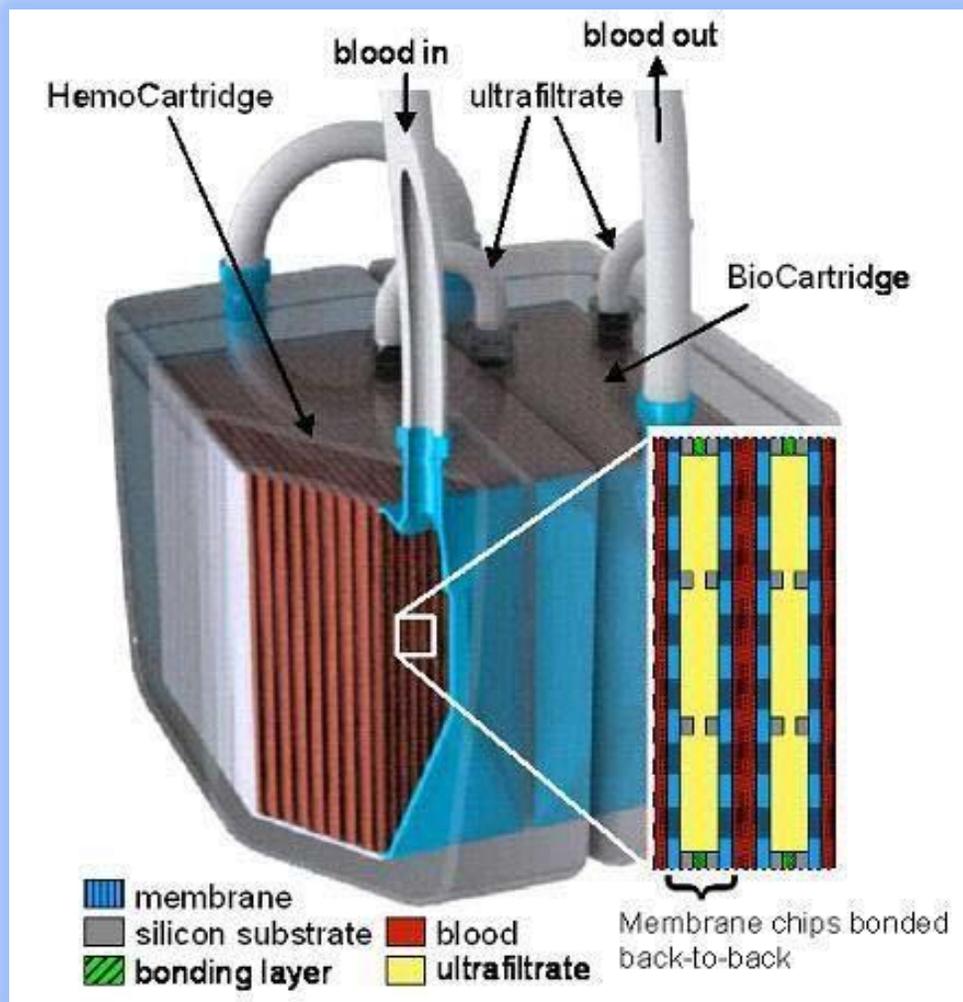
Al igual que con el corazón y la piel, se están realizando enormes esfuerzos para lograr desarrollar un riñón artificial que pueda ser implantado en el cuerpo humano que de esta manera, el paciente pueda tener un estilo de vida normal. Como resultado de este esfuerzo un equipo multidisciplinario de la Universidad de California en San Francisco (UCSF) ha desarrollado un prototipo de lo que en un futuro puede convertirse en un riñón artificial implantable. Dicho equipo de trabajo está formado por ingenieros químicos, ingenieros biomédicos, biólogos y médicos bajo la dirección de Shuvo Roy, del Departamento de Bioingeniería y Ciencias Terapéuticas de la UCSF.

Este dispositivo está diseñado para proporcionar la mayoría de los beneficios que reporta para la salud del paciente un trasplante de riñón, y de este modo también se evita el gran problema de la escasez de donantes. El riñón artificial implantable podría reducir de manera notable los problemas de insuficiencia renal que sufren millones de personas en todo el mundo.

Este riñón artificial ya ha demostrado que funciona. El concepto ha sido puesto a prueba en pacientes muy enfermos, empleando un modelo externo aún no miniaturizado, desarrollado por un miembro del equipo en Míchigan. El objetivo de Roy es miniaturizar el aparato hasta el tamaño de una taza para café. El dispositivo sería entonces implantado en el cuerpo sin necesidad de tratamientos inmunosupresores, permitiendo al paciente llevar una vida bastante más normal. El equipo calcula que el primer modelo miniaturizado operativo lo tendrá listo para la etapa de ensayos clínicos entre uno y tres años.

**Figura XV**

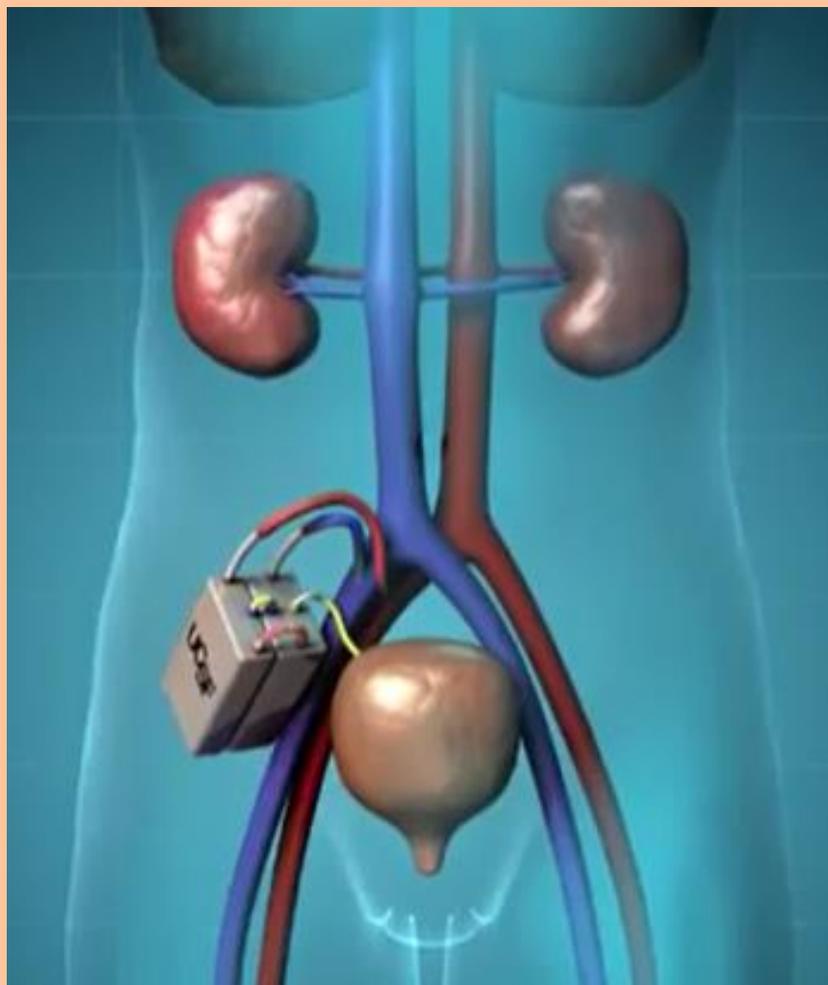
**Prototipo de riñón artificial desarrollado en el Departamento de Bioingeniería y Ciencias Terapéuticas de la Universidad de California en San Francisco.**



Fuente.- <http://www.itespresso.es/wp-content/uploads/2010/09/rinonartificial.jpg>

## Figura XVI

### Implante de riñón artificial (parte inferior izquierda)



Fuente.- <http://www.youtube.com/watch?v=pSxS1UuLg5Y>

## **PÁNCREAS ARTIFICIAL**

El páncreas es una glándula que mide alrededor de seis pulgadas de largo y se ubica en el abdomen. Está rodeada por el estómago, el intestino delgado, el hígado, el bazo, y la vesícula biliar. Tiene la forma de una pera plana. El extremo ancho del páncreas se llama cabeza, las secciones medias son el cuello y el cuerpo y el extremo delgado es la cola. El proceso unciforme es la parte de la glándula que se dobla hacia atrás y por debajo de la cabeza del páncreas. La cola se encuentra en el lado izquierdo del cuerpo, mientras que la cabeza y el proceso unciforme se encuentran en el derecho. Dos vasos sanguíneos muy importantes, la arteria mesentérica superior y la vena mesentérica superior, cruzan por detrás del cuello del páncreas y enfrente del proceso unciforme.

El conducto pancreático pasa por todo el páncreas y transporta las secreciones pancreáticas hasta la primera parte del intestino delgado, llamada duodeno. El conducto biliar común va desde la vesícula biliar tras la cabeza del páncreas, hasta el punto donde se une al conducto pancreático y forma la ampulla de Vater en el duodeno.

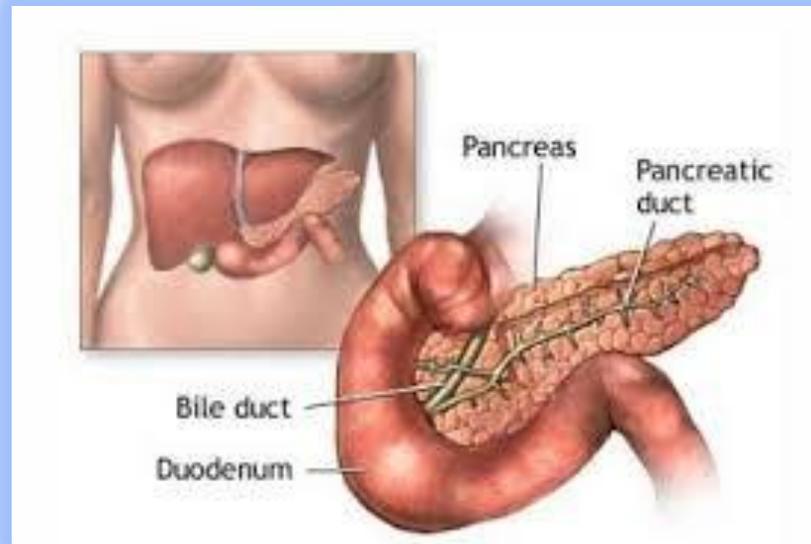
El páncreas tiene dos funciones principales, la función exocrina y la función endocrina. Las células exocrinas del páncreas producen enzimas que ayudan a la digestión. Cuando los alimentos ingresan al estómago, las glándulas exocrinas liberan enzimas dentro de un sistema de conductos que llegan al conducto pancreático principal. El conducto pancreático libera las enzimas en la primera parte del intestino delgado (duodeno), donde las enzimas ayudan en la digestión de las grasas, los carbohidratos y las proteínas de los alimentos.

La segunda función del páncreas es la función endocrina, la que envuelve la producción de hormonas o sustancias que se producen en una parte del organismo y que circulan en el torrente sanguíneo para influir en otra parte distinta del organismo. Las dos hormonas pancreáticas principales son la insulina y el glucagón.

Las células del islote de Langerhans dentro del páncreas producen y secretan insulina y glucagón al torrente sanguíneo. La insulina sirve para bajar el nivel de glucosa en la sangre (glucemia) mientras que el glucagón lo aumenta. Juntas, estas dos hormonas principales trabajan para mantener el nivel adecuado de glucosa en la sangre.

### Figura XVII

#### Ubicación del páncreas



Fuente.- <http://es.slideshare.net/farmaciasantaisabel/presentacio-n-3-31009193>

Las células del islote de Langerhans dentro del páncreas producen y secretan insulina y glucagón al torrente sanguíneo. La insulina sirve para bajar el nivel de glucosa en la sangre (glucemia) mientras que el glucagón lo aumenta. Juntas, estas dos hormonas principales trabajan para mantener el nivel adecuado de glucosa en la sangre.

La diabetes es una afección crónica que se desencadena cuando el organismo pierde su capacidad de producir suficiente insulina o de utilizarla con eficacia<sup>16</sup>. La insulina es una hormona que se fabrica en el páncreas y que permite que la glucosa de los alimentos pase a las células del organismo, en donde se convierte en energía para que funcionen los músculos y los tejidos. Como resultado, una persona con diabetes no absorbe la glucosa adecuadamente, de modo que esta queda circulando en la sangre (hiperglucemia) y dañando los tejidos con el paso del tiempo. Este deterioro causa complicaciones para la salud potencialmente letales. Hay tres tipos principales de diabetes:

**Diabetes tipo 1.-** La diabetes tipo 1 está causada por una reacción autoinmune, en la que el sistema de defensas del organismo ataca las células productoras de insulina del páncreas. Como resultado, el organismo deja de producir la insulina que necesita. La razón por la que esto sucede esto no se acaba de entender. La enfermedad puede afectar a personas de cualquier edad, pero suele aparecer en niños o jóvenes adultos. Las personas con esta forma de diabetes necesitan inyecciones de insulina a diario con el fin de controlar sus niveles de glucosa en sangre. Sin insulina, una persona con diabetes tipo 1 morirá.

---

<sup>16</sup> <http://www.idf.org/diabetesatlas/5e/es/que-es-la-diabetes>

**Diabetes tipo 2.-** La diabetes tipo 2 es el tipo más común de diabetes. Suele aparecer en adultos, pero cada vez más hay más casos de niños y adolescentes. En la diabetes tipo 2, el organismo puede producir insulina pero, o bien no es suficiente, o el organismo no responde a sus efectos, provocando una acumulación de glucosa en la sangre.

