

77  
24.



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Seminario: La Ingeniería avanzada en el Mundo

**LA INGENIERIA AVANZADA EN EL  
MUNDO GLOBALIZADO:  
EL CASO DE LA INGENIERIA BIOMEDICA**

**T E S I S**  
para obtener el título de  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA MECANICA**

**p r e s e n t a**  
**SERGIO GUERRERO BUGARINI**



Director: Ing. Manuel Viejo Zubicaray

Agosto, 1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

---

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<i>Planteamiento del Problema</i>	<b>1</b>
Objetivo General	<b>1</b>
Objetivos Particulares	<b>2</b>
<i>Justificación del Estudio</i>	<b>2</b>
<i>Formulación de Hipótesis</i>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 1. Globalización: Un enfoque de cara al siglo XXI</b>	<b>5</b>
1.1 <i>La Globalización</i>	<b>7</b>
1.2 <i>La Investigación Académica</i>	<b>16</b>
1.2.1 Generalidades	<b>16</b>
1.2.2 Alcances	<b>19</b>
1.3 <i>Competitividad Global</i>	<b>26</b>
1.3.1 Los Países Desarrollados	<b>29</b>
1.3.2 Los Países de América Latina	<b>36</b>
1.3.3 Mecanismos de Transferencia	<b>41</b>
1.4 <i>Globalización: Integración o Exclusión</i>	<b>48</b>
1.4.1 Área Científica y Tecnológica	<b>48</b>
1.5 <i>México y los Estudiantes Mexicanos ante los desafíos de la Globalización</i>	<b>53</b>
<i>Citas del Capítulo 1</i>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO 2. Antecedentes de la Ingeniería Aplicada</b>	<b>62</b>
2.1 <i>Desarrollo</i>	<b>65</b>
2.2 <i>Áreas de Aplicación</i>	<b>69</b>

---

**INDICE**

---

2.2.1 Ingeniería Biomédica	89
2.2.2 Ingeniería Cibernética	74
2.2.3 Ingeniería Biónica	78
2.2.4 Ingeniería de los Factores Humanos (Ergonomía)	81
2.2.5 Ingeniería Bioquímica	85
2.3 La educación y la Investigación de la Bioingeniería	89
2.4 Áreas de Especialización de la Moderna Ingeniería Biomédica	92
<b>Cítes del Capítulo 2</b>	<b>97</b>
<b>CAPÍTULO 3. La Ingeniería Biomédica como una muestra de la Ingeniería de Avanzada en el Mundo.</b>	<b>99</b>
3.1 Introducción	101
3.2 El cuerpo Humano: Una máquina Perfecta.	105
3.3 Dispositivos Protésicos	112
3.3.1 Extremidades Inferiores (Piernas)	113
3.3.2 Extremidades Superiores (Brazos)	123
3.4 Transplantes	128
3.4.1 El Corazón	129
3.4.2 El Páncreas	134
3.4.3 El Riñón	137
3.5 Implantes	140
3.5.1 Los Tetrapléjicos	141
3.5.2 Una Retina Artificial	142
3.5.3 El Oído	143
3.5.4 Minibomba de Insulina	145
3.5.5 Desfibrilador Cardíaco	146
3.5.6 El Corazón Artificial y El Marcapasos	147

3.5.7 El Páncreas Artificial	155
3.5.8 Otros	157
<b>Citas del Capítulo 3</b>	<b>163</b>
<b>CAPÍTULO 4. Alcances y Perspectivas de la Bioingeniería</b>	<b>166</b>
4.1 La Medicina del Futuro	168
4.2 Donación de Órganos	173
4.3 Adelantos Biomédicos a Futuro	175
<b>Citas del Capítulo 4</b>	<b>179</b>
<b>CONCLUSIONES (Comprobación de Hipótesis)</b>	<b>180</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>185</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>194</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Con el fin de sentar las bases de nuestro estudio, podemos aplicar algunos **Pasos Generales del Método Científico:**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El título seleccionado para esta tesis: "La Ingeniería Avanzada en el Mundo Globalizado: El Caso de la Ingeniería Biomédica.", trata de evidenciar la situación actual de México en el área tecnológica y principalmente, que la Ingeniería tiene una gran vinculación con todos los aspectos de la vida diaria y obviamente, en aquellos que tienen relación directa con la Medicina y la Biología, en los cuales grandes avances de innovación tecnológica están siempre presentes.

Se tratan temas interesantes a nivel mundial que nos permiten crear conciencia del nivel en que se encuentra México y del papel que juega la Facultad de Ingeniería, con respecto a este tipo de Investigación e Innovaciones.

### **OBJETIVO GENERAL:**

En la UNAM, desafortunadamente no existe ni la carrera, ni la especialización en Ingeniería Biomédica; existe investigación de buen nivel en el área, por ejemplo, el CDM (Centro de Diseño Mecánico) de la Facultad de Ingeniería de nuestra Institución realiza proyectos en conjunto con el IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social); con esto debemos suponer que en la UNAM existe infraestructura humana, de equipo y el suficiente conocimiento teórico para desarrollar alta tecnología, es por ello el interés en dar a conocer tecnología de otros países, la cuál será de gran utilidad para nosotros

## **INTRODUCCIÓN**

---

como Ingenieros. El darnos cuenta de la situación actual de la investigación en las carreras de Ingeniería debe motivarnos para elevar el nivel académico de nuestra facultad.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Situar a México en el entorno mundial basicamente en los aspectos de Ciencia y Tecnología y demostrar la forma en la que en los países de Primer Mundo llevan a buen término sus investigaciones.
- Comprobar que en todas las ciencias, naturales y exactas, la Ingeniería juega un papel importante, ya que, como se ha podido observar, hasta el cuerpo humano es medible, y todo lo que es medible, por ende puede ser enfocado a través del método científico.
- Demostrar que en el caso de la Ingeniería Biomédica, se han utilizado diversos conocimientos y habilidades que otorgan o desarrollan las carreras de Ingeniería para resolver problemas del área de la salud.
- Predecir el futuro que nos espera con todo este tipo de tecnología, que a la vez es interesante y de gran ayuda para cualquiera de nosotros, pero que al mismo tiempo demuestra la deshumanización a la que ha llegado la humanidad.

### **JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO:**

- La Investigación abordara primeramente un tema de actualidad como es la GLOBALIZACIÓN, su definición, la posición de esta frente a nuestro país, frente a los estudiantes mexicanos y frente a nuestras Universidades en los albores del siglo XXI. Además los pros y contras de la misma, y de que manera debemos enfrentarla

para salir lo mejor librados de los cambios tan radicales que se esperan en los próximos años.

- Al concluir el primer capítulo, tendremos una idea más clara de la posición de nuestro país en el globo terráqueo, que si queremos salir adelante, debemos tener iniciativa propia y una mente emprendedora para poder hacer frente a cualquier obstáculo que se nos presente.
- En el segundo capítulo, definiremos la posición de un Ingeniero Biomédico en la actualidad, algunos aspectos históricos, la situación actual de los mismos y sus perspectivas de desarrollo. Se hará mención de algunos adelantos biomédicos que se han trabajado desde los años cincuenta hasta los ochenta, dándonos una idea de que este tipo de Ingeniería se viene desarrollando en los países de primer mundo desde hace más de cuatro décadas. Situación esta, que contrasta muy claramente con los países en vías de desarrollo, y no hay que olvidar que México es uno de éstos.
- De ahí, la necesidad de pensar en como incursionar en este tipo de investigaciones que cada vez se elaboran más a fondo, porque como veremos en el tercer capítulo, son más acertadas y con mayor posibilidad de éxito. La investigación de la Biomedicina en México, aún es muy incipiente, razón por la cual es necesario incorporar ésta en los planes de estudio, como se lleva a cabo en los países de Primer Mundo.
- La Ingeniería Biomédica representa la posibilidad de incorporar un alto grado de desarrollo tecnológico a la Ciencia Médica para lograr mejores resultados, pero también debemos analizar que tan viable es su uso, toda vez que los costos son muy elevados y por lo tanto pocos pueden acceder a ellos; por otra parte, algunos adelantos, si no es que en su mayoría, solo benefician a un sector muy restringido de la población.



- **Hablaremos en términos de dispositivos prótesis, trasplantes e implantes haciendo un recorrido por todo el cuerpo dando algunos pormenores de la manera en que se pueden sustituir ciertos órganos en caso de que llegaran a fallar.**
- **Por último, es interesante conocer que nos espera en cuanto al desarrollo de dichas investigaciones para poder apreciar más claramente los beneficios que ésta traerá con el paso de los años.**

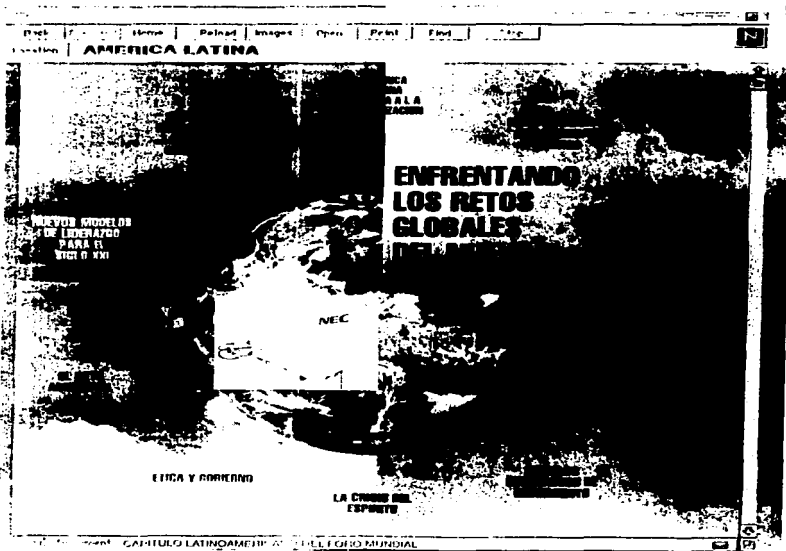
### **FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

- **Si el Gobierno no se preocupa por aumentar el presupuesto para los centros de Investigación no mejorará la calidad de ésta en México.**
- **Si las Instituciones de Educación Superior buscan vínculos con las Empresas Privadas, la cantidad y la calidad de la Investigación en México se elevará notablemente.**
- **Si la tecnología en México no fuera incipiente, podríamos realizar investigación de Primer Mundo.**
- **Si México diseñara su propia tecnología, no tendría que depender de la tecnología de los países de Primer Mundo.**
- **El costo de ésta tecnología es muy elevado, es por esto que muy poca gente puede acceder a ella.**
- **Si la donación de órganos fuera mayor, el costo por trasplante disminuiría notablemente.**
- **Si la investigación del futuro fuera inter y multidisciplinaria, los resultados serán sorprendentes y en el caso de México, podría aspirar a ser un país de Primer Mundo.**

# ***CAPÍTULO***

# ***1***

***GLOBALIZACIÓN: UN ENFOQUE  
DE CARA AL SIGLO XXI***



## CAPÍTULO 1.

### GLOBALIZACIÓN: UN ENFOQUE DE CARA AL SIGLO XXI

Es indudable que la actividad más importante a nivel mundial, el *comercio exterior*, ha llevado a los países a una nueva búsqueda de alternativas económicas, políticas, sociales, tecnológicas, etc., que les permitan a los menos desarrollados beneficiarse de los del Primer Mundo.

#### 1.1 LA GLOBALIZACIÓN

Aunque *globalización* no aparece en el diccionario, en cambio sí figura una voz muy cercana: *global*, definida como un adjetivo que significa *tomado en conjunto*. La palabra que le da origen es, obviamente, **globo**, una de cuyas acepciones, es una locución que igualmente indica —en conjunto, alzadamente, sin detallar—. Lo importante es: *sin detallar*. Es decir, considerado en su totalidad.<sup>1</sup>

Polibio, un hombre del siglo II A.C. fue el primero que intentó sistematizar la Historia con un enfoque universal —del universo conocido entonces por los hombres que vivían alrededor del **Mar Mediterráneo**—, aunque lo hizo con el trasfondo de la Historia de Roma como eje del mundo. Polibio concentró su atención en Roma, la potencia dominante, y en su Grecia natal, así como también en Macedonia y Cartago, rival de Roma por el dominio mundial durante más de un siglo de guerra —las tres guerras púnicas—, que finalmente concluyen con la destrucción de Cartago. Ahora, la Historia Universal la escriben los norteamericanos, pensando primero en Estados Unidos, y luego un poco en la Unión Europea y Japón y algo menos en Rusia y China. El resto cuenta poco o no cuenta nada.

Polibio comprendió que la Historia había dejado de ser local o regional, que lo que ocurría en Asia, en Grecia o en Cartago afectaba a Roma y viceversa.

La concepción de Polibio hoy nos parece muy simple: todo lo que Roma hacía, afectaba al resto del mundo porque Roma estaba tratando de apoderarse de ese mundo, y al fin lo logró. Los que creen haber descubierto o inventado la **globalización**, deben reconocer que hace dos mil doscientos años hubo un historiador **greco-romano** que se les adelantó. Cuando Roma aplastó a Cartago y a Grecia, se convirtió en la única superpotencia del mundo, como hoy lo es Estados Unidos.<sup>2</sup> Como podemos observar, no existe nada nuevo.

En la **Antigüedad**, los griegos como Pitágoras (580-500a.C.) con su famoso teorema, Empédocles (490-430a.C.) con su teoría de los elementos básicos (fuego, aire, agua y tierra), Hipócrates (460-377a.C.) padre de la medicina, Demócrito (460-370a.C.) con su teoría de la materia (número infinito de partículas invisibles agrupadas en diferentes formas), Aristóteles (384-322a.C.) quién intentó elaborar la teoría de la **Mecánica**, Euclides (330-275a.C.) con sus famosos libros de Geometría, **Aristarco** (310-230a.C.) famosísimo astrónomo que escribió varios libros describiendo el firmamento, Arquímedes (287-212a.C.) quien fué el verdadero creador de la **Mecánica** teórica, inventó la palanca, el tornillo, y el polipasto, y **en la alta Edad Media**, cuando **Nicolas Copérnico** (1473-1543) con su teoría de que la tierra era un planeta más y que giraba en torno al sol, **Tartaglia** (1499-1557) que llevó a cabo un estudio sobre los proyectiles destinados a la artillería, su compatriota **Gerolamo Cardano** (1501-1576) que escribió un tratado sobre la **Mecánica** e inventó la junta universal llamada **Cardán**, aportaron enormes bases a la tecnología actual, pero no obstante, la productividad crecía lentamente.<sup>3</sup>

El producto *per capita* promedio en Europa en el **siglo X** era apenas 20 ó 30% mayor que al comienzo de la era cristiana. La actividad económica se destinaba a la subsistencia de la fuerza de trabajo y al sostenimiento de las clases dominantes. El progreso técnico era muy lento y los recursos asignados a la acumulación de capital en

el proceso económico representaban proporciones muy pequeñas, probablemente no mayores al 2% del producto. Por otra parte, los reducidos excedentes comercializables se transaban en los mercados locales. El comercio Internacional tampoco representaba proporciones mayores al 1 ó 2% del producto mundial".<sup>4</sup>

El impacto de los vínculos con el mundo externo sobre el desarrollo económico era insignificante. Las relaciones internacionales no modificaban el cambio técnico ni la acumulación del capital, la estructura de la producción o la productividad. Las invasiones, como las de los pueblos bárbaros a los territorios bajo dominio romano al final de la Antigüedad, modificaban el reparto de los recursos pero no alteraban el comportamiento de la economía.

Entre los siglos XI y XV, el desarrollo del capitalismo comercial, el incipiente progreso técnico y las transformaciones sociales, permitieron un lento pero persistente crecimiento de la productividad. En las nuevas condiciones, las relaciones externas de los países comenzaron a ejercer mayor influencia sobre la producción, la distribución de la riqueza y la acumulación de capital. Nada comparable ni de semejante alcance sucedía en la época en las otras grandes civilizaciones de Medio Oriente y Asia.

Hasta los viajes de Colón y Vasco de Gama, no existía, en efecto, un orden mundial de alcance general. El comercio Internacional era, en su mayor parte, de carácter intrarregional dentro de Europa, Asia y África. Los vínculos intercontinentales como, por ejemplo, el comercio entre China e India con las ciudades europeas del Mediterráneo, eran esencialmente bilaterales. No constituían una red de alcance global. Una excepción era el empleo por los europeos del oro importado desde los yacimientos africanos del Sudán occidental para cancelar el déficit de su balance comercial con Oriente. Pero esta red triangular Europa-Oriente-África, tampoco tenía alcances generales. Se dice que el sistema Internacional global se constituye a partir de la última década del siglo XV con el descubrimiento de América y la llegada de los portugueses a Oriente por vía marítima.

**El descubrimiento, conquista y colonización del Nuevo Mundo** incorporó un espacio gigantesco que cumplió el papel decisivo en la formación del orden económico mundial. La presencia de los europeos en África, Asia y el Nuevo Mundo integró, por primera vez, un mercado de dimensión global.

Alrededor del año 1500 surgieron, el aumento de la productividad y la existencia de un sistema internacional globalizado. Se plantea el dilema fundamental de las interacciones entre el ámbito interno y el contexto mundial como determinante del desarrollo y el subdesarrollo de los países, y del reparto del poder entre los mismos.

El tamaño de su población y los recursos naturales constituyen el *poder tangible* de cada país; los *factores intangibles* son la tecnología y la acumulación de capital. En ausencia de estos componentes, el poder tangible se disuelve en el subdesarrollo. Así, desde el despegue del Primer Orden Económico Mundial comenzó a tejerse la trama sobre la cual se articuló el sistema internacional y la distribución del poder entre las naciones.

La observación del pasado revela que la globalización del orden mundial tiene precedentes históricos de consecuencias comparables o aun mayores que las de la actualidad. Por ejemplo, la conquista de América y la esclavitud, así como las aportaciones de Galileo Galilei (1564-1642) que descubrió las leyes de la caída de los cuerpos y enunció el principio de la inercia y la ley de composición de velocidades, Tycho Brahe (1546-1601) famoso astrónomo que sin ayuda de algún telescopio clasificó miles de posiciones de estrellas, Johannes Kepler (1571-1630) quien calculó la posición de marte y la tierra, afirmando que ambos efectuaban recorridos orbitales circulares en torno al sol, Sir William Harvey (1578-1657), médico inglés que describió con toda precisión la circulación de la sangre por el cuerpo y el corazón calculando la cantidad de sangre que el corazón bombea en una hora, Simón de Brujas (1548-1620) que resolvió el problema de la composición de fuerzas y estableció el valor de la presión ejercida por un líquido sobre las paredes del recipiente que lo contiene, Rene Descartes (1596-1650) quien inventó las "Coordenadas Cartesianas", sentando las

bases en la Geometría Analítica, Christian Huygens (1629-1695) que estudió los relojes y el péndulo y analizó la acción de las fuerzas aplicadas a un móvil, Isaac Newton (1642-1727), que elaboró la teoría sobre la atracción universal, Jacques (1654-1705) y Jean Bernoulli (1667-1748) quienes aplicaron las teorías mecánicas a los problemas de Dinámica, Pierre Varignon (1654-1722) quien fue el autor de la teoría de los momentos y del principio de las velocidades virtuales, Leonhard Euler (1707-1783) quien aplicó el análisis matemático a la ciencia del movimiento, D'Alembert (1717-1783) que escribió un tratado de Dinámica, Louis de Lagrange (1736-1813) quien enunció el tratado de las velocidades virtuales en un tratado de mecánica analítica, Antoine Lavoisier (1743-1794) fundador de la Química Moderna, Michael Faraday (1791-1867) quien hizo famoso el descubrimiento del movimiento de un cable conductor de corriente eléctrica situado en un campo magnético, Karl Gauss (1777-1855) estudioso del magnetismo terrestre y de Joseph Henry (1797-1878) inventor del telégrafo magnético, marcaron para siempre el destino de las civilizaciones desarrolladas en este hemisferio.

La ocupación europea del Nuevo Mundo provocó, en el siglo XVI, la mayor catástrofe demográfica de todos los tiempos. La esclavitud, a su vez, imprimió sus huellas en la composición étnica y la estratificación social de la población americana.

Más tarde, en el transcurso del siglo XIX, el ferrocarril y la navegación a vapor provocaron la drástica rebaja de los fletes terrestres y marítimos. Las comunicaciones, a su vez, registraron el revolucionario impacto del telégrafo y de los cables submarinos. Esto permitió la ocupación de los espacios abiertos del Nuevo Mundo, Oceanía y África del Sur, indujo el movimiento de capitales desde los centros industriales a la periferia y promovió migraciones masivas, así como grandes descubrimientos realizados por Charles Darwin (1809-1882) con su famoso libro "El origen de las especies", Claude Bernard (1813-1878) un distinguido estudioso del cuerpo humano, Johann G. Mendel (1822-1884) quien estableció las leyes de la herencia humana, Louis Pasteur (1822-1895) estudioso de la inmunología y descubridor de la vacuna contra la rabia, James Clerk Maxwell (1831-1879) descubridor de la doble refracción que se produce en los



líquidos cuando se someten a un fuerte esfuerzo cortante, Wilhelm Konrad van Rontgen (1845-1923) quien descubrió los rayos X, Antonie Henry Becquerel (1852-1908) que descubrió la radiactividad, Pierre Curie (1859-1906) y Marie Curie (1867-1934) quienes aislaron el Polonio y el Radio, dando paso a una nueva era en donde el progreso científico y tecnológico ya no era aislado, sino global.<sup>5</sup>

Algunos indicadores de la globalización, como la relación entre el comercio y la producción mundiales y el capital extranjero respecto de la inversión total, en vísperas de la Primera Guerra Mundial, eran semejantes y aun mayores que en la actualidad.

Para finalizar esta breve reseña histórica, cabe destacar también la labor realizada por Coulomb, Ohm, Ampere, Faraday, Kirchoff y Maxwell quienes junto con las leyes básicas del movimiento y de la gravitación de Newton de la Mecánica, construyeron las propias en la Electricidad y Magnetismo. Los fundamentos de la Óptica Geométrica y física quedaron bien establecidos por Snell, Newton, Young y Fresnel, mientras que el calor recibió especial atención por parte de Rumford, Davy, Carnot, Joule, Clasius y Kelvin. No podía faltar Albert Einstein con su teoría de la Relatividad Restringida, Niels Bohr con el modelo atómico del átomo (1911), R.A. Millikan quien determina el valor de la constante universal de Planck (1916), W. Heisenberg con su "Principio de Incertidumbre" en el cual demuestra la naturaleza cuántica de la materia (1927), en este mismo año, W. Pauli con el famoso "Principio de Exclusión" que determina el número máximo de electrones que puede haber en una de las capas de cualquier átomo, y algunos otros trabajos como los de Madame Curie (átomos radiactivos), Anderson y Nedermeyer quienes en 1938 descubrieron la existencia de mesones pi entre los rayos cósmicos que atravesaban la atmósfera terrestre, Hahn y Strassman que en 1939 descubrieron la fisión del Uranio y con la entrada de los Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial, la investigación y desarrollo de un dispositivo explosivo atómico que explotó el 16 de julio de 1945. En la actualidad aún se buscan y encuentran aplicaciones pacíficas de este tipo de energía.<sup>6</sup>

Como podemos observar, la globalización tecnológica, política, económica y mundial a través de la historia, deja ver resultados sorprendentes, pero ¿Dónde en verdad está la globalización del mundo de hoy? ¿Somos todos un solo pueblo en el mundo, hermanados por un destino común? La dura realidad aconseja responder con un contundente **no**. Los Estados Unidos, como bien se sabe, ponen toda clase de trabas para permitir el ingreso a su territorio. Evidentemente es su derecho, aun y cuando el ejercicio de ese derecho conlleve la violación de otros derechos humanos.

En Francia se han producido recientemente manifestaciones para oponerse a los intentos del gobierno por establecer medidas discriminatorias contra los inmigrantes. Y eso ocurre en el país que se enorgullece de que todo hombre libre tiene dos patrias, la suya propia y la Francia. De mucha mayor trascendencia es la pretendida globalización de la economía.

Si el fenómeno de la globalización ocurriera en Estados Unidos, en Japón o en Alemania, entonces sí se coincidiría en que el mundo marcha hacia una economía global. Pero las cifras que se conocen no indican esa circunstancia. Las inversiones extranjeras en Estados Unidos son muy grandes en términos absolutos, pero insignificantes dentro de las gigantescas dimensiones de la economía de ese país.

Lo que domina al mundo de hoy es el comercio y quienes lo controlan. Los modernos dueños son los que manejan las grandes corporaciones multinacionales, los que dirigen la gran banca que ahorca a los deudores del Tercer Mundo, los medios de comunicación de las metrópolis, con sus satélites y su revolución digital. El mundo se maneja desde Nueva York, Washington, Houston, Bruselas, Frankfurt, Londres, París y Tokio.

Mas aún, con el término de multinacional o global se pretende inferir que todos somos parte en el contexto global. Hace apenas veinte años se veía a las transnacionales como peligrosas. Ahora, se ha aprendido a convivir con la inversión extranjera.

El liderazgo de las empresas multinacionales norteamericanas en el mundo, ha estado siendo desplazado por las de origen europeo y japonés a partir de la segunda mitad de los años ochenta, como consecuencia de la elevada competitividad de los aparatos productivos de estas dos últimas áreas del mundo y el relativo envejecimiento del de los Estados Unidos. En algunas áreas, por ejemplo, los automóviles, marchan detrás, las firmas norteamericanas solían aventajar holgadamente a sus competidores, ahora se encuentra cada vez más en desventaja. En 1970, 64 de las 100 corporaciones industriales más grandes del mundo, estaban en los Estados Unidos, 26 en Europa y sólo 8 en Japón. Hacia 1988, sólo 42 de las 100 empresas más grandes se hallaban en Estados Unidos, 26 en Europa y 15 en Japón. En la Industria Química, las tres firmas más importantes están todas en Alemania. Cada una es por lo menos una tercera parte más grande que DUPONT, la compañía química más importante de Estados Unidos. En la manufactura externa se observan las mismas tendencias. En 1970, 19 de los 50 bancos más importantes del mundo eran norteamericanos, 16 europeos y 11 japoneses. Hacia 1988, sólo 5 eran norteamericanos, 17 eran europeos y 24 japoneses. En 1990 no había bancos norteamericanos en la nómina de los 20 más importantes. En el sector de servicios, 9 de las 10 empresas más importantes, ahora son japonesas.<sup>7</sup>

En los Estados Unidos, la mayor estabilidad y el más rápido desarrollo de las empresas siderúrgicas ya no dependen de las enormes plantas integradas por más de 5,000 operarios que producen barras de acero en gran escala, sino del acero destinado a determinados usos: aceros resistentes a la corrosión (Galvanizados o electrogalvanizados) producidos para ciertos automóviles, camiones y artefactos para el hogar; acero pulverizado que puede ser compactado y fraguado para la fabricación de componentes extralivianos, utilizados en cigueñales y otros elementos de alta resistencia para motores de combustión. Una transformación similar se observa en la industria de los plásticos, donde las altas ganancias ya no provienen de los grandes lotes de polímeros básicos, como el poliestireno, sino de polímeros especiales creados mediante combinaciones únicas de moléculas que pueden resistir variados niveles de presión y de temperatura y ser adaptados a complejas estructuras (como las de los

teléfonos celulares o las computadoras). En la Industria Química, las mayores ganancias también provienen de las especialidades ideadas y producidas para determinados fines industriales.

Como se puede apreciar, existe un cambio importante en la operación de las Empresas Multinacionales y no se ve fácil ejercer sobre las mismas un mayor control, de ahí que habrá empresas multinacionales que se diversifiquen y descentralicen a grado tal que éste será el rasgo fundamental de la producción del próximo siglo.

Por ello, es importante la capacitación y la investigación que se realiza en cada una de las Universidades de todo el mundo, aunque para esto hemos dedicado los siguientes apartados, en donde analizaremos la situación de los países de primer mundo con respecto a los países tercermundistas.

De esta manera, podremos concluir el porque el mayor número de empresas triunfadoras a nivel mundial se encuentran, en su mayoría, en países altamente desarrollados. La visión que han tenido éstas para promover la investigación y el desarrollo desde las universidades es primordial para el éxito que han logrado en todo el mundo.

## 1.2 LA INVESTIGACIÓN ACADÉMICA

### 1.2.1 Generalidades

La globalización de la investigación conduce a un conjunto de cambios institucionales y organizacionales en el ámbito de la investigación (principalmente referidos al fortalecimiento de los vínculos universidad-empresa y a los nuevos roles asignados a las universidades) y en el establecimiento de nuevos patrones y criterios para el financiamiento de la ciencia. Desde fines de los años setenta en los países desarrollados se han impulsado nuevos patrones de organización y financiamiento de las actividades de ID (Investigación y Desarrollo) que se expresan, en términos generales, en los hechos que a continuación se exponen.<sup>6</sup>

Los nuevos patrones se caracterizan por el desgaste de los recursos del Estado para financiar la investigación académica, por lo que muchos de los laboratorios y unidades de investigación perdieron calidad al experimentar una baja en sus presupuestos de investigación (En los E.U. un laboratorio gasta aprox. 1300 millones de dólares al año para realizar sus investigaciones). La respuesta de los gobiernos ha sido fomentar las asociaciones entre académicos y empresarios, para reorientar el esfuerzo de investigación hacia la investigación aplicada. Lo que se refleja en una ampliación de los representantes de la industria en los consejos de investigación y en la creación de nuevas estructuras para la transferencia de conocimiento entre academia y empresa, como por ejemplo **los parques científicos, las incubadoras tecnológicas, los consorcios de investigación y los empresarios universitarios entre otras**. Es novedosa la aparición de los llamados *empresarios universitarios individuales*, que aunque ponen en riesgo sus finanzas y carrera, les ofrece grandes posibilidades de lograr mejores beneficios en sus empresas.

Muestra de lo anterior, son los programas del BID (Banco Interamericano de Desarrollo) para el sector de CyT (Ciencia y Tecnología) en la región, que tienen como

objetivos explícitos el apoyar la articulación de dicho sector con el aparato productivo a través de acciones e inversiones que incluyen tanto el fomento de la realización de actividades en ID por parte de las mismas empresas productivas, como la creación de unidades para tal fin. Dichos programas apoyan el avance de procesos científicos de laboratorio a procesos experimentales de planta piloto, el establecimiento de parques tecnológicos en torno a las universidades con capacidad para ello, la participación de los investigadores en los beneficios económicos de las innovaciones y la revisión de las regulaciones sobre el patentamiento, el fomento de las empresas de consultoría y servicios científico-técnicos, el fortalecimiento de instituciones y unidades de extensión, y la utilización de instrumentos legales, fiscales y financieros para todo lo anterior. En el largo plazo, el nuevo modelo impulsado a través de la estrategia del BID también se propone alterar la estructura del financiamiento de la actividad de investigación: se trata de elevar la cantidad de recursos destinados a este sector, promoviendo el crecimiento del financiamiento que proviene de fuentes privadas. Al estado le corresponde apoyar la modernización tecnológica del sector productivo a través del desarrollo del mercado financiero y tecnológico para la innovación, y promover el aumento y diversificación del financiamiento de las instituciones públicas de educación superior, mediante contratos.<sup>9</sup>

La globalización supone un proceso de apertura e interacción, aunque no uniforme, entre los distintos sistemas nacionales de innovación (sistemas de interacción pública y privada entre las empresas, las universidades y las agencias del Estado en el ámbito de la actividad de ID), a través de la adopción de los mismos patrones tecnológicos y económicos. Como resultado de ello se genera un importante movimiento de convergencia entre dichos sistemas, que se refleja en la adscripción a patrones internacionales de organización, de trabajo y de consumo. La participación en el proceso de globalización depende del grado de desempeño que los países logren en el marco de estos nuevos moldes y de los sistemas locales de ID. La globalización puede generar integración y también exclusión. En el marco de la globalización se produce un aumento de la cooperación internacional y la competencia entre compañías, lo que promueve una aceleración del cambio técnico, aumentando el riesgo

de exclusión del flujo internacional de CyT para aquellos países que no participen en el proceso. Además, al promover de la misma manera un incremento de las especializaciones, la globalización generaría tanto divergencia y exclusión, como convergencia e integración.<sup>10</sup>

La *globalización de la investigación académica*, tiene riesgos de fragmentación, lo que puede conducir a una reconfiguración del sistema de investigación académica aún más marcada. La globalización se impulsa por los intereses estratégicos de las grandes corporaciones en su intento por lograr estructuras de ID sumamente ágiles y flexibles para generar y aplicar conocimientos, lo que requiere de una política selectiva que se concentra en ciertas áreas y en la calidad de la investigación. Ello tiende a debilitar la investigación básica y a fortalecer la investigación aplicada en las universidades, favorece además una competencia entre instituciones que termina por fortalecer a las más fuertes y a debilitar a las más débiles.

### 1.2.2 ALCANCES

La globalización crea oportunidades entre las economías y los sistemas de investigación, pero también crea desafíos para los países de la región, pues con ella se agudizan algunos problemas estructurales, como por ejemplo, ¿cómo garantizar, a pesar de la brecha existente entre centro y periferia en CyT, que la participación de América Latina en el nuevo contexto sirva para acceder efectivamente a las fuentes de información y conocimiento mundiales necesarios, a fin de superar su condición periférica?, o dicho de otro modo, ¿cuáles son los requisitos indispensables para que los países de la región tengan acceso a los recursos mundiales de conocimiento y además co-participen en su generación y se beneficien de ello? El consenso que parece existir al respecto es que para participar en el *club de la globalización*, el club de los que logran participar exitosamente en el proceso de internacionalización de las inversiones, producción, comercio, tecnología e investigación, es preciso contar con una extraordinaria fuerza de trabajo capacitada con muchos **ingenieros y científicos de alto nivel**, lo cual es en esencia un asunto de educación y capacitación científica, que a la vez depende de acciones deliberadas emprendidas por los gobiernos nacionales y locales. La cooperación científica internacional estaría llamada a cumplir un papel que asegure un acceso a las redes de la ciencia global.<sup>11</sup>

La globalización de la investigación se relaciona con un conjunto de cambios mayores que se están dando en la naturaleza y escala de las actividades de investigación en el ámbito internacional, al modo en que se asocian distintas disciplinas científicas para resolver un determinado problema, dando lugar al nacimiento de nuevos campos y disciplinas. **Esta estrecha interacción entre ciencias básicas y aplicadas es característica del nuevo patrón de innovación, el cual es crecientemente interdisciplinario, particularmente en el campo de las nuevas tecnologías. El desarrollo de las llamadas nuevas tecnologías está basado en la fusión de distintas disciplinas científicas e insumos tecnológicos. La aplicación de ellas en las ciencias médicas, por ejemplo, muestra que no sólo dicho campo**



**se ha beneficiado de disciplinas cercanas como la biología, la genética y la química, sino también de la física nuclear, la electrónica, la ciencia de los materiales e ingeniería, especialmente con el desarrollo de nuevas tecnologías de diagnóstico tales como imágenes de resonancia magnética, los esofagoscopios o broncoscopios entre otros.** Esta relación entre distintas disciplinas ha contribuido a la emergencia de nuevas formas de organización para la investigación en equipos interdisciplinarios, y con la combinación de algunas, se han fortalecido otras: matemáticas y física tienen hoy un papel fundamental en química, como lo tienen física y química en Biología; lo que ha producido nuevos y revolucionarios desarrollos en biología molecular, ingeniería genética y biotecnología".<sup>12</sup>

Se han disminuido los límites entre CyT, y se ha producido un intercambio entre investigación básica y aplicada. El aumento de los costos para desarrollar productos comerciales y la reducción del ciclo de vida del producto son vistos como factores que explican la urgencia con que las empresas tienden a desarrollar las actividades de ID. Las grandes firmas se valen de sus redes multinacionales para desenvolverse exitosamente en este nuevo y complejo entorno que estimula el crecimiento de los sistemas de ID, lo que conduce a la transnacionalización de la actividad de investigación, como por ejemplo: **Bayer, Ciba, Roche, Hoechst, Sulzer**, etc.. De este modo se promueve un esfuerzo de coordinación e integración en el ámbito de la investigación, que apunta al logro de la eficiencia global de las actividades en la ID basándose en un nuevo patrón de organización y funcionamiento de dichas actividades.

Los cambios transforman algunas áreas de la ciencia académica. Como resultado de ello, aparece por un lado una importante reorientación del esfuerzo hacia la investigación aplicada a expensas de la investigación básica y, por la otra, un mayor control de la ID por parte de las empresas.

Sin embargo, no hay que olvidar que la investigación básica es el soporte de la investigación aplicada y del desarrollo experimental. Además, el que las empresas

controlen progresivamente la producción del conocimiento, supone también en la academia una reducción o pérdida de un espacio clave para estudiar y resolver problemas cruciales que son del interés de la sociedad en conjunto. El nuevo contexto de la globalización económica obliga a los países a desarrollar capacidades para identificar y responder rápidamente al empuje del cambio tecnológico en los mercados mundiales. Por lo que la innovación requiere de nuevos conceptos en el sistema educativo.

La contribución de las universidades al crecimiento económico y a la competitividad global parece ser la piedra fundamental del nuevo modelo de desarrollo, la investigación y la docencia deben ser más relevantes y utilitarias, las carreras tendrán que responder a las necesidades del mercado de trabajo, mientras que la investigación deberá ser relevante con respecto a los problemas prácticos de las empresas.

En relación a las políticas dirigidas a la investigación básica, particularmente por el modo en que cambian los criterios para la asignación de recursos a las universidades, se observa que dichas políticas son selectivas pues tienden a colocar los fondos en las áreas y departamentos que producen investigación de calidad, con lo cual se benefician pocas instituciones y se detiene la investigación en la mayoría de ellas. Con este nuevo sistema se benefician pocos departamentos y los que tienen una baja productividad científica se ven seriamente afectados.<sup>13</sup>

Los cambios que la globalización genera son enormes en la investigación, ya sea que se midan en términos del número de investigadores, de gastos en investigación, del número de publicaciones o de los costos asociados a los megaproyectos. Estos indicadores muestran que la ID, lejos de ser globalizada, se está concentrando en ciertos países, empresas y universidades, y como consecuencia de ello, la brecha entre países, regiones e instituciones aumenta dramáticamente.

controlen progresivamente la producción del conocimiento, supone también en la academia una reducción o pérdida de un espacio clave para estudiar y resolver problemas cruciales que son del interés de la sociedad en conjunto. El nuevo contexto de la globalización económica obliga a los países a desarrollar capacidades para identificar y responder rápidamente al empuje del cambio tecnológico en los mercados mundiales. Por lo que la innovación requiere de nuevos conceptos en el sistema educativo.

La contribución de las universidades al crecimiento económico y a la competitividad global parece ser la piedra fundamental del nuevo modelo de desarrollo, la investigación y la docencia deben ser más relevantes y utilitarias, las carreras tendrán que responder a las necesidades del mercado de trabajo, mientras que la investigación deberá ser relevante con respecto a los problemas prácticos de las empresas.

En relación a las políticas dirigidas a la investigación básica, particularmente por el modo en que cambian los criterios para la asignación de recursos a las universidades, se observa que dichas políticas son selectivas pues tienden a colocar los fondos en las áreas y departamentos que producen investigación de calidad, con lo cual se benefician pocas instituciones y se detiene la investigación en la mayoría de ellas. Con este nuevo sistema se benefician pocos departamentos y los que tienen una baja productividad científica se ven seriamente afectados.<sup>13</sup>

Los cambios que la globalización genera son enormes en la investigación, ya sea que se midan en términos del número de investigadores, de gastos en investigación, del número de publicaciones o de los costos asociados a los megaproyectos. Estos indicadores muestran que la ID, lejos de ser globalizada, se está concentrando en ciertos países, empresas y universidades, y como consecuencia de ello, la brecha entre países, regiones e instituciones aumenta dramáticamente.

Por ejemplo, de acuerdo a UNESCO, en 1990 el total de científicos e ingenieros dedicados a la ID, por cada millón de habitantes, estaba distribuido de la siguiente manera:

**Número de científicos e ingenieros en ID en 1990 (por millón de habitantes).<sup>14</sup>**

Norteamérica	3360
Latinoamérica y el Caribe	365
Europa	2210
África	120
Asia	400

Un segundo indicador de concentración de la actividad de CyT son los gastos en ID de los países durante 1991. Comparemos algunos de ellos

**Gastos en ID de algunos países seleccionados, 1991<sup>15</sup>**

	ESTADOS UNIDOS	JAPÓN	BRASIL	INDIA
Gastos en ID (en miles de millones de \$)	149.8	67.4	3.2	6
Gastos en ID percapita (en \$)	593	543	21	7
Porcentaje de los gastos en ID estatales con respecto al total	44	16	80	78
Investigación universitaria (% de los gastos estatales en ID)	—	45	23	—

Un tercer indicador del crecimiento de la actividad de investigación (básica y aplicada) es el aumento de los fondos estatales asignados a distintos campos de investigación durante las últimas tres décadas en los Estados Unidos:

**Fondos estadounidenses asignados a la investigación básica y aplicada por campo (en miles de millones de dólares constantes, 1981).<sup>16</sup>**

CAMPOS DE INVESTIGACIÓN	1969	1979	1989
Ciencias de la Vida	3.7	4.9	6.8
Ciencias del Ambiente	1.1	1.5	1.5
Matemáticas y Ciencias de la			
Computación	0.3	0.3	0.5
Ciencias Físicas	2.5	2.4	3.0
Ingeniería	3.4	3.3	3.3
Ciencias Sociales	0.6	0.7	0.5
TOTAL	11.0	13.0	15.8

Otro indicador de la globalización de la actividad de investigación es el aumento de las publicaciones internacionales asociadas o las co-autorías de artículos científicos que incluyen a dos o más científicos de diferentes países que trabajan conjuntamente. Estas coautorías se han duplicado entre 1976 y 1986, de acuerdo al siguiente cuadro:

**Artículos en co-autoría internacional para los países de mayor producción científica (%)<sup>17</sup>**

PAISES	1976	1986
Canadá	12.4	19.4
Francia	10.3	21.3
Alemania	9.7	20.9
Japón	3.5	7.5
Reino Unido	10.0	16.6
Estados Unidos	5.6	10.2

En el siguiente cuadro, presentamos los costos estimados de un conjunto de megaproyectos científicos.

**Megaproyectos científicos seleccionados (en miles de millones de dólares)<sup>18</sup>**

PROYECTO	AÑO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO	CAPITAL
Large Hadron Collider	2005	2.3
Cassini	1998	1.9
Reactor Experimental Nuclear Internacional (ITER)	2005-8	8-11
Instalación Avanzada de Astrofísica para Rayos X	1998	2.1
Telescopio Espacial Hubble	1990	2.3
Estación Espacial	2002	44
Sistema de Observación de la Tierra (EOS)	2000	8.3
Observatorio de Interferómetro Láser de Ondas Gravitacionales (LIGO)	1999	231

Estos permiten abordar problemas globales de CyT, aprovechar la experiencia científica internacional y hacer viables dichos planes. Pocos países participan en estos proyectos que revelan que las actividades de ID se vuelven crecientemente internacionales cuando se trata de proyectos a muy largo plazo. Los países participantes en la megaciencia, Alemania, Francia, el Reino Unido, Japón y Estados Unidos, son líderes de la ciencia mundial e intentan mantener dicho liderazgo a través de tales proyectos.

Todos los indicadores presentados son aún mas contundentes si consideramos que en 1986 América Latina, con el 8.23% de la población mundial, concentraba el 1.23% de la producción mundial de artículos científicos y el 4.7% del PNB total mundial, mientras que los países desarrollados, con el 17.04% de la población mundial,

concentraban el 82.71 % de la producción mundial de artículos científicos y el 67.04% del PNB.

A partir del crecimiento del conocimiento fundamental de muchas disciplinas -generado por la investigación académica-, se produce con la globalización un proceso de mayor control sobre los resultados y la orientación de la actividad que no implica el fin de la investigación básica pero sí su progresiva privatización-mercantilización. Esto ha afectado a la investigación académica.

El proceso está enmarcado en el nuevo patrón de competitividad global, moldeado y establecido por los países líderes de la economía mundial. Por consiguiente, la globalización es un proceso de resultados heterogéneos según la capacidad de ID que tengan los países y que efectivamente logren mantener y desarrollar.

### 1.3 LA COMPETITIVIDAD GLOBAL

Las necesidades del sector privado de la economía requieren de un papel en la investigación académica y las universidades mucho más activo y comprometido con el logro de la competitividad industrial. Para ello, se promueven cambios en el marco legal, institucional, financiero y organizacional de la ciencia académica, al mismo tiempo que se fijan nuevos criterios de asignación de recursos para la investigación y la evaluación del desempeño de los investigadores.

En la globalización de la ciencia, las firmas buscan asegurar el acceso a la *inteligencia global*, por lo que adoptan acuerdos de cooperación con otras, así como con diferentes instituciones y unidades de investigación, construyendo redes y alianzas que les permiten a la vez competir entre sí, en un marco adecuado para el desarrollo de sus capacidades. Es así que la producción de conocimientos en el contexto de la globalización implica el desarrollo de nuevos patrones orientados a la reconfiguración del sistema de Investigación y Desarrollo (ID).<sup>19</sup>

El nuevo contexto requiere del desarrollo de capacidades importantes de innovación tecnológica a fin de tener acceso a recursos y conocimientos creando redes que les permiten articularse con los laboratorios, grupos e institutos de investigación de las universidades.

**Las nuevas tecnologías son creadas mediante alianzas estratégicas interfirmas a través de proyectos de investigación concebidos y ejecutados con una base transnacional.**<sup>20</sup>

La ID es vista como un factor fundamental para la creación de oportunidades tecnológicas que conducen a innovaciones y a la competitividad. El modelo de la competitividad internacional, en términos prácticos, promueve la creación de un entorno global para la innovación, en el cual la (nueva) política tecnológica se orienta a



incrementar la fuerza, resistencia y elasticidad de los nodos de las redes industriales y científicas de un país. De allí el auge que tienen las políticas orientadas a la difusión tecnológica y la importancia que para su éxito tiene la ampliación de las bases de la ID corporativa, para lo cual las empresas recurren a la investigación académica.

**Algunos analistas señalan a las asociaciones entre universidades e industrias como una forma de subsidio a las empresas para abaratar el proceso de transferencia tecnológica, y como una política industrial que ejerce presión sobre las universidades que las perjudica en tanto que las convierte en laboratorios de ID para la industria.<sup>21</sup>**

Los acuerdos de cooperación entre firmas en materia de investigación, tecnología y producción abarcan una amplia variedad de formas. Por ejemplo, los programas ESPRIT y ALVEY, concebidos con bases internacionales y nacionales respectivamente.

ESPRIT es un programa de la Comunidad Económica Europea (hoy Unión Europea), que en su primera etapa (1983-1988) desarrolló 200 proyectos de ID, en cinco áreas:

- 1) Microelectrónica avanzada,
- 2) Tecnología de *software*,
- 3) Procesamiento avanzado de información,
- 4) Sistemas de oficina y
- 5) Manufactura integrada por computadora.

Este programa involucró a 1,300 investigadores y 450 socios, dentro de los cuales se incluyeron 263 empresas y el resto eran universidades e instituciones públicas y privadas. Hay que destacar la contribución de las universidades y de los institutos de investigación en su papel de participantes como subcontratados, marco en

el cual fueron frecuentemente requeridos sólo para estudios muy específicos o para consultorías muy especializadas.

En cuanto a ALVEY, se trata de un programa del Reino Unido que contempló 200 proyectos de investigación colaborativa, de los cuales la mitad fueron desarrollados en las universidades bajo el patrocinio de la industria. Participaron cien empresas, y aunque fue un programa abierto a las firmas extranjeras, las empresas británicas recibieron el grueso de los fondos. El programa se concentró en el desarrollo de proyectos de ID en *ingeniería de software, sistemas basados en conocimiento inteligente y desarrollo de interfase hombre-máquina, entre otros*. ALVEY contribuyó a que las firmas fortalecieran sus vínculos con las universidades, mejorando la apreciación de las empresas sobre las ventajas de fortalecer tales relaciones.<sup>22</sup>

Los gerentes de las corporaciones prefieren recurrir a las universidades para superar cuellos de botella particulares, escogiendo reservar para las firmas el ejercicio de un pensamiento especulativo de largo plazo. Es allí donde radica uno de los mayores peligros para las universidades, porque este cambio significa que los sistemas de investigación académica están siendo reestructurados como nuevos espacios de apoyo fundamental al modelo de competitividad global donde gobiernan nuevos modos, reglas y criterios de conducción y evaluación de la investigación académica, afectándose así el desarrollo de la investigación básica para favorecer la investigación aplicada o precompetitiva.

### 1.3.1 LOS PAÍSES DESARROLLADOS

Los países industrializados han impulsado políticas que apuntan al desarrollo de la investigación orientada al mercado, es decir, de la investigación económicamente relevante. Con tal propósito se remueven los obstáculos que impiden el desarrollo de investigaciones cooperativas, incentivándose a los científicos para que se interesen por la comercialización de los resultados de sus trabajos y se fomentan al mismo tiempo las actividades de las industrias de base científica, especialmente a través de instrumentos que financian la investigación cooperativa entre universidades e industria.<sup>23</sup>

En general, los esfuerzos de ID se orientan al logro de la competitividad industrial a través de la reorientación del sistema de ID, con el fin de alcanzar una mayor eficiencia y a la vez, el autofinanciamiento del mismo. De la misma manera ocurre una reducción del gasto del estado en ID y aumenta la participación del sector privado en esta actividad. Además de las Universidades, participa una gran variedad de institutos de investigación; la innovación tecnológica se convierte en prioridad nacional, obligando a cambios organizacionales, a nuevos criterios de asignación de recursos y a la promoción de relaciones de los académicos con la industria, con lo cual, la ciencia académica se convierte en el más propicio para la innovación tecnológica a través de la explotación comercial de los resultados de la investigación.

**En el caso de EUA, estas nuevas políticas han sido impulsadas tanto a nivel federal como estatal; la llamada agenda de la competitividad emerge en los ochenta, durante las administraciones de Reagan y Bush, continuando con la de Clinton.** Sin embargo, a nivel federal, en los años sesenta, bajo la administración de Nixon, se crean dos programas prominentes administrados por la Fundación Nacional de Ciencia (FNC, o *National Science Foundation*), que son el programa de Proyectos de Investigación Cooperativa Universidad-Industria y el programa de Centros de Investigación Cooperativa Universidad-Industria. El primero fue un programa tradicional de relaciones de consulta, limitado a financiar proyectos de dos años de duración. El

segundo se proponía desarrollar la interacción entre universidades e industrias a través de proyectos de investigación industrialmente relevantes; también buscó promover aquel tipo de investigación académica capaz de proporcionar una base de conocimientos adecuada al avance tecnológico e industrial, vinculando a los estudiantes a esa actividad durante sus años de formación.

A mediados de los ochenta, la FNC, lanza un nuevo programa, para apoyar la investigación transdisciplinaria en **Ingeniería**, con lo cual se crean otros 18 centros a fines de esa década. Dicho programa se amplía más en la década de los noventa y las NSF decide apoyar centros híbridos " que logren mejorar las asociaciones entre investigación básica y aplicada, y promuevan los avances tecnológicos, la transferencia de tecnología y la subsecuente comercialización".<sup>24</sup>

Como se ve, las universidades son los principales centros de investigación básica, financiadas por el Departamento de Defensa, el Departamento de Energía y el **Instituto Nacional de Salud**.

Durante los últimos años, en los Estados Unidos se han impulsado las alianzas que favorecen vínculos estrechos de las empresas con las Universidades. Como resultado de estas asociaciones, los programas de investigación de las universidades responden crecientemente a los intereses de las industrias participantes en los nuevos esquemas de asociación. Otros tipos de asociación promovidos en el nuevo marco son los parques científicos e incubadoras tecnológicas, cuyo propósito es ayudar a las firmas nuevas allí establecidas a resolver distintos problemas. Las Universidades han tenido un incentivo económico claro para establecer sus asociaciones con las empresas porque se espera que la investigación básica de las universidades tenga un resultado comercial.<sup>25</sup>

Con el auge de estas asociaciones entre empresas y universidades han sucedido hechos relevantes como estos: hoy el MIT tiene 300 afiliados industriales, los cuáles incluyen un tercio de las 500 empresas más reconocidas en el mundo por hacer

investigación; de los 39 mil millones de dólares que el gobierno americano destinó en 1982 a la actividad de ID, en 1992 fueron 157 mil millones y en 1997, 240 mil millones, menos del 1%, en cada caso, se destinó a financiar la ID en las universidades, lo que sólo representó el 4% del presupuesto de investigación de las universidades; tan solo dos empresas acapararon el 20% de los recursos, y otras 10 el 33%.<sup>26</sup>

El desarrollo de las asociaciones es también apoyado por las *alianzas de grupos de interés*. En EU la más importante ha sido la mesa redonda Gobierno-Universidad-Industria, creada en 1984 como un **foro donde científicos, ingenieros, administradores y representantes del gobierno, de la Universidad y de la Industria** pudieran ponerse de acuerdo en torno a ciertas bases indispensables en la exploración de mecanismos que mejorasen la productividad de la empresa académica de la nación.

Esta mesa redonda fue patrocinada por la Academia Nacional de Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería y el Instituto de Medicina. El esfuerzo más exitoso de esta negociación (realizado con el Instituto de Investigación Industrial en conjunto), fue la publicación del documento *Acuerdos para un Modelo Simplificado y Estandarizado de Cooperación Universidad-Industria* en 1988.<sup>27</sup>

**En el caso del Reino Unido**, Major continúa la misma política: las principales iniciativas se refieren al establecimiento de parques científicos, la expansión de las asociaciones de investigación industrial y el estímulo a los emprendedores (nuevos empresarios) universitarios.

**El caso de Japón**, tiene sistemas más extensos de relación universidad-industria, aunque su desarrollo es reciente. La investigación es de orientación grupal y los investigadores no parecieran distinguir entre investigación básica y aplicada.<sup>28</sup>

**En Alemania**, al igual que en Japón y EUA, el crecimiento de las relaciones universidad-industria ocurrió durante los años ochenta. Allí, estas asociaciones han tomado la forma de parques tecnológicos en las cercanías de las universidades,

oficinas de transferencia, o institutos de investigación en cuyo financiamiento y dirección participa también la empresa privada. Hacia 1988, de 56 universidades, 25 tenían ya oficinas de transferencia (parecidas a las estadounidenses), las cuales sirven de puente entre académicos y empresarios, brindan asistencia a los investigadores en patentamiento, y seleccionan industrias que podrían estar interesadas en la aplicación comercial de la investigación universitaria. En Alemania, la transferencia de tecnología es apoyada activamente a todos los niveles del gobierno central, por lo que en 1984 se estableció el Ministerio Federal para la Investigación y Tecnología (*Bundes Ministerium fur Forschung and Technologie*, BMFT) a fin de estimular proyectos conjuntos de investigación que involucren a los institutos de investigación financiados por el Estado, y cabe destacar que sus fondos se incrementaron considerablemente durante la década de los ochenta.

**En el caso de Francia**, el tema de la innovación tecnológica y la competitividad recibió amplio respaldo del gobierno de Francois Mitterrand, dominando las prioridades de ID. Las nuevas políticas para la ciencia obligaron a cambios en la organización, la asignación de recursos y las relaciones de los centros de investigación con la industria. Francia ha sido un país líder en el lanzamiento del programa **EUREKA** de la Unión Europea, el cual es un extenso programa de desarrollo tecnológico, administrado cooperativamente con una fuerte participación de la industria, concebido para interesar a las grandes y pequeñas empresas en proyectos de desarrollo tecnológico. Los proyectos se financian según las áreas de investigación y los fondos son asignados a los laboratorios participantes, por lo que cada vez se destinan menos fondos a proyectos de científicos individuales.<sup>29</sup>

**La situación canadiense** también es similar a la estadounidense. Allí las universidades están empeñadas en conseguir socios comprometiéndose con la creación de empresas que desarrollan productos comerciales a partir de los resultados de la investigación de los académicos. La agresividad de las instituciones canadienses ha sido creada por las mismas fuerzas económicas que han reducido el financiamiento de las universidades como en EUA, donde las asociaciones han sido estimuladas por

agencias gubernamentales y mesas de negociación. En Canadá tales organizaciones son el Foro Corporativo de Educación Superior y el Consejo Científico de Canadá, de manera que el desarrollo de estas sociedades tiene el sólido apoyo de representantes gubernamentales, ejecutivos de las empresas, profesores universitarios y administradores.<sup>30</sup>

"Hay una relación entre excelencia en ciencia y competitividad internacional, pero la relación no es lineal o directa... las habilidades y el conocimiento desarrollado en el contexto de la investigación básica son igualmente importantes para el proceso de innovación".<sup>31</sup>

**Gastos en ID en la CEE Comparados con EUA y Japón en 1990.<sup>32</sup>**

<b>País</b>	<b>Gastos en ID como % del PNB</b>	<b>Gastos en ID per cápita</b>	<b>% de los gastos en ID destinado a las universidades</b>
<b>Bélgica</b>	1.71	272	21.3
<b>Dinamarca</b>	1.59	325	25.9
<b>Alemania</b>	2.58	445	16.4
<b>Grecia</b>	0.70	39	35.3
<b>España</b>	0.87	96	20.9
<b>Francia</b>	2.42	412	15.5
<b>Irlanda</b>	0.97	96	23.0
<b>Italia</b>	1.38	224	20.7
<b>Países Bajos</b>	2.00	307	25.4
<b>Portugal</b>	0.72	41	48.4
<b>Reino Unido</b>	2.26	320	19.3
<b>Comunidad Europea</b>	2.02	302	18.1
<b>Estados Unidos</b>	2.78		
<b>Japón</b>	2.86		

Comparemos los indicadores anteriores con los datos que se presentan en los siguientes dos cuadros, a fin de entender las disparidades existentes entre los países, y así poder discernir el verdadero significado y alcance de las nuevas políticas científicas para la competitividad en América Latina.

**Comparación de Indicadores Selectivos (1990-1992).<sup>33</sup>**

	<b>EUA (1992)</b>	<b>Canadá (1991)</b>	<b>México (1991)</b>
Total de Gastos en ID (miles de millones de \$ americanos)	157	8	1
Total de gastos en ID % del PNB	2.7	1.4	0.4
Total de gastos en ID asignados a las universidades	18	25	31
Población (millones)	250	27	86
PNB <i>per cápita</i> (en miles de \$ americanos)	21.8	20.5	2.5



**Gastos en ID en América Latina (1990-1991).<sup>34</sup>**

<b>País</b>	<b>Gastos en ID como % del PNB</b>
México	0.35
Costa Rica	0.89
El Salvador	-
Guatemala	0.10
Honduras	0.04
Nicaragua	0.37
Panamá	0.41
Cuba	0.85
República Dominicana	-
Bolivia	-
Ecuador	0.11
Perú	0.23
Venezuela	0.45
Brasil	0.89
Chile	0.46
Paraguay	0.03
Uruguay	0.20

### 1.3.2 LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA

En América Latina se puede identificar numerosos esfuerzos durante los últimos años con el fin de intensificar el proceso de articulación entre universidades y empresas, acentuado por la reducción del presupuesto público para la investigación. Las modalidades de vinculación entre ambos sectores son diversas y abarcan desde la creación de organismos con funciones específicas hasta instrumentos legales para adecuar normativamente las nuevas relaciones. Estas formas de interacción son múltiples e incluyen actividades de transferencia de tecnología y de prestación de servicios de carácter específico, administradas por unidades creadas para tal fin. Dichas experiencias aún no se han extendido, ni han sido del todo exitosas, pero ponen de manifiesto la emergencia de una nueva cultura de la investigación científica en la región latinoamericana.<sup>35</sup>

Uno de los instrumentos de vinculación son las *incubadoras y parques de tecnología*. Proporcionan a las empresas nacientes un conjunto de instalaciones que las albergan, permitiéndoles una cierta infraestructura, el acceso a laboratorios y el contacto con los investigadores de las universidades. Esas empresas nacientes son incubadas por un período de tres a cinco años después del cual son transferidas a espacios definitivos ubicados en los parques tecnológicos, donde permanecen para recibir el apoyo de las instituciones de investigación vinculadas al parque. De allí que las incubadoras tecnológicas, en su gran mayoría, están constituidas por pequeñas y medianas empresas de base tecnológica.

En América Latina (AL), existen experiencias consolidadas y proyectos en fase inicial de parques tecnológicos. Sólo Brasil tiene experiencias sólidas y con éxito al respecto, mientras que México, Venezuela y Colombia, las están apenas proyectando.

Los parques tecnológicos brasileños nacieron espontáneamente en las localidades donde había instituciones académicas de excelencia, y se asemejan de

alguna manera a las experiencias de la *Ruta 128* en Boston, ya que fue necesario formar un conjunto de empresas de base tecnológica, como fue el caso de los parques de Campinas y San Carlos, ambos en el Estado de Sao Paulo. Cabe destacar que la existencia de dos instituciones académicas de excelencia como la Universidad de Campinas (UNICAMP) y la Universidad Católica (PUC-Campinas), conocidas por su capacidad de investigación e infraestructura de postgrado, por su cuerpo de investigadores de alta calificación, por su tradición en el vínculo con el sector empresarial, han sido factores determinantes para el surgimiento de un conglomerado de grupos empresariales formado por alrededor de sesenta empresas (en su mayoría en el ramo de las telecomunicaciones, informática y química fina) que integran el parque tecnológico de Campinas.<sup>36</sup>

Por su parte, el parque tecnológico de San Carlos surgió a partir de la existencia de dos centros universitarios: el Instituto de Ciencias Matemáticas y el Instituto de Física y Química, ambos pertenecientes a la Universidad de San Pablo, en donde trabajan alrededor de 200 investigadores con nivel de doctorado, y donde participan más de 1,000 estudiantes de postgrado. Además, se encuentra la Universidad Federal de San Carlos que está constituida por más de 200 profesores con nivel de doctorado y alrededor de 500 estudiantes de postgrado. A partir de esta infraestructura científica es que se constituyó este parque tecnológico, que alberga a cerca de 50 empresas, y donde la participación de los propios académicos.<sup>37</sup>

En Brasil se han dado estas experiencias llamadas espontáneas, mientras que en otros países latinoamericanos se han tomado este tipo de iniciativas accidentalmente. México y Venezuela tienen proyectos de parques tecnológicos por iniciar. Para el primer caso los proyectos son:

1) La incubadora de empresas del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada Baja California (CICESE), que es la más avanzada en organización e infraestructura, y cuenta ya con algunas iniciativas empresariales por parte de emprendedores,

- 2) La incubadora del Centro de Empresas de Innovación Tecnológica (CEMIT), ubicada en Cuernavaca, Morelos, también ya en operaciones con algunos casos de emprendedores.
- 3) El Sistema Incubador de Empresas Científicas y Tecnológicas de la UNAM (SIECYT-UNAM), aún sin operatividad.
- 4) En el sector privado, el Programa Incubador de Empresas del grupo Resistol, aún en instrumentación.<sup>38</sup>

El propósito de estas incubadoras es: estimular y aprovechar el talento emprendedor, participar en un contexto de competitividad industrial y establecer nuevas relaciones institucionales eficientes para alcanzar un desarrollo económico innovador.

Venezuela, por su parte, ha impulsado la creación de tres parques tecnológicos en Mérida, Barquisimeto y Sartenejas (Universidad Simón Bolívar). El primero se apoya en la Universidad de los Andes, que posee una importante infraestructura de laboratorios de investigación, y es reconocida por su excelencia tanto en investigación y estudios de postgrado en el área de salud, química e ingeniería química, computación y sistemas, ingeniería eléctrica, electrónica y mecánica. Además, esta universidad ha instituido el Centro de Innovación Tecnológica (CITEC) que desarrolla procesos de fabricación con tecnologías generadas en la universidad, y ofrece servicios de asistencia técnica a distintas iniciativas.

El segundo parque tecnológico (zona industrial de Barquisimeto) se ha denominado Centro Tecnológico Industrial de Servicios, y por último, el proyecto de parque tecnológico de Sartenejas, encabezado por la Universidad Simón Bolívar, contiene una importante infraestructura de investigación y docencia de postgrado.<sup>38</sup>

Cabe señalar que como producto de las nuevas asociaciones, se prevé la necesidad de crear ciertos ajustes legales que permitan la participación de empresas estatales y privadas, así como de las agencias públicas en la gestión de parques, de tal

manera que la composición de los consejos directivos de éstos refleje los diversos actores vinculados con este nuevo tipo de empresa.

Si consideramos las escasas experiencias señaladas pareciera que en América Latina no se ha avanzado en el proceso de reestructuración del sistema de investigación académica exigido por el proceso de globalización, pero aunque hasta ahora no se ha adelantado mucho con la propuesta de las incubadoras y parques tecnológicos, existen programas orientados a lograr tal reestructuración en plazos relativamente breves. Uno de los programas más afinados que luce próximo a implantarse es el nuevo modelo de ciencia en la región, el llamado MERCOCYT o *Mercado Común del Conocimiento entre los Estados Miembros de OEA*.<sup>40</sup>

La creación y desarrollo del llamado *Mercado del Conocimiento* implica cinco tipos de acción:

- 1) El apoyo a las redes regionales de investigación y postgrado y la implementación de proyectos multinacionales de investigación.
- 2) La consolidación de centros regionales o subregionales de excelencia.
- 3) El intercambio y revinculación de recursos humanos altamente calificados.
- 4) El reforzamiento de la intercomunicación, información y difusión científica y tecnológica.
- 5) La vinculación de las universidades y centros de investigación con el sector productivo, a través de programas orientados a la transferencia de resultados de investigación de las universidades y centros de investigación a las empresas, el desarrollo de proyectos de alto impacto en la difusión y transferencia de tecnologías de aplicación general, y la formación de emprendedores tecnológicos junto con incubadoras de empresas de base tecnológica.<sup>41</sup>

Estas experiencias en América Latina se impulsan a partir de que se supone una capacidad de producción de conocimiento científico y tecnológico necesaria y suficiente para la creación de productos, procesos y servicios de base tecnológica de

las universidades. Este es un enfoque parcial porque no considera la escasa inversión en ciencia existente en Latinoamérica, ni el reducido tamaño de la comunidad científica regional, ni el carácter poco emprendedor en la mayoría de los empresarios, así como las necesidades de los sectores socialmente excluidos.

Este proceso está en marcha en las universidades de la región americana, y a pesar de sus limitaciones, las experiencias de reciente vinculación reflejan el surgimiento de una nueva conducta por parte de los académicos.

**Los recursos destinados a la educación superior y a la investigación científica en América Latina están muy por debajo de las necesidades reales de la sociedad, las universidades de la región deberán lograr un mayor apoyo del Estado, lo que les permitirá un pleno desarrollo de las iniciativas y actividades relacionadas con sus múltiples funciones.** En América Latina existe hoy un número insuficiente de investigadores, un presupuesto escaso para la investigación académica, una precaria y obsoleta infraestructura de investigación, aunados a una devaluación del trabajo académico y fuga de cerebros, además del deterioro de las capacidades de investigación de las universidades.

### 1.3.3 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA

Se trata de un instrumento utilizado por las industrias para motivar la investigación pre-competitiva, lo que consiste en asociaciones de empresas para compartir recursos y especializar una tecnología para su comercialización, así como elaborar al desarrollo de productos competitivos.

Muchas empresas buscan vías de cooperación en investigación alternativas, como la que se refiere al desarrollo de proyectos en estrecha vinculación con las universidades. Otros ejemplos de estos consorcios de investigación en el mundo son los programas inscritos en el Programa de Infraestructura Europea en ID, por medio del que la CEE (hoy Unión Europea) aprobó 6.2 mil millones de dólares en 1987 durante cinco años para apoyar el esfuerzo de múltiples consorcios de ID. Uno de ellos fue ESPRIT, como ya se vió, con 62 empresas y 5 programas independientes en tecnología de la información; y otro es el programa BRITE, dedicado a la investigación básica relacionada con tecnología industrial. Además está la iniciativa del programa EUREKA, que provee un mecanismo centralizado de financiamiento para la cooperación entre las naciones europeas en una amplia variedad de proyectos. En este programa participan 18 países en 24 proyectos para el desarrollo de productos de alta tecnología por un monto de 4.5 mil millones de dólares.<sup>42</sup>

**Compañías estadounidenses que participan en seis o más consorcios a nivel Mundial.<sup>43</sup>**

<b>Bellcore</b>	Telecomunicaciones	22
<b>Digital Equipment Co.</b>	Equipos de computación	9
<b>Texas Instruments</b>	Semiconductores	8
<b>Rockwell Corporation</b>	Manufactura de aviones	8
<b>Hewlett Packard</b>	Equipos de computación	8
<b>Ford</b>	Vehículos motores y cuerpos de carros	8
<b>Honeywell</b>	Equipos de comunicación de radio y televisión	7
<b>Harris Corporation</b>	Equipos de comunicación de radio y televisión	7
<b>General Motors</b>	Vehículos motores y cuerpos de carros	7
<b>Exxon</b>	Petróleo crudo y gas natural	7
<b>Amoco Corporation</b>	Refinación de petróleo	7
<b>Shell Development Company</b>	Refinación de petróleo	6
<b>Mobil RD Corporation</b>	Petróleo crudo	6
<b>IBM</b>	Equipos de computación	6
<b>General Electric Company</b>	Turbinas	6
<b>E.I. Dupont de Nemours</b>	Fibras orgánicas	6

Los consorcios de investigación son asociaciones estrechas y persistentes entre laboratorios de universidades, industriales y estatales. Se promueven con la idea de que la competitividad industrial en el mercado, dependerá crecientemente del manejo eficiente del proceso de innovación. Estas son las llamadas alianzas estratégicas, las cuales crecen continuamente. Así, los nuevos mecanismos de transferencia



tecnológica creados por el avance del proceso de globalización de la actividad de ID, en lo que se refiere particularmente a los vínculos universidad-empresa, son los grandes programas de investigación cooperativa que incluyen a los parques e incubadoras de tecnología.

### LOS PARQUES CIENTÍFICOS E INCUBADORAS TECNOLÓGICAS

Los parques científicos son un nuevo experimento organizacional destinado a fortalecer los vínculos entre academia e industria y constituyen el mecanismo apropiado para la transferencia tecnológica. La premisa en la cual se funda la creación de estos parques es que las universidades son una fuente de innovación tecnológica hasta ahora subutilizada, que puede tener un papel crucial en la promoción del cambio tecnológico. De esta forma, las universidades son vistas como fuente de conocimiento técnico y de creatividad para explotarse directamente a través de la participación de los académicos en el proceso de innovación. **Los parques científicos y las incubadoras tecnológicas son sólo uno de los mecanismos particulares para estimular la transferencia de tecnología entre academia e industria, coexistiendo con los consorcios de investigación, los programas de investigación cooperativa y las asociaciones de empresas.**<sup>44</sup>

El parque científico se concibe como un mecanismo a través del cual los investigadores pueden comercializar los resultados de sus investigaciones o como un espacio donde las empresas pueden ubicarse para acceder a la experticia académica y a los resultados de la investigación.

Lo que se busca con los parques científicos es el desarrollo de mayores posibilidades de creación de nuevas empresas de base científica o tecnológica, que son compañías creadas por investigadores para comercializar los resultados de investigación que normalmente se convierten en productos de altas tecnologías. También, las empresas académicas son reconocidas como la forma más visible de transferencia de tecnología de la academia a la industria, también llamada *industria del*

conocimiento, cuyo carácter refleja el desarrollo de actividades que no encuadran ni en las estructuras de las empresas ni en la academia. En Estados Unidos y en Europa se están consolidando estas experiencias.

Las incubadoras y parques tecnológicos se establece en términos del alquiler de terrenos en las universidades a clientes de las corporaciones miembros de tales entidades, a modo de que al ubicarse en las proximidades de las universidades se constituya el parque, y así se logre reforzar el programa de investigación, se recluten investigadores, y se cree un retorno de la inversión más alto y atractivo para las universidades.

El desarrollo de los parques científicos fue durante los años ochenta, cuando "las universidades, con sus socios gubernamentales y del sector privado, empezaron a adoptar ese concepto a una escala mucho más amplia".<sup>45</sup>

**Distribución de los 324 Parques Tecnológicos existentes en el mundo.<sup>46</sup>**

<b>Países</b>	<b>Número</b>
<b>Estados Unidos</b>	128
<b>Francia</b>	47
<b>Reino Unido</b>	37
<b>Canadá</b>	15
<b>Italia</b>	12
<b>Francia</b>	12
<b>Suecia</b>	12

La importancia económica de la actividad de los parques científicos se ilustra en el siguiente cuadro.

**Parques tecnológicos mundiales.<sup>47</sup>**  
**Indicadores de impacto económico escogidos para 1991**

Indicadores	América del Norte		Resto del Mundo		Total Mundial
	No.	% del total	No.	% del total	
<b>Número de Parques</b>	145	43	189	57	334
<b>Hectáreas</b>	72.470	61	46.751	39	119.221
<b>Compañías</b>	2.827	25	8.395	75	11.222
<b>Empleados</b>	201.14	46	234.61	54	435.759
<b>Edificios</b>	1.288	34	2.489	66	3.777

Para los países industrializados, en la década de los noventa los parques e incubadoras tecnológicas entrarán en una fase de consolidación.

**OTROS PROGRAMAS**

En Estados Unidos se han impulsado programas con el propósito de apoyar la competitividad entre las pequeñas y medianas empresas. Estos, relacionan a los actores del proceso de innovación. Son programas federales que requieren por parte de las agencias federales la asignación de presupuestos de ID para la competencia entre pequeñas empresas. De esta manera, 11 son las instituciones que tienen dichos programas: la Fundación Nacional de Ciencia, los Departamentos de Defensa, Agricultura, Comercio, Educación, Energía, Salud y Servicios Humanos (*National Institute of Health*) y Transporte, la NASA, la Comisión Regulatoria Nuclear (NRC, *Nuclear Regulatory Commission*) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA, *Environmental Protection Agency*). Los programas están basados en el reconocimiento al mérito y el estímulo de la alta competitividad, con lo cual, el acceso es muy selectivo.