Las personas con diabetes tipo 2 podrían pasar mucho tiempo sin saber de su enfermedad debido a que los síntomas podrían tardar años en aparecer o en reconocerse, tiempo durante el cual el organismo se va deteriorando debido al exceso de glucosa en sangre. A muchas personas se les diagnostica tan sólo cuando las complicaciones diabéticas se hacen patentes (ver Complicaciones diabéticas). Aunque las razones para desarrollar diabetes tipo 2 aún no se conocen, hay varios factores de riesgo importantes. Estos son:

- obesidad
- mala alimentación
- falta de actividad física
- edad avanzada
- antecedentes familiares de diabetes
- origen étnico
- nutrición inadecuada durante el embarazo, que afecta al niño en desarrollo

En contraste con las personas con diabetes tipo 1, la mayoría de quienes tienen diabetes tipo 2 no suelen necesitar dosis diarias de insulina para sobrevivir. Sin embargo, para controlar la afección se podría recetar insulina unida a una medicación oral, una dieta sana y el aumento de la actividad física.

El número de personas con diabetes tipo 2 está en rápido aumento en todo el mundo. Este aumento va asociado al desarrollo económico, al envejecimiento de la población, al incremento de la urbanización, a los cambios de dieta, a la disminución de la actividad física y al cambio de otros patrones de estilo de vida.

**Diabetes mellitus gestacional (DMG).**- Se dice que una mujer tiene diabetes mellitus gestacional (DMG) cuando se le diagnostica diabetes por primera vez durante el embarazo. Cuando una mujer desarrolla diabetes durante el embarazo, suele presentarse en una etapa avanzada y surge debido a que el organismo no puede producir ni utilizar la suficiente insulina necesaria para la gestación.

Ya que la diabetes gestacional suele desarrollarse en una etapa avanzada de la gestación, el bebé ya está bien formado, aunque siga creciendo. El riesgo para el bebé es, por lo tanto, menor que los de cuyas madres tienen diabetes tipo 1 o tipo 2 antes del embarazo. Sin embargo, las mujeres con DMG también deben controlar sus niveles de glucemia a fin de minimizar los riesgos para el bebé. Esto normalmente se puede hacer mediante una dieta sana, aunque también podría ser necesario utilizar insulina o medicación oral.

La diabetes gestacional de la madre suele desaparecer tras el parto. Sin embargo, las mujeres que han tenido DMG corren un mayor riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 con el paso del tiempo. Los bebés nacidos de madres con DMG también corren un mayor riesgo de obesidad y de desarrollar diabetes tipo 2 en la edad adulta.

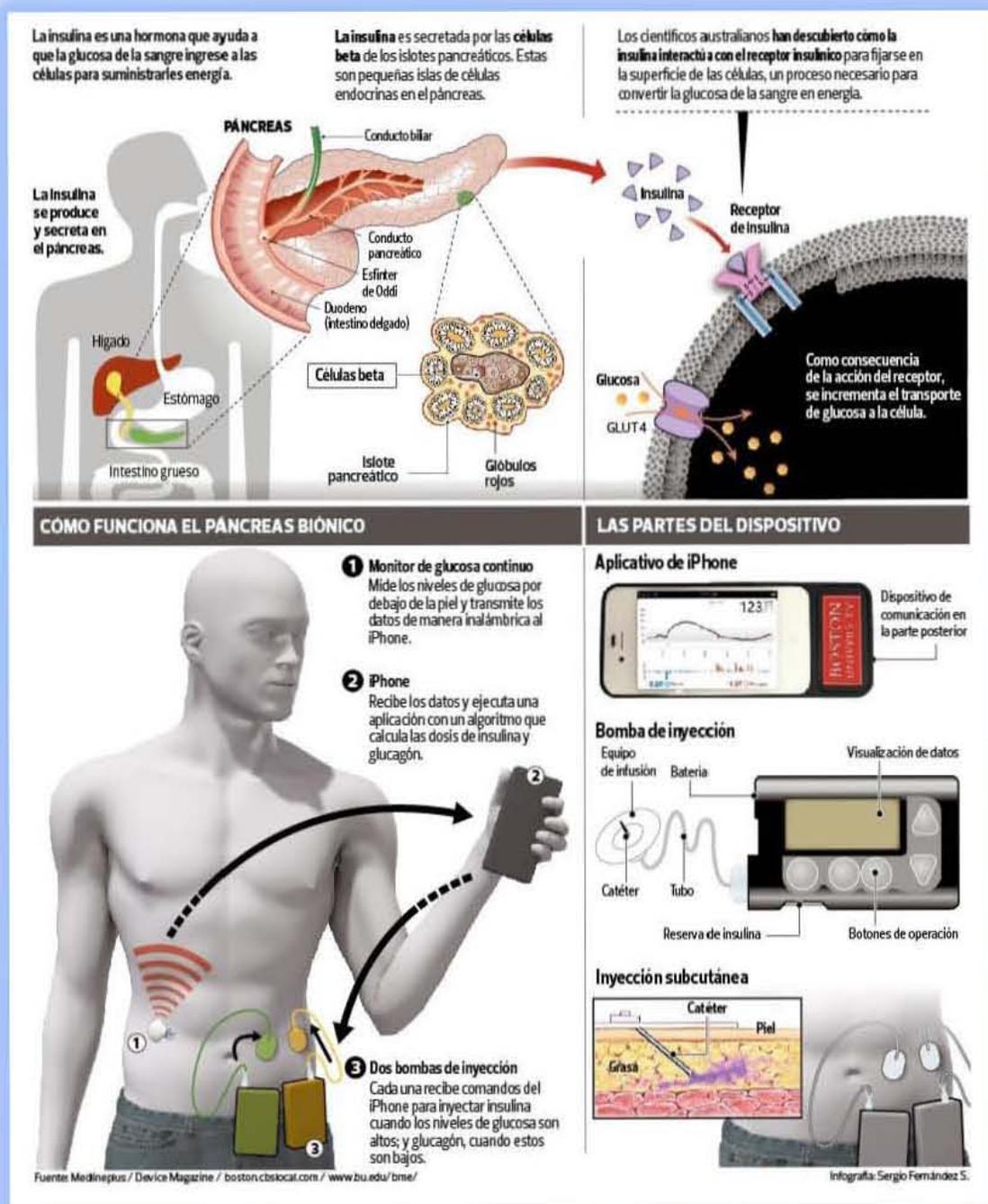
El páncreas artificial es una tecnología en desarrollo para ayudar a la personas con diabetes a controlar automáticamente sus niveles de glucosa en la sangre proporcionándoles un sustituto endócrino con las funciones de un saludable páncreas. Existen diversos prototipos de páncreas artificial a continuación se muestra el funcionamiento de uno de los más modernos sistemas de este tipo.

A diferencia de otros páncreas artificiales que solo corrigen el exceso de azúcar en la sangre, este también puede controlar casos de hipoglicemia es decir los casos en que el azúcar es demasiado baja, lo que imita la función de un páncreas natural. El dispositivo fue desarrollado por el Hospital General de Massachusetts y la Universidad de Boston. Los resultados se presentaron ante la Asociación sobre la Diabetes de EE.UU. y se publicaron en la revista "The New England Journal of Medicine".

El aparato tiene tres piezas: dos bombas del tamaño de un celular, una para la insulina y otra para el glucagon (que sube el nivel de glucosa en la sangre), y un iPhone conectado a un monitor constante de glucosa. El paciente se inserta tres pequeñas agujas debajo de la piel, generalmente en el estómago, para conectar los aparatos, que se guardan en un pequeño bolso.

Figura XVIII

Funcionamiento del páncreas artificial desarrollado por el Hospital General de Massachusetts y la Universidad de Boston



Fuente.- <http://elcomercio.pe/ciencias/medicina/nuevo-pancreas-artificial-probado-mucho-exito-noticia-1739835>

# **CAPITULO IV**

## **SISTEMAS Y EQUIPOS BIOMÉDICOS ELECTRÓNICOS.**

Un área de gran importancia dentro de la Ingeniería Biomédica es el desarrollo de instrumentos y equipo médico capaz de diagnosticar cualquier trastorno en el organismo. La tecnología, con el paso del tiempo, se ha venido adecuando a las necesidades de las sociedades y por supuesto el sector médico no se ha quedado fuera del desarrollo tecnológico. Así pues, gracias al desarrollo de la tecnología y al uso de la electrónica en el sector médico, se han podido desarrollar técnicas de diagnóstico y monitoreo de problemas relacionados con el corazón, sistema nervioso, músculos e incluso la detección de cáncer.

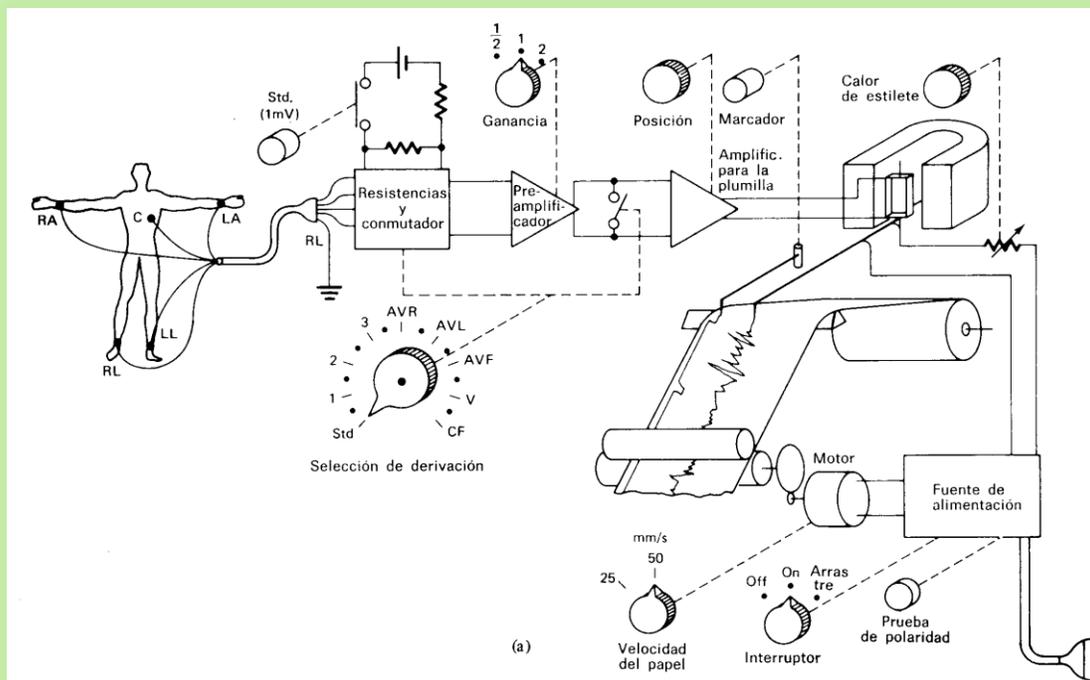
### **EQUIPAMIENTO PARA MEDICIONES BIOELÉCTRICAS**

#### **ELECTROCARDIOGRAFÍA**

La electrocardiografía convencional estudia el registro de la actividad eléctrica cardíaca mediante unos aparatos denominados electrocardiógrafos. Esta actividad se registra en forma de una línea que presenta distintas inflexiones que se corresponden con el paso del estímulo eléctrico desde su origen y a través del nodo sinusal, hasta los ventrículos del sistema específico de conducción (SEC). Se recuerda que dicho sistema está formado por el nodo sinusal, las vías preferenciales de conducción interauricular e internodal, el nodo auriculoventricular (AV), el haz de His, las dos ramas del haz de His y sus divisiones, con sus respectivas redes de Purkinje. Cuando el estímulo llega a la unión Purkinje-músculo, se produce el acoplamiento excitación-contracción.

El electrocardiograma (ECG) es el registro de la actividad eléctrica del corazón medida normalmente entre dos puntos de la superficie del cuerpo. Al ser la actividad de las cámaras cardíacas rítmica y totalmente coordinada, la forma de onda obtenida es regular. En ella se reconocen fácilmente diversas ondas cuyas amplitudes, duraciones y morfología están bien definidas. El equipo que capta la señal del ECG se denomina electrocardiógrafo. La corriente eléctrica generada por el corazón se conduce a través de cables al aparato de registro, que consta fundamentalmente de un amplificador, que magnifica las señales eléctricas, y de un galvanómetro, que mueve una aguja inscriptora, la cual se desplaza más o menos, según la magnitud del potencial eléctrico que genera el paciente. Este potencial eléctrico tiene una expresión vectorial.

**Figura XIX**  
**Elementos de un electrocardiógrafo.**



Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

Los parámetros considerados para analizar la señal, normalmente de forma empírica, son el ritmo y su uniformidad, y la presencia, amplitud, forma y separación de las distintas ondas. Las amplitudes están asociadas directamente al estado de las células del miocardio, mientras que los tiempos vienen condicionados por las células nerviosas. Es, pues, muy importante no alterar los parámetros durante la medida ya que, de lo contrario, se pueden producir errores de interpretación.