Éstas tienen acceso a créditos por un máximo de \$ 50,000 dólares para estudios de factibilidad (primera fase) y hasta \$ 500,000 dólares para proyectos de investigación (segunda fase). Como respuesta al programa, en 1991 fueron 20,000 solicitudes para la primera fase, de las cuales sólo se apoyó a 2,300, y en la segunda fase, de cada tres o cuatro solicitudes sólo una fue aprobada.<sup>45</sup>

**La creación de institutos y centros de investigación independientes** también constituye un mecanismo eficiente para la transferencia de conocimiento de la universidad a la industria. Los intereses comunes que existen entre universidades e institutos de investigación los hacen aliados naturales, lo que ha llevado a esfuerzos cooperativos de investigación. Los institutos independientes de investigación son distintos a las universidades y a los laboratorios industriales o federales, ya que no cuentan con una dotación sustancial de recursos, por lo que deben generar casi todos los ingresos requeridos para su funcionamiento, produciendo investigación aplicada. Ejemplo de ello es el Instituto Carnegie Mellon, adscrito a la Universidad de Pittsburgh, y el SRI International que nació en el campus de la Universidad de Stanford, separándose más tarde.<sup>46</sup>

En cuanto al impacto de los nexos universidad-empresa, efectivamente las relaciones formales entre academia e industria han crecido rápidamente en los años recientes. Entre los ejemplos mejor conocidos de estas relaciones, en el caso estadounidense, están los siguientes:

- 1) La Universidad de Harvard y Du Pont, Monsanto y Hoechst, vía el Hospital General de Massachusetts.
- 2) El Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y Exxon.
- 3) La Universidad Yale y Celanese.
- 4) La Universidad de Washington y Mallinckrodt.
- 5) La Universidad de Michigan y el Programa de Procesos Microbiológicos.
- 6) La Universidad Purdue y el Centro de Diseño Integrado por Computadora, Manufactura y Automatización.

- 7) La Universidad Lehigh y el Centro de Investigación en Ciencias de los Materiales.
- 8) La Universidad de Utah y el Centro de Innovación.
- 9) La Universidad de Carnegie-Mellon y el Centro de Robótica.
- 10) La Universidad de Arizona y la Unidad de Estudios de Tierras Áridas.
- 11) La Universidad de Stanford y la Corporación de Investigación en Semiconductores.
- 12) El Instituto Politécnico Rensselaer y el Centro de Productividad Manufacturera.<sup>50</sup>

Los centros de investigación en ciencias e ingeniería constituyen otra iniciativa enmarcada en la nueva política de transferencia de conocimiento de la academia a la industria.

No cabe duda que este proceso genera en la academia un conflicto de agendas y objetivos en la medida en que, debido a la presión que sufre la institución en la búsqueda de capitales, y debido a ello debe someterse a las nuevas pautas fijadas por las agencias de financiamiento. Las relaciones universidad-empresa, aunque fortalecen la investigación aplicada, también tienden a privatizar la actividad de investigación, afectando las funciones de servicio público de las universidades, al mismo tiempo que debilitan y afectan el objetivo de investigación básica de las universidades.

## 1.4 GLOBALIZACIÓN: INTEGRACIÓN O EXCLUSIÓN

### 1.4.1 ÁREA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Hay una gran desigualdad internacional, en términos de la actividad económica mundial y es lamentable que las universidades estén sufriendo la misma subordinación, reduciéndolas a la categoría de apéndices culturales. Una primera evidencia al respecto son las enormes diferencias entre grupos de países en materia de gastos en investigación que, en 1987 y de acuerdo a la ONU, alcanzan los siguientes niveles:<sup>51</sup>

Países	dolares per capita		
	1987	1991	1996
Estados Unidos y Europa Occidental	200	400	600
Japón	-	627	-
América Latina	5	12	18
Países pobres de Asia y África	1	-	5

Lo que ocurre internamente en el sudeste asiático y los países latinoamericanos:

#### Indicadores selectos de ID en algunos países del sudeste asiático en 1995.<sup>52</sup>

País	Gastos en ID como porcentaje del PNB	Gastos per capita en ID (en dolares)	Ingreso Anual per capita (en dolares)
Japón	2.9	450	15.296
China	0.7	190	2.636
Corea del Sur	1.9	115	6.342
Taiwan	1.7	124	7.193
Singapur	0.9	98	10.850

**Indicadores selectos de ID en los países latinoamericanos en 1991.<sup>83</sup>**

<b>País o subregión</b>	<b>Gastos en ID como % del PNB</b>	<b>Gastos per capita en ID (en dolares)</b>	<b>Ingreso Anual per capita (en dolares)</b>
<b>México</b>	0.35	11.3	3.470
<b>Costa Rica</b>	0.89	14.3	1.997
<b>Resto de Centro América</b>	0.25	1.56	1.100
<b>Cuba</b>	0.85	-	
<b>Región Andina (Bolivia, Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela)</b>	0.64	4.1	1.398
<b>Brasil</b>	0.89	27	2.765
<b>Cono Sur (Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay)</b>	0.37	9.5	3.296

El gasto en ID *per capita* se incrementó en todos los países, a excepción del caso africano. Sin embargo, mientras que los países desarrollados duplicaron sus gastos en centenas de dólares, América Latina lo hizo para alcanzar apenas una docena. Así, bajo el régimen de la competencia global, la brecha científica y tecnológica entre grupos de países se hace cada vez más profunda. De acuerdo a UNESCO, los gastos de ID por grupos de países y regiones en relación al PNB son los siguientes:

**Gastos dedicados a ID (en porcentajes del PNB).<sup>54</sup>**

Regiones y Países	Años		
	1980	1985	1990
<b>Países desarrollados</b>	2.2	2.6	2.9
<b>Países en desarrollo</b>	0.52	0.54	0.64
<b>América Latina</b>	0.44	0.43	0.40

Los países desarrollados invierten sostenidamente entre el 2% y 3% del PNB en ID, con incrementos persistentes, mientras que los países latinoamericanos no sólo invierten muy por debajo de la cifra deseable o recomendada, sino que la distancia entre lo que invierten como porcentaje del PNB en relación a lo invertido por los países desarrollados crece. En el siguiente cuadro presentamos algunos valores que muestran el contraste entre países en relación a los recursos destinados a la investigación académica.

**Gastos Académicos en ID, 1987 (en billones de dólares estadounidenses constantes, 1980).<sup>55</sup>**

Países	Gasto Total	% nacional ID	% PNB
<b>México</b>	0.1	20	0.06
<b>Canadá</b>	1.4	23	0.32
<b>EUA</b>	18.5	14	0.41

El cuadro anterior muestra que aunque el porcentaje del total de los fondos asignados a la ID que se destina a la investigación académica en estos países es bastante similar entre ellos, la cantidad de dinero que efectivamente se asigna a la investigación académica en Estados Unidos o Canadá es entre 14 y 185 veces mayor que en México, lo que revela las enormes desigualdades que subyacen entre países que adoptan parámetros similares para el financiamiento de la investigación.



**Algunos indicadores comparativos (1990-1992).<sup>66</sup>**

	<b>Estados Unidos 1992</b>	<b>Canadá 1991</b>	<b>México 1991</b>
<b>Total de Gastos de ID ( billones de \$US)</b>	157	8	1
<b>ID total como porcentaje del PNB</b>	2.7	1.4	0.4
<b>Población (millones)</b>	250	27	86
<b>PNB per capita (en miles de dólares)</b>	21.8	20.5	2.5

Cuando además relacionamos el total de gastos en ID con el número de habitantes nos encontramos con diferencias como las siguientes: Estados Unidos gasta \$626 dólares *per capita*, Canadá \$296, mientras que México apenas \$12 dólares. Si consideramos la inequidad existente en el tamaño de las comunidades científicas, las diferencias en el desarrollo de capacidades y en la concentración de esfuerzos y recursos en CyT que existen entre países desarrollados y en desarrollo son francamente grandes.

Los países que han concentrado los mayores esfuerzos y recursos, poseen extensas comunidades científicas y un sistema de investigación robusto, tienen asegurada la carrera de la competitividad, y son ellos quienes fijan los altos estándares que rigen la competencia. Ahora bien, conocido el grado de desigualdad que rige entre países ricos y pobres, hay que preguntarse si existe oportunidad para nuestros países de sobrevivir en este entorno tan competitivo, ya que nosotros contamos con pequeñas comunidades científicas y modestas capacidades de ID.

El objetivo de las políticas competitivas en los países en desarrollo es fundamentalmente ideológico, pues por una parte encubren el interés monopólico que impulsa tal política, y por otra, crean la ilusión de que todos los países que se someten a las nuevas reglas del juego tienen grandes oportunidades en la contienda tecno-económica. **Lo que en realidad ocurre es que a través de estos procesos de**

**globalización se monopoliza la economía, se corporativiza-privatiza la producción del conocimiento y se reordenan las relaciones socioeconómicas entre países y regiones, de acuerdo a un nuevo patrón que exacerba las disparidades e inequidades propias del viejo modelo.<sup>57</sup>**

Las presiones que se ejercen para ajustar los sistemas de ID al nuevo modelo pueden causar estragos aún mayores en este sector. Un requisito indispensable para contribuir a satisfacer las actuales demandas tanto del sector productivo como de los demás sectores de la sociedad es restaurar, fortalecer y desarrollar las capacidades internas de investigación de la región, canalizando a las universidades mayores recursos y autonomía tanto académica como financiera. La incertidumbre financiera en América Latina pone en tela de juicio al sistema de investigación, deteriorándolo y frenando el desarrollo de las instituciones científicas; el presupuesto para la ciencia es siempre escaso y apenas alcanza para garantizar las remuneraciones de los investigadores.

Con la globalización se agravan viejos problemas como el de pensar y actuar autónomamente. Pareciera ser que la globalización no constituye un estímulo al desarrollo, sino todo lo contrario. Los principales desafíos que la globalización plantea a las sociedades latinoamericanas son: *socio-económicos, científico-técnicos y culturales*. Se crean y fortalecen las capacidades de investigación y desarrollo sólo en ciertas áreas e instituciones a expensas del resto; se somete la producción de conocimiento a un proceso de mercantilización que afecta el desenvolvimiento de la academia en términos de su autonomía, su capacidad creativa y su compromiso intelectual.

La globalización será benéfica para los países en vías de desarrollo si logran ir de la mano con un proyecto que posibilite a las sociedades latinoamericanas el desarrollo de capacidades propias. Las universidades de la región deben estudiar este fenómeno para contribuir a la búsqueda de nuevas posibilidades.

## **1.5 MÉXICO Y LOS ESTUDIANTES MEXICANOS ANTE LOS DESAFÍOS DE LA GLOBALIZACIÓN**

Es indudable que en la economía internacional, el concepto de globalización ha tenido cada vez más, y entre los países capitalistas un gran auge, toda vez que permite contemplar en el comercio exterior a todos los países, a pesar de que estos se beneficien según su grado de desarrollo económico, tecnológico y científico.

México como miembro de esta sociedad internacional, no escapa a las ideas de globalización, aún más si contemplamos el hecho de que tenemos como vecino (al norte) al país más poderoso actualmente sobre la tierra.

De aquí, la conveniencia de impulsar nuevos esquemas de comercio exterior que nos permitan mejorar el intercambio comercial fuera del T.L.C. (Tratado de Libre Comercio Canada-EU-México). Los primeros pasos en esta materia se dieron con la visita del presidente Zedillo a los países de la Unión Europea, al plantearse la intención de México de impulsar un acuerdo comercial con aquella región.

Adicionalmente uno de los retos que México presenta consiste en buscar reconstruir cadenas productivas que permitan disminuir la dependencia que el país guarda respecto de los insumos importados. De no tomarse medidas que tiendan a corregir en el mediano y largo plazo esta fuga de recursos, cuando la economía mexicana recupere tasas positivas de crecimiento la brecha tenderá a ampliarse.

Por ello, es indispensable redoblar los esfuerzos en materia de innovación, desarrollo y difusión tecnológica, capacitación, esquemas de financiamiento con plazos, montos y oportunidad equiparables a los de nuestra contraparte comercial. Esto solo se alcanzará con el trabajo conjunto de empresas y gobierno, a fin de convertir los retos que entraña la globalización en oportunidades.<sup>58</sup>

Por otra parte, para las IES (Instituciones de Educación Superior), que en México son 185,473 en donde el 75.4% son estatales, el 13.8% federales, el 10.5% particulares y el 0.3 autónomas<sup>59</sup>, la globalización es, además de un proceso económico, un fenómeno cultural; además de una modalidad de la producción de mercancías y servicios, un nuevo parámetro de la generación, transmisión y preservación del conocimiento.

Como lo señala el Maestro Julio Rubio Oca, en el terreno docente, la globalización plantea a las universidades el reto de formar profesionales en y para un sistema globalizado, en México, la matrícula estudiantil hasta 1995 era de 26,352,116 alumnos en todos los niveles<sup>60</sup>. Dicho de otra manera, plantea a las instituciones el desafío de formar profesionales con un perfil mucho más amplio que en el pasado, pero con capacidad para adaptarse a diversos ambientes profesionales. Se trata, entonces de profesionales que contribuyan a resolver problemas en espacios de su especialidad que resultan más amplios no sólo en términos cognoscitivos sino también geográficos, lo que implica desenvolverse en espacios culturales antes desconocidos, inexplorados. De ahí que deben estar dotados de los conocimientos y herramientas necesarios para entender y traducir diversos modos de acción, diversas estructuras organizativas y de pensamiento, diversas concepciones del mundo.<sup>61</sup> (En México, en 1995, del total de la matrícula de las IES (Instituciones de Educación Superior) que es de 1,420,461 el 85% tiene licenciatura, el 10 % normal y el 5% postgrado).<sup>62</sup>

En este terreno, se necesitan estrategias y acciones que promuevan la movilidad de profesores entre instituciones de diversos países para hacer uso de los avances tecnológicos que posibilitan, mediante la interactividad, la realización de actividades docentes sin que sea necesario el desplazamiento físico del profesor (Audio-conferencias, Tele-conferencias, y Video-conferencias Interactivas).

Fortalecer el intercambio de profesores puede ser una oportunidad y una vía para lograr nuevos estudios de desarrollo académico de las IES. Esta es la base

indispensable para que los programas de movilidad estudiantil tengan el éxito esperado.

La acreditación no se reduce a un trámite administrativo, sino que implica una valoración de los niveles de calidad en la formación de profesionales. Así, para las instituciones mexicanas de educación superior su trabajo formativo es evaluado y se compara con los niveles de sus similares en toda la región de América del Norte, en los cuales, el nivel académico de sus egresados deba ser adecuado a las exigencias nacionales y a las de un ámbito trilateral, es decir, global.

Así las cosas, reflexionar sobre las posibilidades de movilidad de los estudiantes mexicanos entre diversas instituciones universitarias en México, Estados Unidos y Canadá implica necesariamente revisar el estado en que se encuentra la Educación Superior en México, de manera que podamos identificar obstáculos y oportunidades.<sup>57</sup>

El rápido desarrollo que está teniendo este proceso hace indispensable el reforzamiento inmediato de las instituciones mexicanas de educación superior, para que estén en condiciones de mantener su eficacia como formadoras de recursos humanos. Así como en el mundo de los negocios la calidad es el factor determinante de la posición competitiva de las empresas, en el mundo académico la excelencia educativa se está revalorando como el factor de diferenciación entre las instituciones universitarias.

A diferencia del Proyecto **Erasmus** que en Europa promueve el intercambio de estudiantes entre diversas instituciones del continente para cursar parte de sus estudios universitarios, en México, un proyecto así tiene sentido en la medida en que se orienta hacia la integración nacional de un efectivo sistema de educación superior construido sobre la base del fortalecimiento regional. Mientras en aquel caso se busca la creación de una identidad europea, en el nuestro podemos y debemos reconocer y aprovechar las identidades regionales para una mejor preservación y, en su caso, recreación de la identidad nacional.<sup>58</sup>

Ello equivale a señalar que, más que un gran número de ofertas educativas, para muchas de las instituciones resultaría más eficaz la construcción de un perfil institucional más acorde con las características culturales y productivas de su región. Así y sin renunciar al concepto de universidad, por lo demás imprescindible para crear el nexo con la Nación, algunas universidades tenderían a la especialización.

Algunas instituciones mexicanas y numerosas universidades de Estados Unidos, han tenido éxito en materia de formación de profesionales de alto nivel sin contar con fuerte trabajo de investigación; es decir que se trata de instituciones que han optado por especializarse en la docencia y en la investigación.

La especialización es una base necesaria, mas no suficiente para la movilidad estudiantil. Es imprescindible desarrollar políticas orientadas a fortalecer a las IES. Se requieren recursos para ampliar y modernizar la infraestructura de apoyo a las labores de docencia e investigación, y se requiere crear o consolidar grupos académicos de alto nivel, y que participen en redes nacionales e internacionales de intercambio académico. (Del total de alumnos inscritos en postgrado en 1995, el 27.5% realiza alguna especialización, el 66.5% una maestría y tan sólo el 6% un doctorado).<sup>64</sup>

La especialización institucional tiene un impacto positivo, pues ayuda a identificar prioridades para optimizar el gasto y apoyar la relación con sectores productivos para obtener recursos alternativos.

Esto que resulta importante en el desarrollo de las licenciaturas, se vuelve trascendental en el caso del posgrado. Existen en nuestro país numerosos programas de posgrado que, siendo prometedores, no logran consolidarse al carecer de cuerpos académicos que funjan como su *masa crítica*. En ausencia de estos cuerpos académicos los posgrados tienden a la escolástica, dejando de lado su importante función como formadores de investigadores por la sencilla razón de que las instituciones que los ofrecen realizan una escasa o nula labor de investigación. Un programa nacional de movilidad podría contribuir a subsanar estas deficiencias

permitiendo a los **estudiantes tener acceso a lo mejor de cada institución para su óptimo aprovechamiento académico.**<sup>65</sup>

Si se actúa en el sentido señalado se disminuyen dos peligros potenciales: la **competencia desbordada entre instituciones** y la **excesiva concentración de los alumnos en unas cuantas universidades.**

El desarrollo de lo que la economía denomina **ventajas competitivas** que, en el caso de las IES, estaría determinado por la **orientación académica predominante** y por la **disponibilidad de cuerpos académicos de avanzada**, constituiría la **base de complementariedades más sólidas y de largo plazo** entre las IES de la misma región y de éstas con sus correspondientes en otros ámbitos geográficos. De igual manera, las **haría atractivas para alumnos que, en un tramo de su formación, requerirían del énfasis que la institución especializada está en posibilidad de brindar.**<sup>66</sup>

La **movilidad de los alumnos** tiene sentido si forma parte de un **proyecto de superación y fortalecimiento de la institución** que permita a la **educación superior, ofrecer formación profesional con niveles de calidad.**

Las **políticas de formación de profesores** pretenden construir **cuerpos académicos de alto nivel**, los **programas para profesores visitantes** contribuyen a **renovar la reflexión académica** de la institución, y las **estancias de investigación** representan un **eficaz mecanismo de formación para los investigadores.** (En la licenciatura, la **matrícula de profesores** es de 125,757 de los cuales el **64% están contratados por horas**, el **28% son de tiempo completo** y el **8% son de medio tiempo**).<sup>67</sup>

De lo que se trata es de **encaminarnos hacia un perfil formativo que caracterice a todo el ámbito universitario trilateral**, no que sea patrimonio de un **pequeño grupo de instituciones.**

Arribar a un perfil norteamericano de formación de profesionales implica la reflexión sobre una multitud de temas con un objetivo común: hacer compatible lo diverso, la región de América del Norte se presenta como un mosaico cultural, social, económico, étnico y político que no puede ni debe ser sometido a una homogeneización artificial.

Así como existe una gran diversidad de estructuras académicas y curriculares, normas reglamentarias y niveles de calidad, las IES de América del Norte también presentan muy diversas capacidades económicas.

Para evitar una negativa concentración en universidades que eventualmente contarían con los recursos necesarios o que el programa sólo esté al alcance de alumnos con capacidad económica, acaso sea conveniente explorar la constitución de un fondo trilateral para el financiamiento de la movilidad estudiantil. Podría integrarse con aportaciones de gobiernos, universidades e instituciones financiadoras para sufragar gastos de desplazamiento, alimentación, hospedaje y algunas prácticas, independientemente de los convenios particulares entre universidades para descuentos o exenciones en materia de inscripción, colegiatura y servicios diversos.<sup>58</sup>

Como podemos observar y, a lo largo del presente capítulo, se han dado parámetros de comparación entre las diferentes zonas geográficas del mundo y entre los países que las componen, cifras que nos llevan a concluir el porque los países de Primer mundo llevan las de ganar en cuanto a la globalización se refiere, por ello es importante que cada uno de nosotros se prepare, considerando que habitamos en un país subdesarrollado, en vísperas de sacar adelante y hacer mas productivo nuestro país para que en un futuro no muy lejano, la globalización no nos haga daño, sino todo lo contrario, que sirva de trampolín para permitir el desarrollo de México en cuanto a competencia a nivel mundial se refiere.



**CITAS DEL CAPÍTULO 1.**

1. Garcia Pelayo y Gross, Ramón. Pequeño Larousse ilustrado, p.504
2. Baez Duarte, Fernando. La Globalización, Internet clave:  
<http://www.hotbot.com/globalización>
3. White, H.E. Física Moderna. Vol. 1, p.7
4. Ferrer, Aldo. Historia de la Globalización..., p.12
5. White, H.E. Ob. Cit., pp.8-11
6. Idem, pp.12-15
7. Saavedra, Fco. Las empresas multinacionales, p.43
8. Licha, Isabel. La Investigación y las Universidades Latinoamericanas..., p.42
9. Idem, p.43-44
10. Ibidem, p.44
11. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.45-46
12. Idem, p.46-47
13. Ibidem, p.49
14. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.50
15. Idem, p.51
16. Ibidem, p.52
17. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.53
18. Idem, p.54
19. Ibidem, p.65-66
20. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.66
21. Idem, p.70
22. Ibidem, p.71-72
23. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.72-73
24. Bowie, Norman. University-Business Partnerships, p.17
25. Weiss, Charles y Passman, Sidney. Systems of Organization..., p.102-149
26. Bowie Norman. Ob.Cit., p.57
27. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.77
28. Weiss, Charles y Passman, Sidney. Ob. Cit., p.102-149

29. Idem.
30. Bowie Norman. Ob. Cit., p.35
31. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.81
32. UNESCO. World Science Report, p.47
33. Idem, p.20
34. Ibidem, p.24
35. Plonsky, A.G. Cooperación Empresa-Universidad en Iberoamérica, p.32
36. Dos Santos, Silvio A. Evolución Institucional de la ..., p.213-227; Parejo, Milady. Parques Tecnológicos: Una Análise ..., p.314
37. Idem, p.315
38. Talavera Rodarte, Arturo. Nuevos Instrumentos de Desarrollo ..., p.330-331
39. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.149
40. OEA, Organización de Estados Americanos. Mercado Común ..., OEA/Ser.J/XV.1.MCCCT/doc.9/93.
41. Idem, p.6-7
42. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.127
43. Idem, p.128
44. Van Dierdonk y Debackere, Koenraad. An Assessment of ..., p.110
45. Klein, Eva. Technology Parks and Incubators ..., p.19
46. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.135
47. Idem, p.136
48. Stewart, Milton D. Technology Research ..., p.100
49. Rouse, Jhon W. Independent Research Institutes, p.120
50. Idem, p.115-128
51. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.206
52. Idem, p.206
53. Ibidem, p.207
54. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.208
55. UNESCO. Ob. Cit., p.21
56. Idem, p.18
57. Licha, Isabel. Ob. Cit., p.211

- 58.** Mújica Romo, Armando. México en la Globalización, Internet Clave:  
<http://www.hotbot.com/globalización>
- 59.** SEP. Compendio estadístico de las IES..., p.15
- 60.** Idem, p.19
- 61.** Rubio Oca, Julio. La Movilidad de los Estudiantes Mexicanos ..., Internet clave:  
<http://www.hotbot.com/globalización>
- 62.** SEP. Ob. Cit. p.21
- 63.** Rubio Oca, Julio. Ob. Cit., Internet clave:  
<http://www.hotbot.com/globalización>
- 64.** SEP. Ob. Cit. p.23
- 65.** Rubio Oca, Julio. Ob. Cit., Internet clave:  
<http://www.hotbot.com/globalización>
- 66.** Idem.
- 67.** SEP. Ob. Cit. p.30
- 68.** Rubio Oca, Julio. Ob. Cit., Internet clave:  
<http://www.hotbot.com/globalización>

# **CAPÍTULO**

# **2**

## **ANTECEDENTES DE LA INGENIERÍA APLICADA**



## CAPÍTULO 2.

### ANTECEDENTES DE LA INGENIERÍA APLICADA.

Es evidente que la Ingeniería, como ciencia, ha estado siempre presente en el desarrollo de la humanidad, es por ello que existe el interés de describirla ampliamente, no solo para visualizarlo, sino para sentar las bases de la Ingeniería de Avanzada y comprender su amplio espectro de posibilidades.

*Podría ser de utilidad que antes de iniciar al tema que nos ocupa, demos algunos conceptos útiles como serían:*

**INGENIO:** Del latín *ingenium*, facultad del hombre para discurrir o inventar con prontitud y facilidad facultades poéticas y creadoras. Industria, maña y artificio de uno para hacer una cosa o para lograr lo que desea. Aplicar atentamente la inteligencia para salir de una dificultad.<sup>1</sup>

**INGENIERÍA:** Es la aplicación de los conocimientos científicos a la Investigación, perfeccionamiento y utilización de la técnica industrial en todas sus acepciones. En la actualidad, denominamos ingeniería a la función específica que un grupo coherente de expertos aporta al proceso creador de una realización técnica. Estos expertos se ocupan primordialmente en aplicar y dirigir hacia fines prácticos y económicos, los fenómenos que los científicos descubren y formulan en teorías. En general, la ingeniería cubre dos funciones básicas:

1. Los servicios que cubren funciones de consulta, asesoría e información al cliente, a otro departamento, a una cierta empresa, etc.; y
2. Los servicios de ingeniería en que se realizan proyectos, tanto en su aspecto documental como en su ejecución práctica. Dentro de este grupo pueden incluirse

los servicios relacionados con maquinaria y equipos, ejecución de planos y construcción, estructuras, etc.<sup>2</sup>

En la actualidad la Ingeniería interviene en todas las actividades humanas (desde la agricultura hasta la conquista del espacio y comprende un número creciente de especialidades de muy difícil división, ya que cada rama utiliza , además de los conocimientos propios, los que las restantes especialidades le brindan.

## 2.1 DESARROLLO

En ocasiones, evidentemente, la Ingeniería no ha sido identificada como tal, por ejemplo en sus inicios.

Así podemos señalar que en los años anteriores a Cristo, cuando hablamos del período de supervivencia lo significativo fue la presencia del *nomadismo* y por consiguiente la posibilidad del enfrentamiento entre los sujetos (tribus) para defender o demostrar su poderío, de ahí que la supervivencia y los sistemas de defensa se fueron perfeccionando.

Tiempo después, y todavía en el período A.C. se presentó el llamado período *sedentario*, que tuvo como consecuencia el buscar los implementos necesarios (Ingeniería) para simplificar la recolección de frutos, o bien, para poder substituir y crear objetos de caza.

Con el desarrollo de los llamados imperios, se siente con mucho mayor fuerza la presencia de la Ingeniería en los artefactos militares y navales.

Ya en el Feudalismo (siglos IV al XVI) se desarrolla la vida artesanal, manufacturera; la época del esclavismo que ayudo al desarrollo agrícola, o al desarrollo militar y textil.<sup>3</sup>

Con la aparición del mercantilismo y el surgimiento posterior de la piratería, se produce un gran desarrollo de la Ingeniería Textil, Militar, Minera y Química, hay que recordar a las grandes potencias de aquel entonces: España, Portugal y Francia.

Ya para el surgimiento de la Revolución Industrial, se nota claramente que existe otro gran impulso de la Ingeniería, debido a la aparición de la clases sociales que afectaban el desarrollo del comercio y la Industria en casi todos sus aspectos, Textil, Química, Siderúrgica, Manufacturera, etc., en el caso de Europa (Inglaterra) o en el caso de América (Estados Unidos).

Debemos recordar que el desarrollo de las Comunicaciones Internacionales se dio de la siguiente manera:

Siglo XVII, desarrollo de las comunicaciones marítimas (la máquina de vapor); el siglo XVIII, el desarrollo de las comunicaciones fluviales; el siglo XIX, las comunicaciones terrestres, ya sean ferrocarriles o vía carretera y en el siglo XX, las comunicaciones aéreas (aviones, jets, etc.); finalmente, en los albores del siglo XXI, el desarrollo de las Telecomunicaciones<sup>4</sup> y en todos ellos el desarrollo de la Ingeniería siempre ha estado presente.

Ya para el siglo XX, con el mundo bipolar (mundo en que solo existían Estados Unidos y Rusia como superpotencias; ahora, ya desaparecido como tal), el gran auge de la Ingeniería de guerra, y por supuesto, mucho más reciente, la integración de la electrónica, en el desarrollo de la Ingeniería Bélica.<sup>5</sup>

Cabe mencionar, que antes de la Segunda Guerra Mundial el campo de la Bioingeniería, por ejemplo, era esencialmente desconocido, y existía muy poca comunicación o interacción entre el Ingeniero y el científico estudioso de la vida. Sin embargo, con el objeto de preservar una certeza histórica, se deben de notar algunas excepciones. El ingeniero agricultor y el ingeniero químico, al involucrarse en procesos



de fermentación, han sido siempre bioingenieros en el más amplio sentido de la definición, ya que ambos tratan con sistemas biológicos y trabajan con biólogos en el desarrollo de su profesión. El Ingeniero Civil, especializado en sanidad, ha aplicado principios biológicos en su trabajo. Unos cuantos ingenieros mecánicos han trabajado con la profesión médica por muchos años en el desarrollo de extremidades artificiales. Un área de la Ingeniería mecánica que no viene inmediatamente a la mente, pero que cae dentro del campo de la Bioingeniería, es el campo del acondicionamiento de aire: control del medio ambiente, si así se le quiere ver. En los primeros años de la década de los veinte, los ingenieros y fisiólogos se emplearon por la American Society of Heating and Ventilating Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción y Ventilación) para trabajar juntos en el estudio de los efectos de la temperatura y la humedad en el hombre y el proveer criterios de diseño para sistemas de calefacción y acondicionamiento de aire.<sup>6</sup>

Existen muchos otros ejemplos de la interacción entre la biología y la ingeniería particularmente en los campos médicos y de preservación de vida. Aunado a un aumentado interés en la necesidad de comunicación entre el ingeniero y su colega en las ciencias de la vida existe un reconocimiento en el papel que el ingeniero puede jugar en muchos de los campos biológicos incluyendo el humano y la medicina, y del mismo modo, una concientización de la contribución que las ciencias biológicas pueden hacer para la solución de los problemas de ingeniería, es decir son interactivos.

Gran parte del aumento en la actividad en la Bioingeniería se le puede atribuir a los ingenieros eléctricos. En la década de 1950, las reuniones de Bioingeniería eran dominadas esencialmente por sesiones dedicadas a electrónica médica. **La instrumentación médica y la electrónica médica continúan siendo grandes áreas de interés, pero sesiones que cubren puntos como modelación biológica, dinámica de flujo sanguíneo, prótesis, biomecánica (la dinámica de movimientos corporales y resistencia de materiales), transferencia de calor biológica,**

**biomateriales, comportamiento humano y factores humanos, los cuales se incluyen hoy en día en los programas de conferencias a nivel mundial.**

Es así que la Bioingeniería contemporánea se desarrolló a partir de deseos o necesidades específicas: el deseo de los cirujanos de puentear el corazón, la necesidad por órganos de reemplazo, el requerimiento por la preservación de vida en el medio ambiente hostil del espacio, y muchos otros. En la mayoría de los casos la temprana interacción y la educación fueron resultado de contactos personales entre el médico, y el ingeniero, ya sea por la iniciativa de uno u otro, o a través de amistades personales que se obtenían fuera del medio ambiente de trabajo.

La comunicación entre el Ingeniero y el científico estudioso de la vida fue inmediatamente reconocida como un problema. La mayoría de los ingenieros que se aventuraron en el campo en sus primeros días probablemente tuvieron una exposición a la biología a través de un curso en la preparatoria, y no tuvieron ningún trabajo extra. Para hacer a un lado este obstáculo, los ingenieros empezaron a estudiar no sólo el tema, pero además los métodos y técnicas de sus colegas en medicina, fisiología, psicología y biología.

Una gran parte de la información fue aprendida por ellos mismos u obtenida a través de asociaciones personales y discusiones. Al reconocer la necesidad de asistir solucionando problemas en la comunicación, y al mismo tiempo, preparar a los ingenieros para el futuro, las escuelas de ingeniería han desarrollado cursos y currícula en Bioingeniería, Telecomunicaciones, Energética, Ambiental y Agrícola, por mencionar solo algunas.<sup>7</sup>

## 2.2 ÁREAS DE APLICACIÓN

Aunque las actividades que desempeñan los ingenieros tocan muchos campos de la sociedad actual, la mayoría de los bioingenieros se especializan en algunos campos como: **ingeniería médica, ingeniería de factores humanos e ingeniería biónica**. Los dispositivos artificiales que se usan para prolongar la vida, uno de los cuales es el marcapaso, son obra de uno de estos subgrupos, el de los ingenieros médicos. Nuevas maquinas e ingeniería de sistemas, mejor adaptadas a sus metas porque fueron ideadas teniendo en mente las necesidades y limitaciones humanas son la especialidad de otro subgrupo, el de los ingenieros en factores humanos. Otra subdivisión incluye los ingenieros bionicos, que se han lanzado a duplicar las maravillas del mayor ingeniero de todos: la mismísima naturaleza, solo por mencionar algunas de ellas.

Dentro del área general de la Bioingeniería, existen varias áreas que serán descritas en apartados posteriores.

### 2.2.1 Ingeniería Biomédica

Aplicación de los principios de Ingeniería a la solución de los problemas médicos, incluyendo el remplazo de órganos dañados, su instrumentación, así como los sistemas para el cuidado de la salud, incluyendo diagnóstico por computadora y electrónica.

Los ingenieros biomédicos buscan una conexión más directa e íntima con el cuerpo humano creando, por ejemplo, maquinas como el **marcapasos**<sup>o</sup>, cuyo objetivo es conservar con vida a la gente. Los ingenieros que han ayudado a desarrollar un **riñón artificial** (una máquina de diálisis), o sea, un sistema filtrador que sustituye al riñón y elimina de la sangre desechos tóxicos. Los ingenieros médicos han

desempeñado también un papel destacado en el diseño y construcción de innovaciones que salvan vidas como la **máquina corazón-pulmón** que se hace cargo de las funciones más importantes del cuerpo durante la cirugía de corazón abierto y los visores computadorizados de rayos X que dan vistas de corte transversal del interior del cuerpo.

En los linderos de la ingeniería médica se encuentra el trabajo que se hace hoy día **diseñando miembros y órganos artificiales** -mecanismos que se fijan o implantan en el cuerpo para sustituir partes faltantes o defectuosas. **Coyunturas artificiales de cadera y de rodilla** hechas de plástico y metal han logrado que miles de artríticos caminen sin dolor. Un riñón artificial portátil, con peso de sólo 3.5 kilos y que cabe en un maletín, ofrece liberar a los pacientes de su dependencia de máquinas enormes de diálisis a las que deben conectarse durante unas cinco horas, tres veces por semana. Algunos de los adelantos más importantes se realizan en el diseño de repuestos para el corazón, el más vital de todos los órganos humanos.<sup>9</sup>

El primero de estos repuestos que logró aceptación generalizada fue la **válvula cardiaca artificial** que evita daños debidos a filtraciones de la sangre entre las cámaras del corazón. Anteriormente, cuando las válvulas cardiacas no abrían y cerraban como es debido, sobrevenía la muerte. Desde hacía mucho los cirujanos vieron la necesidad de remplazar las válvulas defectuosas, pero fueron los ingenieros los que crearon un modelo que sirviera.<sup>10</sup>

En 1957, Albert Starr, profesor de cirugía de la Universidad de Oregon, persuadió a M. Lowell Edwards, ingeniero recién jubilado, con 63 patentes en su haber, para que intentara solucionar el problema. Tres años después Edwards logró una válvula engañosamente sencilla: una esferita del tamaño de una canica hecha de silicio curado en calor que subía y bajaba en una minúscula jaula de acero inoxidable. En septiembre de 1960 se implantó en el corazón de un hombre de 52 años para sustituir una válvula dañada por la fiebre reumática. Sin dejar su trabajo de tiempo completo, sobrevivió casi 10 años. Una versión mejorada de la válvula, revestida con polietileno

para reducir el riesgo del rechazo, sube y baja en los corazones de varios miles de norteamericanos, que en su mayoría no vivirían sin ella.

"El marcapasos tiene por fin hacerse cargo de la función sincronizadora; señala a los músculos cardíacos cuando contraerse o relajarse, mediante rítmicos pulsos eléctricos. Los primeros marcapasos, ideados en 1952 por Paul Zoll del Beth Israel Hospital de Boston en colaboración con ingenieros de la Electrodyne Company, tenían electrodos fijos a la pared del pecho y necesitaban tanta electricidad para estimular el corazón que mucha gente sufría graves quemaduras o calambres en los musculos pectorales. Y aun cuando los ingenieros produjeron un modelo mejorado que conectaba al marcapasos directamente al corazón, era algo muy bultoso e incómodo, y solía causar infecciones en el sitio en que el alambre entraba en el pecho".<sup>11</sup>

Ya para 1960, dos equipos de investigadores diferentes, compuestos de un cardiólogo y de uno o más ingenieros en electrónica, dieron con un marcapasos interno que ahora ha sido miniaturizado hasta dejarlo como un pequeño generador de señales implantado abajo del corazón en el abdomen o bajo la axila derecha: lleva también su fuente de energía -una pila de larga vida o una celdilla nuclear que contiene medio centigramo de plutonio 238. Un artificio de dos velocidades permite acelerar o retardar el ritmo del corazón; duplica su acción normal en momentos de mayor actividad física, por ejemplo, cuando se suben escaleras, o la retarda en momentos de descanso. Para personas con pulsaciones ocasionalmente erráticas, los ingenieros han ideado un marcapasos que es activado únicamente cuando un sensor percibe un latir anormal.

Otros adelantos en la bioingeniería han acercado la posibilidad de un corazón del todo artificial que se haga cargo del trabajo normal del órgano de bombear sangre a razón de unas 100,000 pulsaciones diarias, sin pausa y sin error. Ya también se hallan en uso arterias de Dacrón, creadas por Michael de Bakey, cirujano del corazón, en el Baylor College de Medicina de Houston, Texas; también se está fabricando el notable artificio de ayuda ventricular izquierda, llamado LVAD (Left Ventricular Aid), que en

realidad no es otra cosa que un corazón artificial que puede sustituir brevemente al corazón natural dañado.

El LVAD es resultado de un esfuerzo de siete años por parte de un equipo de 20 miembros encabezado por el ingeniero-cirujano William Pierce, de la Pennsylvania State University. Se trata de un tubito de plástico en forma de U que conecta el ventrículo izquierdo del corazón, que es el que mas bombea con la aorta, que es la arteria principal. Una bomba neumática conectada al tubo saca sangre del ventrículo izquierdo y la devuelve al cuerpo; así descansa el corazón tras alguna operación.<sup>12</sup>

No faltan bioingenieros que digan que el LVAD es un paso enorme hacia la añeja meta de un corazón completamente artificial, y citan el caso de un cirujano suizo que mantuvo con vida a un paciente conectando dos artificios de ayuda a su corazón, que se había detenido del todo. En 1972, Lowell T. Harmison, bioingeniero de la Harvard Medical School y de la Thermo Electron Corporation, hizo un LVAD movido por energía nuclear. Un grupo de la Cleveland Clinic Foundation, de Ohio, trabaja en un LVAD lo bastante pequeño para ser implantado permanentemente con una bomba movida por electricidad.

Los corazones artificiales no son sino otro más de los cinco o seis grandes proyectos de bioingeniería que se están estudiando en la Universidad de Utah, donde el Doctor Willem Kolff, el inventor del riñón artificial, ha reunido un equipo bastante diestro y numeroso en el Instituto de Ingeniería Biomédica. Los ingenieros mecánicos y electricistas trabajan junto con científicos especializados en ramas de saber tan variadas como la cirugía, las matemáticas, la fisiología, e inclusive, la computación.

"El corazón artificial implantable, proyecto buscado por Kolff por más de 20 años, es un artificio hecho de partes de poliuretano y movido por bocanadas de aire comprimido que penetran en el cuerpo mediante tubitos unidos a un compresor. Ha sido venturosamente probado en ternerías, una de las cuáles vivió seis meses y subió

casí cien kilos de peso; luego dejó atrás la capacidad de bombeo de su prestado corazón. Robert Jarvik, principal colaborador de Kolff en este terreno se ocupa de una versión movida por baterías que quizá se use en humanos en nuestra década".<sup>13</sup>

Por otro lado, tal vez, 1970 sea el año testigo del uso generalizado del "brazo de Utah", brazo artificial computarizado controlado por los mismos impulsos nerviosos que mueven los brazos artificiales. Este brazo es el hijo intelectual de Stephen Jacobsen, profesor adjunto de ingeniería mecánica que también diseñó el riñón artificial portátil. Jacobsen había visto que no había prótesis usable para quienes habían perdido el brazo arriba del codo. Estas personas, que enfrentaban la perspectiva de un brazo de adorno o de un apéndice pesado que se movía con torpeza mediante ruidosos engranes y poleas, preferían una manga vacía y prendida al resto de su ropa.

El nuevo brazo artificial usa motores y músculos flexibles de plástico que dan movimientos amplios al codo, la muñeca y la mano. Electrodo encajados en el brazo artificial captan señales eléctricas provenientes del hombro o de la parte superior del miembro amputado. Con solo pensar en hacer un movimiento con el brazo, el individuo despacha las señales nerviosas apropiadas, las cuáles son procesadas por una microcomputadora, la cual manda la energía adecuada a los motores correspondientes. Los movimientos de la mano se realizan por medio de lo que Jacobsen llama un "gancho antropomórfico" -un dedo índice y un pulgar oculto dentro de una mano como de plástico, que puede levantar objetos delicados o llevar cargas de unos 20 kilos.

En otra sección del complejo de Utah, el ingeniero electrónico Stanley Moss y el electroquímico Jiri Janata trabajan en un revolucionario artefacto de diagnóstico llamado **supersonda**, que inyecta como una jeringa da lecturas continuas sobre elementos vitales de la sangre sin necesidad de sacar una sola gota. La supersonda consiste en una brizna electrónica, tan pequeña que cabe en una sonda de un milímetro de diámetro, que está conectada a no menos de 10 membranas microscópicas, cada una de las cuales reacciona a un componente diferente de la sangre.<sup>14</sup>

### 2.2.2 La Ingeniería Cibernética

La Cibernética es la ciencia que estudia los sistemas de control y comunicación de los animales y de las máquinas (Norbert Wiener). Es, por lo tanto, una ciencia que da unidad al comportamiento de los servomecanismos y sistemas de la **ingeniería de telecomunicaciones**, e igualmente a muchos fenómenos fisiológicos, neurológicos, psicológicos, sociológicos y económicos.<sup>15</sup>

La originalidad de la cibernética reside en dos aspectos:

- a) muestra que la estructura de un órgano de un ser viviente es semejante al de una máquina, y por consiguiente sus deducciones son aplicables tanto a la máquina como al animal;
- b) muestra que lo esencial en una máquina o sistema automático y en un organismo vivo, en lo que tiene de análogo a un sistema automático, es la transmisión de información.

Para conseguir un fin, lo mismo el ser vivo que el órgano de la máquina captan información del mundo exterior, y antes de resolver el problema que se les presenta lo relacionan con la información que permanece almacenada en su *memoria*. En los organismos artificiales la impresión de datos en la persona se consigue por métodos electrónicos o magnéticos, y en los naturales se cree que se efectúa por métodos electroquímicos. Se ve así que la cibernética comprende la teoría de la información, estudiando el programa, la transmisión y la guía de la acción; puede, pues, definirse de forma más abstracta y completa como *el arte de hacer eficaz la acción*. La descripción de las operaciones que realiza una máquina es la *lógica* de la máquina, y la lógica de los órganos de mando es la cibernética de la máquina.

Se han establecido tres categorías de máquinas:

- a) las que reaccionan según un programa preestablecido (secuenciales); en este caso el control de la máquina consiste en proporcionarle un programa, como, las calculadoras digitales;



- b) aquellas cuya reacción es imprevisible, pero sometidas a unas leyes conocidas (reflejas o adaptativas), como por ejemplo el proyectil automático mandado por radar;
- c) máquinas cuya reacción es parcialmente previsible, por lo menos al nivel actual de conocimientos; en esta categoría entran el hombre y los seres vivos en general.<sup>16</sup>

Los principios generales que resumen el comportamiento de los seres vivos son:

1. *Principio de Simplicidad:* Consiste en adoptar siempre la solución que utilice el mínimo de órganos posible.
2. *Principio de la reactividad.* Es el que define en la vida del individuo biológico la noción de finalidad. Es conocido como antiguo con el nombre de *reflejo*, que luego se ha generalizado con el de *tropismo*.
3. *Principio de regulación:* Corresponde al de *nada en exceso*; por ejemplo el calor puede ser un bien para un ser vivo, pero en exceso puede resultar perjudicial.
4. *Principio de autonomía:* por él se trata de conservar el medio interior; por ejemplo, el esfuerzo de los animales para procurarse alimento cuando el contenido de proteínas de la sangre desciende por debajo de cierto límite. Estos CUATRO primeros principios cibernéticos permiten describir con exactitud el comportamiento de los organismos vivos muy inferiores, colonias de bacterias por ejemplo;
5. *Principio de la curiosidad:* al elevarse el nivel de los organismos, los individuos sienten la necesidad de conocer el medio en donde viven; así, el león cautivo recorre la jaula una y otra vez.
6. *Principio de coherencia:* por él un sistema orgánico que resulta solicitado por igual y simultáneamente por dos tendencias adversas tiene la facultad de resolver el conflicto satisfaciendo primero una de las necesidades.
7. *Principio de sociedad:* es la capacidad que tiene un organismo para reconocer como diferente de un objeto a otro organismo similar a él y que tan sólo presenta con el mismo diferencias secundarias.
8. *Principio de la individualidad:* propio de los animales superiores, gracias al cual se puede reconocer a un individuo sin que ningún sentido lo perciba directamente, por ejemplo cuando reconocemos a una persona por el teléfono.

"Estos principios que resumen el comportamiento de los seres vivos al recibir una información, se aplican también a los mecanismos industriales, haciendo simplemente aparecer estos últimos como sistemas especializados en funciones menos completas, menos universales y más simples. Es decir, la cibernética intenta reproducir **electrónica o electromecánicamente** funciones orgánicas; de esta forma, partiendo de unos supuestos mecanicistas, depura el concepto de ser vivo. En el caso del hombre ayuda a distinguir entre *pensamiento servil* y *pensamiento creador*, entre acción reproducible mecánica o electrónicamente y acción específicamente humana. Así, pues, en cierto sentido puede ser interpretada también como una especie de antropología que se deduce del estudio de los sistemas que se autorregulan electrónica o electromecánicamente".<sup>17</sup>

En la actualidad la cibernética se aplica tan sólo a los problemas de la Ingeniería de la telecomunicación y el control, los cuales se relacionan específicamente con los de psicología y neurología. Esta relación se presenta bajo dos aspectos:

1. Las nociones usuales en Ingeniería pueden usarse para describir ciertos procesos en los sistemas de músculos y nervios;
2. La perfecta organización en los sistemas de los animales puede servir como guía al organizar y proyectar los sistemas de control y comunicaciones. Por ejemplo, el sistema nervioso central puede considerarse como una red de conmutación en la que las neuronas son los elementos que conmutan.<sup>18</sup>

¿Cuales son, pues, los aspectos históricos que puede tomarse como punto de partida de la cibernética ? Un artículo publicado en 1938 por Louis Couffignal en la revista *Europe*. Durante la Segunda Guerra Mundial, Norbert Wiener y su equipo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology se dedicaron a investigaciones relacionadas con armas automáticas capaces de reemplazar a los hombres combatientes. Los elementos necesarios para fundamentar la Cibernética como ciencia estaban ya a punto: el nervio artificial de Ralph Lillie databa de 1922 y Boole formuló su álgebra en 1938. Aiken construyó en E.U. la primera calculadora

electromecánica (pero todavía no electrónica). Por otra parte, la electrónica aportaba su valiosísima técnica, base de la automática, y L. Couffignal introducía el sistema binario de numeración en las máquinas de calcular.

"En 1947 Wiener adoptó el término *cibernética*, indicado ya por Maxwell al establecer su teoría del regulador de Watt y en 1948 publicó su *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Movimientos similares se desarrollaron casi simultáneamente en Gran Bretaña, Francia y la URSS. Estos son los aspectos históricos que se toman como punto de partida de la Cibernética. Durante los años siguientes se dio gran importancia a los problemas de la información, de la salud, de la prevención de enfermedades, etc., que siguen orientando los extraordinarios progresos de la ciencia del siglo XX, ya en los albores del siglo XXI".<sup>19</sup>

La Ingeniería Cibernética en la actualidad y en la construcción de la medicina del futuro ha tomado un gran auge, la manera en la que los Médicos e Ingenieros trabajan en la creación de redes de salud, Telemedicina, Robots y modernas técnicas de visualización es sorprendente.

De ahí que esta obra, dedica el Capítulo 4 a describir dichos avances, en donde la Ingeniería Cibernética es la piedra angular de diversos logros en Ingeniería Avanzada en todo el Mundo.

### 2.2.3 Ingeniería Biónica

*Biónica.* De biología y electrónica. Ciencia que estudia desde el punto de vista de las ciencias físicas los procesos biológicos o naturales para extraer de ellos modelos aplicables a la construcción de aparatos y sistemas artificiales; así, el estudio de la estructura y del funcionamiento del cerebro humano procura un modelo útil para la construcción de ordenadores electrónicos. La biónica, que es fruto del desarrollo de la *Cibernética*, ofrece un fecundo campo de cooperación a biólogos físicos e Ingenieros.<sup>20</sup>

El Ingeniero Biónico trata de trasportar a sistemas artificiales las características mas destacadas de diversas formas de vida animal. La idea data ya de hace varios siglos. "La mitología griega nos habla de Icaro, que trato de volar con alas copiadas de las de los pájaros, para acabar muriendo porque al volar cerca del Sol sus alas de cera se fundieron por el calor. A principios del siglo XVI, Leonardo da Vinci, ese genio fecundísimo, trazó los planos detallados de una maquina voladora que estaba basada también en la estructura de las alas de las aves".<sup>21</sup> (Anexo 1)

Orville y Wilbur Wright hicieron un primer aeroplano venturoso porque fueron, en cierto sentido, verdaderos ingenieros biónicos. Basaron su trazo en los procesos que permiten el vuelo. Pensaron ante todo en términos de función mas bien que de estructura; en su máquina voladora buscaron imitar función, no estructura. (Anexo 2)

Muchísimos seres tienen aptitudes que los ingenieros biónicos darían algo por duplicar. Unos peces son tan sensibles a los minúsculos cambios eléctricos del agua que los rodea, que reaccionan cuando un visitante (en un acuario) frota su peine, para cargarlo de electricidad y lo mueve frente al tanque de agua del pescado. Solo instrumentos tales como los electrómetros, son así de sensibles. La marsopa emite al nadar unos chillidos agudísimos, y después puede interpretar los ecos que le rebotan, con tan fantástica precisión, que percibe la presencia y situación de objetos submarinos mucho antes de que pueda verlos; puede incluso distinguir entre diversas

especies de peces. El sonar, la contrapartida artificial de este sistema localizador por eco, permite a los barcos y submarinos detectar peligros sumergidos; pero el sonar es, al aparato ecolocalizador de la marsopa como un telescopio de juguete al enorme instrumento de Monte Palomar.

Un animal que ha servido ya como modelo a los ingenieros biónicos, y con trascendentales resultados, es el pequeño escarabajo. Los singulares ojos de este animal responden a las sombras con extraordinaria rapidez y precisión. Esta habilidad visual inspiró la invención de un sistema extremadamente eficaz de fotografía aérea.<sup>22</sup>

Las investigaciones iniciales que llevaron a la invención de un nuevo sistema de cámara las dirigió una dinámica pareja de jóvenes alemanes: Werner Reichardt, ingeniero, y Bernhard Hasselstein, biólogo. Mediante una serie de experimentos sumamente ingeniosos, descubrieron la existencia de una relación entre la estructura multifacética del ojo del escarabajo y la forma en que se comporta el animal.

Al estudiar detalladamente los movimientos del escarabajo cuando el terreno en que se colocó se iluminaba según una secuencia de luz y sombra hallaron que la trayectoria que elegía y la velocidad con que se movía dependían de la luz que recibiera en ese momento. Aparentemente, el escarabajo percibe las sombras a medida que pasan de una faceta a otra de su ojo. Parece que a su conducta la afectan las secuencias de luz y sombras que caen sucesivamente en tales facetas y que tales secuencias pueden indicarle no sólo la ubicación sino también la velocidad de aproximación del peligro en potencia.

Ingenieros norteamericanos especializados en el diseño de equipo de reconocimiento aéreo, percibieron en seguida la utilidad de este principio. A ellos había afectado un problema que afecta a todos los fotógrafos de reconocimiento aéreo; debido a que la cámara aérea se mueve a la misma velocidad extremadamente alta a que se mueve el avión en que va, el fotógrafo no puede tomar fotos claras de los objetos del suelo a menos que también se mueva sincrónicamente su película. Pero la

película debe moverse precisamente a la velocidad debida: demasiado aprisa o demasiado despacio y la imagen sale borrosa.

El principio del ojo del escarabajo les dio un modo de determinar la velocidad correcta de la película. A cierta distancia se colocan en el avión dos fotoceldas -cada una análoga a una de las facetas del ojo. Al volar el avión, los cambios de luz producidos por la aparición de un objeto en la tierra se registran por turno en cada una de las celdillas. Correlacionando la información del tiempo que transcurre entre el primero y el segundo registro con la información que obtiene sobre la velocidad y altura de la nave, el fotógrafo puede determinar, a su vez, con facilidad, la velocidad a que debe moverse su película para obtener una imagen suficientemente precisa.

En tanto que los ingenieros biónicos se esfuerzan por convertir habilidades naturales en ingeniería de sistemas, sus colegas especializados en ingeniería de factores humanos se esfuerzan porque el sistema encaje dentro de las características humanas.

Su trabajo, que a menudo requiere la colaboración de psicólogos, recibió un gran ímpetu durante la Segunda Guerra Mundial, ya que entonces quedó al descubierto dolorosamente que el éxito militar dependía en gran parte de un acoplamiento eficaz entre las máquinas de guerra y las capacidades y limitaciones de los hombres que las usaran.

La simple aceptación de este hecho produjo adelantos que aunque obvios o simples en apariencia, tuvieron efectos trascendentales.<sup>23</sup>

### 2.2.4 Ingeniería de los Factores Humanos (Ergonomía)

La Ergonomía viene del griego *érgon*, trabajo, y *nómos*, ley, norma. Término con que se designa la moderna ciencia del mejoramiento de las condiciones del trabajo humano en función de las facultades y limitaciones reales de los hombres que trabajan. La Ergonomía se propone la adaptación óptima de la vida de trabajo - operaciones físicas, máquinas, sistemas de mecanismos, métodos de organización, medio ambiente laboral - a las exigencias biológicas, físicas y psíquicas de los trabajadores, y reclama y promueve un trabajo conjunto de especialistas de las más diversas disciplinas: fisiólogos, psicólogos, expertos en medicina del trabajo, **ingenieros**, arquitectos, etc.<sup>24</sup> (Anexo 3)

Los ingenieros de factores humanos introdujeron una alteración elemental pero que salvó muchas vidas, en los botones que en los aviones controlan las aletas de las alas y las ruedas y la potencia del motor. Originalmente, los tres botones, que suelen estar colindantes en la cabina, eran idénticos en diseño y forma. En una situación de tensión, el piloto podía equivocarse y tirar de uno en vez del otro. El resultado sería desastroso: acabando de tocar tierra y todavía a gran velocidad debía buscar el control de los flaps, pero en vez de ello tiraba del control retractor de las ruedas y terminaba aterrizando de panza.

También, el error podía ser mas peligroso aun: mas de un piloto murió en el despegue porque habiendo alcanzado la velocidad de vuelo, al querer retraer las ruedas cerraba la aceleración y se precipitaba a tierra. El dar a los botones nuevas formas que representarían la función que controlaban (por ejemplo una rueda pequeña, para el control de las ruedas de aterrizaje) permitió a los pilotos usar su sentido del tacto para determinar si estaban o no usando el control debido.

Del mismo modo, los pilotos navales disponían de diversos tipos de aviones, cuyas características eran diferentes también. "En los bombarderos de largo alcance,

una reserva de combustible de 2000 litros podría ser peligrosamente escasa, en tanto que en un caza monoplaneada tal cantidad bastaría para toda una misión.

Como algunos de los marcadores de combustible de los aparatos marcan en galones y otros lo hacen en litros, los pilotos solían confundirse al pasar de un avión a otro. En algunos casos pensaron que peligraban cuando en realidad estaban seguros, en tanto que en otros no percibieron que se estaban quedando sin gasolina y acababan haciendo aterrizajes forzosos.

Los ingenieros de factores humanos resolvieron el problema, por cierto del modo más sencillo: cambiaron las marcas en los marcadores de combustible y en otros instrumentos semejantes y pusieron símbolos en vez de números. En vez de indicar el número de galones de combustible que había en el tanque, los símbolos indicaban el nivel relativo: "lleno", "medio lleno", "vacío". Tal sistema no sólo se usa hoy día en los aviones pequeños, sino que la mayoría de los medidores de combustible indican lo que queda, en libras, no en galones. Esto significa una medición más precisa puesto que el peso del combustible permanece constante aun cuando el volumen varíe debido a cambios de temperatura".<sup>25</sup>

Al terminar la guerra, los ingenieros de factores humanos extendieron su campo de acción y se ocuparon de problemas mucho más sutiles y complejos. Un estudio hecho por Ezra S. Krendel del Instituto Franklin de Filadelfia, permitió expresar en términos matemáticos un aspecto importante de la relación hombre-máquina, o sea, de la aptitud del hombre para controlar y guiar máquinas. Este factor pudo incluirse en seguida en el diseño de la ingeniería de los aviones. (Anexo 4)

Krendel y sus colaboradores obtuvieron su información construyendo un modelo simplificado de un aparato para timonear aviones -un asiento de cubo (bucket seat) y un bastón de mando. Frente al asiento colocaron un osciloscopio de rayos catódicos, mostrando un punto que se movía al azar en la pantalla. La habilidad de timoneo del piloto se medía haciéndolo manipular el control en forma tal que mantuviera al punto



siempre en el centro de la pantalla. Probando las reacciones de un gran número de pilotos colocados bajo muy diferentes conjuntos de circunstancias y midiendo la rapidez y eficiencia de sus reacciones.

**Krendel llegó a una fórmula matemática que describía la habilidad del piloto para coordinar la mano y el ojo. Con esa fórmula, los ingenieros aeronáuticos pueden tomar en cuenta el factor humano y acrecentar la eficiencia del avión y su margen de seguridad. Hacer cálculos semejantes con otras máquinas que deben ser timoneadas, desde automóviles a aviones, es hoy un aspecto rutinario del proceso de diseño.<sup>26</sup>**

"Todos los adelantos hechos en la ingeniería de factores humanos tienen un influjo directo sobre la gente. Pero cuando el efecto es más bien de conveniencia que de seguridad, no siempre es claro. La experiencia y la costumbre nos habitúan a muchas penalidades pequeñas. (Anexo 5)

Así por ejemplo, el diseño del teclado de las máquinas de escribir tuvo desde la invención de ella a finales del siglo XIX un gran contenido de ingeniería. Dado que las barras de los tipos de la máquina eran pesadas y se trababan con facilidad, el inventor, Christopher Latham Sholes, deliberadamente diseñó el teclado a fin de que hubiera una gran distancia entre las letras que con más frecuencia están juntas en la escritura. Pero al venir la escritura al tacto, saltaron a la vista las fallas iniciales.

Al usarse los diez dedos para escribir, la mano izquierda, más débil, trabaja mucho más que la derecha, mucho más fuerte. Más aun, el dedo más débil, el meñique de la mano izquierda debe oprimir dos de las teclas de uso más frecuente: la "a" y la tecla de mayúsculas. Sin embargo, todos los esfuerzos para cambiar el teclado y hacerlo más de acuerdo con las necesidades del idioma y la mano, no han tenido nunca éxito.<sup>27</sup>

Por fortuna la ingeniería halló otra solución al problema de la fatiga de manos y dedos: las máquinas eléctricas cuya operación es más fácil y mucho menos cansada.

La historia del teclado de la máquina de escribir ilustra uno de los mayores problemas con que tropiezan los ingenieros de factores humanos: la fuerza de la costumbre.

Así por ejemplo, en 1949, los ingenieros de una compañía de teléfonos crearon una nueva caja para el teléfono que le daba más firmeza y por tanto que hacía más fácil su uso. Los ingenieros de factores humanos reconocieron que esta nueva caja permitía quitar las letras y los dígitos de sus posiciones originales (bajo los agujeros para los dedos) y colocarlos fuera de ellos, en el perímetro del disco.

A primera vista se pensó que tan sencilla innovación, que pone los dígitos siempre a la vista, incluso mientras se esta marcando, reduciría el número de llamadas equivocadas. Pero sin embargo al someter a prueba el nuevo disco se halló que en lugar de disminuir, aumentaban los errores al marcar. Los dígitos habían servido de guías cuando estuvieron bajo los agujeros de los dedos, pero al ser puestos en el perímetro del disco, el usuario perdía su blanco. Hubo que poner puntos blancos dentro de los agujeros para los dedos, para que sirvieran como puntos sustitutos de referencia; en seguida bajó el número de llamadas erróneas.

Para empresas tales como las de teléfonos, un cuerpo de ingenieros de factores humanos es una necesidad. Cualquier cambio que se introduzca, sea en el aparato o en la organización de un servicio, tiene efectos muy directos sobre millones de personas, no nada más sobre los empleados que trabajan en la compañía. Sólo considerando detalladamente tales efectos puede tenerse la seguridad de que el cambio resultará venturoso.<sup>28</sup>

### 2.2.5 Ingeniería Bioquímica

La Bioquímica es la ciencia que estudia los fenómenos y procesos biológicos utilizando los principios y métodos de la química. La bioquímica puede dividirse en: *descriptiva y dinámica*.

La **Bioquímica descriptiva** puede ser considerada una rama de la química orgánica; como ésta, estudia los compuestos de carbono y sus transformaciones, pero limitándose a los que se hallan en los organismos vivos, a diferencia de aquella, que desde el descubrimiento de la síntesis de la urea por Wohler se viene ocupando de las sustancias artificiales. En los últimos años ha cobrado interés la bioquímica descriptiva de las sustancias naturales de elevado peso molecular, como las proteínas y ácidos nucleicos.

La **Bioquímica dinámica** estudia los procesos vitales que tienen lugar en la célula y en el organismo, es decir, el metabolismo, o síntesis y degradación de las sustancias nutritivas para captar energía y formar los compuestos estructurales de las células. Estos procesos se efectúan gracias a la acción de las enzimas, que actúan como biocatalizadores; su estudio es uno de los principales objetivos de la bioquímica.<sup>29</sup>

Otro campo de investigación es el de la regulación de los procesos químicos en el organismo, en los cuales, además de vitaminas y enzimas, intervienen las hormonas, reguladores químicos producidos por las glándulas de secreción interna. Por último, para la bioquímica presenta especial interés la relación de los procesos químicos y las estructuras celulares orgánicas; de esta manera se relaciona estrechamente con la fisiología, hasta el punto de que a medida que se profundiza el análisis, todo problema fisiológico se basa en otro bioquímico.

"Los métodos utilizados hoy en bioquímica coinciden en gran parte con los de la química orgánica, además de los análisis cuantitativos y cualitativos, cabe citar por su

especial interés: la fotometría con radiaciones visibles infrarrojas y ultravioletas; la cromatografía; la ultracentrifugación, para aislar grandes moléculas y estructuras celulares; la electroforesis, que separa las moléculas con carga eléctrica; el empleo de isótopos radioactivos, que permite investigar el destino de los diversos elementos a través de los tejidos y estructuras; por último, los ensayos biológicos que investigan la presencia o efectos de las distintas sustancias por la reacción que provocan en un organismo o tejido.

La bioquímica ha aportado soluciones a numerosos problemas que tenían planteados la biología, como las características y modos de actuación de los factores hereditarios, la aceleración de las causas de muchas enfermedades, la naturaleza de los virus, las relaciones filogenéticas entre diversos tipos de organismos, etc.<sup>30</sup>

Así, podemos señalar algunos de los principales **descubrimientos bioquímicos**<sup>31</sup> (por señalar solo los más significativos):

- 1773** Descubrimiento de la urea por Rouelle
- 1789** La respiración como un proceso de oxidación (Lavoisier)
- 1815** Aclaración del proceso químico de la fermentación alcohólica por Gay-Lussac
- 1828** Síntesis de la Urea por Wolher
- 1847** Degradación enzimática del almidón a maltosa (Dubrunfaut)
- 1869** Descubrimiento de los ácidos nucleicos por Miescher
- 1890** Cristalización de la primera proteína (Hofmeister)
- 1893** Los fermentos como catalizadores químicos (Ostwald)
- 1895** Primer toma de rayos X (Wilhelm Roentgen)
- 1897** Fermentación Extracelular (Buchner)
- 1903** Aislamiento de la primera hormona: adrenalina (Takamine, Aldrich)
- 1905** Oxidación biológica de las grasas (Knoop)
- 1912** Teoría de la dehidrogenación en la oxidación biológica (Wieland)
- 1926** Aislamiento de la Primera Vitamina (Jansen y Donath)
- 1926** Primera enzima cristalizada (Summer)

- 1925-34** Determinación del peso molecular de muchas proteínas por ultracentrifugación (Svedberg) y aislamiento de varias hormonas esteroideas (Butenandt y otros)
- 1935** Aislamiento del primer virus cristalizado: virus del mosaico del tabaco (Stanley)
- 1935-36** Descubrimiento del carácter de coenzima de muchas vitaminas
- 1937** Formulación del ciclo del ácido cítrico (Krebs y otros)
- 1939-44** Descubrimiento de los antibióticos (Fleming, Waksman)
- 1944** Modo de acción de los genes sobre las enzimas
- 1948** Utilización de las ultracentrifugas para aislar estructuras celulares (Schneider, Hoogeboom, Polter)
- 1952** Modelo helicoidal de las proteínas (Pauling)
- 1953** Se establece la estructura de la insulina (Sanger)
- 1953** Ciclo pentosa-fosfato de la degradación de los glúcidos (Horecker, Dickens)
- 1954** Modelo helicoidal de los ácidos nucleicos (Watson y Crick)
- 1961** Interpretación del código de bases de los ácidos nucleicos (Ochoa, Nirenberg)
- 1965** Transcripción genética en la síntesis de las proteínas (Jacob y Monod)
- 1967** Síntesis -in vitro- del núcleo activo (DNA) de un virus (Kornberg, Goulian y Sinsheimer)
- 1968** Se descifra el código genético
- 1972** Creación del primer TAC (Tomografía Axial Computarizada) por físicos de la Unidad de Rayos X de la Universidad de Austin, Texas.
- 1973** Godfrey Hounsfield crea un escáner de rayos X
- 1975** Descubrimiento de los anticuerpos monoclonales como ayuda para combatir el cáncer en ciertos órganos.
- 1977** Utilización por primera vez de la técnica de introducción de cateter-balón en los vasos coronarios para proceder a su dilatación. (Principios de la Endoscopia).
- 1978** Se utiliza por primera vez la RMN (Resonancia Magnética Nuclear) en el ser humano, específicamente mostrando la densidad protónica de una vértebra torácica, imagen que tardó cuatro horas y media en obtenerse.
- 1979** Creación de la Tomografía Informatizada por Godfrey Hounsfield que en ese mismo año recibe el Premio Nobel de Medicina.

- 1982** Utilización del rayo láser para diversos experimentos bioquímicos
- 1985** Primeros trabajos para combatir virus mutantes (VIH y Ébola)
- 1990** Uso de la Ecografía y la Resonancia magnética nuclear como métodos de visualización como apoyo a la medicina nuclear.
- 1991** Se pone en marcha el proyecto "Análisis del Genoma Humano".
- 1992** Utilización de la Resonancia Magnética Nuclear por Richard R. Ernst como un método de visualización excepcional; en este mismo año , recibe el Premio Nobel de Química por dichos trabajos.
- 1993** Utilización de Técnicas de Endoscopia en operaciones de alto riesgo.
- 1994** Descubrimiento de la Angiostatina, proteína que inhibe el rechazo de ciertos organos trasplantados.
- 1995** Uso de la Quimioterapia para combatir el cáncer.
- 1996** Nace un nuevo sistema conocido como escáner TAC (Tomografía Axial Computarizada).
- 1997** Administración de la primera vacuna de ADN contra el VIH (SIDA) desarrollada por Karen Moelling en la Universidad de Zurich.
- 1997** Uso de técnicas de realidad virtual para extirpar tumores o regiones afectadas por células cancerígenas.

### 2.3 LA EDUCACIÓN Y LA INVESTIGACIÓN DE LA BIOINGENIERÍA

Todas las disciplinas tradicionales de la ingeniería tienen un papel que jugar en la educación e investigación de la Bioingeniería.

La organización de los programas de educación de Bioingeniería en la institución promedio de los Estados Unidos se determina usualmente por la estructura existente o por los individuos involucrados y se ve influenciada grandemente por el nivel del programa.

Un gran número de instituciones han formalmente organizado departamentos académicos, que en muchas ocasiones dependen de las Facultades de Ingeniería y de Medicina, o de Medicina Veterinaria. En algunas instancias, el departamento es una unidad de licenciatura que confiere títulos. Tal vez más típico sea el departamento con responsabilidades sólo a nivel posgrado. Algunas escuelas tienen un comité interdisciplinario o grupo de posgrado que establece las guías y estándares para la maestría y el doctorado en Bioingeniería. Los miembros del grupo están administrativamente unidos a sus respectivos departamentos.

Una tercera estructura institucional es el instituto o centro que funciona como punto focal de investigación. Éste aporta equipamiento de experimentación, opera préstamos y contratos de investigación y apoya a los estudiantes de posgrado. El centro puede tener personal, pero no confiere títulos. Las dos últimas estructuras estimulan que el personal de diferentes departamentos y aún diferentes universidades se involucren entre sí.<sup>22</sup>

A pesar del poco tiempo que estas áreas de la Ingeniería tiene impartándose en nuestro país, este tipo de ingenieros están siendo ya requeridos por las instituciones del sector salud, tanto públicas como privadas, así como en los campos de docencia,

investigación, diseño, asesoría, operación y mantenimiento de instrumentos y equipos requeridos en dichas áreas.

No cabe duda que para satisfacer las necesidades actuales y del próximo siglo, es importante que exista promoción, y un gran desarrollo de dichas carreras, que permitan crear instrumentos mecánicos, eléctricos y electrónicos para apoyar a los distintos sectores de la sociedad mediante la actividad creativa y de adaptación propia del Ingeniero.

En México, las Instituciones de Educación Superior que contemplan la licenciatura de Ingeniería Biomédica son: La Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Ixtapalapa, el Instituto Politécnico Nacional en el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Salud (CICS) y en la Universidad Iberoamericana, Plantel Santa Fe II.<sup>33</sup>

Los objetivos fundamentales son capacitar científica y tecnológicamente a profesionales para que presten servicios útiles a la sociedad ligando a la Ingeniería, las ciencias exactas y la tecnología con las ciencias biológicas y médicas, así como las aplicaciones clínicas.

A partir de 1973, fecha de la creación de la carrera de Ingeniería Biomédica en México, surgen, por razones obvias, necesidades de creación de áreas de aplicación y especialización de la misma. Lo anterior solo se pudo lograr gracias no solo a la participación en simposia y congresos internacionales.

Finalmente, existe una clasificación, avalada por la International Federation for Medical and Biological Engineers que data desde 1985 a la fecha y establece que la Ingeniería Biomédica contempla las siguientes áreas de especialización:

1. Instrumentación Médica
2. Biomecánica
3. Ingeniería Clínica



**4. Ingeniería de rehabilitación y****5. Bioingeniería**

En la Universidad Iberoamericana existe, aparte, otra especialidad denominada Tecnología Ambiental de muy reciente creación y de una gran aplicación y actualidad debido a las condiciones ambientales que existen en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Debido a lo anterior, es importante saber o conocer el desarrollo de cada una de las áreas de especialización de la moderna Ingeniería Biomédica, es por ello que en el siguiente apartado se describe cada una de ellas de manera específica.

## **2.4 ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN DE LA MODERNA INGENIERÍA BIOMÉDICA**

### **LA INSTRUMENTACIÓN MÉDICA**

Los estudios sobre Bioinstrumentación y sus sistemas de diseño, así como la tecnología por computadora han sido la base de muchos de los avances de la Ingeniería Biomédica. Se prepara a los estudiantes en el diseño y construcción de Instrumentos de medida y control de sistemas fisiológicos. Técnicas de simulación por computadora, procesamiento de señales, sistemas lineales y no lineales, así como los sistemas de análisis biológico, por ejemplo, Electrocardiograma, electroencefalograma, Electromiografía, Radiografía, Estimulación Eléctrica, Monitoreo Cardíaco, Ultrasonido, Medicina Nuclear, Quimioterapia, etc., son algunas aplicaciones de la Instrumentación Médica.

El diseño, desarrollo y construcción de Instrumentos de prueba son básicos en la Ingeniería Biomédica y en su aplicación clínica, como por ejemplo, el diseño y prueba de monitores de oxígeno miniaturizados, la prueba viscoelástica de materiales biológicos, transductores respiratorios y monitores de control por computadora de estudios médicos y fisiológicos. Como puede apreciarse, ésta área incluye sensores químicos y microelectrónicos para monitorear presión sanguínea intercranial y algunas otras funciones corporales tan minuciosas que sería imposible tratar de medirlas de otra manera.<sup>24</sup>

### **LA BIOMECÁNICA**

En ésta especialización se ubica el diseño de órganos artificiales e implantes (Endoprótesis), los cuales requieren de un sofisticado conocimiento de la estructura, propiedades y adelantos de los distintos materiales metálicos, cerámicos, de vidrio,

polímeros y compuestos diversos. El diseño y construcción de implantes en la cirugía requiere del conocimiento de diversos conceptos como corrosión, materiales, fatiga, biocompatibilidad y microestructura.