### Figura XX

**Algunos sistemas más modernos se conectan ya con sistemas digitales con más posibilidades de interacción.**



Fuente.- <http://www.rehabilitacionblog.com/2009/09/una-camiseta-que-recoge-la-actividad.html>

Los sistemas Holter son equipos de registro del ECG para un posterior análisis del mismo. El objetivo de esta medida es monitorizar al paciente durante largos periodos de tiempo y posteriormente analizar estos resultados.

**Figura XXI**  
**Sistema Holter**



Fuente.- <http://www.rehabilitacionblog.com/2009/09/una-camiseta-que-recoge-la-actividad.html>

**Figura XXI**  
**En la actualidad se están desarrollando sistemas Holter integrados en prendas de ropa para una mayor comodidad en su uso.**



Fuente.- <http://www.rehabilitacionblog.com/2009/09/una-camiseta-que-recoge-la-actividad.html>

## **ELECTROENCEFALOGRAFÍA**

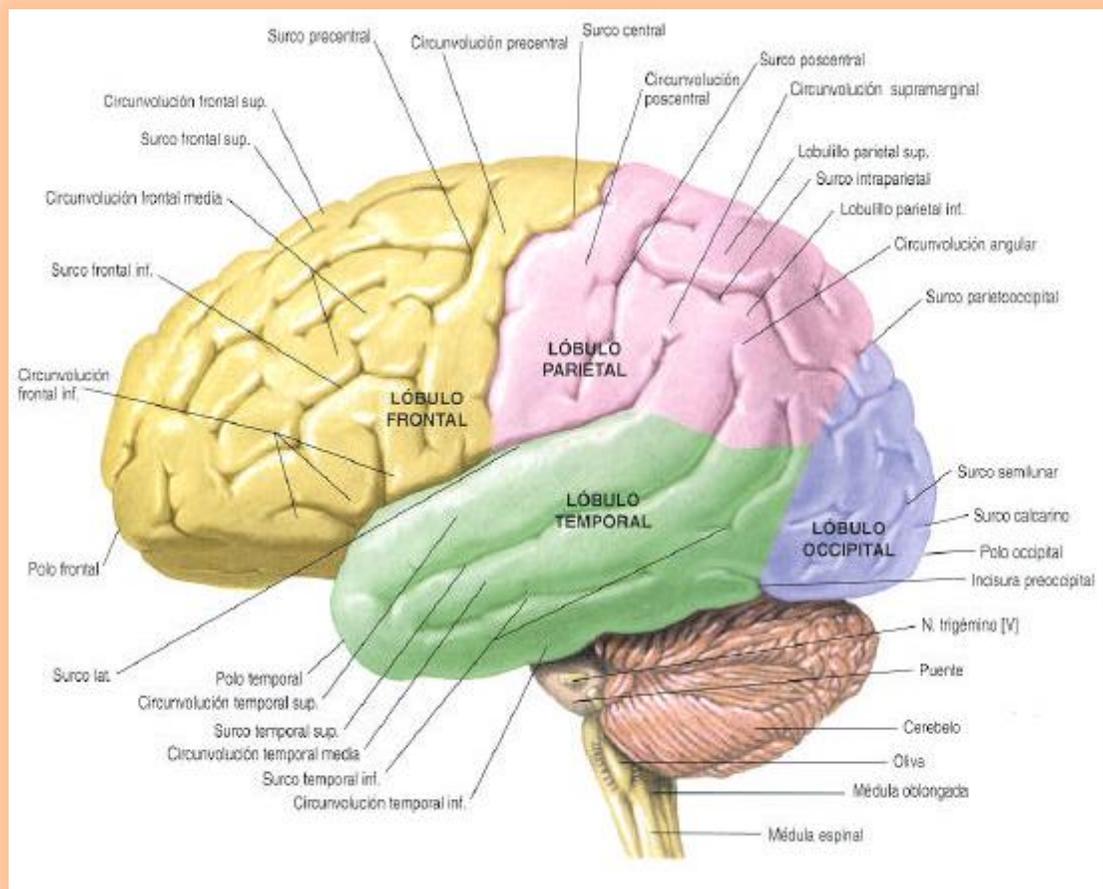
La Electroencefalografía es el registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro y obtenidos por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo. El electroencefalograma (EEG) es el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo. Dicho registro posee formas muy complejas que varían mucho con la localización de los electrodos y entre individuos. Esto es debido al gran número de interconexiones que presentan las neuronas y por la estructura no uniforme del encéfalo.

El encéfalo, contenido en el cráneo, es la parte más voluminosa del sistema nervioso central (SNC), que continúa en la médula espinal, contenida en la columna vertebral, y en los nervios sensitivos y motores que llevan, respectivamente, información sensorial al encéfalo y el control de la musculatura del esqueleto. El encéfalo se divide en las siguientes partes: tallo cerebral, cerebelo y cerebro (figura XXII).

El tallo cerebral es la parte evolutivamente más antigua del encéfalo; conecta entre sí el córtex cerebral, la médula espinal y el cerebelo; controla asimismo los ritmos cardíaco y respiratorio, y es el centro de diversos reflejos motores. El cerebelo es el coordinador de los movimientos voluntarios, además de mantener el equilibrio. El cerebro es la parte más evolucionada del encéfalo y en él están localizadas las funciones conscientes del sistema nervioso. Posee dos partes llamadas hemisferios que se relacionan con las partes opuestas del cuerpo. La superficie externa del hemisferio se conoce por córtex y en ella se recibe la información sensorial. Las capas más profundas están formadas por axones y núcleos de células.

La subdivisión más importante del encéfalo es la corteza cerebral que contiene unos 9 de los 12 billones de neuronas que hay en el cerebro humano. La corteza es en realidad una capa más bien fina de neuronas situada en la periferia del cerebro que contiene muchas fisuras o pliegues entrantes para dar una mayor área superficial. Algunas de las fisuras más profundas, llamadas también surcos se utilizan como límites para dividir la corteza en ciertos lóbulos.

**Figura XXII**  
**Secciones del cerebro**



Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%20-%20electrocardiografia.pdf>

## ***La captación del electroencefalograma***

La actividad bioeléctrica cerebral puede captarse por diversos procedimientos:

- Sobre el cuero cabelludo a través de electrodos superficiales.
- En la base del cráneo a través de electrodos basales.
- En cerebro expuesto y en localizaciones cerebrales profundas. A través de electrodos quirúrgicos. Para su aplicación es precisa la cirugía y pueden ser corticales o intracerebrales.

El registro de la actividad bioeléctrica cerebral recibe distintos nombres según la forma de captación:

- Electroencefalograma (EEG): cuando se utilizan electrodos de superficie o basales.
- Electrocorticograma (ECoG): si se utilizan electrodos quirúrgicos en la superficie de la corteza.
- Estereo Electroencefalograma (E-EEG): cuando se utilizan electrodos quirúrgicos de aplicación profunda.

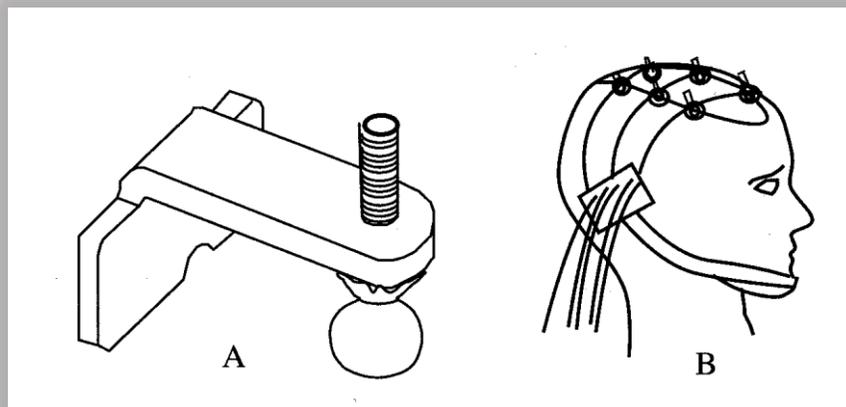
## ***Tipos de electrodos:***

### **1) Superficiales:**

- a) Adheridos. Son pequeños discos metálicos de 5 mm de diámetro. Se adhieren con pasta conductora y se fijan con colodión que es aislante. Aplicados correctamente dan resistencias de contacto muy bajas (1-2 kilo ohmios).
- b) De contacto. Consisten en pequeños tubos de plata clorurada roscados a soportes de plástico. En su extremo de contacto se colocan una almohadilla que se humedece con solución conductora. Se sujetan al cráneo con bandas elásticas y se conectan con pinzas de "cocodrilo". Son de colocación muy fácil, pero incómodos para el paciente. Por esto no permiten registros de larga duración (figura XXIII).

**Figura XXIII**

**A. Esquema de un electrodo de contacto. B. Colocación de los electrodos de contacto.**

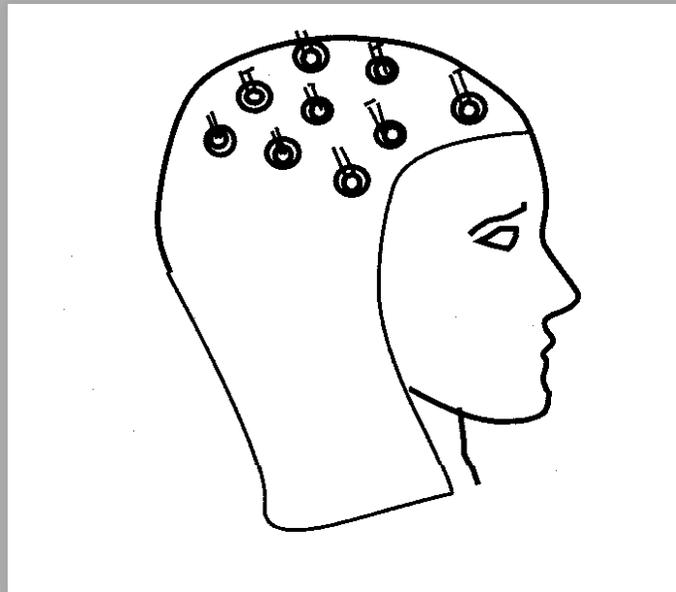


Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

- c) En casco de malla (fig. XXIV). De introducción reciente. Los electrodos están incluidos en una especie de casco elástico. Existen cascos de diferentes tamaños, dependiendo de la talla del paciente. Se sujetan con cintas a una banda torácica. Como características más importantes presentan la comodidad de colocación, la comodidad para el paciente en registros de larga duración, su gran inmunidad a los artefactos y la precisión de su colocación, lo que los hace muy útiles en estudios comparativos.

**Figura XXIV**

**Principio de colocación de electrodos en casco de malla.**



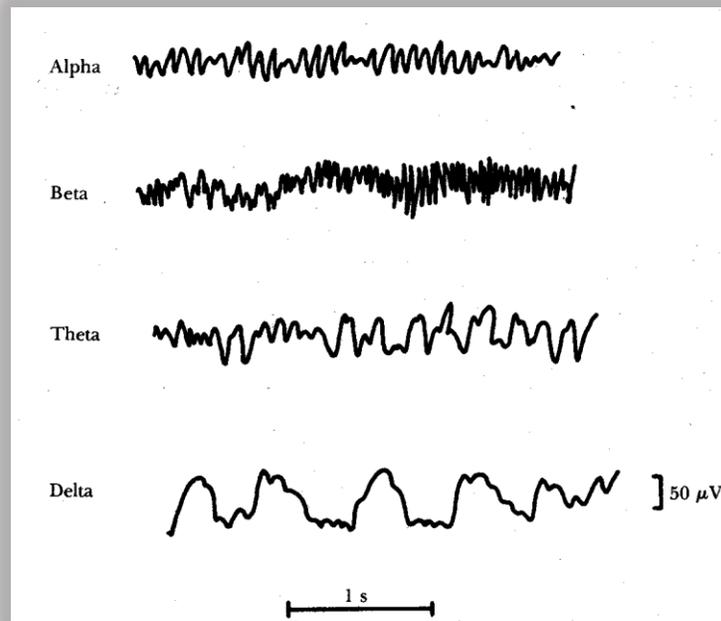
Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

## **2) Invasivos:**

- a) De aguja. Su uso es muy limitado; sólo se emplea en recién nacidos y en una unidad de cuidados intensivos (UCI). Pueden ser desechables (de un sólo uso) o de uso múltiple. En este caso, su esterilización y manipulación deben ser muy cuidadosos. Todos los electrodos descritos hasta aquí registran solamente la convexidad superior de la corteza. Para el estudio de la cara basal del encéfalo se utilizan electrodos especiales como el faríngeo, el esfenoidal, y el timpánico.
  
- b) Quirúrgicos. Se utilizan durante el acto quirúrgico y son manipulados exclusivamente por el neurocirujano. Pueden ser duros, corticales o intracerebrales.

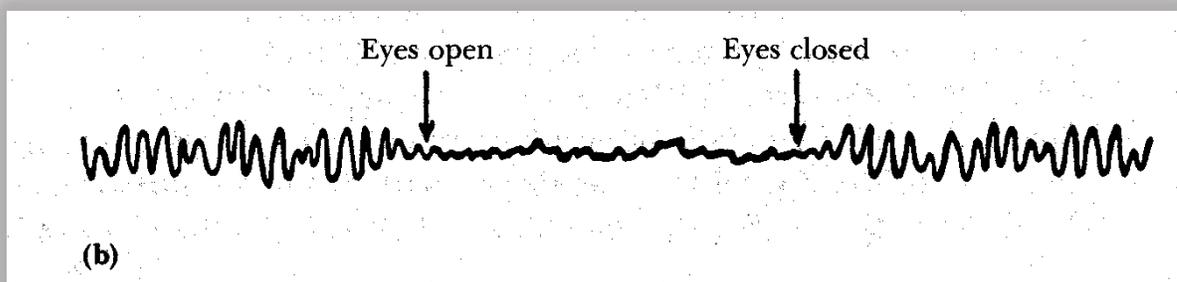
La mayoría de las veces estas ondas no poseen ninguna forma determinada, en algunas son ritmos normales que suelen clasificarse en ritmos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  y  $\delta$ . En otras poseen características muy específicas de patologías cerebrales como la epilepsia (figura XXV). Las ondas del electroencefalograma poseen amplitudes que van desde los 10 mV en registros sobre el córtex, a 100 mV en la superficie del cuero cabelludo. Las frecuencias de estas ondas se mueven entre 0,5 y 100 Hz y dependen mucho del grado de actividad del córtex cerebral.

**Figura XXV**  
**Ondas de la electroencefalografía**



Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

**Figura XXVI**  
**Ritmos normales en electroencefalografía.**



Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

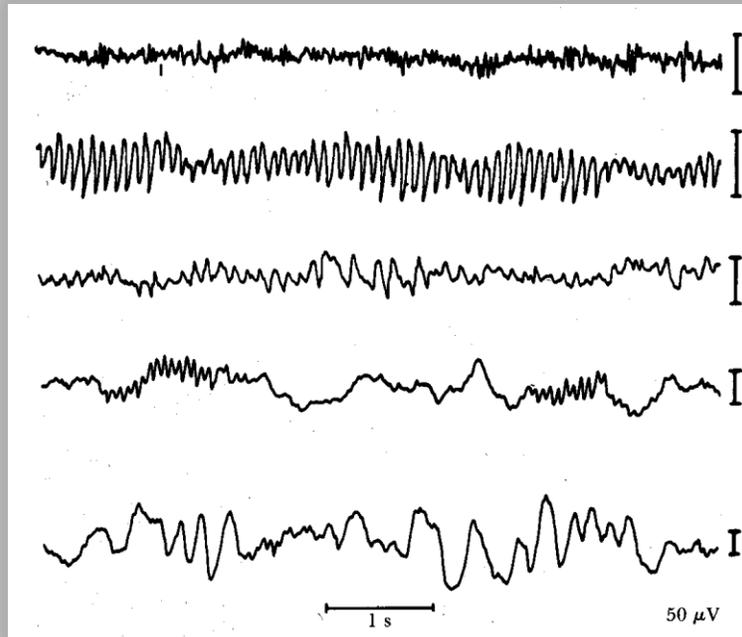
Las ondas  $\alpha$  poseen frecuencias entre 8 y 13 Hz. Se registran en sujetos normales despiertos, sin ninguna actividad y con los ojos cerrados, localizándose sobre todo en la zona occipital; su amplitud está comprendida entre 20 y 200 mV.

Las ondas  $\beta$  poseen frecuencias entre 14 y 30 Hz, aunque pueden llegar hasta los 50 Hz; se registran fundamentalmente en las regiones parietal y frontal. Se dividen en dos tipos fundamentales, de comportamiento muy distinto,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ . Las ondas  $\beta_1$ , tienen una frecuencia doble a las ondas  $\beta_2$  y se comportan de forma parecida a ellas. Las ondas  $\beta_2$ , aparecen cuando se activa intensamente el SNC o cuando el sujeto está bajo tensión.

Las ondas  $\theta$  poseen frecuencias entre 4 y 7 Hz y se presentan en la infancia aunque también pueden presentarlas los adultos en períodos de stress emocional y frustración. Se localizan en las zonas parietal y temporal. Las ondas  $\delta$  poseen frecuencias inferiores a 3,5 Hz y se presentan durante el sueño profundo, en la infancia y en enfermedades orgánicas cerebrales graves.

Durante la fase del sueño, tienen lugar de forma cíclica cambios espectrales muy notables, pudiendo ser cualquier desviación indicativa de una patología cerebral. En la figura XXVII se distinguen distintas fases del sueño que corresponden sucesivamente a los estados de alerta o excitación, de relajación, de somnolencia, de sueño y finalmente, de sueño profundo. Obsérvese que la frecuencia de las ondas del EEG va disminuyendo progresivamente.

**Figura XXVII**  
**EEG durante distintas fases del sueño.**

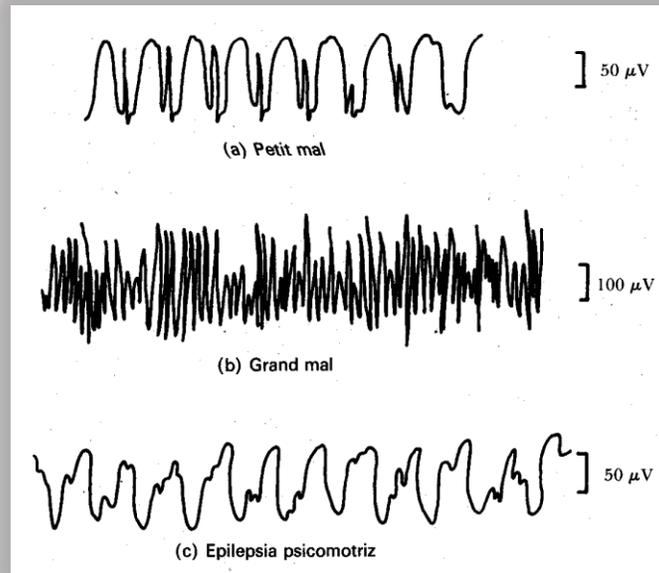


Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

Uno de los usos fundamentales del EEG está en el diagnóstico y localización de la epilepsia, que tiene su origen en una activación excesiva de parte o de todo el SNC. Las descargas se expanden por todo el sistema nervioso dando lugar a convulsiones del cuerpo entero que duran desde algunos segundos hasta 3 o 4 minutos. Después del ataque el sujeto puede permanecer inconsciente bastantes minutos (hasta una hora).

## Figura XXVIII

EEG correspondiente a distintos tipos de epilepsia.



Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

## Figura XXIX

Electroencefalografía



Fuente.- <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15274611/Estudio-de-los-suenos.html>

## ELECTROMIOGRAFÍA

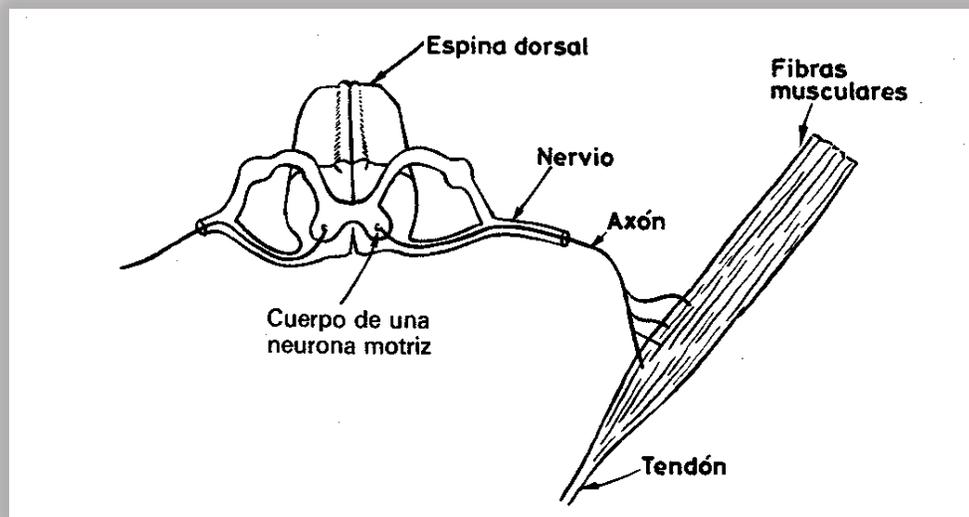
La electromiografía es el estudio de la actividad eléctrica de los músculos del esqueleto. Proporciona información muy útil sobre su estado fisiológico y el de los nervios que los activan. Permite la localización, por ejemplo, de parálisis musculares, del lugar de la lesión que puede estar en el encéfalo, la médula espinal, el axón, la unión neuromuscular o las propias fibras musculares. El primer estudio en profundidad del electromiograma (EMG) fue llevado a cabo en 1912, y en él se registraron potenciales durante la contracción voluntaria empleando electrodos de superficie y un galvanómetro de hilo. Posteriormente se comenzó a utilizar un electrodo concéntrico de aguja que hizo posible, conjuntamente con el osciloscopio de rayos catódicos y los amplificadores electrónicos, el estudio de potenciales de acción de unidades motrices y de fibras únicas.

La membrana de las células excitables se encuentra polarizada, siendo el interior de la célula negativo con respecto al exterior. En la célula muscular, con un electrodo situado en el interior de la fibra y otro en el exterior se puede detectar una diferencia de potencial de reposo de unos 90 mV. Este potencial es producido por diferencias existentes en la concentración de diversos iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Cl}^-$ ). En el músculo se pueden distinguir dos tipos de unidades, las anatómicas y las funcionales.

La unidad anatómica es la llamada fibra muscular y la unidad funcional es la unidad motora. Una unidad motora es un grupo de fibras musculares inervado por una única motoneurona de la médula espinal o de un núcleo motor del tallo cerebral. Este concepto comprende una motoneurona, su axón, las ramificaciones de este y el conjunto de fibras musculares sobre los que estos hacen contacto sináptico.

La unidad contráctil de la musculatura del esqueleto es la fibra muscular, que es una célula cilíndrica de unos 50  $\mu\text{m}$  de diámetro, que al ser estimulada se contrae desarrollando fuerza. Un músculo consiste en haces paralelos de fibras musculares. La activación de cada fibra muscular se hace a través del axón de la fibra nerviosa motriz que la inerva. Según la posición y la función del músculo, el número de fibras musculares inervadas por un mismo axón puede variar entre uno o más de mil. El conjunto formado por la célula nerviosa motriz en la espina dorsal, su axón y las fibras musculares que este inerva constituye la unidad funcional básica del sistema muscular y se conoce por unidad motora (UM) (figura XXX).

**Figura XXX**  
**Diagrama de una unidad motora.**

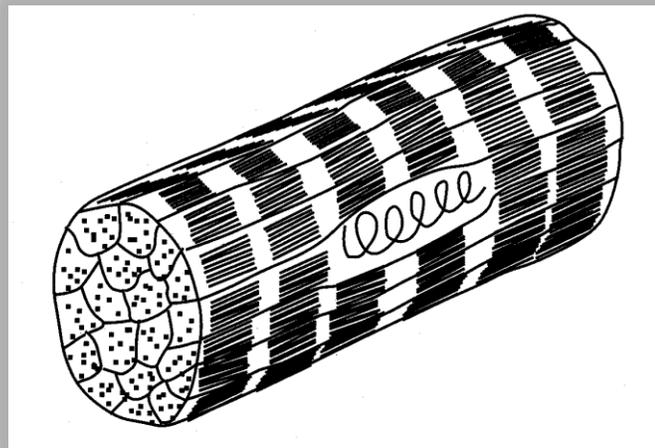


Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

Con todo esto, un músculo puede considerarse como un conjunto de unidades motoras dispuestas en paralelo, entre las cuales se encuentran otras fibras musculares modificadas llamadas Husos Musculares que contienen elementos sensoriales que perciben las tracciones en el músculo y sirven para el control de la posición del músculo (figura XXXI). En el electromiograma (EMG) se registra la actividad del músculo y en él se puede distinguir la activación de sus unidades motoras, las variaciones características de estas activaciones y las relaciones de unas unidades con otras.

**Figura XXXI**

**Segmento de un haz de fibrillas musculares mostrando un huso con la terminación sensitiva anulo-espinal.**



Fuente.- <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electrocardiografia.pdf>

La Electromiografía (EMG) y las pruebas de conducción nerviosa constituyen los métodos de electrodiagnóstico más útiles en el estudio de la función motriz. Su valor diagnóstico presenta las siguientes cualidades:

- Certeza elevada, especialmente si se hace uso de las técnicas electromiográficas de carácter cuantitativo.
- Señala la magnitud y localización de la lesión.
- Rapidez en el diagnóstico.

Un equipo de registro electromiográfico consta de los siguientes elementos:

A) Electroodos.

Recogen la actividad eléctrica del músculo, bien por inserción dentro del mismo o bien a través de la piel que lo recubre, previo acoplamiento por medio de pasta conductora.

B) Amplificadores.

Su finalidad es la de amplificar los diminutos potenciales recogidos en el músculo de tal forma que puedan ser visualizados en la pantalla de un osciloscopio.

C) Sistemas de registro.

Se puede utilizar el registro gráfico en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (osciloscopio) o por algún medio de registro permanente. Muy corrientemente los dos tipos de registro pueden ser usados simultáneamente.

D) Altavoz.

Constituye un elemento indispensable, tan útil para el registro como la pantalla o la fotografía. A veces el oído proporciona una discriminación más fina que la visión de potenciales rápidos por el osciloscopio. Algunas características del electromiograma patológico, como las fibrilaciones o las salvas miotónicas, se perciben mejor acústicamente que por visualización directa.