La Biomecánica ha resuelto problemas sobre presión sanguínea, diseño de prótesis lumbares, métodos de lubricación, análisis finito, fotoelectricidad, medidas de viscoelasticidad, micromecánica, etc. También tienen a su cargo el diseño y prueba de cada componente que vaya a ser implantado en el ser humano.<sup>35</sup>

### **LA INGENIERÍA CLÍNICA**

La Ingeniería Clínica es la actividad que apoya a la salud mediante la experiencia profesional y la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos de la Ingeniería. Se dice que es la parte del sistema de cuidado de la salud en donde el paciente está involucrado y en donde se enseña, se investiga, se ejerce y se planea toda una actividad solo para el cuidado del paciente.

Hacia los años 60 se hablaba de todo aquello que concernía a la seguridad del paciente, así como el equipo clínico que se requería en los centros médicos. En la nueva disciplina se habla de todas las necesidades para apoyar tecnológicamente y encontrar a su vez nuevas necesidades. Es en los 70 cuando la mayor expansión de la Ingeniería Clínica sucede.

Los Ingenieros Clínicos establecieron rutinas de inspección de seguridad en la mayor parte de los hospitales para todo tipo de enfermos creando equipos médicos de intercomunicación enfermo-enfermera, aparatos con especificaciones adecuadas y recomendaciones de construcción para diversos usos. En este proceso, los departamentos de Ingeniería Clínica fueron el soporte fundamental de las tecnologías médicas y fueron los responsables de los instrumentos biomédicos usados en los hospitales, de entrenar al personal médico en el uso del equipo y en su seguridad, así

polímeros y compuestos diversos. El diseño y construcción de implantes en la cirugía requiere del conocimiento de diversos conceptos como corrosión, materiales, fatiga, biocompatibilidad y microestructura.

La Biomecánica ha resuelto problemas sobre presión sanguínea, diseño de prótesis lumbares, métodos de lubricación, análisis finito, fotoelectricidad, medidas de viscoelasticidad, micromecánica, etc. También tienen a su cargo el diseño y prueba de cada componente que vaya a ser implantado en el ser humano.<sup>35</sup>

### LA INGENIERÍA CLÍNICA

La Ingeniería Clínica es la actividad que apoya a la salud mediante la experiencia profesional y la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos de la Ingeniería. Se dice que es la parte del sistema de cuidado de la salud en donde el paciente está involucrado y en donde se enseña, se investiga, se ejerce y se planea toda una actividad solo para el cuidado del paciente.

Hacia los años 60 se hablaba de todo aquello que concernía a la seguridad del paciente, así como el equipo clínico que se requería en los centros médicos. En la nueva disciplina se habla de todas las necesidades para apoyar tecnológicamente y encontrar a su vez nuevas necesidades. Es en los 70 cuando la mayor expansión de la Ingeniería Clínica sucede.

Los Ingenieros Clínicos establecieron rutinas de inspección de seguridad en la mayor parte de los hospitales para todo tipo de enfermos creando equipos médicos de intercomunicación enfermo-enfermera, aparatos con especificaciones adecuadas y recomendaciones de construcción para diversos usos. En este proceso, los departamentos de Ingeniería Clínica fueron el soporte fundamental de las tecnologías médicas y fueron los responsables de los instrumentos biomédicos usados en los hospitales, de entrenar al personal médico en el uso del equipo y en su seguridad, así

como el diseño, selección y uso de la tecnología que proporcionará seguridad y efectividad en el cuidado de la salud.

Como puede apreciarse, el rol es multifacético, pues participa en el staff clínico, con los administradores del hospital, con las agencias reguladoras y con las empresas responsables del equipo médico. Son quienes dan una opinión objetiva del funcionamiento del equipo, sus posibilidades de aplicación, así como con las políticas preventivas de mantenimiento.

El Ingeniero Clínico provee servicios extensivos de Ingeniería al staff de una clínica y en los años más recientes se ha incrementado su aceptación como un miembro invaluable del equipo médico, enfermeras y otros profesionales, además de permitir la interacción entre la Ingeniería y la Medicina para proveer y promover un mejor cuidado de la salud.<sup>36</sup>

### LA INGENIERÍA DE REHABILITACIÓN

La Ingeniería de Rehabilitación requiere de un esfuerzo multidisciplinario para su desarrollo. Según Robinson (1993), señalaba que la rehabilitación es la Integración del Individuo con una discapacidad a la sociedad otorgando capacidades y proveyendo alternativas para proporcionar funciones y substituir sensaciones específicas. La Ingeniería de rehabilitación, es considerada como la aplicación de la ciencia y la tecnología para aminorar la incapacidad de los individuos. La Tecnología de rehabilitación es considerada como la selección, diseño y manufactura de aparatos para asistir apropiadamente determinadas funciones y a los individuos con discapacidad.

Generalmente, los Ingenieros en Rehabilitación trabajan en equipo, en colaboración con médicos, terapeutas, cirujanos, ortopedistas y especialistas en medicina física o neurología.

Los Ingenieros en Rehabilitación requieren de interés por las actividades cotidianas que cualquiera de nosotros realiza en un día normal como: comer, lavarse los dientes, leer; la movilidad personal, en automóvil, en transporte público, acceso a edificios, es decir, incluye todas las actividades de movimiento funcional que necesiten o requieran ser reproducidas.

La llave para la rehabilitación física o sensorial es la aplicación del concepto de función o sentido y como estos se pueden cuantificar en un determinado rango y como se puede usar la capacidad residual que el individuo aún posee. Las medidas de ésta capacidad humana pueden ser subjetivas o clínicas que objetivamente pueden medirse por aparatos computarizados de prueba.

Los Ingenieros en Rehabilitación deben hacerse 3 preguntas,

1. La función disminuida puede aumentarse satisfactoriamente
2. Existe una forma substitutiva de regresar la función o de restaurar el sentido y,
3. Es apropiada la solución y el costo accesible.

Como podemos observar, las limitaciones de movilidad pueden restringir seriamente la calidad de vida del individuo; la importancia pues, radica en proveer la movilidad personal y restaurarla, tratando así de elevar la calidad de vida del paciente permitiéndole restablecer ciertos desordenes de comunicación mediante la tecnología apropiada.<sup>37</sup>

### LA BIOINGENIERÍA

La Bioingeniería ha sido motivo de estudio en el apartado 2.3 de este trabajo.

Podemos decir que el auxilio de 2 ciencias como son la Biología y la Ingeniería permiten al hombre el uso de los conocimientos científicos de avanzada en su beneficio y en el mejoramiento de su calidad de vida.

También se ha dicho que la Bioingeniería es la especialización mediante la cual se llevan a cabo estudios científicos de Investigación teórica a fin de que las 4 áreas de especialización antes mencionadas se apoyen en ella para llevar a buen término sus proyectos prácticos.

Las áreas de especialización incluyen la instrumentación de aparatos médicos, biomateriales, biomecanismos, ultrasonido y aplicaciones de procesamiento de señales para realizar alguna intervención quirúrgica, fisiológica, bioquímica, clínica médica, cirugía e Ingeniería de Rehabilitación.<sup>36</sup>

Como podemos observar, y a estas alturas del siglo, cuando un nuevo milenio parece tocarse con la punta de los dedos, la lucha contra las enfermedades, la invalidez, el mejoramiento de la calidad de vida del ser humano, la estancia del paciente en los hospitales y la prevención de enfermedades, siguen siendo objetivos prioritarios en el estudio de la Moderna Ingeniería Biomédica.

Es por ello, que ya se cuenta con sofisticados sistemas de diagnóstico y tratamiento de enfermedades, capaces de realizar casi una autopsia, en vivo, analizando lo más íntimo de cada tejido humano, y lo más novedoso en sistemas de sustitución y ayuda interna y externa, algunos de los cuales serán referidos en el siguiente Capítulo de esta obra.

## CITAS DEL CAPÍTULO 2.

1. Salvat, Enciclopedia. Tomo 7, p.1799
2. Idem.
3. Rangel Valderrama, Iris Lucía. Ingeniería Avanzada en el Mundo, p.1
4. Rosseau, Charles. Derecho Internacional Público, p.232
5. Rangel Valderrama, Iris Lucía. Ob. Cit., p.2-3
6. Contreras Arias, Ruben. La Ingeniería Avanzada en el Mundo, p.43
7. Idem, p.44
8. Existe el caso típico de la señora Rose Cohen, es una viuda morena y atractiva, que vive en Brooklyn, y cuya vida incluye actividades tan variadas como la de ama de casa, trabajar en su hogar cosiendo ajeno y visitar con frecuencia a su hija y dos nietos. En esto no se distingue de cientos de miles de mujeres norteamericanas. Pero hay un aspecto en que es de lo mas extraordinaria. Vive y disfruta de su vida únicamente porque un minúsculo aparatito, movido por baterías y llamado marcapaso le fue implantado debajo de la piel de su tórax. Unos alambritos llevan a su corazón, para que pueda mantener su latir uniforme, las señales generadas por el marcapaso. Sin este marcador artificial su corazón trastabilaría y ella moriría casi con seguridad. Debe la vida a una estirpe de ingenieros: los bioingenieros que se especializan en los problemas y posibilidades de los seres vivos. Forman un grupo reducido, pero lo adelantos que han ayudado a cristalizar han dejado ya una huella importante en la vida de mucha gente. Y prometen tener efectos mayores aun., citado por Furnas,C.C.; McCarthy, Joe. El Ingeniero, p.145
9. Idem, p.150
10. Enciclopedia Salvat del Estudiante. Tomo 9, p.139
11. Furnas,C.C.; McCarthy, Joe. Ob. Cit., p.151
12. Idem, p.152
13. Ibidem
14. Furnas,C.C.; McCarthy, Joe. Ob. Cit., pp.152-153
15. Salvat, Enciclopedia. Tomo 3, pp.754-755
16. Idem

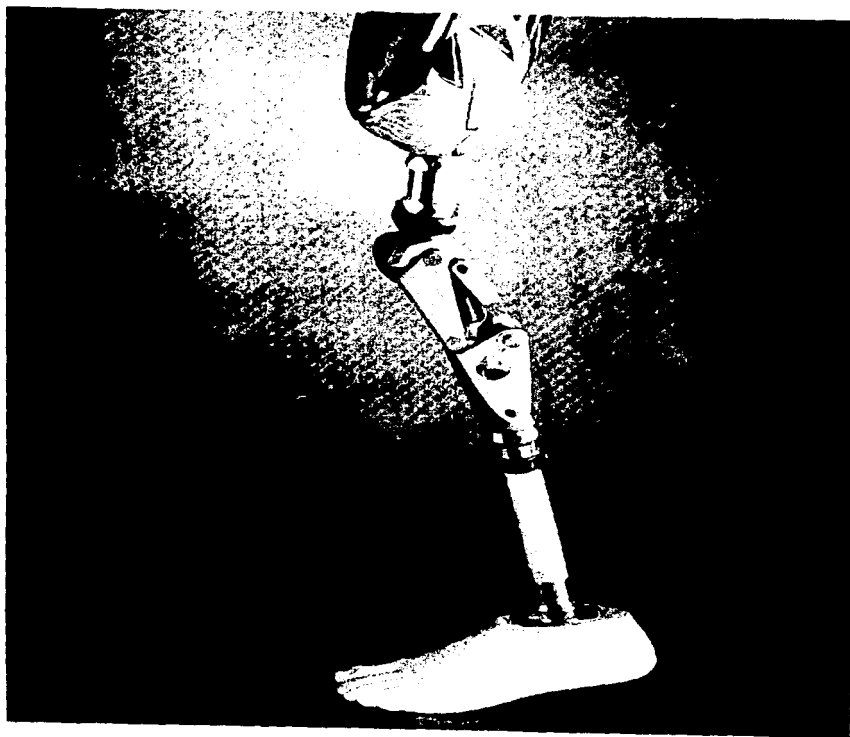


- 17. Ibidem**
- 18. Salvat, Enciclopedia. Tomo 3, pp.754-755**
- 19. Idem**
- 20. Ibidem, Ob. Cit., Tomo 2, p.497**
- 21. Furnas, C.C.; McCarthy, Joe. Ob. Cit., p.145**
- 22. Idem, pp.145-146**
- 23. Ibidem, pp.146-147**
- 24. Salvat, Enciclopedia. Tomo 5, p.1227**
- 25. Furnas, C.C.; McCarthy, Joe. Ob. Cit., pp.146-147**
- 26. Idem, p.148**
- 27. Ibidem**
- 28. Furnas, C.C.; McCarthy, Joe. Ob. Cit., p.149**
- 29. Contreras Arias, Ruben. Ob. Cit., p.45; Salvat, Enciclopedia. Tomo 2, p.497**
- 30. Salvat, Enciclopedia. Tomo 2, p.497**
- 31. Idem.**
- 32. Contreras Arias, Ruben. Ob. Cit., pp.45-46**
- 33. Sin Autor. Las mejores Universidades, p.350**
- 34. Webster G, John. Enciclopedia of Medical..., p.394,397**
- 35. Idem, p.395**
- 36. Bronzino D., Joseph. The Biomedical Engineering Handbook, pp.2499,2500**
- 37. Idem, pp.2045-2049**
- 38. Webster G, John. Ob. Cit., p.396**

# ***CAPÍTULO***

## ***3***

***LA INGENIERÍA BIOMÉDICA COMO UNA  
MUESTRA DE LA INGENIERÍA DE  
AVANZADA EN EL MUNDO***



## CAPÍTULO 3.

# LA INGENIERÍA BIOMÉDICA COMO UNA MUESTRA DE LA INGENIERÍA DE AVANZADA EN EL MUNDO

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la tecnología avanza a pasos agigantados y es por ello que la presente investigación trata de abordar ciertos paradigmas que hace cincuenta años, hubiera sido imposible desenmascarar, basta señalar por ejemplo la utilidad que la ciencia ha desempeñado en la Biomedicina, la Electrónica, las Telecomunicaciones, la Computación y la Ecología, entre otras.

La ingeniería ha estado presente desde que el hombre se hizo sedentario y por consiguiente tuvo la necesidad de crear implementos para facilitar la agricultura, la piscicultura, la caza, e inclusive para la guerra.

Como se señala en el título del presente capítulo, es necesario a partir de éste, interrelacionar la Ingeniería, más aún la Ingeniería de Avanzada con la Medicina, lo que trae como consecuencia que en algunos casos, deba aclarar mi ignorancia al respecto, y por lo mismo el tratamiento superficial de algunos temas.

**"Puede definirse a la Bioingeniería como la aplicación de las técnicas y las ideas de la ingeniería a la biología, y concretamente a la biología humana. El gran sector de la bioingeniería que se refiere especialmente a la medicina, puede llamarse más adecuadamente ingeniería biomédica."**<sup>1</sup>

Si bien es cierto que en la Segunda Guerra Mundial, el personal médico y los investigadores en el campo de la biología se valían de técnicas de ingeniería relativamente sencillas, así como de algunos fundamentos de diseño de los instrumentos que necesitaban, no fue sino que un accidente histórico hizo que por vez primera en Gran Bretaña un gran número de biólogos adquiriesen sólidos fundamentos en el campo de la electrónica, abriendo de este modo la posibilidad de aplicar técnicas más elaboradas en la resolución de los problemas biológicos y médicos.

En los años inmediatos de la posguerra la tecnología electrónica progresó muy rápidamente y los biólogos, que se habían familiarizado antes con el manejo de válvulas y grandes componentes, pronto se vieron retrasados en una nueva era de transistores, componentes en miniatura y circuitos impresos, y como los conocimientos de los antiguos investigadores quedaron anticuados, empezó a surgir una nueva generación de médicos y biólogos, sin ninguna práctica en el campo de la electrónica.<sup>2</sup>

Los investigadores dentro del campo de la biología y la medicina vieron claramente que ganarían una incalculable cantidad de tiempo no sólo si se familiarizaban con los adelantos técnicos existentes, sino también si iban dando paso a los nuevos que fuesen llegando. Entonces surgió la necesidad de un nuevo tipo de persona que hiciese de puente sobre el hueco que separaba a la elaborada tecnología de la ingeniería de las ciencias biológicas, surgió así la necesidad de los bioingenieros.

Diversas instituciones buscaron diferentes caminos contratando técnicos que trabajaban exclusivamente en el desarrollo de los instrumentos y que, al menos en principio, no tenían la categoría de investigadores. Otras instituciones buscaron personal graduado, equiparándole con sus compañeros médicos y biólogos. Algunos de estos contratados fueron de hecho autoseleccionados, pues en las universidades y lugares como el Medical Research Council (Consejo de Investigaciones Médicas) de Gran Bretaña se permitió que los investigadores eligieran libremente el campo de trabajo que más les interesase, y a mediados de la década 1950 a 1960 muchos de ellos eligieron la **bioingeniería o la ingeniería biomédica.**

La mayoría de los bioingenieros, sin saberlo, eran médicos que se dedicaban a la ingeniería como entretenimiento o tenían un especial talento para ello.

De los que entraron en la profesión por otra puerta distinta de la procedente de la biología, la mayoría eran ingenieros electricistas. En realidad, lo que hoy llamamos ingeniería biomédica se llamó al principio electrónica médica, y la asociación internacional constituida por los que practicaban esta actividad se conoció como "International Federation of Medical Electronics". Hasta 1965 no fue adoptado el título actual, mucho más adecuado, de The International Federation of Medical and Biological Engineering (Federación Internacional de Ingeniería Médica y Biológica).<sup>3</sup>

Los ingenieros biólogos son aquellos que utilizan sus conocimientos de ingeniería para conseguir hacerse mejores investigadores biólogos, es decir, piden a la ingeniería ayuda para explicar los fenómenos biológicos.

Otro tipo de bioingeniero es aquel que está más interesado en el diseño y construcción de nuevos instrumentos y máquinas que se puedan utilizar en las investigaciones biológicas y médicas y en los tratamientos médicos, ya sea resolviendo problemas o proyectando cosas nuevas.

La participación de los ingenieros da un conocimiento suficiente de los problemas implicados, de tal manera que les permite asegurar que cualquier pieza del equipo que produzcan estará bien adaptada a las exigencias de su aplicación biológica. El problema biológico debe ser traducido a términos de significado en ingeniería. Por ejemplo, si un investigador quiere un amplificador para medir las señales eléctricas procedentes de una célula nerviosa, el bioingeniero debe tener alguna idea acerca de la magnitud de los voltajes y corrientes implicadas, del tamaño de los electrodos que puede emplear y de la distancia entre ambos a la cual puede colocarlos. Una vez que el problema haya sido definido de esta manera, se convierte en una cuestión de ingeniería pura.

Por otro lado, se debe concebir la solución en detalle y traducir este concepto a instrumentos. Así puede luego ensayar si sus ideas son realmente buenas y si su aplicación es posible de realizar como lo había imaginado.

Los ingenieros-biólogos se encuentran en instituciones académicas, principalmente en universidades, en departamentos de anatomía, fisiología, psicología y más recientemente también en departamentos de ingeniería.

En el caso específico de la Ingeniería Biomédica se requiere tener conocimientos no solo de Ingeniería pura, sino también de Medicina. Así por ejemplo, nadie puede negar que el cuerpo humano es extraordinariamente eficiente y adaptable; pues puede distinguir entre 400,000 especies de sonidos, bombear unos dos millones de litros al año por su sistema circulatorio y hasta planear su futuro, o bien el sencillo acto de caminar atrae la admiración de los ingenieros; ninguna de las máquinas actuales puede duplicar ese movimiento tan fluido.

Es por ello que el presente capítulo tratará de mostrar la importancia que tiene la Ingeniería Biomédica para proporcionar no solo vida, sino suficiente calidad de vida que le permita al ser humano realizarse plenamente.

## 3.2 EL CUERPO HUMANO: UNA MÁQUINA PERFECTA

Como hemos podido apreciar, la relación que guarda la Ingeniería y la Medicina, nos llevan a pensar que la Biomedicina es una rama que contempla la posibilidad de que los conocimientos técnicos y científicos se interrelacionen para producir bienestar a los sujetos a los que se dirige.

En virtud de la semejanza que guarda el cuerpo humano con un vehículo automotor, me voy a permitir parafrasear a H.S. Wolff, que en su libro de la Ingeniería Biomédica, acertadamente los relaciona.

Tanto el cuerpo humano como un automóvil necesitan **combustible y aire** para la combustión interna, ambos convierten la energía química en trabajo mecánico, ambos poseen mecanismos para controlar la temperatura y ambos tienen sistemas eléctricos. Además, si quisiéramos examinar la función de cualquiera de los sistemas que van a constituir un motor de coche, nos veríamos precisados a realizar medidas físicas de varios tipos diferentes. Lo mismo sucede si queremos examinar la salud y la eficiencia de los organismos vivos y, con bastante frecuencia, los tipos de medidas que se necesitan son muy semejantes.

El combustible, suministrado en una forma que permita ser utilizado directamente, debe ser conducido hasta el punto en donde ha de ser quemado, para lo cual se precisa una bomba capaz de moverle y tuberías para conducirlo. Si queremos comprobar la eficacia del sistema, debemos realizar medidas de dos clases: las relacionadas con el flujo de los líquidos a lo largo de las tuberías y aquellas otras relacionadas con la presión que las bombas son capaces de ejercer.

Antes de la combustión, el combustible debe mezclarse con aire, o más correctamente con oxígeno, en el carburador, el cual es análogo a los pulmones de un animal. Para examinar las propiedades del carburador, relacionadas con la aportación



de aire, se necesitan instrumentos capaces de medir el flujo de un fluido a través de los tubos y la presión que causa este flujo, aunque en este caso el fluido de que se trata es un gas en lugar de un líquido.

"El motor de coche trabaja mejor si se mantiene su temperatura dentro de unos límites relativamente estrechos. Este requisito se consigue, en general, mediante un **sistema de circulación de agua**, que elimina calor de la proximidad de los cilindros, en donde se genera. Este calor es lanzado, finalmente, a la atmósfera insuflando aire a través del radiador, en torno a cuyo interior circula el agua caliente. Con el fin de saber si el sistema de refrigeración funciona tan bien como debiera hacerlo, necesitamos poder medir la temperatura de diversos puntos del motor. Debemos además medir no sólo la velocidad de circulación del agua y su ritmo de flujo a través de varios tubos y pasos, sino también el comportamiento y forma de operar de la bomba que hace que se produzca esta circulación.

Posteriormente, podríamos querer saber algo acerca de la eficacia de la combustión. Para esto deberíamos examinar los gases que se liberan, especialmente su contenido en monóxido y dióxido de carbono. De esta manera, por primera vez, necesitaríamos recurrir a la química para que nos informe si marcha bien nuestra máquina".<sup>4</sup>

Por otro lado, el **sistema de encendido** requiere que se generen descargas de elevado voltaje y que sean aplicadas a las bujías en un momento apropiado del ciclo del motor. Para saber si esto se está realizando de manera correcta, necesitamos algún método capaz de visualizar los aumentos de voltaje y de examinar el momento en que se producen, en relación con los otros hechos que tienen lugar a dentro del motor, en especial con los movimientos de los pistones.

Después de haber realizado todas las pruebas tendremos que medir el consumo de energía de la máquina si queremos calcular su eficacia neta, es decir, cuanto

trabajo produce por unidad de combustible consumido. Si se ha observado algún fallo, es preciso realizar algunas medidas más.

Aun en el caso de que un coche vaya aparentemente bien, se le puede llevar a uno de los llamados *centros de diagnóstico*, en donde mediante la aplicación de las técnicas de medida apropiadas se descubrirá cualquier avería incipiente en el motor mucho antes de que afecte de manera apreciable al funcionamiento del mismo. Esto es comparable a la aplicación de las pruebas de chequeo en medicina, llevadas a cabo con el fin de detectar una enfermedad antes de que se pueda reconocer clínicamente. Y del mismo modo que en el centro de diagnóstico se utilizan ciertos aparatos para localizar los fallos de un motor que se sabe que está defectuoso, en un hospital se utiliza el equipo adecuado para localizar el foco de alteración en un paciente.

Por lo que respecta al cuerpo humano, en el **sistema digestivo** son introducidos los alimentos y en él tiene lugar la primera etapa de un complejo ciclo químico mediante el cual los citados alimentos se hacen eventualmente aprovechables por los diferentes tejidos del cuerpo. Aquí, por supuesto, nuestra analogía se rompe: la mayor parte de las etapas para hacer el combustible aprovechable por el motor de un coche tienen lugar fuera del propio coche, en la refinería de petróleo. En nuestro caso, el proceso de conversión tiene lugar dentro de nuestro propio cuerpo y el primer paso se da en el sistema digestivo.<sup>5</sup>

Nos interesan las presiones existentes en varias partes del interior de este tubo, la forma en que el material se mueve desde una sección a otra del tubo y el ambiente químico existente en ciertas secciones especiales, tal como la acidez requerida en el estómago para una eficaz transformación de los alimentos y la débil alcalinidad que generalmente se encuentra en el intestino delgado. En el caso de ciertas enfermedades, es también importante poder localizar una porción del tracto intestinal cuya pared haya sido dañada y en donde puede haber una hemorragia dentro de la luz del tubo.

Lo que podemos llamar por analogía el **sistema respiratorio** de un motor de coche, es decir el carburador y el tubo de escape, es esencialmente un sistema de flujo unidireccional, en el cual el aire penetra por un extremo y los gases de escape son empujados hacia fuera por el otro extremo. En los pulmones del cuerpo humano el aire puede entrar y los gases salir por el mismo orificio. De nuevo nos volvemos a interesar en el flujo del gas y en la composición de los gases expulsados, especialmente en su contenido en dióxido de carbono y oxígeno. Y debido a que los pulmones constituyen un sistema de vaivén, que nunca se vacía por completo, en lugar de ser un sistema unidireccional, también nos interesamos por la eficacia con que el aire aspirado se mezcla con el aire ya existente dentro de los pulmones.

Los pulmones se encargan de la función refrigeradora equivalente a la del radiador del coche, ya que el aire aspirado está en general a una temperatura por debajo de la del cuerpo, mientras que el aire expirado no sólo está casi a la temperatura del cuerpo, sino además saturado de vapor de agua. En el hombre, éste no es un camino muy importante para perder calor bajo condiciones normales, pero en las condiciones árticas, con una temperatura del aire muy baja y una humedad también muy baja, la pérdida de calor puede ser considerable.

La **circulación de la sangre** en un animal sirve también de mecanismo de refrigeración, del mismo modo que lo hace la circulación del agua en el motor del coche, ya que una de las funciones de la corriente circulatoria es llevar calor desde las partes del cuerpo en donde se produce hasta la piel y los pulmones, desde donde puede ser transferido al medio ambiente. Pero mientras que el agua en el motor del coche sólo sirve como agente de refrigeración, el torrente sanguíneo es, además, una de las principales vías de transporte dentro del cuerpo humano. Además de transportar oxígeno a los tejidos y llevarse el anhídrido carbónico que toma de los mismos, transporta combustibles elaborados -como la glucosa- a los lugares en donde pueden ser utilizados.<sup>9</sup>

La bomba del sistema circulatorio, **el corazón**, es de especial interés ya que si deja de latir, aunque sea durante unos pocos minutos, el resultado es la muerte. Esto no es debido a que los tejidos del cuerpo en general no puedan funcionar si se les priva un corto plazo de aporte de combustible, sino porque ciertos tejidos, especialmente los del cerebro, no pueden verse privados de oxígeno más que por períodos muy breves, sin sufrir daños irreparables.

Para investigar el grado de perfección con que está trabajando el corazón, necesitamos saber si su mecanismo está intacto y también cuánta sangre bombea en un tiempo determinado. Estas medidas, del mismo modo que ocurre con otras muchas necesarias para investigar la eficacia de un organismo vivo, no son fáciles de realizar desde fuera del cuerpo y, por tanto, deben basarse en una evidencia indirecta. El registro y examen de estas señales se denomina electrocardiografía (ECG) y constituye una de las técnicas de diagnóstico más utilizadas. La medida de la cantidad de sangre bombeada por minuto, es decir, el *volumen minuto* o caudal es bastante difícil como técnica de rutina. En lugar de esto, la comprobación de si la circulación es adecuada, se obtiene midiendo la presión con la cual el corazón entrega su caudal. Esta medida de la presión de la sangre, que puede hacerse desde el exterior, se realiza generalmente en una de las grandes arterias bastante próximas al corazón, siendo la más común la que abastece al músculo del brazo.

El sistema circulatorio también precisa medidas volumétricas y análisis químicos. Si el radiador del coche no está debidamente lleno, es imposible que el agua refrigerante circule con eficacia, y del mismo modo, si el volumen de sangre cae por debajo de un cierto nivel, la circulación dentro del cuerpo humano fallará. Se necesita una información química acerca de las cantidades de oxígeno y anhídrido carbónico existentes en la sangre, así como sobre la presencia de iones de sodio, potasio y calcio.

La **musculatura del cuerpo** es comparable a los cilindros de un motor de coche, ya que los músculos son las únicas partes del animal que pueden transformar la

energía química derivada de los alimentos o combustible, en trabajo mecánico. Normalmente no son muchas las medidas que es preciso realizar sobre los músculos en un hombre normal. Se puede medir la actividad eléctrica que acompaña a la acción mecánica de un músculo empleando un instrumento denominado electromiógrafo. Aparte de esto, el otro tipo de medida que se hace, en general para conocer el funcionamiento del músculo, se refiere a la cantidad de sangre que fluye a través del mismo.

Hasta aquí hemos considerado los sistemas digestivo, respiratorio, circulatorio y muscular como si actuasen aisladamente. En la práctica, por supuesto, sus actividades están coordinadas de una manera inconsciente, como en lo que se refiere a la respiración y la digestión, y conscientemente siempre que realizamos un movimiento controlado por nuestra propia voluntad.

El sistema nervioso, en términos muy sencillos, puede concebirse como un sistema de alambres que unen el cerebro con los músculos, con los órganos sensoriales, con las glándulas y así sucesivamente. Esta analogía es bastante errónea desde el punto de vista funcional. Mientras que es cierto que la conducción de un impulso nervioso va acompañado de fenómenos eléctricos que pueden ser detectados fuera del nervio, la fibra nerviosa no actúa de la misma manera que lo haría un conductor eléctrico, tal como un alambre de cobre. El sistema nervioso es comparable a un sistema de teléfonos, en el sentido de que tenemos un estímulo que genera una señal en un extremo, un medio que permite que la señal sea conducida hasta un punto distante y algún artefacto receptor, en donde se recoge la acción. La otra diferencia realmente notable entre los dos es que en el teléfono la señal es conducida a lo largo de alambres a una velocidad comparable a la de la luz, mientras que en el caso de los nervios la velocidad de transmisión puede medirse en metros o decenas de metros por segundo.

Las medidas que se realizan sobre el sistema nervioso detectan la actividad eléctrica que acompaña a los impulsos nerviosos. Esto puede hacerse sobre fibras

nerviosas individuales, sobre haces de fibras o sobre la gran masa de tejido nervioso que denominamos cerebro. En este último caso, los potenciales variables que acompañan a la actividad del cerebro pueden ser detectados por electrodos que se fijan al cráneo y recogidos por un instrumento llamado electroencefalógrafo (EEG). Este instrumento y otros que se utilizan para hacer medidas sobre el sistema nervioso han de ser capaces de detectar señales de muy bajo voltaje, generalmente del orden de decenas o centenares de microvoltios o, como mucho, de unos cuantos milivoltios y luego mostrar los resultados de forma visible sobre otros aparatos, tales como un registrador de gráficas o un osciloscopio de rayos catódicos.<sup>7</sup>

Pareciera ser interesante éste análisis comparativo, pues nos permitirá observar en los subsiguientes apartados de la tesis, la significación e importancia que cada parte del cuerpo humano tiene y como es posible que a través de la Ingeniería se pueda corregir o sustituir.

### 3.3 DISPOSITIVOS PROTÉSICOS

Los Dispositivos Protésicos son aquellos que sirven de sustitutos de las partes que faltan en el cuerpo o de ayuda para las partes que no funcionan de manera adecuada.

Cuando Benjamin Franklin definió al hombre como *un animal que fabrica herramientas*, iba implícito el hecho de que el hombre se ha especializado siempre en la fabricación de sustitutos para las partes del cuerpo que no posee (cuchillos en lugar de unos dientes capaces de desgarrar eficazmente la carne, lanzas en lugar de garras para matar, vestidos en lugar de plumas o pieles, etc.). Estos son sustitutos para cosas corporales, de las cuales carece la especie humana como tal. Los dispositivos protésicos son esencialmente sustitutos del equipo corporal del que carece un hombre, en comparación con la mayoría de sus semejantes. Aún en este campo más limitado, el hombre primitivo hizo, sin duda, unas cuantas aventuras, aunque no fuese más que ayudando a los miembros ancianos con bastones o a los miembros rotos con entablillados. Cualquier cosa más sofisticada ha tenido que esperar durante muchos siglos el progreso de los conocimientos médicos, científicos y de la ingeniería.

"Conviene dividir la gama total de prótesis disponibles corrientemente en dos clases principales. La primera comprende los dispositivos dedicados a proporcionar información, bien sea desde el mundo externo o desde una parte del individuo a otra. El segundo comprende los artificios cuya función consiste en sustituir procesos mucho más activos, tales como el funcionamiento de los miembros o de ciertos órganos vitales".<sup>8</sup>

### 3.3.1 Extremidades inferiores.

Dicese de las piernas del hombre, como extremidades inferiores, que sirven para hacer el compás. La utilidad fundamental estriba en servir al hombre como medio de desplazamiento de un lugar a otro.

Es necesario señalar que en la actualidad hay dos grandes firmas en México cuyo objetivo es el de elaborar prótesis para aquellos casos donde la extremidad inferior haya sufrido daños y por consiguiente la necesidad de su amputación.

Una de estas empresas es **Flexfoot** de origen norteamericano. Debo señalar que a pesar de varios esfuerzos para localizar más información al respecto, lo único que pude obtener, fue saber que la mencionada empresa no tiene en México ninguna filial.

La otra Empresa, **Otto Bock**, de origen alemán, quien si tiene oficinas en México y quienes me permitieron toda la información al respecto y a quienes agradezco su apoyo.

#### LA EMPRESA OTTO BOCK

**Otto Bock** es un nombre que se ha convertido en símbolo con el paso del tiempo, en la medida en que su idea hizo historia de la ortopedia. Un símbolo con la voluntad de servir con lo más adecuado y moderno en el ámbito de la técnica ortopédica. El lema es el de aprovechar todas las actividades científicas y todas las posibilidades técnicas, para conseguir que todas las personas con minusvalías físicas puedan ser atendidas de forma óptima. Que se pueda integrar naturalmente en la vida diaria privada, profesional y social. Que obtenga para ello los requisitos técnicos necesarios para poder participar en todas las facetas de la vida, a través de productos que correspondan con el estado más moderno de lo tecnológicamente posible.<sup>9</sup> La idea



fundamental es la fabricación en serie de prefabricados para prótesis, lo que en el pasado, los técnicos ortopédicos únicamente hacían a mano y de manera individual.

Hoy día se estandarizó y se sistematizó. Esto significó una normalización de gran alcance que hizo época, y al mismo tiempo un cambio estructural fundamental de toda una profesión. Fue necesario incorporar a los equipos de trabajo Ingenieros Mecánicos especializados en el área de Diseño cuya labor era tomar en cuenta aspectos Cinemáticos, Dinámicos, Esfuerzos, Deformaciones, Resistencia de materiales y Sistemas de Control (hidráulico y neumático) para el diseño de cualquier prótesis.

Era necesario considerar también la forma y el lugar de la amputación con el afán de contemplar cargas de trabajo y distribuir las adecuadamente, diseñar diagramas de fuerzas que actúan sobre brazos y piernas (Anexo 6), especificar el alineamiento del socket (armazón en donde descansa el muñón o parte amputada), el material a utilizar, tanto para los componentes de la prótesis (fibra de carbono, titanio, acero y aluminio) como para el socket (en los principios de la Ortopedia eran de madera, luego fueron de lámina conformada y en la actualidad son de polipropileno, material plástico fácil de moldear, de termoformar y de poco peso). Cabe destacar que cada socket consta de una válvula para sacar el aire del interior cuando el muñón entra, asegurando así la adherencia a la amputación.

En la actualidad, la Ingeniería Asistida por Computadora es una herramienta que no puede faltar en la Industria Ortopédica. Paquetería de diseño en tres dimensiones (Ideas, Análisis Finito (Niza) y CAM (Manufactura Asistida por Computadora), además del uso de máquinas de CNC (Control Numérico por Computadora) son herramientas que facilitan el diseño y construcción de cualquier parte de una prótesis. Por ejemplo, el Socket, en el que se puede analizar las cargas de aplicación, los diagramas de esfuerzo-deformación, las partes de fácil ruptura o falla, tiempo de elaboración del molde (aprox. 1 hora) procediendo así a su construcción y comercialización.<sup>10</sup> (Anexos 7, 8 y 9).

Las prótesis se clasifican en: prótesis de miembro inferior **pie con tobillo, prefabricado rodilla-pantorrilla**, así como el **encaje femoral**. Esta idea no solo tiene validez mundial hasta hoy en día, sino que es el principio decisivo de la técnica modular moderna. Esto es, tanto para la reconstrucción óptima de la apariencia externa y sustitución en lo que sea posible de funciones perdidas. (Anexo 10)

La ortopedia posee hoy más que nunca posibilidades tecnológicas para la imitación, porque su trabajo habitual sobrepasa con creces a la mecánica. El trabajo en su conjunto es interdisciplinario, por ello es necesario la investigación, el desarrollo y la asistencia, para aprovechar realmente todas las oportunidades del progreso tecnológico, sobre todo, debe ser muy estrecha la colaboración entre médicos (diagnóstico de la amputación), técnicos ortopédicos (planeación de la prótesis óptima y sesiones de terapia) e Ingenieros Mecánicos (diseño y ejecución de sistemas Mecánicos e Hidráulicos y materiales para su elaboración).<sup>11</sup> (Anexo 11)

Para ello, se ha instalado un centro de investigación con cámaras especiales, el software último y modernos ordenadores que aportan datos en complicados análisis de la marcha, que permiten al Ingeniero y al técnico ortopédico el diseño, la elaboración y la colocación óptima de prótesis. Estudios de movimiento de este tipo muestran potenciales de desarrollo y posibilidades de mejora. Así, la calidad de los productos se convierte en un estudio sobre el continuo acercamiento al modelo humano. (Anexo 12)

El desarrollo y la fabricación de prótesis vive de la capacidad de trabajar los diferentes materiales y materias primas tales como madera, metal, textiles y cuero, combinarlos y mejorarlos. Además, se han incluido nuevos materiales como plástico, titanio y fibra de carbono. Adicionalmente, la electrónica amplía el margen de posibilidades. Las modernas tecnologías dominan hoy el campo de la producción: máquinas de precisión guiadas por CNC, sistemas de planificación de producción de alta capacidad (PPS), redes de ordenador para transferencia de datos centralizada desde la planificación directamente a la herramienta, nuevas instalaciones para cada forma de trabajo con plásticos, hasta la fabricación de microelectrónica para manos

mioeléctricas. La calidad es la práctica de la responsabilidad con todas las personas que dependen de prótesis.

Otto Bock tiene su sistema de seguridad para la calidad (QSS) documentado en sus manuales de seguridad en la calidad respetando ISO 9001. Además, la sociedad alemana para la certificación de sistemas de seguridad para la calidad (DOS) ha certificado el QSS y con ello se ha conseguido la aceptación en 16 países. Es un proceso permanente de controles externos en cuanto a la calidad. El grupo de empresas Otto Bock invierte considerables medios financieros en procesos de seguridad de control y calidad. (Anexo 13)

Hay una amplia gama de protelizaciones de amputaciones de la extremidad inferior. Se indican componentes tradicionales en diseño exoesquelético, así como diseños de articulaciones y adaptadores para prótesis modulares. (Anexo 14)

El sistema no incluye solamente la fabricación de los diferentes productos, si no las fases de planificación y desarrollo del alto nivel de calidad, de diseño, producción y mantenimiento.

### EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE OTTO BOCK<sup>12</sup>

Los módulos se clasifican según el **peso del paciente y según la función deseada.**

**Según el peso:**

Clase de estructura 3 = verde, para pacientes hasta un peso máx de 125 kg.

Clase de estructura 2 = amarillo, para pacientes hasta un peso máx. de 100 kg.

Clase de estructura 1 = rojo, para pacientes hasta un peso máx. de 75 kg.

El adaptador con tubo y todos los otros adaptadores son piezas de **estructura**. En primer lugar son elementos de unión y determinan la resistencia estructural de la prótesis. (Anexo 15)

#### **Según la función:**

Las articulaciones modulares y los pies protésicos son **elementos de función**. Se clasifican según la **clase estructural** (peso) y según las tres categorías de función (poco, mediano, alto). La diferencia se realiza, a causa del aumento de las exigencias, en las características funcionales de los elementos. Los elementos funcionales determinan en primer lugar las características funcionales de la prótesis. (Anexo 16, 17 y 18).

#### **PRÓTESIS INTERIM**

La protetización a tiempo es muy importante para el éxito de la rehabilitación. La correcta compresión del muñón y una movilización temprana del paciente, deben de influir en la protetización de forma positiva.

Como medida provisional se emplean las prótesis Interim antes de proceder a la protetización definitiva. Las prótesis Interim deben de corresponder en su funcionalidad a la prótesis definitiva.

Con una prótesis de prueba se podrá determinar de forma objetiva, cual es la capacidad de la marcha y el mantenimiento del pie del amputado. Asimismo se podrán comprobar los diseños del pie y de la articulación de rodilla.

Esta construcción es una prótesis de terapia reutilizable para amputaciones de pantorrilla y para desarticulación de rodilla. El elemento básico es un encaje de marco de resina acrílica con unión distal y modular. Dos abrazaderas neumáticas comprimen el muñón para evitar edemas. Para la adaptación individual, incluso en muñones fluctuantes, la compresión se controla mediante un manómetro. El momento de la protetización y la dosificación de la compresión dependen de la decisión del médico.<sup>13</sup>

La amplia gama del sistema modular facilita muchas posibilidades para la prototización individual. Para facilitar al técnico ortopédico la elección y la combinación de los módulos. (Anexo 19)

### PIES PROTÉSICOS MODULARES

Algunos pies para prótesis se forman de componentes convencionales, otros son desarrollos propios, que incluyen sobre todo más fuerza de retroceso elástica.

La gama de los **pies no-articulados** desde los pies SACH en diferentes versiones, los pies dinámicos y hasta el pie que consigue sus características de función mediante un resorte de carbono. (Anexo 20)

En los **pies articulados** existen los monocéntricos, el pie Greissinger multidireccional y el pie multiaxial.<sup>14</sup>

La elección del pie depende del tipo de la altura de la amputación, del estado físico, del peso y de la actividad del paciente. También hay que considerar la rodilla empleada.

#### ***Pie multiaxial*** (Anexo 21)

En éste pie, están combinados los movimientos multiaxiales y las características positivas del pie dinámico. La articulación integrada en el pie es flexible y de material resistente que no requiere mantenimiento.

En la fase de apoyo, se efectúa la flexión plantar, para lograr un contacto más rápido del antepie, mediante compresión del tope elástico. A causa del límite dorsal y el antepie elástico se crea un momento que asegura la rodilla.

En el plano frontal, permite movimientos de prono-supinación en todas las posiciones de la articulación. Se consigue una pequeña rotación en el plano horizontal a través de la elasticidad de la base de la articulación. El pie multiaxial se aconseja para pacientes **hasta un peso máx. de 85 kg. con una actividad mediana.**<sup>15</sup>

#### ***Dynamic plus (Anexo 22)***

En éste pie dinámico se consiguen las características funcionales mediante una ballesta en forma de "S". Mediante el elemento de resorte de plástico y la diferente técnica de espuma se realizan las siguientes características:

- Compresión axial en la carga
- Elasticidad graduada para una comportamiento fisiológico
- Capacidad de absorción de irregularidades
- Transición dinámica de la fase de balanceo a la fase de impulsión
- Retroceso elástico del antepie

El pie Dynamic plus 1D25 pertenece al sistema modular y se aconseja **para pacientes hasta un peso máx. de 85 kg. muy activos. También es apto para pacientes con una actividad media.** Permite a los amputados de pantorrilla una marcha activa, hasta realizar incluso deporte, así como para pacientes que lleven una prótesis con rodilla activa.

La forma exterior del pie Dynamic plus es igual que el pie dinámico, pero se suministra con adaptador modular de titanio incorporado.

#### ***Greisinger Plus***

El pie Greisinger plus pertenece al sistema modular y se aconseja **para pacientes con un peso hasta 75 kg. ó 100 kg. y con actividad mediana. Apto también para la clase de función baja (amputados de pantorrilla) y para pacientes**

activos. En este pie protésico las características funcionales de la construcción Greissinger se combinan con una nueva forma de pie. El pie Greissinger plus se suministra con adaptador de titanio incorporado. Mediante la cápsula de unión para la espuma se realiza la unión con la funda estética.<sup>16</sup>

### ADAPTADORES MODULARES (Anexo 23)

Los Adaptadores Modulares son los elementos de unión entre las unidades de función (pie protésico, articulación de rodilla, articulación de cadera, encaje) de la prótesis modular de pierna. La característica más importante es el *elemento de unión ajustable*, que abarca en la apertura del adaptador con los cuatro tornillos de ajuste el núcleo en forma de pirámide.

Los adaptadores se denominan como **elementos estructurales**. En primer lugar realizan la unión y determinan la resistencia de estructura de la prótesis.

Según el peso del paciente se clasifican en:

*Clase de estructura 1 = rojo, hasta 75 kg.*

*Clase de estructura 2 = amarillo, hasta 100 kg.*

*Clase de estructura 3 = verde, hasta 125 kg.*

"Los adaptadores para un peso hasta 75 kg. son de metal ligero y anodizados de color rojo. Los adaptadores de acero y titanio para un peso máx. de 100 kg. ó 125 kg. son señalados con pegatinas de color amarillo o verde. Para más posibilidades de ajuste disponemos de adaptadores dobles, excéntricos y desplazables. Para aumentar el confort se aconseja el adaptador de giro para una mejor posición de sentado y el adaptador de torsión para un giro elástico".<sup>17</sup>

**RODILLAS MODULARES OTTO BOCK** (Anexo 24)

Es muy importante la función de las articulaciones mecánicas de rodilla en la protetización. En la **fase de balanceo** la seguridad de la rodilla tiene preferencia lo que significa que al dar el paso, la rodilla no se debe doblar. Durante la **fase de impulsión** el movimiento de la pantorrilla de la prótesis tiene que estar controlado.

Las posibilidades técnicas para **asegurar la fase de balanceo** se extienden desde la articulación bloqueada, sobre todo en la protetización geriátrica, y articulaciones con freno dependiendo de la carga y diseños policéntricos hasta la rodilla Active Line con hidráulico SNS Mauch. Destaca la rodilla EBS 3R60 para una seguridad adicional. (Anexo 25)

Para el **control de la fase de impulsión** se emplean impulsores elásticos, los que actúan independientemente de la velocidad del movimiento. Las unidades neumáticas e hidráulicas de amortiguación realizan resistencias de movimiento dependiendo de la velocidad, y se adaptan al ritmo de la marcha del paciente.

La elección de la articulación adecuada depende de la altura de la amputación, condiciones del muñón, actividad y peso del paciente. También es importante la combinación con el pie protésico.

La rodilla **EBS 3R60** se aconseja para un peso máx. de 100 kg. y con actividad media. Es apta también para pacientes dinámicos por el control hidráulico de la fase de impulsión.<sup>18</sup>

Como se ha podido observar, en el material analizado existe inmersa no solo una alta tecnología, sino también material para usos muy específicos, dependiendo de la función, el peso, el área, etc. del paciente.



Por todo ello, podemos concluir que no solo es un ejemplo claro de la aplicación práctica y especializada de la Ingeniería Avanzada, sino que además lleva implícito un alto costo de materiales, tecnología y equipo (la prótesis mas completa, para un amputado de cadera y con la mas alta tecnología es de 80,000 pesos precio directo del fabricante). Esto puede ser considerado como una de sus pocas desventajas porque hace difícil el acceso a un gran número de pacientes que carecen de recursos económicos.

### 3.3.2 Extremidades Superiores.

Se habla en general de los brazos del cuerpo humano, los mismos que sirven al hombre para realizar gran parte de sus tareas cotidianas, desde las de subsistencia como el comer, hasta las de producción como el trabajo. La gama para la prototización de amputaciones en la extremidad superior es muy amplia y orientada para la práctica.

En conjunto, esta parte, cubre toda la gama incluyendo las prótesis híbridas (codo accionado por tracción y mano mioeléctrica). Comenzaremos con las manos y las pinzas gancho, incluyendo los elementos de unión hasta las articulaciones de hombro.<sup>18</sup>

#### MANOS ESTÉTICAS (Anexo 26)

Algunos pacientes prescinden conscientemente de funciones activas de una prótesis de brazo y exigen mucho referente a la forma, el aspecto, el confort, el peso y la facilidad de uso.

Las manos estéticas por su aspecto natural dan gran importancia a la reposición de su imagen. Las manos estéticas constan de mano interior y guante estético.

El guante estético por su forma, color y estructura superficial, se asemeja detalladamente a la mano natural. Existen 43 modelos para niños, señoras y caballeros en 18 tonalidades diferentes.

#### MANOS DE SISTEMA (Anexo 27)

La mano de sistema está orientada a las exigencias estéticas y funcionales del paciente. Se componen de tres partes: el esqueleto con mecánica, la mano interior dando forma y el guante estético para facilitar funcionalidad y un aspecto natural.

La función del prensado depende de la construcción de la mecánica: Para prótesis estéticas se emplearán **manos pasivas de sistema**. Se abrirán y se cerrarán automáticamente con la mano existente.

Las manos de sistema accionadas por uno o dos tiros pertenecen a las prótesis accionadas por tracción o los "brazos de prehensión activa" y se controlaran a través de un correaje.

"La mano de sistema accionada por un tiro se abrirá voluntariamente por tracción y se cerrará automáticamente. La mano de sistema accionada por dos tiros se bloquea en cada posición de prensado (con cada movimiento de tracción se aumentará la fuerza de prensado) y con el siguiente movimiento se desbloquea y la mano queda abierta. La unión con el antebrazo se realiza mediante el pivote roscado o en caso de muñones largos mediante el chasis. La mano interior de sistema reviste la mecánica y da forma al guante estético. Esta se elige según el tamaño de la mano interior y se suministra en 18 diferentes tonalidades".<sup>20</sup>

#### PINZAS GANCHO PARA PRÓTESIS (Anexo 28)

En prótesis accionadas por tracción se puede emplear en lugar de una mano de sistema también una pinza gancho como elemento de prensado. La apertura es voluntaria por tracción del correaje y se cierra mediante elementos de resorte o de goma.

#### MANOS CONVENCIONALES /APARATOS DE TRABAJO (Anexo 29)

A pesar de toda la técnica moderna y los diseños nuevos, algunos pacientes no quieren prescindir de las manos tradicionales.

Existen manos acreditadas de fieltro y de cuero en diferentes versiones, así como la mano accionada por tracción de Hufner, incluyendo los elementos correspondientes de unión.

En los aparatos de trabajo están indicados también las *piezas de función* para la unión con las muñecas protésicas, así como los *aparatos adicionales*, como por ejemplo, accesorios para el volante.<sup>21</sup>

### MUÑECAS, PIEZAS DE UNIÓN (Anexo 30)

Con diferentes versiones de articulaciones de muñeca se realiza la conexión entre la mano protésica y el encaje del antebrazo. Las articulaciones de muñeca serán montadas al antebrazo y reciben los elementos de enganche de las manos o de las pinzas gancho.

Según la función y posibilidades de conexión, se ha realizado la clasificación del sistema de muñecas con y sin fricción.

### PREFABRICADOS CODO (Anexo 31)

Existen diferentes prefabricados de codo para prótesis de brazo estética o accionada por tracción. La gama incluye el prefabricado para niños, los sistemas con bloqueo pasivo del codo o el bloqueo de tracción, así como el bloqueo móvil de tracción y la ayuda dinámica de flexión. Con este nuevo diseño se puede acumular la energía utilizada en la extensión y se puede aplicar como ayuda en la flexión. En especial es apto para la prototización con una prótesis híbrida, es decir, en conjunto con una mano eléctrica de sistema, consiguiendo un alto confort.<sup>22</sup>

### ARTICULACIONES DE HOMBRO (Anexo 32)

Para amputaciones en la zona del hombro, son aptos generalmente sistemas de prótesis estética y funcional. En caso de amputaciones más severas, se dificulta el control de la prótesis.

Las articulaciones de hombro permiten movimientos en dos planos. Se unen con el brazo protésico mediante adaptadores.

### PREFABRICADOS MODULARES DE BRAZO (Anexo 33)

Empleando el sistema modular se pueden fabricar prótesis de brazo estéticas y funcionales. El aspecto natural de la prótesis modular se consigue por medio del revestimiento de espuma, que se conforma individualmente.

Los prefabricados modulares de brazo de Otto Bock destacan por las siguientes ventajas: Diferentes posibilidades de combinación por prefabricados de norma; Determinación según indicación y función; Adaptación individual por fácil ajuste; Sistema de módulos intercambiables y Aspecto natural por el revestimiento de espuma en combinación con el guante estético.<sup>23</sup>

### CORREAJE DE TRACCIÓN Y ACCESORIOS

Las prótesis accionadas por tracción se accionan por medio de correajes. El accionamiento de los movimientos de prensado de la mano o de una pinza gancho, de una prótesis de antebrazo se realiza mediante el correaje de tracción.

"En amputaciones más elevadas habrá que utilizar correajes de hombro parcialmente elásticos. Con el correaje triple se accionan los cables de tiro, la flexión y el bloqueo de la articulación de codo. Para estas funciones, el paciente tiene que

realizar determinados movimientos del muñón y del cinturón escapular. Un correaje bien ajustado y el correcto entrenamiento del paciente son necesarios para la óptima función de la prótesis de brazo.<sup>24</sup>

Las prótesis contemplan no solo el aspecto estético, sino el funcional. Podemos ver que cada vez más estas prótesis conllevan un adelanto técnico sofisticado tendiente a lograr suplir las deficiencias corporales con un mayor rango de efectividad, a similitud de la función natural que realiza el órgano.

Por último, cabe mencionar que el componente que conduce la electricidad en manos y codos mioeléctricos es oro de 24 quilates, ofreciendo grandes ventajas como poca resistencia a la conductividad, evitando así la corrosión del mismo, pero por otro lado, el costo de la prótesis se eleva de una manera estratosférica, dificultando así su comercialización. (Precio directo del fabricante, aprox. 160,000 pesos)

### 3.4 TRASPLANTES

Se dice que trasplante es: "La sustitución quirúrgica de un órgano lesionado por otro sano procedente de un donante."<sup>25</sup>

Según algunos autores cuando se realiza un trasplante, se deben de respetar las conexiones vasculares y nerviosas del órgano trasplantado. Así mismo, es necesario saber que exista compatibilidad entre donante y receptor pues el organismo tiene un complejo mecanismo inmunitario frente a tejidos extraños, lo que provoca el síndrome de rechazo.

El trasplante de una persona a otra se denomina **homotrasplante**, en cambio cuando éste se realiza entre un hombre y un animal se denomina **xenotrasplante** o **heterotrasplante**.

### 3.4.1 El Corazón.

El corazón forma parte del sistema cardiovascular del cuerpo humano. Dicho sistema incluye una estación de bombeo, el corazón; un fluido que trabaja, la sangre; y un complejo sistema de ductos, canales y vasos sanguíneos.

#### LA SANGRE: UN FLUIDO QUE TRABAJA<sup>26</sup>

La sangre es una suspensión compleja y heterogénea formada por elementos como células sanguíneas y hematocitos y coloreada en rojo por una sustancia llamada plasma. Se calcula en aproximadamente  $8 \pm 1\%$  del total del peso del cuerpo, aprox. 5200ml.

La sangre tiene una densidad de  $1.057 \pm 0.007\text{g/cm}^3$ , y es de 3 a 6 veces mas viscosa que el agua. Los hematocitos tienen tres tipos básicos de elementos: los elementos de sangre roja llamados *heritrocitos* que totalizan aprox. el 95% del total de los hematocitos, los *trombocitos* que son aprox. el 4.85% y los de sangre blanca, los *leucocitos*, que constituyen aprox. el 0.15%.

La función primaria de los *heritrocitos* es ayudar al transporte de los gases en la sangre, aproximadamente entre el 30 y el 34% de cada célula contiene oxígeno y dióxido de carbono, también, llevan proteínas en la hemoglobina ( $64,000 \leq \text{MW} \leq 68,000$ ), así como una pequeña porción que contiene anhídrido carbónico que catalizan la formación reversible de ácido carbónico en dióxido de carbono y agua. La función primaria de los *leucocitos* es ayudar al cuerpo humano a no dejar pasar sustancias extrañas que pueden ocasionar infecciones en el organismo y la de los *trombocitos* es la de participar en el proceso de revestimiento de la sangre.



### EL CORAZÓN: UNA ESTACIÓN DE BOMBEO<sup>27</sup> (Anexo 34)

El corazón es la bomba encargada de llevar la sangre por los vasos sanguíneos hacia todo el cuerpo gracias a la contracción de sus paredes, es un órgano muscular impar y hueco que mide de 12 a 13 cm. de la base a la parte superior y de entre 7 a 8 cm. de ancho y con un peso aprox. de 0.75 lb. (aprox. 0.474% del peso del individuo o mas o menos 325 gr.). Ocupa una pequeña región de entre la 3a. y la 6a. vértebra en la porción central de la cavidad torácica entre ambos pulmones.

El corazón tiene forma cónica y está dividido en cuatro cavidades: 2 superiores (*aurículas*) y 2 inferiores (*ventrículos*). La aurícula de cada lado comunica con su ventrículo correspondiente por medio de un orificio auriculoventricular, dotado de una válvula para impedir el reflujo de la sangre. La válvula auriculoventricular derecha se denomina *tricúspide* de diametro mas grande que la izquierda, la válvula *mitral*. Igualmente existen válvulas en el nacimiento de los vasos que reciben la sangre en el movimiento de la *sístole* (expulsión de la sangre). Debido a la proximidad de este con los pulmones, el lado derecho del corazón trabaja a una presión baja de  $P \leq 40$  mmHg; en cambio el lado izquierdo trabaja a mayor presión  $P \leq 140$  mmHg o mas.

Las paredes cardíacas están formadas por tejido muscular, llamado *miocardio*, interiormente tapizadas por el *endocardio*. El corazón está envuelto por una serosa llamada *pericardio*. Existe también otro movimiento en el cual el corazón se dilata llamado *diástole* (succión de la sangre).

En 1991, Dawson calculó que el **Volúmen de Expulsión Sanguínea (VES)** en mililitros por minuto (ml/min), el cual es proporcional al Peso (W) en kilogramos de cada individuo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$VES = 224W^{3/4}$$

los **Latidos de un Corazón Normal (LCN)** en latidos por minuto (lat/min), también proporcionales al peso del individuo vienen dados por la fórmula:

$$\text{LCN} = 229W^{-1/4}$$

y el **Volúmen por Latido (VL)** en mililitros por latido (ml/lat), igualmente proporcionales al peso:

$$\text{VL} = \text{VES}/\text{LCN} = 224W^{3/4} / 229W^{-1/4} = 0.976W$$

Por ejemplo, para un caso típico de una persona de 68.7 kg con un volúmen sanguíneo de 5,200 ml, sus particulares serían:

$$\text{VES} = 5,345 \text{ ml/min}$$

$$\text{LCN} = 80 \text{ lat/min}$$

$$\text{VL} = 67.2 \text{ ml/lat}$$

Asumiendo que un individuo viva 75 años, su corazón habrá bombeado alrededor de 3.1536 billones de veces, lo que hace un total de 210,692 millones de litros de sangre o 55,675 millones de galones por día vaciados hacia el sistema circulatorio, que como ya mencionamos, **consta de un complejo sistema de ductos, canales y vasos sanguíneos** con un total de aprox. 200,000 km de cañerías, constituyendo el sistema vascular del cuerpo humano.

Como podemos observar, realizar un trasplante de corazón ("Intervención quirúrgica consistente en la sustitución del corazón gravemente dañado por el de una persona recién fallecida" <sup>28</sup>), no es nada fácil. Aun así, existen ya varios de ellos.

A veces el corazón sufre daños irreversibles por causas muy diversas, como puede ser el caso de los adultos de edad avanzada que no responden a determinados tratamientos.

El primer trasplante de corazón se efectuó por el médico Cristian Barnard Neethling de origen sudafricano, quien lo realizó en 1967 entre dos seres humanos.

Uno de los países en donde se producen un mayor número de trasplantes es en Estados Unidos. Para 1993 se llevaron a cabo 2,298, en 1994 se realizaron 2,340 y para 1996 se efectuaron 2,520 de ellos.

En general, se puede decir que en el mencionado país se benefician cada año alrededor de 16,000 americanos de 55 años o menos. En cambio, en la población cuya edad sea mayor, la cantidad asciende hasta casi 40,000 casos.

En los Estados Unidos, el 78.5% de los trasplantes son en mujeres; el 81.7 son blancos; el 51% están entre los 50 y 64 años de edad; en cambio solo el 23.3% se da entre los 35 y 49 años de edad.<sup>29</sup>

Como es lógico y en el caso de los países altamente desarrollados, la posibilidad de supervivencia disminuye en la medida que transcurre el tiempo de la operación.

30 días - 91.8%

1 año - 82.4%

2 años - 78.3%

3 años - 74.6%

En México, existe el llamado Registro Nacional de Trasplantes cuyo director es el Dr. Dib Kuri, quien señaló que hasta Julio de 1997 se han llevado a cabo 50 trasplantes de corazón.<sup>30</sup>

Añadido también, que el problema en México no es tanto la tecnología, pues se está a la altura de los países desarrollados, sino la falta de órganos para trasplante. Lo que se busca es que la gente sepa que puede contribuir al desarrollo de los trasplantes y que hay un órgano oficial regulador de esta actividad y que todas las instituciones de salud están unidas para buscar la mejor calidad en el área. La sobrevivencia de las personas trasplantadas también ha mejorado notablemente en los últimos años. Esto se ha debido en gran parte a la aparición de inmunosupresores más potentes y específicos como "el FK-506 o Prograf, la rapamicina y el micofenolato", señala el especialista. También se debe a un mejor conocimiento de los mecanismos de rechazo, al desarrollo de sistemas para vigilar el proceso de rechazo y a las nuevas formas de diagnóstico de infecciones en los pacientes trasplantados.

Por otra parte, cabe señalar que en un trasplante cardíaco es muy importante la inserción del corazón del receptor en el sistema de circulación extracorpórea. A continuación, describiremos el proceso que se lleva a cabo durante un trasplante:

La sangre venosa es desviada mediante catéteres introducidos en la aurícula derecha. El drenaje se realiza con un aspirador (9) que lleva la sangre al depósito de acumulación (8) para ser bombeada a la cámara de oxigenación por burbujas elevando su presión de 40 a 140 mmHg (1). Una vez liberada de las microburbujas se acumula en el serpentín (2) de donde irá en parte a irrigar el corazón del donante y en parte al transformador de calor, en el sistema arterial del paciente (10). Las bombas (3, 4, 5, 6, 7) aseguran la circulación, mantienen la presión y evitan el retorno sanguíneo. Antes de efectuar el trasplante es imprescindible establecer en ambos corazones las conexiones pertinentes con el sistema circulatorio extracorpóreo. Arriba, el corazón del receptor y las conexiones (izquierda) con el sistema pulmonar. Los catéteres para la circulación de la sangre venosa pasan a través de la aurícula derecha. Al lado se representa lo que queda de los atrios, la aorta, y de la arteria pulmonar tras la extirpación del órgano. Abajo, el corazón del donante, con las conexiones entre éste y el oxigenador. Las venas cava superior e inferior, la arteria pulmonar y la aorta serán seccionadas. A la derecha, el corazón ya extirpado. (Anexo 35)

### 3.4.2 El Páncreas.

El páncreas es "una glándula anexa del aparato digestivo, situada en la cavidad abdominal por detrás del peritoneo. Se distinguen tres partes: *cabeza, cuerpo y cola*. La cabeza está rodeada en su mayor parte por el duodeno, al que vierte el jugo pancreático a través de sus conductos excretores. El páncreas tiene carácter endocrino, y por medio de las estructuras celulares llamadas islotes de Langerhans segrega la insulina y el glucagón".<sup>31</sup>

La deficiencia en la segregación de la insulina trae como consecuencia la enfermedad llamada **diabetes**.

La diabetes se clasifica en diabetes mellitus, cuyo tratamiento generalmente es con el apoyo de medicamentos y una dieta adecuada y personalizada; y por otra parte la llamada insulino dependiente, cuyo tratamiento requiere de la aplicación periódica de inyecciones de insulina.<sup>32</sup>

A pesar de algunos problemas sumamente complicados, se ha logrado la sintetización de la Insulina siendo un grupo de científicos alemanes (**Hoechst**) los que nos han llevado al punto en donde la sintetización comercial es factible.<sup>33</sup>

Uno de los problemas principales que presenta la terapia mediante medicamentos para la diabetes, ya sea que se utilicen la insulina u otros agentes, consiste en que el tratamiento no proporciona el equilibrio que requieren minuto a minuto, las necesidades metabólicas del cuerpo, las cuales cambian de manera constante. Normalmente, el páncreas y el hígado cumplen con las exigencias del cuerpo conforme van ocurriendo, liberando únicamente la suficiente cantidad de glucosa, glucagón y somatostatina para mantener el cuerpo en condición estable. Lamentablemente, es imposible efectuar una regulación tan fina con la insulina inyectada o con otros medicamentos antidiabéticos. Es por esto que hasta la fecha no es posible realizar el control perfecto de la diabetes. Por más cuidadoso y experto que

sea el tratamiento, habrá momentos en que el nivel de azúcar en el paciente será un poco elevado o un poco bajo, dependiendo del horario y de la dosis del medicamento administrado, del horario y del contenido de la última comida, de la actividad física y de la tensión.

### TRASPLANTES PANCREÁTICOS E ISLETAS DE LANGERHANS

Teóricamente, la mejor solución para el paciente que depende de la insulina sería un páncreas nuevo. Esto lo intentó a fines de 1966 el doctor R. C. Lillehel y sus colegas en la Universidad de Minnesota, siendo los primeros en lograrlo.<sup>34</sup>

En la actualidad, en México, hasta diciembre de 1996 se habían trasplantado 15 páncreas según el Registro Nacional de Trasplantes.

Algunos científicos han demostrado que no es necesario trasplantar todo el páncreas, el cual, como también secreta las enzimas digestivas que necesitan ser apartadas, generaban problemas quirúrgicos adicionales. En cambio, demostraron que bastaba trasplantar las isletas de Langerhans, las cuales podían de hecho inyectarse.

"Algunos de los trabajos más importantes en este campo fueron realizados por el doctor P. E. Lacy y su grupo en la Universidad de Washington en San Luis, el doctor C. F. Barker en la Universidad de Pensilvania, el doctor J. Brown en UCLA, y el doctor J. S. Najarian en la Universidad de Minnesota."<sup>35</sup>

La tasa de recuperación fue baja, con un promedio de un poco menos de cuatrocientos cincuenta isletas recuperadas del páncreas de una rata, la cual normalmente contiene aproximadamente quince mil isletas. Ya que se utilizan por lo general entre quinientos y dos mil cuatrocientas isletas para cada inyección experimental, el problema se hace evidente.

Aunque casi todo el trabajo se ha realizado en animales, tanto Lacy como Najarian han aislado las isletas humanas. *El páncreas humano contiene aproximadamente 1,000,000 o más de isletas y se calcula que se necesitan entre 50 y 100,000 para un injerto.* Najarian inyecta las isletas directamente en el peritoneo, procedimiento que requiere de un mayor número de isletas que en la vena porta, pero no involucra la incisión quirúrgica para exponer esta vena. Se han hecho injertos en algunos pacientes diabéticos y los resultados iniciales parecen ser sumamente prometedores.

### 3.4.3 El Riñón

El riñón es "un órgano par situado en el abdomen, a cada lado de la columna lumbar, detrás del peritoneo. De forma oval, está constituido por un polo superior y otro inferior, una cara anterior y otra posterior. Tiene una escotadura en su borde interno que corresponde al *hilio*, por el que entran y salen vasos y nervios y por donde, a su vez, sale el *uréter*. La función del riñón es regular la composición y el volumen de los líquidos y electrolitos del organismo mediante la formación de orina."<sup>26</sup>

Una de las funciones del riñón de un ser vivo consiste en eliminar del cuerpo ciertas sustancias residuales potencialmente dañinas, tales como la urea, que es sumamente soluble en agua, y liberarse de ellas en forma de una solución relativamente concentrada, que es la orina. La mayor parte del agua, junto con otras sustancias que el cuerpo necesita, tales como la glucosa, vuelven a ser reabsorbidas por el torrente circulatorio, dejando sólo las sustancias de desecho, en la solución lista para ser excretada.

Si por una u otra razón los riñones resultan desproporcionados para realizar esta tarea, puede no tener lugar esta filtración. Esto significa que el paciente no es capaz de producir orina o sólo una pequeña cantidad, y como resultado de ello, la concentración de sustancias dañinas va aumentando progresivamente en la sangre. Si este estado de cosas se deja que se prolongue durante un cierto tiempo, el paciente morirá.

"El primer riñón artificial de aplicación práctica fue hecho por una persona de nombre Kolff, quien estaba trabajando en la parte ocupada de Holanda, durante la Segunda Guerra Mundial. Al verse enfrentado con un caso de fallo renal, hizo un drenaje en una arteria obligando a pasar la sangre del paciente a través de un largo tubo de celofán, en el cual se la sometió a un proceso de filtración comparable al que proporciona el riñón sano y luego se la hacía volver a una vena. El tubo de celofán a través del cual se hacía circular la sangre se enrollaba en torno a un cilindro giratorio



sumergido en un baño que contenía principalmente agua, pero también una serie de electrolitos en la misma concentración que se encuentran normalmente en la sangre. El celofán era permeable a las sustancias de bajo peso molecular, tales como la urea, pero no a aquellas otras de peso molecular elevado, como las proteínas. Por ello, al pasar la sangre a lo largo del tubo, la urea y otras sustancias no deseables eran capaces de pasar a través de la pared de celofán hasta llegar a la solución acuosa (el líquido contra el cual se hacía la diálisis) que estaba en el baño, mientras que las sustancias que se hallaban en la misma concentración en ambos lados del celofán no cambiaban su concentración. Como el volumen de fluido que había en el baño era grande, resultaba posible mantener un gran gradiente de concentraciones entre la sangre que estaba en el tubo y el líquido de diálisis que había en el baño. De esta manera la sangre se iba lavando literalmente, desprendiéndose de las sustancias que habrían sido normalmente eliminadas por la orina. Conviene hacer notar también que, manipulando las concentraciones de los electrolitos presentes en el líquido de diálisis y aumentando el gradiente de presiones del fluido sobre la membrana, resulta también posible retirar agua de la sangre del paciente. Esto es muy importante, en vista de que su función de mantener en el cuerpo el agua necesaria se ve alterada por esta incapacidad de pasarla a la orina".<sup>37</sup>

La mayor parte del progreso realizado ha tenido lugar siguiendo dos líneas. En primer lugar se han utilizado materiales más duros para la fabricación de las membranas, con lo cual éstas pueden ser más delgadas y más permeables. Todos estos avances significan que pronto se logrará alcanzar con una pequeña superficie de membrana el mismo ritmo de diálisis, e incluso se conseguirá una **velocidad** mayor.

En segundo lugar, implica reducir el volumen interno de los riñones artificiales, reduciendo de esta manera, en la proporción correspondiente, el volumen de sangre que se necesita para purgarlos.

En el caso de los riñones, cabe mencionar que tan solo en nuestro país, para diciembre de 1996, se han llevado a cabo 7,000 trasplantes, según el Registro Nacional de Trasplantes.

Si bien en la parte de prótesis, que analizamos en éste mismo capítulo, podemos observar que existe una amplia participación de la Ingeniería de Avanzada en su aplicación a la medicina, en ésta última parte, la de Trasplantes, su aplicación es mucho más reducida, pero no nula, debido a que se puede apreciar el uso de bombas, aspiradores, transformadores de calor, etc., para poder realizar adecuadamente los Trasplantes.

### 3.5 IMPLANTES (Anexo 36)

El término Implante, viene del verbo implantar, que significa insertar o fijar un elemento anatómico en otro.<sup>38</sup>

Mucho más modernamente, podríamos señalar que un implante es la integración de sistemas inteligentes en el cuerpo humano, ello es debido a que la tecnología cada vez más avanza más rápidamente.

El primero en buscar suplir deficiencias con mecanismos fue el médico estadounidense Paul M. Zoll, que en el año 1952 implantó el primer marcapasos a un hombre de 72 años, un pequeño generador eléctrico capaz de regular el ritmo cardiaco de los pacientes con problemas de corazón.<sup>39</sup>

Se ha conseguido ya implantar brazos que no sólo sienten la presión, sino que también notan el calor y el frío.

La tecnología avanza tan rápidamente que se habla de técnicas nuevas cada poco tiempo. Algunos investigadores proponen métodos no invasivos, es decir, los fundados no en la implantación de elementos, sino en cuidados a distancia aplicados por apoyos de una nueva clase, las microondas.

El desarrollo de nuevos materiales permitirá la aparición de nuevos órganos artificiales, como por ejemplo falsos músculos realizados con materiales retráctiles u órganos híbridos compuestos, a la vez, por células vivas y *chips* electrónicos.

Un nuevo horizonte aparece con estas investigaciones: se habla de la microtecnología, pero también de la nanotecnología. Pronto será posible enviar sondas inteligentes a la sangre capaces de medir el espesor de las paredes vasculares mediante ultrasonidos y de practicar operaciones.