**Figura XXXII**  
**Electromiografía**



Fuente.- <http://www.efdeportes.com/efd75/escalada.htm>

La electromiografía es útil en el diagnóstico de las siguientes patologías:

a) Denervación: La pérdida de continuidad entre un nervio y un músculo del esqueleto puede detectarse mediante la electromiografía.

b) Desórdenes de la neurona motriz: Comprenden desde infecciones víricas agudas tales, como la poliomielitis, hasta atrofas musculares de la espina dorsal de origen genético, pasando por lo que se conoce como enfermedad de la neurona motriz, de tipo degenerativo.

c) Neuropatías periféricas: Se caracterizan por una reducción de la actividad de las unidades motrices hasta el punto de perderse el patrón de interferencia.

d) Bloqueo neuromuscular: El ejemplo más característico lo tenemos en la miastenia grave. Las fibras musculares están normalmente inervadas pero la transmisión de impulsos a través de la unión mioneuronal se hace con mucha dificultad.

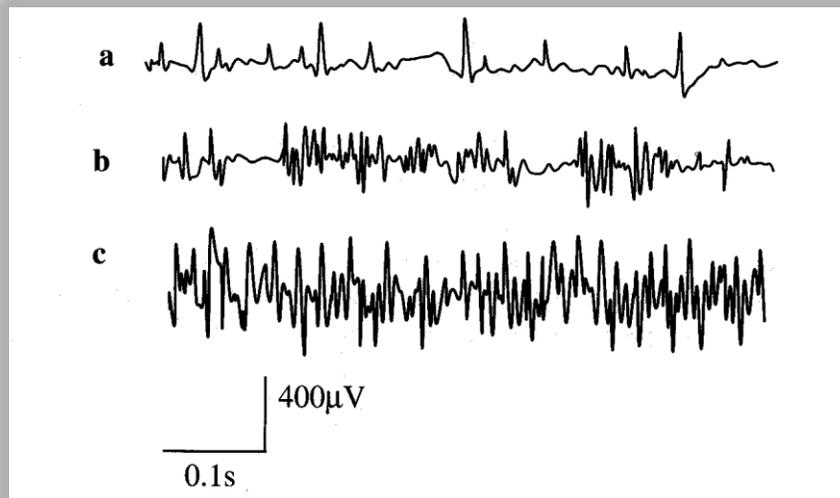
e) Enfermedades musculares: Incluyen enfermedades tan diversas como las distrofias musculares, las miopatías adquiridas, las miopatías de tipo endocrino y un grupo diverso de desórdenes de origen congénito.

Cuando el músculo se encuentra en reposo no se registra ninguna actividad en el EMG. Si en estas condiciones se lleva a cabo una contracción débil por parte del músculo, se visualizará en el osciloscopio un reducido número de potenciales de unidad motora, siendo cada una de ellas fácilmente discernible de las demás. Estamos en actividad de Patrón simple.

Si se aumenta la fuerza de contracción se incorporan nuevos potenciales que densifican el trazado, siendo ya escasos los trechos netos con línea de base discernible. Se está en el trazado intermedio. Si la contracción llega a ser máxima desaparecerá por completo la línea de base y se habrá conseguido el patrón de interferencia.

### Figura XXXIII

**Patrones de actividad en la contracción progresiva muscular. a. Patrón simple; b. Patrón intermedio; c. Patrón interferencial.**



## SISTEMAS E IMÁGENES

Un estudio por imágenes es una forma que permite a los médicos observar algo que está sucediendo dentro del cuerpo. Estos estudios envían formas de energía (rayos X, ondas sonoras, partículas radiactivas o campos magnéticos) a través del cuerpo. Los cambios en los patrones de energía producidos por los tejidos del cuerpo crean una imagen o fotografía. Estas fotografías pueden mostrar estructuras del cuerpo y funciones normales así como también anormales causadas por enfermedades como el cáncer.

Los estudios del cuerpo a través de imágenes son los siguientes:

- Ecografía
- Tomografía
- Ultrasonido
- Resonancia Magnética

Los estudios por imágenes son sólo parte del proceso de diagnóstico y de tratamiento de diversas enfermedades como el cáncer. Un estudio completo también incluye que su médico obtenga su historia clínica (una serie de preguntas sobre sus síntomas y factores de riesgo), un examen físico, análisis de sangre u otras pruebas de laboratorio.

Los estudios por imágenes (Radiología, tomografía, resonancia magnética nuclear, Ecografía) son diferentes a otros métodos como de la endoscopia (como una colonoscopia o broncoscopia), la cual coloca un tubo flexible, iluminado con una lente o una cámara de video en el interior del cuerpo. La endoscopia permite a los médicos ver partes internas del cuerpo como si se estuvieran mirando a simple vista.

## TOMOGRAFÍA

La tomografía computarizada (CT, por sus siglas en inglés) muestra un corte o sección transversal del cuerpo. La imagen muestra sus huesos, órganos y tejidos blandos con mayor claridad que las radiografías convencionales, y todo al mismo tiempo. Debido a que la imagen es producida por una computadora, puede ampliarse para que sea más fácil de leer e interpretar. Desde finales de 1970, la CT ha sido muy útil para ayudar a los médicos a detectar el cáncer. La CT puede mostrar la forma, el tamaño y la ubicación de un tumor, e incluso los vasos sanguíneos que lo alimentan; todo esto sin tener que hacer una incisión en el paciente.

Algunas veces los médicos usan la CT para que les ayude a guiar una aguja para extraer una muestra de tejido. Esto se llama biopsia guiada por CT. También se pueden usar para guiar las agujas hacia el interior de los tumores en algunos tipos de tratamientos del cáncer tal como la ablación por radiofrecuencia (la cual usa calor para destruir un tumor). Mediante la comparación de las CT que se han realizado con el paso del tiempo, los médicos pueden ver cómo un tumor está respondiendo al tratamiento o averiguar si el cáncer está regresando después del tratamiento.

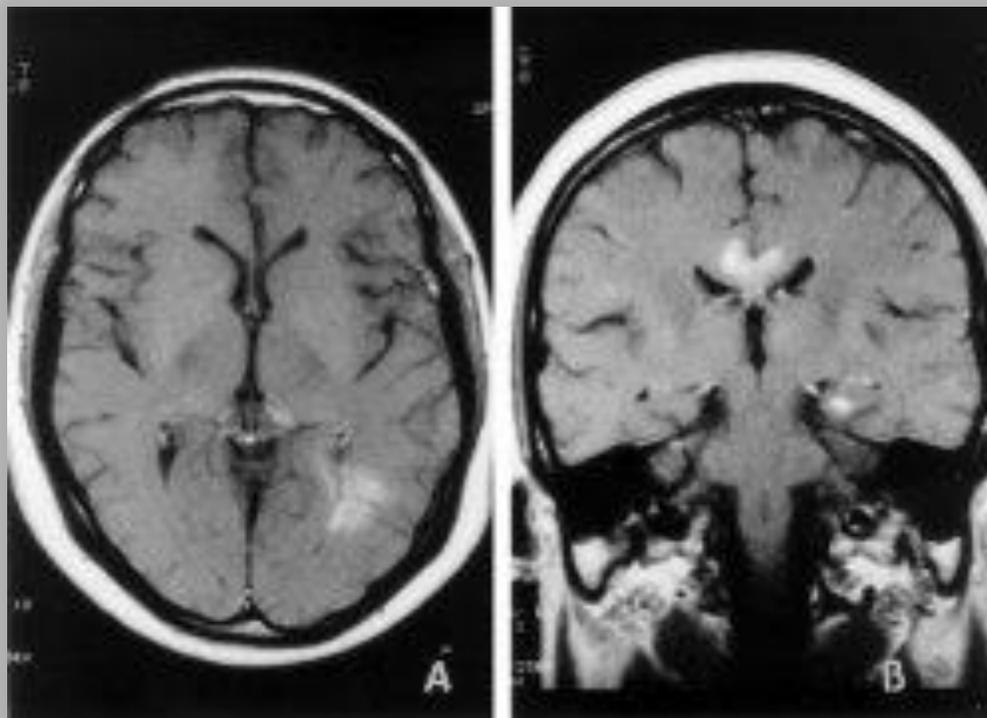
En cierto modo, las tomografías computarizadas son como las radiografías estándar sin embargo una radiografía dirige un amplio haz de radiación desde un solo ángulo. Una CT usa un haz delgado para crear una serie de imágenes tomadas desde distintos ángulos. Cada ángulo produce una vista ligeramente diferente de los órganos y de los tejidos blandos. La información de cada ángulo es ingresada en una computadora, la cual calcula cómo se superponen las imágenes. La computadora luego crea una imagen en blanco y negro que muestra un corte de una determinada área del cuerpo; es como mirar de frente una sola rebanada de una barra de pan.

La imagen se puede aclarar mediante el uso de materiales especiales de contraste los cuales se pueden ingerir en forma líquida, inyectar vía intravenosa, o colocar en el interior de los intestinos a través del recto como un enema. Debido a que los tejidos del cuerpo absorben estos materiales de diferente manera, la imagen de la CT mostrará un mayor contraste entre los distintos tipos de tejidos. Esto permite que objetos anormales dentro del cuerpo como los tumores se vean con mayor claridad.

Hoy día, la CT espiral (también conocida como CT helicoidal) es el tipo más común de CT utilizado. Esta es una máquina más rápida que usa menos radiación que la CT original. A medida que la tecnología avanza, la CT es un estudio que está incluso mejorando (es más rápida y puede escanear capas muy delgadas). Al colocar los cortes de imagen de la CT uno sobre otro, la máquina puede crear una imagen tridimensional (3-D), lo cual proporciona aún más información sobre ciertos tipos de cáncer. La imagen en 3-D se puede girar en la pantalla de una computadora para examinar las diferentes vistas.

Los médicos actualmente están llevando la tecnología de la CT un paso adelante en una técnica llamada endoscopia virtual. Ellos pueden examinar las superficies internas de órganos como los pulmones (broncoscopia virtual) o el colon (colonoscopia virtual o colonografía por CT) sin tener realmente que colocar endoscopios dentro del cuerpo. Pueden ajustar las imágenes en 3-D para crear una vista en blanco y negro en la pantalla de la computadora, lo cual se asemeja mucho a cómo se vería si estuvieran haciendo una endoscopia real.

**Figura XXXIV**  
**Imagen del cerebro por tomografía**



Fuente.- [Http://comunidadneurociencias.wordpress.com/2012/09/28/tomografia-axial-computarizada/](http://comunidadneurociencias.wordpress.com/2012/09/28/tomografia-axial-computarizada/)

## IMÁGENES POR RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Otros nombres incluyen Imágenes por resonancia magnética (MRI), resonancia magnética (MR) e imagen por resonancia magnética nuclear (NMR). Al igual que la CT, la imagen por resonancia magnética (MRI) crea imágenes transversales de sus órganos internos. Sin embargo, la MRI usa imanes muy potentes en lugar de radiación para crear las imágenes. Una MRI puede tomar cortes transversales (vistas) desde muchos ángulos, como si alguien estuviera mirando una sección de su cuerpo de frente, de costado, o por encima de su cabeza. La MRI crea imágenes de partes del tejido blando del cuerpo que a veces son difíciles de ver usando otros estudios por imágenes.

La MRI da buenos resultados para detectar y localizar algunos tipos de cáncer. Una MRI con medio de contraste es la mejor manera de ver los tumores cerebrales. Mediante el uso de MRI, los médicos a veces pueden decir si un tumor es benigno (no canceroso) o si es maligno (cáncer). La MRI también se puede usar para buscar signos de que el cáncer pueda haberse metastatizado (diseminado) de su sitio de origen a otra parte del cuerpo. Un escáner de MRI es un cilindro o tubo que contiene un imán muy potente que pesa varias toneladas.

Cuando se está acostado sobre la mesa dentro del tubo, el dispositivo le rodea con un campo magnético potente. La fuerza magnética hace que el núcleo de los átomos de hidrógeno en su cuerpo se alinee en una dirección. Una vez que los átomos están alineados, la máquina de MRI emite una ráfaga de ondas de radiofrecuencia. Las ondas hacen que el núcleo de hidrógeno cambie de dirección. Cuando vuelven a su posición original, emiten ciertas señales que son detectadas por el escáner. Los núcleos de hidrógeno en los tejidos del cuerpo cambian de dirección de diferentes formas. Una computadora toma las señales de esos cambios y las convierte en una imagen en blanco y negro.

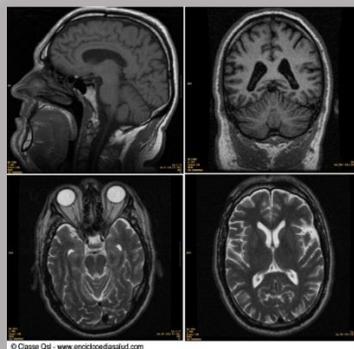
Se pueden suministrar materiales de contraste vía intravenosa para mejorar la calidad de la imagen. Una vez que son absorbidos por el cuerpo, estos agentes aceleran la velocidad en la que los tejidos responden a las ondas magnéticas y de radio. Como resultado, las señales producen imágenes más fuertes y claras.