El factor constante en todos estos avances es el hombre, que investiga estos procesos y, a la vez, se beneficia de ellos.

### 3.5.1 Los Tetrapléjicos (Anexos 37-38)

Podría suceder quizás en unos años: parte de los miles de enfermos parapléjicos y tetrapléjicos que viven en el mundo- un número grande de accidentados, por ejemplo, se ve obligado a utilizar sillas de ruedas- podrían beneficiarse de las investigaciones que se están realizando para que, ayudados por bastones, vuelvan a caminar.

Los que padecen esta enfermedad están afectados por una lesión en la médula espinal. Una de las soluciones, la más prometedora, es reactivar los músculos situados cerca de la lesión con una corriente eléctrica. El problema es que este método requiere poner los electrodos en cada utilización.

La respuesta va más allá: implantar, en el interior del cuerpo, una cajita electrónica capaz de enviar a los músculos la corriente de estimulación, ya sea por electrodos situados alrededor de los nervios o de los fascículos -haz de nervios que tienen el mismo origen y destino- representantes de una parte del tronco, o mediante electrodos situados en los músculos. Todavía llevarían bastones para mantener el equilibrio, donde se situarían unos botones que accionarían el dispositivo.

Este importante avance se aplicará durante 1996 a 6 pacientes de 6 países de la Unión Europea. Nueve meses más tarde, se revisará el proceso y se harán nuevos implantes para intentar poner fin a ésta discapacidad.<sup>40</sup>

### 3.5.2 Una Retina Artificial (Anexo 39)

En 1990 un equipo de oftalmólogos de la Universidad John Hopkins, de Baltimore, Estados Unidos, dirigido por Eugene de Juan, trabaja en un ojo artificial junto con investigadores de la Universidad de Harvard. Poco antes, Mark Humay, un estudiante de Hopkins, le preguntó si se podría imaginar una retina artificial sobre el mismo modelo de implante coclear (oído artificial).

El ojo es una especie de burbuja vacía cuya pared interna, la retina, esta dotada de fotorreceptores que captan las imágenes y las transforman en señales eléctricas en dirección al nervio óptico. Si los oftalmólogos perciben, mediante tests, algunas respuestas eléctricas, esto significa que el sistema ocular funciona a pesar de las dificultades de visión de los pacientes. Si el invidente percibe manchas de color, esto revela que las células secundarias están vivan y existe alguna esperanza.

El Profesor De Juan, hasta la fecha trabaja en éste proyecto con el fin de traducir la realidad exterior en señales eléctricas destinadas a las capas externas de la retina. Se trataría de captar los objetos exteriores con ayuda de una minicámara con control de imagen y, después, de transplantar ésta imagen eléctrica sobre el fondo de la retina. Pero el proyecto representa multitud de problemas, ya que el chip electrónico que captaría toda esa información sería implantado en el interior del ojo y conectado con la retina con la ayuda de varios electrodos. Los problemas de miniaturización pueden solventarse, pero los más complicados son los relacionados con la fragilidad de la retina. Los intentos realizados en éste sentido son los menos avanzados, y los investigadores son conscientes de que todos éstos proyectos pueden crear falsas esperanzas a los invidentes.<sup>41</sup>

### 3.5.3 El oído (Anexo 40)

Vivir en un mundo de silencio aboca a los sordos al aislamiento. Hoy el implante coclear les sirve para que puedan definitivamente comunicarse con el mundo exterior, pero hay que comprender la extrema complejidad de nuestro órgano auditivo para dar a este implante la importancia que se merece.

Cada sonido es una vibración mecánica que pasa por el tímpano, y en el oído interno se convierte en señales eléctricas que son enviadas al nervio auditivo (el rango de audición en un joven saludable va de 20 a 16,000 Hertz). Esta transformación eléctrica es crucial, ya que el 93% de las sorderas están ligadas a la destrucción del órgano de Corti, que es justamente el transformador de nuestro oído.

Desde los años 50's se sabe que un electrodo implantado en el oído permite a la persona entender los sonidos, pero la gran dificultad estribaba en transcribir con precisión todos los sonidos del mundo exterior. Según la zona estimulada, el nervio auditivo entiende un sonido agudo, grave o medio, cuya intensidad puede variar en una conversación telefónica, por ejemplo, entre 50 y 3,500 Hertz.

La prótesis debía incluir entonces de 12 a 15 electrodos separados entre sí para conseguir que se oyeran todos los tonos, los cuales difieren en la frecuencia hasta en un 0.3%. Era difícil conseguirlo. En 1984 se dio el visto bueno para el uso de éstos implantes, en los 90, y hasta la fecha, el paso definitivo.

El implante coclear es una microcomputadora que situada en la parte más profunda del oído reemplaza parcialmente el órgano, tiene 22 tonos de estimulación dentro de la escala del tímpano del oído donde se provoca una excitación que llega al cerebro mediante los nervios auditivos, ya son miles las personas que los llevan en todo el mundo. Los resultados son satisfactorios: más del 90% de los sordos totales recobra la facultad de oír. Pero, ¿Qué entienden las personas implantadas?. Los

sonidos que perciben son diferentes y el lenguaje que comprende puede compararse a una lengua extranjera en la que aprenden a identificar los sonidos.<sup>42</sup>

Ahora, en 1997, se está investigando para amplificar los sonidos mediante un conjunto de 15 filtros diferentes. Las frecuencias de señal se transformarán en bandas por medio de filtros análogos y digitales, la frecuencia de voz y la 1a. y el 2o. formato de frecuencia se filtra digitalmente mientras que las frecuencias de alrededor de 2KHz se filtran con un 3er. filtro análogo que ayuda para homogeneizar el sonido de donde se asocian con los nervios auditivos para ser llevados al cerebro.

La amplitud de pulsación puede variar de 15  $\mu\text{A}$  a 1.5 mA; en un tiempo de 200 a 400  $\mu\text{s}$ . Dos combinaciones se usan para determinar la frecuencia de repetición de la pulsación lo que es equiparable a la frecuencia de voz cuyo estandar es aprox. 250 Hz. Así, la electrónica ayuda a que los sordos se alejen cada vez más de su mundo silencioso, y en donde podemos apreciar la significación de la Ingeniería de Rehabilitación.<sup>43</sup> (Anexo 41)

### 3.5.4 Minibomba de insulina (Anexo 42)

Cuando hablamos de diabéticos nos imaginamos a personas permanentemente ligadas a su jeringuilla con insulina, pero no todos son insulino dependientes. Estos solo representan el 10% de los enfermos.

La enfermedad consiste en la imposibilidad del páncreas de producir insulina, hormona que permite al organismo utilizar su carburante: la glucosa que circula por el cuerpo. Sino la fabrica, la tasa de azúcar en sangre se eleva y puede provocar un coma mortal. La solución es inyectarse insulina cada cierto tiempo, con lo que el enfermo no tiene más remedio que vigilar su nivel de glucemia. Pero las inyecciones de insulina reproducen imperfectamente la actividad del páncreas.

En los años 80's se creó la bomba externa, un aparato programable, no mayor que un paquete de cigarrillos, que se une al cuerpo con una aguja implantada en la piel y permite difundir constantemente un caudal reducido de insulina. Aunque el sistema parecía estar en su apogeo, dos investigadores Americanos afinaron el aparato y crearon en 1989 la bomba implantable. Consiste en un catéter que, instalado en la cavidad peritoneal, cerca del Páncreas, difunde la insulina para que se absorba al instante y emita su dosis de forma muy precisa.

Para que sea perfecta, solo se necesita que pueda medir también la tasa de glucemia y difundir la insulina según el índice obtenido.<sup>44</sup>



### 3.5.5 Desfibrilador Cardíaco (Anexo 43)

Entre los ataques al corazón, el más peligroso es la fibrilación ventricular. El órgano, por efecto de una caótica actividad, es incapaz de bombear sangre. El cerebro no está irrigado correctamente y, en tres minutos, muere.

Sólo hay un modo de parar la crisis: sometiendo al corazón a una descarga eléctrica que consigue que su actividad reemprenda su curso natural, con un ritmo regular.

Desde los años cincuenta, los servicios de reanimación disponen de desfibriladores que permiten enviar el shock, pero el problema reside en llegar al hospital a tiempo.

Un cardiólogo de origen polaco, Michel Mirowski, ha ideado un producto revolucionario: un desfibrilador implantable capaz de vigilar permanentemente el ritmo cardíaco y de enviar, a los primeros síntomas de fibrilación, una descarga de 700 u 800 voltios a través del corazón.<sup>46</sup>

### 3.5.6 El Corazón Artificial (Anexo 44)

Las virtudes del corazón artificial son ya muy conocidas en todo el mundo, ya se oye hablar de esa bomba de resina y titanio implantada y portátil, capaz de ayudar a un órgano deficiente.

Unas 350 personas se han beneficiado de éste sistema, el Novacor, que de momento es una solución para los pacientes que esperan un trasplante. Hasta ahora, quienes llevaban un corazón artificial en espera del mismo, tenían enganchado en banderola a la cintura un aparato que pesaba 5 kilos y resultaba bastante molesto.

El nuevo sistema Novacor, el cual será implantado de manera permanente (es un implante porque ayudará al corazón a realizar eficientemente sus funciones), concluyó su fase experimental en el año de 1996, siendo utilizado en la actualidad por más de 300 personas en todo el mundo. Es muy cómodo para el enfermo y una alternativa para el problema de las donaciones. Este diminuto controlador se sitúa en el abdomen, cerca de la bomba, y la energía es dispensada, no por un cable, sino directamente a través de la piel. El principio se basa en dos cinturones, uno exterior, dotado de batería, y otro interior, cargado por el primero. Este corazón ofrece la ventaja de que no es rechazado y de que se puede implantar a cualquier edad, pero su costo es muy elevado (15 mil dólares aprox.).<sup>46</sup> (Anexo 45)

Cabe destacar que el próximo paso, y ya en fase experimental, es un corazón artificial el cual no sería implantado sino trasplantado, debido a que es necesario quitar el corazón dañado y trasplantar el corazón artificial, el cual es más pequeño que una toronja, el Abiomed TAH, el cual consiste en dos bombas pulsátiles calçadas de las principales cámaras cardíacas, los ventrículos derecho e izquierdo. Éstos, así como las válvulas que abren y cierran el paso de sangre en cada latido, están fabricadas con **Angioflex**, un biomaterial muy resistente desarrollado por **Abiomed**, la compañía de Massachusetts que participa activamente en este ambicioso proyecto cardiológico.

La expansión y contracción de los ventrículos, que recuerdan a unos sacos flexibles, corren a cargo de un silencioso motor hidráulico que, al igual que el natural, sólo puede ser oído con la ayuda de un estetoscopio. La frecuencia de los latidos viene determinada por un microprocesador capaz de adaptar el trabajo de la bomba artificial a las necesidades del organismo.

El Abiomed TAH funciona con electricidad. La mayor parte del tiempo, la energía es aportada por unas baterías externas recargables que, a diferencia de las que nutren a otras bombas cardíacas, no necesitan cables ni tubos que penetren en el paciente, lo que evita el riesgo de infecciones.

Mediante un mecanismo de Inducción similar al que utilizan las cocinas modernas, la energía eléctrica se transfiere desde un transmisor externo, que se aplica sobre la piel, a un receptor implantado en el abdomen que conduce la electricidad hasta una batería interna. Hasta dentro de 2 años, como mínimo, el Abiomed TAH no será implantado en un ser humano. Para entonces, los científicos podrán saber si verdaderamente han logrado superar las principales barreras técnicas que plantean las actuales bombas artificiales.

El Cardiowest 70 TAH, que representa el 80% de los corazones sintéticos que se han implantado en todo el mundo, no tiene otro uso que servir como compás de espera al trasplante. Los portadores de este ingenio han de recibir el corazón de reemplazo antes de 3 semanas; de lo contrario, aparecen las primeras complicaciones asociadas a este tipo de órganos artificiales: sangrado de las suturas, formación de trombos peligrosos, aparición de infecciones, etc.

Los mismos problemas de biocompatibilidad se presentan en los sistemas de asistencia ventricular, aunque éstos pueden permanecer implantados durante largos periodos de tiempo. Se tienen noticias de que un estadounidense lleva viviendo dos años conectado a un dispositivo de asistencia ventricular derecha.

Aunque se superaran estas limitaciones técnicas, queda un asunto que los cardiólogos contemplan con preocupación: el económico. Se estima que el Abiomed TAH costará más de 25 mil dólares e implantarlo casi 100 mil. A esto hay que añadir un costoso mantenimiento, lo que hace más difícil, sino es que imposible el tener acceso a este tipo de tecnología en caso de que el corazón de cualquier persona "normal" fallara de repente.<sup>47</sup> (Anexos 46 y 47)

### MARCAPASOS CARDIACO (Anexo 48)

El marcapasos que regula el ritmo del corazón sano es una pequeña porción de un tejido especializado situado en la aurícula izquierda. El ritmo con el que genera los impulsos que regulan el latido del corazón está, él mismo, sujeto a influencias nerviosas. Por ejemplo, al pasar un mensaje por el nervio vago, tiende a retardar los impulsos, mientras que un mensaje que pase por otros nervios, denominados nervios aceleradores, lo hacen ir más deprisa. Esto, naturalmente, forma parte del sistema de regulación del cuerpo, que está organizado de tal forma que hace que la sangre vaya a las distintas partes del cuerpo que la necesitan, en la cantidad adecuada y a la presión debida.

Los impulsos procedentes del marcapasos natural se dispersan a través de las aurículas estimulando al músculo, pero sólo pueden comunicarse a los ventrículos a través de un haz especializado de fibras nerviosas denominado haz de His, el cual luego se extiende en forma de abanico a través del músculo de los ventrículos. Esta disposición asegura que los músculos del corazón se contraerán en la secuencia correcta, dando como resultado una acción bombeante adecuada y eficiente.

"Si fuese posible arrancar el haz de His de tal manera que los impulsos ya no pudiesen desplazarse a lo largo de él, el corazón no se pararía, como podría esperarse, sino que se pondría a latir a un ritmo mucho más lento, probablemente del orden de los 30 a los 40 latidos por minuto. La razón de esto es que cada una de las

partes del corazón tiene sus propias e inherentes propiedades rítmicas, apoderándose del control total la parte con un ritmo de latido más rápido. Según esto, el marcapasos natural, denominado nódulo sinoauricular, que posee ritmo más rápido, controla normalmente el ritmo de latido del corazón. Pero si este haz de His, que es el lazo unión responsable de que se extienda el impulso a través de todo el ventrículo, bloquea, entonces el ventrículo trabajará a su propio ritmo, mucho más lento, y consecuencia el corazón no bombeará la cantidad de sangre suficiente para circulación".<sup>29</sup>

La alternativa es dotar a esta persona de un marcapasos artificial, el cual aplicará estímulos directamente sobre el ventrículo, a un ritmo conveniente para hacer que el corazón se contraiga con una frecuencia suficiente para mantener la circulación adecuada. Las características esenciales para un dispositivo de este tipo es que haba de generar entre 70 y 90 impulsos eléctricos por minuto, cada uno de ellos de 1 o 2 voltios y de 2 milésimas de segundo de duración. Estos impulsos los pasará a los ventrículos mediante unos electrodos, uno de los cuales, o los dos, estarán conectados con el músculo del corazón. Puede diseñarse para que se tenga debajo de la cama del enfermo, utilizándose de manera temporal después de haberse diagnosticado la condición del *bloqueo de corazón* o bien, y esto es lo más común, puede diseñarse de tal manera que quede totalmente implantado dentro del cuerpo del paciente.<sup>30</sup>

Un marcapasos implantado consta, generalmente, de un circuito electrónico sencillo que genera los impulsos, un suministro de energía que deberá durar de dos a cuatro años y una cubierta externa de plástico resistente a través de la cual salen los cables electrodos que deben conectarse con el corazón. Aparte del primero de los componentes, los otros han planteado considerables problemas. Cada vez que hay que cambiar la fuente de energía eléctrica es preciso realizar una pequeña operación quirúrgica. Las baterías ahora utilizadas universalmente son del tipo de mercurio y los fabricantes han desarrollado una técnica mediante la cual es posible determinar, con una gran precisión, las posibilidades de un fallo, lo cual se consigue sometiendo las baterías a un examen con rayos X antes de incorporarlas al marcapasos.<sup>30</sup>

Han surgido problemas relativos a cómo encerrar el instrumento dentro de una cápsula, ya que el marcapasos debe pasar su vida en medio de un ambiente húmedo y templado, rodeado de líquidos con poca tensión superficial que tienen una asombrosa habilidad para introducirse a través de hendiduras y grietas, y hay que tener en cuenta que el tipo de circuito electrónico utilizado, así como las propias baterías, son muy sensibles a la penetración de la humedad. Entre los puntos que exigen una mayor atención figura la elección del tipo idóneo de plástico y evitar las tensiones que puedan originarse en un conjunto de este tipo durante el curado del plástico, tensiones que de hecho podrían llegar a romper las conexiones que existen dentro del conjunto. Puede ocurrir que el plástico más adecuado para evitar la humedad no sea uno de los que mejor aceptan los tejidos del cuerpo; entonces es preciso rodear la cubierta interior con otra capa de un segundo tipo de plástico que no reaccione con los tejidos.

Teniendo presente en la mente el hecho de que los electrodos deben ir ligados a un músculo que ejecuta un movimiento violento noventa veces por minuto y que deben durar por lo menos dos años, resulta fácil darse cuenta de que el riesgo de que se desarrollen fracturas por fatiga es considerable. De hecho, hubo un gran número de fallos en los primeros marcapasos, debido a fracturas de los electrodos. Actualmente, la práctica normal consiste en introducir los electrodos dentro de dos espirales de acero inoxidable enrolladas con sentido de rotación contrario, y esto se encierra luego en una funda de goma de silicona. Son pocas las vueltas del extremo de cada espiral que van de hecho unidas al músculo del corazón.<sup>51</sup>

Aun cuando se han conseguido electrodos que puedan resistir el ser doblados y retorcidos más de cien millones de veces, queda todavía por vencer otra dificultad. En el lugar en donde se ligan los electrodos al músculo del corazón se produce, invariablemente, un cierto grado de reacción por parte de los tejidos. Esto es causa de que se produzca un crecimiento gradual de tejido fibroso que va aumentando el aislamiento aparente del electrodo respecto al músculo viviente al que debe estimular. Por tanto, es preciso comenzar con estímulos más grandes de lo que realmente se necesita o bien comenzar con estímulos de la intensidad que se necesita y luego tomar

las precauciones necesarias para que el voltaje producido por el estimulador vaya aumentando a medida que va transcurriendo el tiempo.

Otra alternativa consiste en implantar únicamente los electrodos, un diodo rectificador y una bobina colectora, semejante a las antenas utilizadas en asociación con las radio-píldoras. El dispositivo que produce la energía puede ir albergado fuera del paciente, quedando acoplado al solenoide colector interno mediante otro solenoide primario similar, fijado a la piel. Esto tiene la ventaja de permitir que la fuente de energía pueda ser cambiada con la frecuencia requerida sin necesidad de recurrir a la cirugía. El inconveniente estriba en que ciertos pacientes consideran un suplicio psicológico el tener que depender de una pieza de un equipo externo que, al menos en teoría, podría ser eliminada, con consecuencias fatales para ellos.

El marcapasos externo ofrece además una interesante oportunidad que no presenta la variedad implantada: la de poder ligar inicialmente los electrodo al paciente, sin necesidad de una operación quirúrgica. Es posible pasar los electrodos a lo largo de la vena yugular hasta llegar al corazón y pasar luego los cables por debajo de la piel conduciéndolos hasta el punto adecuado para su unión directa con el generador de impulsos o bien conduciéndolos hasta un solenoide colector situado subcutáneamente y acoplado a un generador de impulsos.

Con los marcapasos totalmente implantados se han conseguido avances de un tipo diferente. Es una creencia general la de que la confianza total que se puede depositar en los electrodos, en las uniones del circuito y en el encapsulado, aumentarán pronto hasta el extremo de que sólo dependerá de la batería el tiempo que el artificio completo podrá permanecer dentro del cuerpo. Por esta razón son varios los equipos de bioingenieros que en distintas partes del mundo están tratando de diseñar otras posibles formas de proporcionar energía eléctrica al marcapasos. Parece ser que existe un cierto número de interesantes posibilidades, todas ellas basadas firmemente en el hecho de que sólo se necesita una cantidad muy pequeña de energía eléctrica para poner en acción los latidos del corazón. Ahora bien, muchas partes del cuerpo,

tales como la caja torácica y los propios músculos del corazón se están moviendo continuamente y si una pequeña fracción de su producción de energía mecánica pudiese ser transformada en energía eléctrica, sería suficiente para hacer funcionar al marcapasos.<sup>52</sup>

En la actualidad (1997), la compañía alemana Sultz, en su división médica, y con distribución en México, *fabrica marcapasos* (Prótesis Vascular), cuyas características de funcionamiento vienen dadas como sigue:

La frecuencia de pulso cardiaco normal, (unidades del pulso cardiaco

$$f_{C_{norm}} = 75 \text{ lat/min}$$

$f =$  milivolt

$t =$  nanosegundos)

Un rango aceptable es de,

$$f_{C_{rango}} = 60 \text{ a } 120 \text{ lat/min}$$

Fuera de este rango, el paciente debe recibir atención de acuerdo a lo siguiente,

FRECUENCIA CARDIACA	ESTADO	TIPO DE ATENCIÓN
- 60 LAT/MIN (Baja)	BRADICARDIA	Marcapasos Antibradicardia
+ 120 Y - 200 LAT/MIN (Alta)	TAQUICARDIA	Marcapasos Antitaquicardia
+ 200 LAT/MIN (Muy Alta)	FIBRILACIÓN	Desfibrilador

Existen 12 modelos diferentes de ellos, según las necesidades de cada paciente, van desde los 23 a 34 gr. el más liviano (bradicardia), hasta los 38 a 40 gr. el más pesado (taquicardia), sus medidas van desde 50mm x 43mm x 65mm (largo x



ancho x espesor) el mas pequeño (bradicardia), hasta 55mm x 90mm x 75mm el de mayores dimensiones (taquicardia). (Anexo 49)

Todos los marcapasos cumplen *dos funciones*: Estimular (respuesta fija) o leer y estimular (respuesta libre). También los hay para trabajar con 1 camara (Aurícula o Ventrículo) y para trabajar con 2 camaras (Aurícula y Ventrículo). Las baterías son de Litio-Yodo con una duración de 7 a 10 años, al término de los cuales se deben reemplazar junto con el microprocesador que viene integrado para evitar cualquier falla intermedia, ya que el marcapasos y los catéteres pueden volver a utilizarse. Para finalizar, tocamos nuevamente el punto económico, el marcapasos mas barato (Bradicardia) en el mercado mexicano es de 1,400 dólares (aprox. 11,200 pesos) y el mas caro (taquicardia o desfibrilador) es de 4,500 dólares (36,000 pesos aprox.), una de las grandes desventajas de este tipo de tecnología, como ya lo hemos mencionado.

Destaca tambien en lo que se refiere a esta misma compañía, la elaboración de Válvulas Mecánicas (Prótesis Valvulares) hechas con un material llamado Carbón Pírolita, Aditamentos de Ortopedia (hombro, cadera y rodilla), Catéter de Ablación (Puenteo de venas y arterias) e Implantes Dentales.

### 3.5.7 El Páncreas Artificial

En 1962, A. H. Kadish de Los Ángeles, combinó un autoanalizador para medir los niveles de glucosa, con equipo que inyectaría ya sea la glucosa o la insulina, según fuera necesario. Aunque esta combinación de artefactos era demasiado engorrosa para que fuera práctica, sí se demostró que era factible y útil el enfoque que combinara el control continuo y la infusión de glucosa-insulina según se necesitara.

En Toronto, los doctores B. S. Liebel y A. M. Albisser utilizaron el autoanalizador y artefactos de inyección de glucosa-insulina en combinación con computadoras que controlan los niveles de azúcar en la sangre siguiendo rigurosas fórmulas matemáticas. Ellos, junto con el doctor E. F. Pfeiffer de Alemania Occidental, han demostrado que este páncreas artificial, desarrollado por Ames Company, funciona mejor que las inyecciones estándar de insulina para mantener los niveles normales de azúcar en la sangre. No obstante, el artefacto sigue siendo demasiado grande y consecuentemente solo puede emplearse en un hospital. Allí, ha comprobado su valor para superar el coma diabético rápidamente y con seguridad, y para controlar la diabetes en los pacientes quirúrgicos.

El tamaño del páncreas artificial se debe en gran parte al autoanalizador, que sirve como el sensor que mide los niveles de azúcar en la sangre. Con objeto de reducir el tamaño del artefacto completo, los científicos y los ingenieros están trabajando actualmente para lograr la miniaturización de los sensores.

Hasta la fecha, el sensor más pequeño, más o menos del tamaño de una moneda de cinco centavos, ha sido desarrollado por el doctor S. E. Bessman y sus asociados en la Universidad de Southern, California.

Estos sensores utilizan métodos un poco diferentes para proporcionar la medida continua de los niveles de azúcar en la sangre. Todos han sido probados en animales y aparentemente han funcionado bien. Sin embargo, el sensor miniaturizado, aunque

representa un gran paso en el progreso, todavía no constituye un páncreas artificial. Se necesita combinar un artefacto miniaturizado que infunda insulina-glucosa con el sensor, para que proporcione una función de tipo pancreático, y el instrumento combinado necesita ser lo suficientemente pequeño para que el diabético pueda cargarlo con comodidad.

Es posible que no esté muy lejos la creación de este páncreas artificial. Bessman, junto con el doctor L. J. Thomas, ha desarrollado una bomba miniaturizada capaz de entregar insulina. Esta se ha combinado con el sensor y con una pequeña computadora que traduce la información del sensor, convirtiéndola en instrucciones para la bomba, junto con una batería, en un paquete de aproximadamente 50 cc. Es lo suficiente chico para poder implantarse.<sup>53</sup>

Ya que el páncreas artificial debe realizar una función similar a la de las isletas injertadas, es concebible que el artefacto pudiera prevenir las complicaciones relacionadas con la diabetes que con tanta frecuencia resultan graves.

En conjunto, la perspectiva en la investigación es muy prometedora. Durante miles de años los conocimientos acerca de la diabetes estuvieron congelados por la ignorancia y por los prejuicios que engendraba. Hoy día, hay una actividad dinámica a escala mundial. Todos los aspectos de la diabetes están involucrados en la investigación, desde las causas básicas hasta las nuevas formas de terapia y la posible prevención.

Es posible que todavía no se haya podido dominar a la diabetes, pero ya se ha aprendido a controlarla. Se puede detectarla, tratarla, frenar los síntomas, disminuir las complicaciones y hacer frente a la mayor parte de los problemas. Lo que es más, estas cosas pueden hacerse con un mínimo de interferencia con las rutinas ordinarias de la vida cotidiana.

### 3.5.8 Otros

Como se ha podido observar a lo largo de éste capítulo, y en especial por lo que respecta a los implantes, se aprecia claramente que en gran medida los avances tecnológicos en la Ingeniería de punta, permiten lograr avances substanciales en el control de enfermedades que hasta hace poco tiempo no era factible realizar.

Veremos a continuación algunos otros avances que enumeraré y describiré muy brevemente.

#### RESPIRADORES ARTIFICIALES

Cuando se trata de personas que han perdido la capacidad de utilizar sus músculos respiratorios, tal como sucede con ciertas víctimas de la poliomielitis, lo más que se puede hacer es mantener su respiración, aun cuando no se pueda devolverles la movilidad. El primer respirador artificial, el pulmón de acero, era una máquina bastante grande, dentro de la cual tenía que permanecer el paciente períodos de tiempo, con frecuencia bastante largos. El tipo primitivo era, en esencia, una especie de ataúd en el que se colocaba al paciente, de tal forma que su cabeza salía por un extremo a través de un cuello que quedaba herméticamente cerrado. Entonces, la función de la musculatura respiratoria era estimulada mediante alteraciones de la presión dentro de la caja. Al reducir la presión se hacía que el tórax del paciente se expandiese succionando de esta forma el aire a través de la nariz y la boca. Al elevar la presión hasta el nivel atmosférico, el tórax se comprimía expulsando el aire de nuevo. (Anexo 50)

"Muchas personas han permanecido vivas, dentro de respiradores de este tipo, a lo largo de muchos años y se consiguió fabricar modelos que les permitiesen un cierto grado de movilidad. Pero esta máquina tenía un efecto disturbador de la circulación. Casi todo el cuerpo estaba sometido a alteraciones de la presión, de tal manera que

durante la fase de bajas presiones la sangre se retiraba de las partes que quedaban fuera de la caja, mientras que durante la fase de presiones positivas la sangre era expelida a aquellas partes. Este efecto pernicioso se logró reducir considerablemente reemplazando la caja en forma de ataúd por un artificio parecido a una coraza de caballero medieval, en el cual los cambios de presión quedaban confinados a la región correspondiente al tórax del paciente. Los respiradores del tipo de coraza tenían además la ventaja de permitir una mayor libertad de movimientos".<sup>54</sup>

#### MAQUINAS PULMÓN-CORAZÓN

Las máquinas pulmón-corazón, como se las denomina, se pudieron poner a disposición, para el tratamiento de personas, por primera vez alrededor de 1948, y desde entonces se han ido introduciendo en la práctica un buen número de modelos diferentes. En primer lugar, la bomba que ha de ocupar el lugar del corazón debe ser de una construcción bastante especial, porque la sangre del paciente, que contiene diversos constituyentes, tales como los glóbulos rojos, que son fácilmente dañados, habrá de pasar a través de ella muchas veces a lo largo de una operación. El equipo de bombeo a base de pistones, cilindros, válvulas, etc., no resulta, por tanto, adecuado, ya que un número considerable de células quedarían atrapadas y destruidas en los espacios que quedan entre las partes fijas y las móviles. En ella se hace pasar un rodillo sobre un tubo de goma de silicona, de tal manera que casi lo aplasta totalmente; cuando este primer rodillo está a punto de abandonar un extremo del tubo de silicona, un segundo rodillo empieza a desplazarse girando en la misma dirección del anterior a partir del otro extremo. De esta manera, la sangre está siendo continuamente *ordeñada* a lo largo del tubo, sin tener la posibilidad de fluir en la dirección inversa debido a que el rodillo que sigue actúa como si fuese una válvula sin retorno.

Mayores son los problemas que plantea el diseño del oxigenador, que es la parte de la máquina que suplente la misión de los pulmones, permitiendo que la sangre absorba oxígeno y libere anhídrido carbónico. Dentro de la máquina, no es posible

poner a la sangre tan en contacto con el oxígeno como consigue hacerlo dentro de los pulmones de un ser vivo, cuya superficie alveolar es, aproximadamente, igual a la de una pista de tenis. Por tanto, con el fin de reducir las demandas de oxígeno del cuerpo, la temperatura de éste debe rebajarse artificialmente para reducir así el metabolismo de los tejidos. Esto puede hacerse reduciendo la temperatura de la sangre en alguna etapa de su paso a través de la máquina, de tal forma que al volver a entrar en el cuerpo del paciente lo haga a una temperatura considerablemente inferior a la normal.<sup>55</sup>

Durante todo el tiempo que el paciente está conectado a la máquina pulmón-corazón es importante estar comprobando cuidadosamente la cantidad de sangre que está siendo bombeada y las presiones implicadas en ello.

### LOS RIÑONES ARTIFICIALES

Los riñones artificiales primitivos necesitaban algún tipo de bomba que hiciese que la sangre se mantuviese en movimiento pasando a través de ellos, pero actualmente existen diseños en los que para conducir a través del sistema de diálisis la cantidad de sangre adecuada se utiliza la diferencia de presión que existe entre la arteria y la vena.

Esto hace aumentar enormemente la seguridad, a la vez que reduce la probabilidad de que se estropee la sangre. Con bastante frecuencia un riñón artificial se pone en funcionamiento como medida que se va a utilizar durante un corto período de tiempo; esto sucede cuando un paciente padece una enfermedad que ha impedido a los riñones realizar su función sólo temporalmente. Ocurre también mientras un paciente espera un trasplante de riñón y durante el período crítico que sucede inmediatamente después, es decir, antes de que el organismo recién trasplantado empiece a producir la cantidad adecuada de orina.

Pero existe una considerable cantidad de personas que padecen fallos crónicos de riñón y que sólo pueden permanecer con vida gracias al uso prolongado de la diálisis. Afortunadamente, el cuerpo tiene una buena tolerancia para la urea y otras sustancias que elimina el riñón sano, por lo cual es posible permitir que vayan en aumento durante los días que median entre una sesión de diálisis y la siguiente.

Para cumplir las exigencias impuestas por la diálisis intermitente son necesarios dos pasos. Uno consiste en encontrar una manera de conectar repetidamente los pacientes a la máquina con la máxima facilidad y la mínima molestia. El otro es proporcionar máquinas que sean relativamente fáciles de manejar, porque aunque muchos pacientes van al hospital una o dos veces por semana para someterse a este tratamiento, existe una tendencia a reducir el costo de la diálisis intermitente colocando la máquina en la casa del paciente y enseñándole a manejarla él mismo. (Anexo 51)

La mayoría de las máquinas poseen dispositivos de control para comprobar la concentración del líquido de diálisis, la temperatura del mismo y para detectar una fuga de sangre a través de una membrana pinchada.<sup>56</sup>

### MARCAPASOS SEXUAL (Anexo 52)

La impotencia afecta a uno de cada 10 hombres en México, según el Doctor L. Fernando Quinzaños, urólogo del Hospital Ángeles del Pedregal. Hasta hoy, los hombres que la padecen la combatían con inyecciones de papaverina -más recientemente con la eficaz prostaglandina E1 (caverjet), un fármaco vasoactivo- o mediante la administración de alfabloqueantes, pero estos tratamientos, asociados a una psicoterapia, no resolvían siempre el problema.

"Ahora, un nuevo implante, aún en experimentación, puede ser la solución. Se trata de un generador eléctrico colocado en el escroto y colocado a un electrodo situado en el pene. " Como si fuera un marcapasos cardiaco -precisa el doctor Tritto, del Hospital Tenon de París-, nuestro aparato será programable.

Según el caso, le daremos órdenes para que lo estimule eléctricamente cada 12 segundos. Este impulso regular permitirá mantener el tejido muscular del pene en posición de reposo hasta que la sangre afluya, en el caso de necesitar una erección".<sup>57</sup>

### **ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA PARA EL DOLOR (Anexo 53)**

La idea de utilizar la estimulación eléctrica para atenuar el dolor viene de la antigüedad: en el año 46 A. de C., Sciborius Largus usó descargas eléctricas para calmar cefaleas y dolores de gota.

En 1972, el profesor Lazorthes, del hospital CHU, de Toulouse, implantó generadores eléctricos provistos de un electrodo en el espacio epidural. Había nacido la electroestimulación.

La sensación dolorosa es el resultado de la excitación de ciertas fibras nerviosas muy finas. La estimulación eléctrica trata de restablecer el equilibrio tocando otras fibras que tienen un efecto inhibitor sobre las primeras. Este implante surte efecto en pacientes con problemas discales y en los casos de dolores ligados a miembros fantasmas, es decir, en aquellas personas que dicen sentir dolor a pesar de que se les ha amputado un miembro.<sup>58</sup>

### **DESCARGAS ELÉCTRICAS CONTRA LA EPILEPSIA. (Anexo 54)**

Hasta el momento, los medicamentos y la cirugía eran las únicas vías para combatir las crisis epilépticas, pero algunos enfermos -que pueden sufrir hasta 50 ataques diarios- no responden a ninguno de estos tratamientos.

Ahora, ha aparecido un nuevo método: la estimulación eléctrica del nervio vago, que va desde el cerebro hasta el abdomen. En 1938, los profesores americanos Bailey y Bremer demostraron que los impulsos eléctricos inflúan en la actividad cerebral.



Muchos equipos de investigadores se dieron cuenta de que la electricidad podía apaciguar las crisis epilépticas. Dos de ellos fundaron Cyberonics, una sociedad que fabrica estimuladores eléctricos implantables. Se trata de un generador que va situado en la clavícula y está unido a un electrodo que los cirujanos fijan en el nervio vago. Más de 450 pacientes se beneficiaran, hasta ahora, de este implante en todo el mundo.<sup>22</sup>

En todos los avances de la Medicina que hemos estado observando a lo largo de éste capítulo, notamos que en gran medida se han logrado gracias al desarrollo de la investigación tecnológica de punta y en donde los bioingenieros tienen aún un gran y largo camino que recorrer al servicio de la ciencia (Medicina e Ingeniería), del hombre y de la humanidad.