**Figura XXXV**  
**Resonancia Magnética**



Fuente.- <http://science.howstuffworks.com/mri.htm>

**Figura XXXVI**  
**Imagen del cerebro por resonancia magnética**



Fuente.- <http://www.enciclopediasalud.com/categorias/cuerpo-humano/articulos/imagen-por-resonancia-magnetica-nuclear-rmn>

## RADIOLOGÍA

Las radiografías, generalmente llamadas rayos X, producen imágenes como sombras de huesos y ciertos órganos y tejidos. Las radiografías son muy buenas para detectar problemas óseos. Pueden mostrar algunos órganos y tejidos blandos; sin embargo, la MRI y la CT suelen crear mejores imágenes de los mismos. Aun así, las radiografías son más rápidas, fáciles de obtener y menos costosas que los otros estudios, por lo que se pueden usar para obtener información rápidamente.

Algunos tipos especiales de radiografía llamados estudios de contraste pueden usar tintes, medios o materiales de contraste. Por ejemplo, una serie radiográfica del tracto gastrointestinal (GI, siglas en inglés) inferior, normalmente llamada examen de enema de bario, toma radiografías después de que el intestino se llena con sulfato de bario (un material de contraste). Otro estudio, el pielograma intravenoso (IVP, siglas en inglés), usa un colorante de contraste para examinar la estructura y el funcionamiento del sistema urinario (uréteres, vejiga y riñones), la tabla X muestra diferentes ejemplos.

Un tubo especial dentro de la máquina de rayos X emite un haz de radiación controlada. Los tejidos del cuerpo absorben o bloquean la radiación en diferentes grados. Los tejidos densos como los huesos bloquean la mayor parte de la radiación, pero los tejidos blandos, como la grasa o los músculos, bloquean menos radiación. Después de pasar por el cuerpo, el haz cae sobre una pieza de un fragmento de película, donde proyecta una especie de sombra. Los tejidos que bloquean altas cantidades de radiación, como los huesos, aparecen como áreas blancas. Los tejidos blandos bloquean menos radiación y aparecen en tonos grises y los órganos que son mayormente aire (como los pulmones) normalmente se ven negros. Los tumores son por lo general más densos que el tejido que los rodea, por lo que suelen verse como tonos grises más claros.

**Tabla X**  
**Diversos tipos de radiografías de contraste.**

Nombre(s) del/de los estudio(s)	Órganos en estudio	El medio de contraste se administra a través de
Angiografía, angiograma, arteriografía, arteriograma	Arterias de todo el cuerpo, incluyendo las del cerebro, los pulmones y los riñones	Catéter (tubo delgado) en una arteria
Pielograma intravenoso	Tracto urinario (riñones, uréteres, vejiga)	Inyección en la vena (IV)
Serie radiográfica del tracto gastrointestinal (GI) inferior, enema de bario (BE), enema de bario de doble contraste (DCBE), enema de bario con contraste de aire (ACBE)	Colon, recto	Enema
Serie radiográfica del tracto gastrointestinal (GI) superior, esofagografía, estudio radiológico del tránsito intestinal	Esófago, estómago, intestino delgado	Boca
Venografía, venograma	Venas de todo el cuerpo, por lo general en la pierna	Catéter en una vena

Fuente.- <http://www.cancer.org/acs/groups/cid/documents/webcontent/acspc-033538-pdf.pdf>

## ULTRASONIDOS

Una máquina de ecografía crea imágenes llamadas ecografías por medio de la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia que pasan por su cuerpo. Cuando las ondas sonoras rebotan contra sus órganos y tejidos, crean ecos. La máquina convierte estos ecos en imágenes en tiempo real que se pueden observar en una pantalla de computadora. La ecografía es muy buena para crear imágenes de algunas enfermedades de los tejidos blandos que no se muestran bien en las radiografías. La ecografía también es una buena manera de distinguir los quistes llenos de líquido y los tumores sólidos porque producen patrones de eco muy diferentes.

Las imágenes de ecografía no son tan detalladas como las de la CT y la MRI. La ecografía no puede distinguir un tumor benigno (no canceroso) de uno canceroso. Su uso también está limitado en algunas partes del cuerpo porque las ondas sonoras no pueden pasar por el aire (como en los pulmones) o a través de los huesos. Los médicos suelen usar la ecografía para guiar una aguja para hacer una biopsia (extrayendo líquido o muestras pequeñas de tejido para examinarlas al microscopio). Los médicos observan la pantalla del ecógrafo mientras mueven la aguja y pueden ver la aguja moviéndose hacia y dentro del tumor.

Para algunos tipos de estudios de ecografía, el transductor (el dispositivo manual que produce las ondas sonoras y detecta los ecos) se frota sobre la superficie de la piel. Las ondas sonoras pasan a través de la piel y llegan a los órganos debajo de la misma. En otros casos, para obtener las mejores imágenes, el médico debe usar un transductor que se coloca en una abertura del cuerpo, como el esófago (el tubo que conecta la garganta y el estómago).

Máquinas especiales de ecografía, conocidas como máquina de eco-Doppler, pueden mostrar cómo la sangre fluye a través de los vasos sanguíneos. Esto es útil porque el flujo sanguíneo en los tumores es diferente que en el tejido normal. Algunas de estas máquinas toman imágenes a color. A diferencia de otras formas de estudios por imágenes de los vasos sanguíneos, los estudios de eco Doppler color no utilizan agentes de contraste. El eco Doppler color ha facilitado a los médicos descubrir si el cáncer se ha diseminado a los vasos sanguíneos, especialmente el hígado y el páncreas.

Una máquina de ecografía tiene tres partes clave: un panel de control, una pantalla de visualización y un transductor, que es muy similar a un micrófono o a un ratón de computadora. El transductor emite ondas sonoras y capta los ecos. El médico o el técnico ecógrafista mueve el transductor sobre la parte del cuerpo que se está estudiando. La computadora que se encuentra dentro de la parte principal de la máquina analiza las señales y pone una imagen en la pantalla de visualización.

La forma y la intensidad de los ecos dependen de qué tan denso es el tejido. Por ejemplo, la mayoría de las ondas sonoras pasan directamente a través de un quiste lleno de líquido y envían de vuelta muy pocos ecos o ecos apenas perceptibles, lo que hace que se vean negros en la pantalla de visualización. Sin embargo, las ondas rebotan contra un tumor sólido, creando un patrón de ecos que la computadora muestra como una imagen de color más claro.

# **CAPITULO V**

## **LA INGENIERÍA BIOMÉDICA EN MÉXICO. OPORTUNIDAD DE CRECIMIENTO PARA LA INGENIERÍA QUÍMICA. ANÁLISIS GENERAL.**

### **LA INGENIERÍA BIOMÉDICA**

Como se mencionó al principio del presente trabajo, la Ingeniería Biomédica es una disciplina que ha ayudado en gran medida a mejorar la calidad de vida de millones de personas alrededor del mundo al trabajar con equipos multidisciplinarios (que incluyen ingenieros químicos) en el desarrollo de órganos artificiales, desarrollo de biomateriales para corregir lesiones, y en el desarrollo de equipos médicos para diagnosticar y prevenir enfermedades, como se mencionó anteriormente *“La ingeniería biomédica es la integración de los principios de la ingeniería con la medicina, física, química, biología y matemáticas, para crear soluciones a problemas médicos y biológicos.”* Y por lo tanto *“Los Ingenieros Biomédicos son quienes diseñan y desarrollan innovaciones en materiales, procesos, dispositivos y tecnologías informáticas para prevenir, diagnosticar y tratar enfermedades, rehabilitar pacientes y mejorar la salud y los sistemas de salud en general”*

La Ingeniería Biomédica Moderna es el resultado de décadas de trabajo de equipos multidisciplinarios provenientes de diversas universidades alrededor del mundo. Como se estudió a través de los diversos capítulos de este trabajo, la Ingeniería Biomédica ha aplicado para su desarrollo, conocimientos de Química para desarrollar biomateriales funcionales dentro del cuerpo humano, Física y Matemáticas para desarrollar ecuaciones de transporte de propiedades al crear órganos artificiales, Medicina para comprender los problemas a los que se tiene que enfrentar y resolver, Biología para comprender el funcionamiento de los organismos vivos, Ingeniería Eléctrica y Mecatrónica para desarrollar equipos que permitan diagnosticar y por lo tanto tratar o prevenir enfermedades.

## LA INGENIERÍA BIOMÉDICA EN MÉXICO

La Ingeniería Biomédica se ha desarrollado rápidamente en México desde hace 25 años. México es un país con cerca de 120 millones de habitantes de los cuales aproximadamente 40 millones viven en extrema pobreza. Una de las consecuencias de este desbalance de clases en el país son las estadísticas de salud que nos muestran altas tasas de mortalidad. Las principales causas de muerte en México son: diabetes (24.70% de los decesos al año), enfermedades del corazón (21.73% de los decesos al año), cardiovasculares (9.55% de los decesos al año), y cirrosis y otras enfermedades del hígado (8.68% de los decesos al año).

La situación económica del país ha impedido en gran medida el desarrollo tecnológico del mismo, cerca del 90% de los aparatos médicos son importados como consecuencia de un rezago en el desarrollo de tecnologías nacionales, además de esto, el 45% de todo el equipo biomédico electrónico se encuentra en la capital del país lo que ha ocasionado que la mayor parte de la población no tenga un fácil alcance a estos servicios de salud.

En 1973 comenzó formalmente el desarrollo de la Ingeniería Biomédica en México, con la incursión de un plan académico como carrera en la Universidad Iberoamericana. Posteriormente, en 1974 otro programa comenzó a impartirse en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Unidad Iztapalapa. Actualmente existen 38 universidades en 20 estados del país que imparten planes de estudio de Ingeniería Biomédica o planes de orientación a dicha área a través de materias optativas. La lista de estados de la República Mexicana que imparten la carrera de Ingeniería Biomédica o materias de orientación hacia esta disciplina son las siguientes:

**Tabla XI**

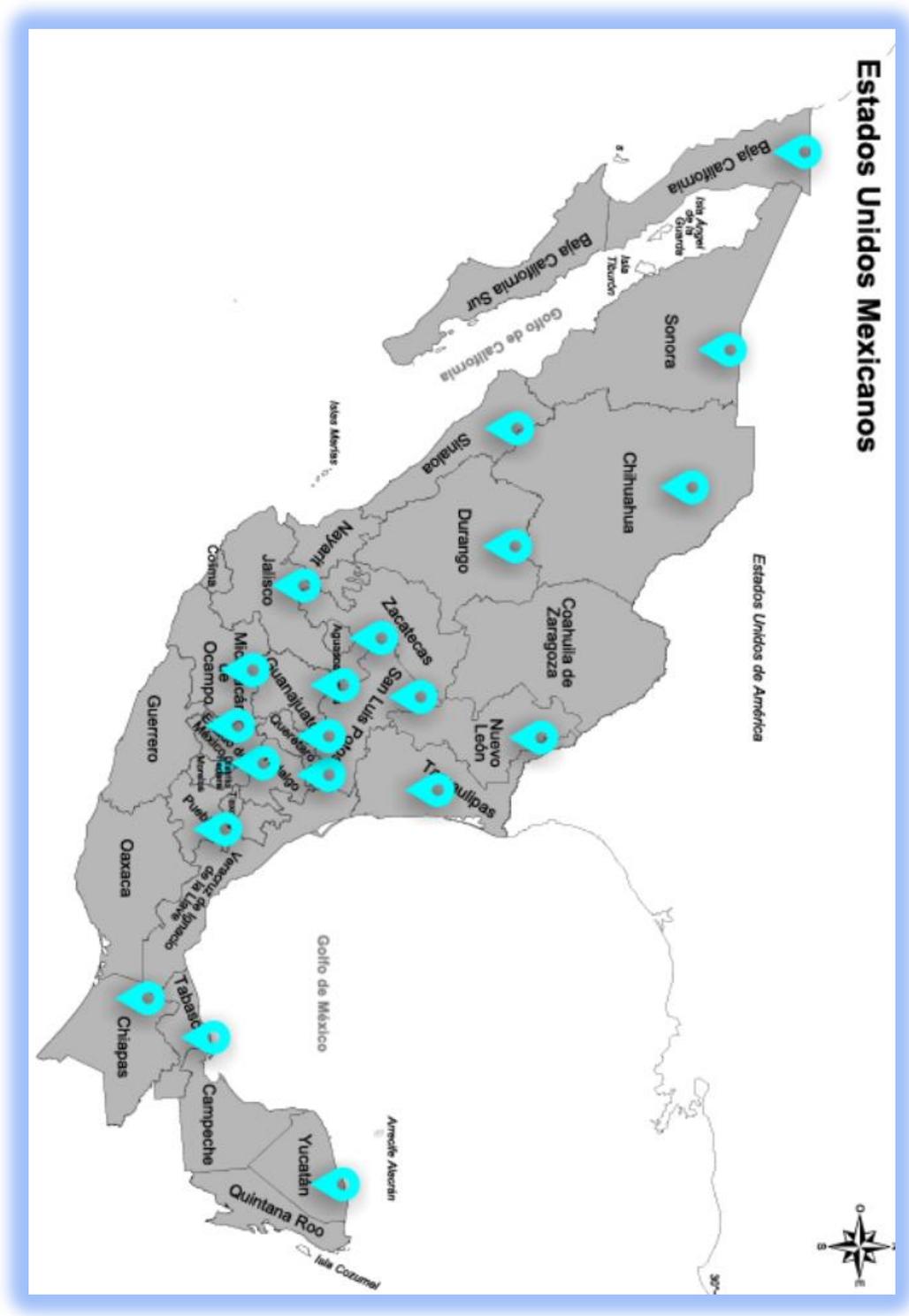
LISTA DE ESTADOS
AGUASCALIENTES
BAJA CALIFORNIA NORTE
CHIAPAS
CHIHUAHUA
CIUDAD DE MÉXICO
DURANGO
ESTADO DE MÉXICO
GUANAJUATO
JALISCO
MICHOACÁN
NUEVO LEÓN
PACHUCA
PUEBLA
QUERÉTARO
SAN LUIS POTOSÍ
SINALOA
SONORA
TABASCO
TAMAULIPAS
YUCATÁN

Fuente.- <http://www.somib.org.mx/universidades.html>

En el siguiente mapa se puede apreciar de manera gráfica la presencia de instituciones que ofrecen un plan de estudios o materias orientadas a la Ingeniería Biomédica en el territorio mexicano. En la tabla XII se muestra la lista de universidades por estado que imparten la carrera de Ingeniería Biomédica o materias de orientación a esta área.

Figura XXXVII

Presencia de universidades que imparten materias de Ingeniería Biomédica en México.



Fuente.-<http://www.somib.org.mx/universidades.html>

**Tabla XII**

**Presencia de universidades que imparten la carrera de Ingeniería Biomédica o materias afines en México.**

<b>ESTADO</b>	<b>UNIVERSIDAD</b>
AGUASCALIENTES	TECNOLÓGICO DE MONTERREY CAMPUS AGUASCALIENTES
	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES
BAJA CALIFORNIA NORTE	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA
	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
CHIAPAS	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CHIAPAS
CHIHUAHUA	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
	UNIVERSIDAD LA SALLE CHIHUAHUA
	TECNOLÓGICO DE MONTERREY CAMPUS CHIHUAHUA
CIUDAD DE MÉXICO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
	UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
	UNIVERSIDAD DE LA SALLE CENTRO MÉXICO
	UNIVERSIDAD ANÁHUAC CAMPUS NORTE
	TECNOLÓGICO DE MONTERREY CAMPUS CD. DE MÉXICO
DURANGO	UNIVERSIDAD DE LA SALLE LAGUNA
ESTADO DE MÉXICO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
GUANAJUATO	UNIVERSIDAD DE LA SALLE BAJÍO
	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO Campus León
	UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA LEÓN
JALISCO	UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA
	TECNOLÓGICO DE MONTERREY CAMPUS GUADALAJARA
MICHOACÁN	INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR PURHEPECHA
NUEVO LEÓN	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MONTERREY
	UNIVERSIDAD DE MONTERREY
HIDALGO	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PACHUCA
PUEBLA	UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA
QUERÉTARO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
SAN LUIS POTOSÍ	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
SINALOA	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE SINALOA
SONORA	UNIVERSIDAD LA SALLE NOROESTE
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE HERMOSILLO
TABASCO	UNIVERSIDAD OLMECA
TAMAULIPAS	UNIVERSIDAD LA SALLE VICTORIA
YUCATÁN	UNIVERSIDAD MODELO
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MERIDA

Si bien el país se encuentra por debajo de las grandes potencias en aspectos tecnológicos, se está haciendo un gran esfuerzo en términos de investigación y desarrollo de tecnología que nos ha colocado como líderes en Ingeniería Biomédica en América Latina. La Universidad Autónoma Metropolitana es pionera en Ingeniería Biomédica con su Centro Nacional de Investigación en Imagenología e Instrumentación Médica, con sede en la UAM Iztapalapa, es el más avanzado en América Latina, y tuvo uno de sus logros destacados al diseñar un modelo de corazón artificial como se mencionó en el capítulo III de este trabajo.

## **OPORTUNIDAD DE CREACIÓN DE UN MÓDULO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA DENTRO DEL PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNAM.**

Como se ha comentado a lo largo del presente trabajo, la Ingeniería Biomédica es una disciplina que requiere del trabajo multidisciplinario de profesionistas con sólidos conocimientos de mecánica, química y biología. Por lo mismo el ingeniero químico que así lo desee puede orientar su formación hacia la ingeniería biomédica a través de un estudio de posgrado en esta área.

El ingeniero químico de la Facultad de Química de la UNAM es un profesionista con actitud crítica, formado para atender y transformar el sector de la industria química; capaz de participar en la concepción, diseño, construcción, operación y administración de plantas de proceso en las que la materia prima se transforme de una manera económica en productos químicos útiles al ser humano, preservando el medio ambiente; buscando el uso óptimo de los recursos materiales y energéticos y la seguridad de operarios y pobladores. Asimismo, el ingeniero químico de esta Facultad, posee una formación básica sólida, orientada a los aspectos fundamentales de la disciplina y las aplicaciones relevantes, que le permite mantenerse aprendiendo a lo largo de su vida.<sup>17</sup> En la tabla XIII se muestra el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM.

---

<sup>17</sup> [http://quimica.unam.mx/cont\\_espe2.php?id\\_rubrique=60&id\\_article=41&color=227AB9&rub2=94](http://quimica.unam.mx/cont_espe2.php?id_rubrique=60&id_article=41&color=227AB9&rub2=94)

**Tabla XIII**

**Plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM**

PRIMER SEMESTRE		SEGUNDO SEMESTRE		TERCER SEMESTRE	
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS
ÁLGEBRA SUPERIOR	8	CÁLCULO II	8	ECUACIONES DIFERENCIALES	8
CÁLCULO I	8	ESTRUCTURA DE LA MATERIA	6	EQUILIBRIO Y CINÉTICA	9
CIENCIA Y SOCIEDAD	6	FÍSICA II	8	QUÍMICA INORGÁNICA I	9
FÍSICA I	8	LABORATORIO DE FÍSICA	4	QUÍMICA ORGÁNICA I	10
QUÍMICA GENERAL I	9	QUÍMICA GENERAL II	8	BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA	10
-----	-----	TERMODINÁMICA	11	-----	-----
CUARTO SEMESTRE		QUINTO SEMESTRE		SEXTO SEMESTRE	
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS
ESTADÍSTICA	8	ECONOMÍA Y SOCIEDAD	6	INGENIERÍA DE CALOR	7
QUÍMICA ANALÍTICA I	9	CINÉTICA QUÍMICA Y CATÁLISIS	6	INGENIERÍA DE REACTORES I	6
QUÍMICA ORGÁNICA II	9	ELECTROQUÍMICA	6	INGENIERÍA ECONÓMICA I	6
MÉTODOS NUMÉRICOS	6	FENÓMENOS DE SUPERFICIE	6	LABORATORIO UNIFICADO DE FÍSICOQUÍMICA	4
TERMODINÁMICA QUÍMICA	10	INGENIERÍA DE FLUIDOS	7	LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA II	3
TRANSFERENCIA DE MOMENTUM	6	LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA I	3	TRANSFERENCIA DE MASA	6
-----	-----	TRANSFERENCIA DE ENERGÍA	6	-----	-----
SÉPTIMO SEMESTRE		OCTAVO SEMESTRE		NOVENO SEMESTRE	
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS
INGENIERÍA DE REACTORES II	7	DISEÑO DE PROCESOS	10	ESTANCIA PROFESIONAL	24
INGENIERÍA AMBIENTAL	6	DINÁMICA Y CONTROL DE PROCESOS	7	ESTANCIA ACADÉMICA	24
INGENIERÍA ECONÓMICA II	6	LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA II	3	INGENIERÍA DE PROYECTOS	7
LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA III	3	TALLER DE PROBLEMAS	6	-----	-----
PROCESOS DE SEPARACIÓN	10	-----	-----	-----	-----

Fuente.- [http://quimica.unam.mx/materias.php?id\\_rubrique=92&id\\_article=1613&color=227AB9&rub2=92](http://quimica.unam.mx/materias.php?id_rubrique=92&id_article=1613&color=227AB9&rub2=92)

El plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la UNAM permite al egresado desarrollarse en el área de Ingeniería Biomédica por su amplio contenido en el área de ciencias básicas (matemáticas, física y química) así como por ofrecer la oportunidad de profundizar en el área de la ciencias biológicas a través de sus materias optativas en esta área.

En la siguiente tabla se muestra el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Universidad Iberoamericana, en amarillo se resaltan aquellas asignaturas de ciencias o conocimientos básicos que se imparten en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM.

## Tabla XIV

### Plan de estudios de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Universidad Iberoamericana

PRIMER SEMESTRE		SEGUNDO SEMESTRE		TERCER SEMESTRE	
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS
INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA	4	CÁLCULO II	8	CÁLCULO III	8
CÁLCULO I Y TALLER	10	ÁLGEBRA LÍNEAL	8	DISEÑO DE SISTEMAS DIGITALES Y LABORATORIO	12
FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN Y LABORATORIO	10	PROGRAMACIÓN APLICADA Y LABORATORIO	10	INGENIERÍA DE CIRCUITOS I Y LABORATORIO	10
FÍSICA UNIVERSITARIA I Y TALLER	10	INTRODUCCIÓN AL DESARROLLO DE DISPOSITIVOS BIOMÉDICOS	2	TALLER DE DESARROLLO DE DISPOSITIVOS BIOMÉDICOS	2
LABORATORIO DE FÍSICA UNIVERSITARIA I	2	FÍSICA UNIVERSITARIA II	8	GRÁFICOS Y DIBUJO POR COMPUTADORA	4
LABORATORIO DE QUÍMICA GENERAL	2	LABORATORIO DE FÍSICA UNIVERSITARIA II	2	BIOQUÍMICA I	8
QUÍMICA GENERAL	8	QUÍMICA ORGÁNICA	8	LABORATORIO DE BIOQUÍMICA	2
		LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA	2		
CUARTO SEMESTRE		QUINTO SEMESTRE		SEXTO SEMESTRE	
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS
PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA APLICADA Y TALLER	10	REFLEXIÓN UNIVERSITARIA I	8	REFLEXIÓN UNIVERSITARIA II	8
TEORÍA DE SISTEMAS LINEALES	10	ARQ. PROGRAMACIÓN DE PROCESADORES Y LABORATORIO	10	SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO CLÍNICO	6
INGENIERÍA DE CIRCUITOS II Y LABORATORIO	10	INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA I Y LABORATORIO	10	DISEÑO AVANZADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA	4
DISEÑO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA	8	BIOMECÁNICA Y LABORATORIO	10	INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA DISCAPACIDAD	8
ANATOMÍA Y FISIOLÓGIA: ORG Y ESTRUCTURA	10	ANATOMÍA Y FISIOLÓGIA CONTROL Y FUNCIÓN	10	INTRODUCCIÓN A LOS NEGOCIOS	8
TALLER DE MÁQUINAS Y PROCESOS	2	TALLER DE COMUNICACIÓN	4	INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA I Y LABORATORIO	10
-----	-----	-----	-----	-----	-----
SÉPTIMO SEMESTRE		OCTAVO SEMESTRE			
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	-----	-----
REFLEXIÓN UNIVERSITARIA III	7	REFLEXIÓN UNIVERSITARIA IV	8	-----	-----
SISTEMAS DE TERAPIA MÉDICA	6	PRÁCTICA PROFESIONAL Y DE SERVICIO SOCIAL	7	-----	-----
LABORATORIO DE EQUIPO MÉDICO	2	PROYECTO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA	8	-----	-----
TALLER DE ANÁLISIS DEL MERCADO DE EQUIPO MÉDICO	4	-----	-----	-----	-----

Fuente.- <http://www.ibero.mx/licenciaturas/planes/folletos/IBiomedica.pdf>

En la siguiente tabla se muestra el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Biomédica del Instituto Politécnico Nacional, en amarillo se resaltan aquellas asignaturas de ciencias o conocimientos básicos que se imparten en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM.

**Tabla XV**

**Plan de estudios de la carrera de Ingeniería Biomédica del Instituto Politécnico Nacional**

PRIMER SEMESTRE		SEGUNDO SEMESTRE		TERCER SEMESTRE	
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS
Cálculo diferencial e integral	7	Cálculo multivariable	7	Análisis de circuitos	10
Cultura y deporte 1	1	Cultura y deporte 2	1	Biología y bioquímica celular	7
Física para bioingenieros	7	Electroquímica	5	Ecuaciones diferenciales	7
Inglés 1	3	Estadística y diseño de experimentos	5	Inglés 3	3
Laboratorio de física	2	Ingeniería sustentable	5	Integración de bioprocesos I.	5
Lógica y comunicación	2	Inglés 2	3	Morfología	5
Química inorgánica para bioingenieros	5	Química orgánica para bioingenieros	7		
CUARTO SEMESTRE		QUINTO SEMESTRE		SEXTO SEMESTRE	
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS
Electrónica I	9	Electrónica II	9	Biomateriales y Procesos de manufactura	9
Fisiología y biofísica	7	Ingeniería clínica II	7	Biopotenciales y Bioinstrumentación	7
Ingeniería clínica I	5	Instrumentación biomédica	9	Economía y negocios para ingenieros	3
Ingeniería eléctrica	3	Neurofisiología	7	Ética para bioingenieros	2
Inglés 4	3	Sistemas digitales II	9	Fisiopatología I	3
Programación y métodos numéricos	5			Imagenología médica	3
Sistemas digitales I	7			Procesamiento digital de señales e imágenes	7
SÉPTIMO SEMESTRE		OCTAVO SEMESTRE			
MATERIA	CRÉDITOS	MATERIA	CRÉDITOS		
Bioelectrónica y electrofisiología	7	Optobioelectrónica	7		
Electiva	10	Planeación, negociación y liderazgo	3		
Fisiopatología II	3	Residencia profesional	1		
Informática médica y telemedicina	3	Biomecánica e Ingeniería de rehabilitación	7		
Bioelectrónica terapéutica	7				

Fuente.- <http://www.upibi.ipn.mx/OfertaEducativa/Paginas/IngBiomedicaPlanDeEstudios2014.aspx>

Si bien el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM tiene un fuerte contenido de materias que son útiles y aplicables en la Ingeniería Biomédica, este podría fortalecerse en esta disciplina a través de un grupo de materias optativas que ayuden al estudiante interesado a profundizar en temas propios de la Ingeniería Biomédica.

Dichas materias optativas deberán proveer al estudiante de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM las herramientas necesarias para aplicar de forma óptima los conocimientos de Ingeniería Química en problemas reales de Ingeniería Biomédica.

Como se estudió a lo largo de los capítulos anteriores, el ingeniero químico ha tenido participación en diversos aspectos de la Ingeniería Biomédica tales como caracterización y desarrollo de biomateriales, desarrollo de órganos artificiales y desarrollo de equipos biomédicos electrónicos, este último en menor grado. Para poder enfrentarse a problemas con las áreas antes mencionadas, las materias optativas del área de Ingeniería Biomédica que se pueden añadir al plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM pueden ser las siguientes (o relacionadas a las siguientes áreas):

- Desarrollo de biomateriales
- Instrumentación biomédica
- Desarrollo de dispositivos e instrumentación biomédica
- Fisiología y Anatomía
- Bioelectrónica
- Fenómenos de transporte en sistemas biológicos
- Química bioinorgánica
- Biomecánica
- Ingeniería Farmacéutica

## **LA INGENIERÍA BIOMÉDICA COMO OPORTUNIDAD LABORAL PARA EL INGENIERO QUÍMICO.**

En términos laborales, la orientación hacia la Ingeniería Biomédica no sólo es uno de los trabajos mejor pagados de ingeniería, es una carrera que retribuye a la sociedad, contribuyendo a mejorar la salud humana. También es altamente flexible, con puestos en universidades, hospitales, laboratorios, industria y organismos reguladores.

En la tabla XVI se muestran los datos salariales del profesionalista de la Ingeniería Biomédica, dichos datos hacen que para diversos ingenieros resulte atractiva la idea de realizar un posgrado en Ingeniería Biomédica. Los datos salariales están expresados en USD/año.

**Tabla XVI**  
**Datos salariales del profesionalista de la Ingeniería Biomédica**

<b>Promedio salarial:</b> 79,500 dólares
<b>Salario máximo:</b> 124,000 dólares
<b>Crecimiento del empleo a 10 años:</b> 61.7%

Fuente.- <http://www.cnnexpansion.com/mi-carrera/2012/11/01/1-ingeniero-biomedico>

## **PROYECCIÓN A FUTURO DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA.**

La participación de los ingenieros químicos ha tomado cada vez un papel más importante dentro de la Ingeniería Biomédica. En la actualidad se comienzan a impartir cursos más relacionados a la Ingeniería Biomédica dentro de los planes de estudio de Ingeniería Química para formar a los estudiantes dentro de esta área que está evolucionando rápidamente.

En la actualidad se está trabajando en desarrollar nuevos o mejores sistemas de liberación controlada de fármacos más sensibles y efectivos que sean activados por pH, enzimas, campos magnéticos, temperatura o ultrasonido. También se están desarrollando sensores biológicos por ejemplo, de glucosa que puedan ser implantados en el cuerpo y así lograr una administración inteligente de sustancias como la insulina en pacientes diabéticos y así evitar operaciones de trasplante.

Las principales aportaciones de los ingenieros químicos al área de la Ingeniería de Tejidos han sido el desarrollo de matrices poliméricas altamente porosas (para el cultivo de las células del tejido que se quiere formar) y más recientemente, se ha estado trabajando en el diseño de algunos bioreactores en los cuales nos podemos aproximar muy bien a ciertas condiciones del cuerpo humano y así desarrollar tejidos de alta complejidad como vasos sanguíneos y otros tejidos que puedan servir como base para formar órganos artificiales.

En cuanto a investigación se refiere, la ingeniería molecular será aplicada en nuevas áreas como terapia genética, diseño de biosensores, nuevos biomateriales y otras áreas donde la química y la ingeniería impactarán en la evolución de la medicina.

# CONCLUSIONES

La Ingeniería Química es una disciplina que ha estado presente a lo largo de la historia del ser humano desde el descubrimiento y manejo del fuego hasta nuestros días.

La Ingeniería Biomédica es una disciplina que surgió de la Ingeniería Química ya que las primeras personas dedicadas al desarrollo de biomateriales y órganos artificiales (actividades consideradas hoy como centro de la Ingeniería Biomédica) fueron ingenieros químicos.

La Ingeniería Biomédica ha evolucionado gracias a la contribución de diversas disciplinas como la Medicina, Biología, Ingeniería Química, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecatrónica, Informática y Biotecnología. Todas estas áreas a su vez han evolucionado gracias a la Ingeniería Biomédica debido a los avances y descubrimientos realizados al tratar de resolver un problema de carácter biomédico.

La formación del ingeniero químico en el área de desarrollo de biomateriales es crítica si este pretende incursionar en el área de la Ingeniería Biomédica, pues muchos problemas de salud pueden tratarse por medio de un biomaterial específico para dicha aplicación pero también el desarrollo de los biomateriales es la base para formar sistemas más complejos como órganos artificiales trasplantables en el ser humano.

La importancia de la participación del ingeniero químico en la resolución de problemas de Ingeniería Biomédica va más allá de sus conocimientos de química. El ingeniero químico es de los profesionistas con una mayor formación en el área de fenómenos de transporte. Los fenómenos de transporte han jugado, juegan y jugarán un papel determinante en el desarrollo de biomateriales y órganos artificiales, esto se debe a que estos dos últimos no se encuentran aislados una vez dentro del cuerpo humano sino que son sistemas que interactúan con el organismo a través del transporte de la energía, la masa y el momentum tal y como ocurre con los órganos naturales del cuerpo humano.

El desarrollo de órganos artificiales trasplantables al ser humano es un tema de prioridad de la Ingeniería Biomédica y por ende de todas las disciplinas que contribuyen al desarrollo de esta ya que existe un gran desequilibrio entre la oferta y la demanda de órganos disponibles para trasplante lo que lleva a los pacientes a tener una mala calidad de vida y en algunos casos a altos índices de mortalidad.

Es importante que la Ingeniería Química siga contribuyendo al desarrollo tecnológico del país, es por ello que el ingeniero químico debe participar de forma activa en el diseño, fabricación y mejora de diversos dispositivos biomédicos electrónicos teniendo como principal objetivo la detección a tiempo de la mayoría de las enfermedades.

La Ingeniería Biomédica representa una gran oportunidad para el desarrollo profesional del ingeniero químico pues ofrece la oportunidad de laborar en diversos sectores como son: laboratorios de investigación, docencia, desarrollo de equipo biomédico, administración, organismos regulatorios y departamentos de Ingeniería Biomédica en hospitales.

La formación profesional del ingeniero químico de la Facultad de Química de la UNAM permite al egresado incursionar en diversos temas y problemas del área de la Ingeniería Biomédica gracias a su sólida formación en el área de ciencias básicas y fenómenos de transporte. El posgrado en Ingeniería Biomédica representa una opción para el egresado de Ingeniería Química que se encuentre interesado en especializarse en dicha área.

# RECOMENDACIONES

La Ingeniería Química y la Ingeniería Biomédica han estado relacionadas desde el origen de esta última. El futuro de ambas disciplinas es bastante prometedor. Debido a lo anterior es recomendable que se impartan materias optativas del área de Ingeniería Biomédica dentro del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM. Dichas materias optativas deben estar relacionadas a las siguientes áreas:

- Desarrollo de biomateriales
- Instrumentación biomédica
- Desarrollo de dispositivos e instrumentación biomédica
- Fisiología y Anatomía
- Bioelectrónica
- Fenómenos de transporte en sistemas biológicos
- Química bioinorgánica
- Biomecánica
- Ingeniería Farmacéutica

Es recomendable que el acervo bibliográfico del Centro de Información sobre la carrera de Ingeniería Química siga enriqueciéndose con proyectos de tesis relacionados al área de Ingeniería Biomédica, al ser esta una disciplina en constante cambio y evolución.

Se recomienda que exista una fuerte vinculación entre la Facultad de Química de la UNAM e instituciones pioneras en el campo de la Ingeniería Biomédica tales como la UAM o la Universidad Iberoamericana, para lograr un fuerte avance en el desarrollo de materias optativas del área de la Ingeniería Biomédica dentro del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM, que le permitan al alumno interesado orientarse al área de Ingeniería Biomédica a nivel licenciatura o bien especializarse en dicha área a nivel posgrado.

Es recomendable que los temarios de algunas materias del actual plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química de la facultad de Química de la UNAM sean orientados de una manera más profunda al planteamiento, análisis y resolución de problemas del área de Ingeniería Biomédica, dichas materias pueden ser: ecuaciones diferenciales, química orgánica, química inorgánica, transferencia de momentum, transferencia de energía, transferencia de masa, métodos numéricos, fenómenos de superficie e ingeniería de reactores.

# ANEXO I

Carta del Ing. Hermenegildo Sierra, entonces Presidente Nacional del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos al M.C. Santiago Capella Vizcaino, entonces Director de la Facultad de Química.



Fuente.- MEDINA CABRERA Arturo, Centro Nacional de Información sobre la carrera de Ingeniería Química, Tesis (Ingeniero Químico), México D.F., UNAM, Facultad de Química, 2008.

# REFERENCIAS

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- VALIENTE BARDERAS Antonio y STIVALET CORRAL Rudi Primo, *El poder de la transformación*, México D.F., Facultad de Química, UNAM 2011.
- ÍÑIGO FERNÁNDEZ Luis E., *Breve historia de la Revolución Industrial*, Nowtilus, Madrid, España, 2012.
- ASIMOV Isaac, *Breve historia de la química*, Alianza Editorial, Madrid, España, 2012.
- NEUMAN Michael R., *An introduction to biomaterials*, second edition, CRC Press, Estados Unidos de Norte América, 2012.
- PERRY Robert H. y GREEN Don W., *Manual del Ingeniero Químico, sexta edición*, McGraw Hill, México, 1992.
- ROJAS SORIANO Raúl, *Guía para realizar investigaciones sociales*, 34<sup>a</sup> edición, Plaza y Valdés editores, México, 2001.
- HAKIM Nadey y J.S.P. Lumley, *Artificial Organs*, Springer, Inglaterra, 2009.

## TESIS CONSULTADAS

- GUERRERO MAYORGA Felipe de Jesús y VELASCO CÁRDENAS Félix, *La Ingeniería Biomédica en México, análisis general, crecimiento y proyección a futuro*, Tesis (Ingeniero Eléctrico-Electrónico), México D.F., UNAM, Facultad de Ingeniería, 2009.
- MARTINEZ REED Rafael, *Análisis y perspectivas de la Ingeniería Química en un entorno globalizado*, Tesis (Ingeniero Químico), México D.F. UNAM, Facultad de Química, 2011.
- MEDINA CABRERA Arturo, *Centro Nacional de Información sobre la carrera de Ingeniería Química*, Tesis (Ingeniero Químico), México D.F., UNAM, Facultad de Química, 2008.
- PERALTA MIRANDA Susana Diana, *Análisis comparativo de los planes de estudio de la carrera de Ingeniería Química en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) y la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México*, Tesis (Ingeniera Química), México D.F., UNAM, Facultad de Química, 2010.
- TREJO GONZÁLEZ Bernardino, *La Ingeniería Química y la Biotecnología*, Tesis (Ingeniero Químico), México D.F., UNAM, Facultad de Química, 2007.

## ARTÍCULOS CONSULTADOS

- KLOUDA Leda y MIKOS Antonios G., *Thermoresponsive hydrogels in biomedical applications*, European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 68, 34-45, 2008.
- LANGER Robert, *Biomaterials and Biomedical Engineering*, AIChE Journal, 4109-4121, 1995.
- PEPPAS Nicholas A. y LANGER Robert, *Origins and Development of Biomedical Engineering within Chemical Engineering*, AIChE Journal, Vol. 50, 536-546, 2004.
- PEPPAS Nicholas A. y LANGER Robert, *New Challenges in Biomaterials*, Science, 263, 1715, 1994.
- PEPPAS Nicholas A., BURES P., LEOBANDUNG W., e ICHIKAWA H., *Hydrogels in pharmaceutical formulations*, European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 50, 27-46, 2000.

## **SITIOS WEB CONSULTADOS**

### **AMERICAN CANCER SOCIETY**

- <http://www.cancer.org/acs/groups/cid/documents/webcontent/acspc-033538-pdf.pdf>

### **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

- <http://www.upibi.ipn.mx/OfertaEducativa/Paginas/IngBiomedicaPlanDeestudios2014.aspx>

### **SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA**

- <http://www.somib.org.mx/universidades.html>

### **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

- <http://www.comunicacionsocial.uam.mx/semanario/v-xvii/num3/num3.pdf>