**CITAS DEL CAPÍTULO 3.**

- 1. Wolff, H.S. Ingeniería Biomédica, p.7**
- 2. Idem, pp.7-8**
- 3. Ibidem, p.8**
- 4. Wolff, H.S. Ob. Cit., pp.15-16**
- 5. Idem, p.17**
- 6. Ibidem, p.18-19**
- 7. Wolff, H.S. Ob. Cit., p.22**
- 8. Idem, p.175**
- 9. Otto Bock. La ayuda Profesional, pp.2-3**
- 10. Bronzino D., Joseph. The Biomedical Engineering Handbook, pp.2056-2060**
- 11. Idem, pp.2060-2065**
- 12. Otto Bock. Componentes de prótesis..., p.2.14**
- 13. Idem, p.2.9**
- 14. Ibidem, p.2.19**
- 15. Otto Bock. Componentes de prótesis..., p.2.26**
- 16. Idem, p.2.33**
- 17. Ibidem, p.2.34**
- 18. Otto Bock. Componentes de prótesis..., p.2.58**
- 19. Otto Bock. Componentes para Brazo, p.1**
- 20. Idem, p.3.51**
- 21. Ibidem, p.3.69**
- 22. Otto Bock. Componentes para Brazo, p. 3.80**
- 23. Idem, p.3.89**
- 24. Ibidem, p.3.99**
- 25. Diccionario Enciclopédico Grijalbo, p.1838**

- 26.**Bronzino D., Joseph. Ob. Cit., pp.3-6
- 27.**Idem, pp.6-8
- 28.**Diccionario Enciclopedico Grijalbo, p.1838
- 29.**Trasplantes de Corazón, Clave <http://www.hotbot.com/Trasplantes>
- 30.**Sin Autor. Muy Interesante. Junio, Edición Especial, 1997, pág.43
- 31.**Diccionario Enciclopedico Grijalbo, p.1388
- 32.**Lilly. ¿Que es la diabetes?, pp.1-3
- 33.**Dolger Henry; Seeman, Bernard. Como vivir con la Diabetes, pp.218-219
- 34.**Idem, pp.219220
- 35.**Ibidem, p.220
- 36.**Diccionario Enciclopedico Grijalbo, p.1604
- 37.**Wolff, H.S. Ob. Cit., pp.193-196
- 38.**Diccionario Enciclopedico Grijalbo, p.1001
- 39.**Sin Autor. Muy Interesante, No.8. Agosto, 1996, p.17
- 40.**Idem, p.18
- 41.**Ibidem, p.20
- 42.**Sin Autor. Muy Interesante, No.8. Agosto, 1996, p.21
- 43.**Bronzino D., Joseph. Ob. Cit., pp.2045-2054
- 44.**Sin Autor. Muy Interesante, No.8. Agosto, 1996, p.22
- 45.**Idem, p.24
- 46.**Sin Autor. Muy Interesante, No.8. Agosto, 1996, p.24
- 47.**Sin Autor. Muy Interesante, No.8. Agosto, 1997, pp.72-77
- 48.**Wolff, H.S.Ob. Cit., p.181
- 49.**Idem, p.182
- 50.**Ibidem, p.183
- 51.**Wolff, H.S.Ob. Cit., pp.184-185
- 52.**Idem, p.186
- 53.**Dolger Henry; Seeman, Bernard. Como vivir con la Diabetes, pp.221-222
- 54.**Wolff, H.S.Ob. Cit., p.187

**65.**Idem, p.190

**66.**Ibidem, p.196

**67.**Sin Autor. Muy Interesante, No.8. Agosto, 1996, p.26

**68.**Idem.

**69.**Ibidem.

# ***CAPÍTULO***

# ***4***

## ***ALCANCES Y PERSPECTIVAS DE LA BIOINGENIERÍA***



# cada vez mejor

*Cumplir los 100 con una buena calidad de vida ya no es una rara hazaña, a pesar de la incidencia del cáncer, de los trastornos mentales y de la aparición de nuevas y desconocidas enfermedades. La medicina de este fin de siglo lo hace posible.*

## CAPÍTULO 4.

### ALCANCES Y PERSPECTIVAS DE LA BIOINGENIERÍA

#### 4.1 LA MEDICINA DEL FUTURO

Pareciera ser que estaremos en manos de la Cibernética. Médicos e Ingenieros se verán relacionados por la revolución tecnológica. La informatización de la red de salud, la robótica y las modernas técnicas de visualización se constituirán en elementos imprescindibles de todos los centros hospitalarios y de la Bioingeniería.

Autocheques domésticos, nanorrobots que reparan células, teleatención médica a través de la superautopista de la Salud. Próximamente todo esto velará por nuestro bienestar.

La telemedicina llegará a todas partes permitiendo una intervención quirúrgica a distancia. En el próximo siglo será posible el cuidado integral de la salud y la fase preventiva se consolidará como la rama predominante de la medicina del futuro. La telematización de la atención médica y los avances de la biología molecular, la inmunología, el proyecto Genoma, los nuevos materiales y la nanotecnología alumbrarán una revolución de la salud frente a la muerte, y en donde estarán presentes los desarrollos de la Ingeniería Biomédica de Avanzada.

Este bienestar será posible gracias a la telematización del sistema de salud: la *inteligencia* del hospital, del médico y de la industria farmacéutica se distribuirá a través de la red y llegará a los hogares en forma de beneficiosa prevención, diagnósticos y

terapias. Jan Leschly, jefe ejecutivo de la multinacional farmacéutica *Smith Kline & Beecham*, predice que "el futuro del cuidado de la salud está en los sistemas informáticos orientados para dar información sobre prevención y tratamientos". La telemedicina reunirá en el ciberespacio a especialistas de todos los rincones del globo para un congreso médico, hacer un diagnóstico mundial, para teleasistir a un cirujano en un hospital del Tercer Mundo o para llevar adelante una **intervención quirúrgica a distancia**.<sup>1</sup>

La primera experiencia de telemedicina a nivel total se está llevando a cabo desde 1995 entre varios hospitales de *Arabia Saudí* y el *Massachusetts General Hospital*, en los Estados Unidos. En el país árabe se recogen las imágenes digitalizadas de los pacientes mediante diferentes sistemas de escáneres y son analizadas en la ciudad norteamericana, donde se emite el diagnóstico. En la segunda década del siglo XXI este procedimiento será de uso generalizado y los diagnósticos y tratamientos más sencillos los harán computadoras equipadas con sistemas expertos, según reza el 5° Informe de *Previsión Tecnológica* del Instituto Japonés de la Tecnología del Futuro. (Anexo 55)

"*Satel Life* y organizaciones similares interconectarán farmacias con hogares y con hospitales o ambulancias, a través de satélites y superautopistas de fibra óptica. Las imágenes de los pacientes y de sus análisis se obtendrán en alta resolución y tres dimensiones. Agentes inteligentes surcarán las redes recopilando datos de historias clínicas, respuestas de los enfermos a tratamientos y comportamiento de las epidemias. También podrán controlar si los pacientes suscritos por ejemplo a *Medicare* (sociedad sanitaria privada norteamericana) realizan sus exámenes periódicos, toman la dieta nutricional recomendada y hacen el ejercicio prescrito. Si no es así, *Medicare* les reconvenirá a seguir las instrucciones, so pena de un incremento en el recibo mensual. Las consultas médicas se sustituirán por consultas de video en tiempo real".<sup>2</sup>

Los adelantos más significativos de la Ingeniería Eléctrica, electrónica, y en computación estarán presentes en apoyo a la salud y a la Biomedicina, es decir, la



Bioingeniería tiene una gran perspectiva de desarrollo no solo al final de éste siglo, sino a lo largo del próximo Siglo XXI. (Anexos 56, 57 y 58)

Un sistema informático mucho más avanzado que éste, llamado *médico en casa*, se instalará en el hogar inteligente del Siglo XXI. Estará dotado de aparatos de diagnóstico no invasivos ni agresivos. Un miniescáner de visualización interna servirá para conocer la morbilidad de las células o medir el grado de arterioesclerosis. Los hombres del futuro ingerirán una cápsula que contenga una minicámara y un micromotor que recorrerá su aparato digestivo, guiada por la computadora, con el objeto de prevenir o detectar úlceras y gastritis. Incluso el inodoro enviará el análisis de la tensión, las heces, la orina y el pulso por la red informática de la que dependerá su salud. Así, el *médico en casa* seleccionará el estilo de vida -dieta, ejercicio, medicación- del *asistido*. Por otra parte, también se controlarán sus perfiles de riesgo gracias a la tarjeta o carnet genético que le proporcionarán al nacer en el hospital.

Se incorporarán avances en inteligencia artificial: diagnósticos y tratamientos serán prescritos por sistemas de computadoras enlazadas a otros hospitales y a la red de asistencia telemática. El simulador quirúrgico virtual será de uso común en hospitales y universidades y no sólo para aplicaciones didácticas. Una operación complicada se realizará sobre el paciente virtual, indistinguible del real, cada paso podrá corregirse o repetirse, hasta tener la secuencia quirúrgica correcta. Estos datos pasarán luego a *un robodoc* de alta precisión que replicará de forma inteligente la cirugía sobre el paciente real. Los médicos tendrán a su alcance los más fantásticos métodos de visualización interna, en tres dimensiones y sin tiempo de espera. Mientras auscultan y palpan el estómago de un paciente, verán a través de sus gafas de realidad virtual el lugar exacto del órgano que están tocando, superpuesto virtualmente a la piel del paciente. En la misma imagen flotará el diagnóstico sugerido por la computadora asistente *conectada* a los anteojos. De hecho, miles de microcomputadoras, que pasaran inadvertidas, estarán en una red inteligente y asistirán al médico o al cirujano en cada ocasión.

Pero la más poderosa herramienta de la nueva medicina para prevenir y curar no será un chip ni un pedazo de fibra óptica, sino un minúsculo pedazo de ADN manipulado. La biología molecular y las terapias génicas prometen la curación de la mayoría de las enfermedades. En el 2020 se habrá descifrado la secuencia total de la molécula del ADN o genoma y, por tanto, se conocerán los genes causantes de muchas enfermedades. Así, se podrá cambiar el curso de éstas o abortarlas antes de que se produzcan. En el momento del nacimiento, cada ser humano dispondrá de un carnet genético preventivo que pronostique la aparición de enfermedades inscritas en su ADN. Cerca de 10 por 100 de ellas son de carácter hereditario, así que saber cómo y cuándo aparecerán tiene la utilidad de que los afectados conocerán su problema y tomarán decisiones respecto a su descendencia. No todo son buenas noticias. Un carnet genético señalaría a un grupo de nuevos parias: los individuos con riesgo. Además, según el investigador Jerry E. Bishop, tener la seguridad de que a los 50 años se va a padecer una enfermedad neurodegenerativa irreversible, y que no hay una terapia génica adecuada, puede suponer una angustia insoportable para el enfermo potencial".<sup>3</sup>

El problema ético quizás estará más centrado en la manipulación genética de la célula fecundada que dará origen a un ser humano. Porque para esta fecha, las terapias génicas sanarán casi todas las enfermedades.

Los implantes artificiales y los trasplantes serán algo común en el primer cuarto del próximo siglo. Pronto se superarán los rechazos del sistema inmunológico y más adelante llegarán los implantes artificiales de páncreas para curar la diabetes, los corazones artificiales a prueba de bombas y los músculos artificiales integrados por máquinas biomoleculares elásticas.

También para entonces surgirán fábricas de tejidos y células óseas, los ciegos verán con retinas biónicas, los discapacitados accederán a implantes cerebrales que les permitirán mover servomecanismos sólo con el pensamiento y superar sus minusvalías. Por último, será posible regenerar células dañadas del cerebro y

reemplazar partes desgastadas del mismo por accesorios microelectrónicos y reparar así las lesiones y deficiencias que hacen tan cortas nuestras vidas, sostiene Marvin Minsky, máxima autoridad en inteligencia artificial.<sup>4</sup>

Los implantes, de ahora en adelante, son la solución a muchos problemas. El hombre Biónico existe, y son ya miles las personas que llevan dentro de sí mecanismos inteligentes que les ayudan a sobrevivir. Desde el marcapasos al ojo electrónico, casi todo es posible.

## 4.2 DONACIÓN DE ÓRGANOS (Anexo 59)

Si bien, a lo largo de éstos últimos años la cirugía de trasplantes ha avanzado notablemente, se topa ésta con un grave problema que es la *Donación de Órganos* y por supuesto los respectivos donadores que cada vez más van en descenso. (Anexo 60)

Los especialistas tienen muy claro que el número de donantes es limitado, mientras tanto, la demanda de órganos va en aumento. La cesión de un órgano viene condicionada por múltiples factores. El primero de ellos es que, para extraer los órganos, el donante debe de estar en situación de muerte cerebral, o sea, que su cerebro haya dejado de funcionar.

No obstante, recientemente se ha planteado la posibilidad de obtener las vísceras de pacientes en paro cardíaco, pero que son irrecuperables. Esta técnica generaría una nueva fuente de órganos como el riñón. En la década de los sesenta se empiezan a transplantar cosas, todos los donantes eran a corazón parado pese a que existía el concepto de muerte cerebral y no se aplicaba legalmente.

Tras la ley de muerte cerebral, esta práctica se abandonó, pero algunos grupos holandeses y japoneses siguieron estudiando su viabilidad. Éstos han logrado mantener vivos ciertos órganos sumergidos en un líquido de criopreservación (el corazón recién extraído puede sobrevivir hasta cuatro horas, un hígado 15 horas y un riñón hasta 36 horas). Algunos laboratorios están investigando la posibilidad de congelarlos, pero los resultados en este sentido son poco exitosos.

Tanto el budismo como sintoísmo suponen que la vida continúa durante varios días después de que el corazón deja de latir. Esto hace imposible la extracción de órganos, salvo en el caso del trasplante de riñón o de un segmento de hígado o pulmón procedentes de donante vivo. "El pulmón es otro de los órganos que se puede repartir.

Algunos niños afectados de fibrosis quística, displasia y otras enfermedades pulmonares ya han recibido un pedazo de sus padres".<sup>5</sup>

### XENOTRASPLANTES.

Para hacer frente a la escasez de órganos, todavía queda otra alternativa, los xenotrasplantes, es decir, el injerto en el hombre de órganos procedentes de animales. Uno de los enfoques consiste en trasplantar el órgano del animal y administrar al receptor una dosis mayor de fármacos inmunosupresores. La última experiencia en este sentido fue realizada en 1992 por Andreas Tzakis, de la Universidad de Pittsburg.

Otra alternativa es la de utilizar animales transgénicos a los que se les ha insertado un gen humano para que produzcan una proteína, la DAF, que evita el rechazo por parte del trasplantado. Según estima el inmunólogo y pionero en este revolucionario campo David White, de la Universidad de Cambridge, en Inglaterra, el primer corazón *humanizado* de cerdo será trasplantado a un paciente en un plazo de dos a tres años. Incluso, un reciente documento del Grupo Asesor en la Ética del Xenotrasplante del Departamento Salud del Reino Unido, conocido como *Reporte Kennedy*, acaba de confirmar la necesidad de recurrir a órganos de cerdos transgénicos para solventar la insuficiencia de donadores humanos.<sup>6</sup>

Mientras que los científicos trabajan para que avances como éste sean realidad, podemos tomar nota del slogan de la Organización Europea de Coordinadores de Trasplantes: "No te lleves los órganos al cielo... El cielo sabe que los necesitamos aquí".<sup>7</sup>

### 4.3 ADELANTOS BIOMÉDICOS A FUTURO

Como se ha podido observar, los trasplantes de órganos han servido para ayudar a conservar o por lo menos en ocasiones prolongar la vida. Sin embargo, esta solución ha sido limitada y ante ésta situación los científicos han tenido que ser cada vez más ingeniosos en la aplicación de ciertas técnicas e innovaciones para el cuidado de ciertas enfermedades.

En la Biomedicina, será necesaria la ayuda de programas informáticos tridimensionales, cultivos celulares, el rayo láser, nuevos materiales, etc. para lograr la preservación de la especie humana.

A continuación mencionaremos, no sin pecar de futuristas, una relación de lo que serán los avances más significativos para el inicio del *Tercer Milenio*. Ésta información fue tomada del 5° Informe de Previsión Tecnológica del Instituto Japonés para la Tecnología del Futuro:

#### “2007

- Desarrollo de terapias génicas que permiten la introducción de genes en la posición exacta deseada dentro de un cromosoma.

#### 2008

- SIDA curado.
- Terapias moleculares efectivas contra la depresión.

#### 2009

- Control del dolor.
- Uso accesible a un precio razonable de órganos artificiales que incorporan células y tejidos humanos.

**2010**

- Predominio de la medicina preventiva y también de la telemedicina.
- Se aplican métodos efectivos para prevenir el estrés.
- Técnicas cerebromoleculares para cortar la drogadicción.

**2012**

- Desarrollo de medicinas y métodos que lleguen a prevenir la aparición del cáncer.

**2013**

- Determinación de todas las secuencias de bases del ADN humano; conclusión del proyecto Genoma.

**2015**

- Curación de la mayoría de los cánceres con terapias que ataquen únicamente a las células cancerígenas.
- Anticonceptivos para el hombre con efectividad de un año.
- Reparación de genes específicos.
- Uso generalizado de cirugía prenatal.

**2017**

- Posibilidad de curación de las demencias seniles como el Alzheimer.

**2020**

- Sanación de casi todas las enfermedades autoinmunes y desaparición de las alergias.
- Erradicación progresiva de enfermedades infecciosas.
- Prevención efectiva de la parálisis cerebral infantil.
- Técnicas eficaces para retardar el envejecimiento: la esperanza de vida en Occidente se eleva hasta los 100 años.

**2025**

- Desarrollo de placentas artificiales. Se obtiene un tipo de sangre artificial para todos.<sup>8</sup>

Como se aprecia, un paso obligado es la creación de las llamadas *MEDICINAS INTELIGENTES*, que actúan cuando nuestro sistema inmológico se enfrenta a una enfermedad.

Por ejemplo, una especie de relojes pulsera con biosensores incorporados que detectarían el nivel de glucosa en la sangre de los diabéticos mediante campos eléctricos de baja frecuencia, estos administrarían la dosificación de insulina correspondiente, a través de la epidermis. Además, según el biofísico Dan W. Urry, los biopolímeros serán utilizados como portadores de agentes terapéuticos en la corriente sanguínea.

Hoy los auxiliares terapéuticos para los diabéticos insulino dependientes están a la vanguardia. Los laboratorios *Lakeside*, por ejemplo, han desarrollado dos insulinas ADN recombinante de acción rápida e intensa (*Novolin R*) o intermedia (*Novolin N*) según las necesidades del paciente; un dispositivo de inyección de insulina tipo pluma portátil y ligero y con pantalla numérica, lo que asegura la dosis correcta; además, esta compañía cuenta con un sensor de glucosa en sangre (*Accutrend sensor*) de pantalla grande, tira manejable y que requiere muy poca sangre para realizar el análisis.<sup>9</sup>

A través de la realidad virtual y haciendo uso de nanosubmarinos que transporten fármacos por la sangre, se podría alterar la evolución de ciertas enfermedades, frenando así estos fenómenos.

Yo creo que para un futuro muy próximo podremos esperar una especie de complemento entre el ingeniero, que intentará construir órganos de repuesto implantables, tales como corazones y riñones artificiales, y el biólogo, quien al avanzar



en el campo de la inmunología podrá hacer trasplantes con más facilidad y más seguridad.

El ingeniero, argumentará sin duda, que el suministro de órganos biológicos trasplantables nunca cubrirá la demanda, y que, por tanto, siempre se requerirán sus artificios mecánicos. Esta se basa en la posibilidad de que con los avances que se vayan logrando en inmunología, el suministro de órganos vivos trasplantables puede ampliarse con la utilización de los de otras especies. Si esta posibilidad se convirtiese en una realidad, entonces los órganos artificiales sólo se necesitarían con dos fines: para mantener a un paciente en espera de un trasplante conveniente o bien para servir de puente de unión entre el tiempo que media entre la escisión de un órgano y su reemplazamiento. Y en ninguno de estos casos es necesario que el órgano sea implantable.

"Aun cuando los trasplantes ganasen la partida a la implantación de órganos artificiales, como yo creo que es muy posible que ocurra, el bioingeniero tendrá todavía un papel muy importante que jugar. Una de las cosas que en la actualidad hace difícil el trasplante y contribuye a rodearlo de un aire de emergencia es el hecho de que el donante y el receptor deben estar próximos entre sí tanto en el tiempo como en el espacio. Esto podría evitarse si los bioingenieros pudiesen diseñar mejores métodos para mantener los órganos vivos durante un período de almacenamiento bastante prolongado. Una manera posible de conseguirlo sería manteniendo la circulación de un nutriente artificial a través de dichos órganos durante su período de almacenamiento y tránsito. Sería posible incluso ir tratando al receptor durante este tiempo, con el fin de reducir su eventual respuesta inmunológica frente al órgano".<sup>10</sup>

**CITAS DEL CAPÍTULO 4.**

1. Sin Autor. Muy Interesante. Junio, Edición Especial, 1997, p.70
2. Idem, pp.70-71
3. Ibidem, pp.72-73
4. Sin Autor. Muy Interesante. Junio, Edición Especial, 1997, p.73
5. Idem, pp.44-45
6. Ibidem.
7. Sin Autor. Muy Interesante. Junio, Edición Especial, 1997, pp.44-45
8. Idem, pp.70-71
9. Ibidem, p.72
10. Wolff, H.S. Ingeniería Biomédica, pp.240-241

CONCLUSIONES

---

# ***CONCLUSIONES***

## **CONCLUSIONES**

### **(COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS)**

- 1. Revisando el título de la tesis: "La Ingeniería Avanzada en el Mundo Globalizado: El Caso de la Ingeniería Biomédica."** me he podido dar cuenta que la Ingeniería tiene una gran vinculación con todos los aspectos de la vida diaria y más aun en aquellos que tienen relación directa con la Medicina y la Biología. En éstos, los grandes avances de innovación se deben en gran medida al apoyo de la tecnología de punta.
- 2. La Ingeniería Biomedica es una carrera actual, de gran aplicación práctica que requiere de una vinculación muy estrecha entre la Universidad y la Industria. En México solo la Universidad Iberoamericana; el Instituto Politécnico Nacional y la Universidad Autónoma Metropolitana la imparten a nivel licenciatura.**
- 3. En la UNAM, desafortunadamente no existe la licenciatura, ni la especialización en Ingeniería Biomédica y las Investigaciones que se realizan, comparadas con las que se llevan a cabo a nivel mundial son incipientes. En las instituciones en donde se imparten los estudios de Ingeniería Biomédica, algunas materias son comunes al resto de las Ingenierías, pero existen otras más especializadas que requieren del apoyo de infraestructura física con la que la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional no cuenta; así como de personal académico especializado en el área.**
- 4. Es indudable el hecho de que vivimos en un mundo globalizado, si bien es cierto que la globalización la hemos apreciado mas fehacientemente en el aspecto económico, no debemos olvidar que todos los aspectos de la vida tienen esta característica.**

**5.** En las carreras de Ingeniería es claro que la globalización esta marcando un momento importante que nos lleva a pensar en los problemas, sus soluciones y a contemplar al mundo globalizado desde nuestra perspectiva. La labor del Ingeniero no solo radica en el descubrimiento del problema sino en la búsqueda de alternativas de solución, las cuales a menudo son innovadoras, prácticas, y de alguna manera viables. Mas aún, el Ingeniero en la actualidad debe poseer conocimientos y habilidades interdisciplinarias que le permitan por una parte, dar a conocer el resultado de su trabajo, y por otra, la búsqueda en el mercado de su comercialización, tanto por su propia utilidad como por su costo.

**6.** Entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo hay una muy clara diferenciación de objetivos, procedimientos y metas con respecto al apoyo de la Investigación Avanzada. En Estados Unidos por ejemplo, las grandes empresas aportan fuertes cantidades de dinero en las Universidades a fin de que estas realicen Investigación de Avanzada y de acuerdo a sus propios requerimientos. En cambio, en los países en vías de desarrollo la relación empresa-universidad es muy incipiente.

**7.** El mundo actual relaciona cada vez más a todos los países, solo que en muchas ocasiones esta relación es una relación asimétrica, pues al mismo tiempo conviven e interactúan los países pobres con los países ricos, de donde no siempre los países pobres pueden obtener provecho, más aun, pareciera ser que la globalización puede influir positivamente en la integración o negativamente en la desintegración de dichos países.

**8.** México es un país en vías de desarrollo que por su ubicación geográfica está íntimamente ligado a los Estados Unidos, por lo tanto, México debería de aprovechar esta vinculación para lograr un despegue económico mediante la aplicación de la tecnología de punta, la cual se encuentra muy próxima a nosotros, pero además, México debe aprovechar su ingenio para crear tecnología propia, resolviendo así sus necesidades.

9. No podemos dejar de apreciar el hecho de que la aplicación de la Ingeniería es más evidente en los países desarrollados que en los del tercer mundo. Es muy claro que los grandes desarrollos de la Biomedicina, la Cibernética, la Biónica, la Ergonomía, la Bioquímica y hasta la moderna clasificación de la Ingeniería Biomédica se han producido con mayor frecuencia en los países desarrollados debido al apoyo económico para su investigación y desarrollo.

10. Como se desprende del título de este trabajo, su contenido tiene una íntima vinculación entre los conceptos de la Ingeniería y los de la Medicina. Por ello hubo necesidad de identificar conceptos y clasificaciones de los diferentes mecanismos del cuerpo humano y asociarlos con la Ingeniería Mecánica.

11. Pareciera ser que desde la perspectiva de la Ingeniería Biomedica existe una diferencia significativa entre prótesis, transplantes e implantes, situación ésta que trato de abordar a lo largo del capítulo 3.

En los planes de estudio de las Universidades que cuentan con la licenciatura de Ingeniería Biomédica, tienen materias específicas para explicar con detenimiento dichas diferencias. Materias tales como:

- Equipos de diagnóstico y terapia, y laboratorio,
- Biomecánica y laboratorio,
- Aplicaciones de Ingeniería Clínica y laboratorio,
- Ingeniería de Rehabilitación y laboratorio, etc.

12. A lo largo de la presente investigación, pude apreciar que la aplicación de la tecnología de avanzada en la medicina ha permitido encontrar los medios para elevar la calidad de vida de aquellos sujetos discapacitados o que requieren de trasplantes o implantes para seguir viviendo. Sin embargo, el factor **COSTO** juega un papel importante, razón por la que no todo el mundo tiene acceso a esta tecnología.

**13.** Un reto importante en la medicina del futuro es buscar los mecanismos necesarios para llevar a cabo donaciones de órganos, o aplicación de dispositivos protésicos, trasplantes o implantes de manera masiva, lo que redundaría en la fabricación en serie y en la disminución de costos, así como el uso de los mismos por parte de los Organismos de Seguridad Social con los que se cuenta en México.

**14.** Hay grandes adelantos en la Biomedicina pero hay que reconocer que un alto número de ellos son muy recientes. Más aún, algunos se encuentran en fase experimental, como por ejemplo el trasplante de corazón de tipo mecánico (Abiomed TAH), el cual se podrá llevar a cabo a principios del año 2000, razones por las que, evidentemente, son poco accesibles.

**15.** Finalmente, debo señalar que el presente trabajo de tesis, me condujo a introducirme en otras ramas de la ciencia, fuera de la Ingeniería, como la Medicina en donde éstas interactúan de manera armónica, para dar respuesta a las necesidades de la actualidad.

**16.** Otro aspecto importante fue el darme cuenta que la Investigación del Futuro, por necesidad, tiene que ser inter y multidisciplinaria si queremos que ésta produzca mejores y mayores resultados.

Para concluir, no quisiera dejar de mencionar, así como expresar mi agradecimiento a la persona que me introdujo a esta temática, el Ing. Manuel Viejo Zubicaray; así también como a todas aquellas personas, empresas e instituciones que hicieron posible esta investigación.

# ***BIBLIOGRAFÍA***



## BIBLIOGRAFÍA

## A) LIBROS

- Bosch García, Carlos. *La Técnica de la Investigación Documental*. UNAM, México. Editorial Edicol, 1979.
- Bowie, Norman. *University-Business Partnerships*. Boston, Roman and Littlefield Publishers, 1994.
- Bronzino D., Joseph. *The Biomedical Engineering Handbook*. IEEE Press. USA, 1995.
- Dolger, Henry; Seeman, Bernard. *Como vivir con la Diabetes*. México. Editorial Diana, 1995.
- Dos Santos, Silvio A. *Evolución Institucional de la Vinculación de la Universidad con el Sector Productivo, Vinculación Universidad-Sector Productivo*, Santiago de Chile. BID-CECAB-CINDA, 1990.
- Federación de Asociaciones Mexicanas de Diabetes, A.C. *Conferencias, Ponencias y Trabajos Libres. Oaxaca, 9o. Congreso Anual*. México, 1996.
- Federación de Asociaciones Mexicanas de Diabetes, A.C. *Libro de Resúmenes*. Aguascalientes. México, 1997.
- Ferrer, Aldo. *Historia de la Globalización. Orígenes del orden económico mundial*. F.C.E. Sección de Obras de Economía. México, 1996.
- Fishlock, David. *El hombre Modificado. Un estudio de las relaciones del hombre con las Máquinas*. Fondo de Cultura Económica. México, 1969.
- Furnas, C.C; McCarthy Joe. *El Ingeniero*. Ediciones Time Life International. Colección Científica de Time Life. México, 1982.
- Klein, Eva. *Technology Parks and Incubators: A nexus between University Science and Industrial Research and Development*. Haden and Brink Editors. E.U.A., 1992.

#### BIBLIOGRAFÍA

---

- Licha, Isabel. *La Investigación y las Universidades Latinoamericanas en el Umbral del Siglo XXI: Los desafíos de la Globalización*. México, UDUAL. Colección UDUAL No. 7. Primera Edición, 1996.
- Malacara Hernández J. Manuel. *Bases para la Investigación Biomédica*. Dist. y Editora Mexicana S.A. de C.V., México, 1987.
- OEA, Organización de Estados Americanos. *Mercado Común del Conocimiento Científico y Tecnológico. Descripción General*. OEA, Washington, 1993.
- Otto Bock. *La Ayuda Profesional*. Alemania, 1996.
- Parejo, Milady. *Parques Tecnológicos: Un análisis comparativo de experiencias consolidadas de países desarrollados*. Aspectos Conceptuales y Metodológicos de la Gestión Tecnológica. ALTEC, CIID. Caracas, 1992.
- Plonski, A.G. *Cooperación Empresa-Universidad en Iberoamérica*. CYTED. Sao Paulo, 1993.
- Pérez Tamayo, Ruy. *La Investigación Biomédica en México, Pasado, Presente y Futuro*. CONACYT. México, 1982.
- Rosseau, Charles. *Derecho Internacional Público*. F.C.E. Francia, 1990.
- Rouse, Jhon W. *Independent Research Institutes*. Haden and Brink Editors. E.U.A., 1992.
- Sin Autor. *Las mejores Universidades*. Organización México Nuevo. México, 1993.
- Stewart, Milton D. *Technology Research Collaboration between Small Companies and Academy: The Federal SBIR Model*, Haden and Brink Editors. E.U.A., 1992.
- Talavera R., Arturo. *Nuevos Instrumentos de desarrollo tecnológico en México: Las Incubadoras de empresas de base Tecnológica, Aspectos Conceptuales y Metodológicos de la Gestión Tecnológica*. ALTEC-CIID. Caracas, 1992.
- Van Dierdonky Debackere, Keenraad. *An Assesment of Science Parks: Towards a better understanding of their role in the diffusion of technological knowledge*. Rand D. Management. E.U.A., 1991.
- Webster G. John. *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*. IEEE. USA, 1988.

- White, H.E. *Física Moderna*. Vol 1. UTHEA. México, 1981.
- Wolff, H.S. *Ingeniería Biomédica*. Ediciones Guadarrama, S.A. Madrid, 1970.

## B) REVISTAS

- Saavedra, Francisco. Las Empresas Multinacionales. México. Revista QUÓRUM. 2a. Época, Año VI, No. 49, Enero, 1997.
- Sin Autor. *Diabetes Hoy, Organó Oficial de la Federación Mexicana de la Diabetes A.C.* Edición Bimestral. Volúmen 6. No. 1 Enero-Febrero, 1997.
- Sin Autor. *Muy Interesante.* El Hombre Biónico. México, Editorial ERES S.A de C.V., No. 8 Agosto, 1996.
- Sin Autor. *Muy Interesante.* El Último Corazón. México, Editorial ERES S.A de C.V., No. 8 Agosto, 1997.
- Sin Autor. *Muy Interesante.* Especial: La Nueva Medicina. México, Editorial ERES S.A de C.V. Julio, 1997.
- Weiss, Charles; Passman, Sidney. *Systems of Organization and allocation of national resources for scientific research. Some international comparisons and conclusions for new market economies.* E.U.A., knowledge No. 13, 1991.

### C) DICCIONARIOS

- García Pelayo y Gross, Ramón. *Enciclopedia Metódica Larousse en color*. Ediciones Larousse. México, 1982.
- García Pelayo y Gross, Ramón. *Pequeño Larousse Ilustrado*. Ediciones Larousse. México, 1994.
- Sin Autor. *Diccionario Enciclopédico GRIJALBO*. Ediciones Grijalbo S.A. España, 1988.
- Sin Autor. *Enciclopedia SALVAT del Estudiante*. Salvat Mexicana de ediciones S.A de C.V. México, Tomo 9, 1979.
- Sin Autor. *SALVAT, Enciclopedia*. Salvat Mexicana de ediciones S.A de C.V. México, Tomos 2,3,5 y 7, 1984.

### COMPENDIOS

- Lilly. *¿Que es la diabetes?* México. División Farmacia, 1996.
- Otto Bock. *Prosthetic Compendium. Lower Extremity Protheses*. Shiele and Schan. Germany, 1994.
- Otto Bock. *Prosthetic Compendium. Upper Extremity Protheses*. Shiele and Schan. Germany, 1992.
- Secretaría de Educación Pública. *Compendio Estadístico de Instituciones de Educación Superior en México*. SEP. México, 1995.
- UNESCO. *World Science Report*. Paris, 1993.

## D) CATÁLOGOS

- Otto Bock. Industria Ortopédica. *Componentes de Prótesis -Extremidad Inferior-* Germany, 1996/97.
- Otto Bock. Industria Ortopédica. *Componentes para Brazo.* Germany, 1995/96.
- Otto Bock. Industria Ortopédica. *3R60 Articulación modular de rodilla EBS.* Germany, 1997.
- Sin Autor. *Centro Médico Internacional, Nuestra Señora de Lourdes.* Lafayette, Luisiana E.U.A., 1997.

**E) INTERNET**

- Baez Duarte, Fernando. *La globalización*. Caracas Venezuela; Revista Electrónica Bilingüe. No. 13, Marzo de 1997. Clave <http://www.hotbot.com/globalización>
- Mújica Romo, Armando. *México en la Globalización: Retos y Oportunidades*. México, D.F. CANACINTRA. Clave <http://www.hotbot.com/globalización>
- Rubio Oca, Julio. *La Movilidad de los Estudiantes Mexicanos ante los desafíos de la Globalización*. México, D.F., 3a. Reunión General sobre colaboración en Educación Superior. Extracto Conferencia. Clave <http://www.hotbot.com/globalización>

**F) TESIS**

- Contreras Arias, Ruben. *La Ingeniería de Avanzada en el Mundo*. México, UNAM, F.I., 1996.
- Hernandez Abasolo Gerardo. *La Ingeniería en México comparada con La Ingeniería de Avanzada en el Mundo*. México, UNAM, F.I., 1996.
- Rangel Valderrama Iris Lucía. *La Ingeniería Avanzada en el Mundo*. México, UNAM, F.I., 1996.



# ***ANEXOS***

**ANEXOS.**

- 1. A principios del siglo XVI...**  
Fuente: El Ingeniero, p.146
- 2. Otto Lilienthal, precursor de la aviación.**  
Fuente: El Ingeniero, p.147
- 3. Ingeniería de los Factores Humanos.**  
Fuente: El Ingeniero, p.158
- 4. Mapa del contorno humano.**  
Fuente: El Ingeniero, p.149
- 5. El rayar como cebra a esta mujer...**  
Fuente: El Ingeniero, p.148
- 6. Diagrama de fuerzas que actúan sobre la extremidad inferior.**  
Fuente: The Biomedical Engineering Handbook, p.2057
- 7. Análisis de Forma y Análisis Finito de un socket.**  
Fuente: The Biomedical Engineering Handbook, pp.2061-2062
- 8. Ingeniería Biomédica Asistida por Computadora.**  
Fuente: The Biomedical Engineering Handbook, p.2063
- 9. CAD en un socket y Flujiograma para la elaboración de un pie protésico.**  
Fuente: The Biomedical Engineering Handbook, p.2062, 2064
- 10. Marcas Registradas.**  
Fuente: Otto Bock. La Ayuda Profesional, p.3
- 11. Funcionamiento de un Cilindro Neumático en una prótesis de extremidad inferior.**  
Fuente: The Biomedical Engineering Handbook, p.2066
- 12. Test de calidad.**  
Fuente: Otto Bock. La Ayuda Profesional, p.14
- 13. Certificado de calidad.**  
Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.11
- 14. Prótesis modulares de pierna.**  
Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.1

**15. Sistema de clasificación.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.13

**16. Esquemas Peso-Función.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.16

**17. Esquemas Peso-Función.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.17

**18. Esquemas Peso-Función.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.18

**19. Prótesis Interim.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.9

**20. Pies Protésicos Modulares.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.19

**21. Pie Multiaxial.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.26

**22. Dynamic Plus.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.32

**23. Adaptadores Modulares.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.34

**24. Rodillas Modulares.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.45

**25. Articulación Modular de Rodilla.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, p.2.58

**26. Manos Estéticas.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.1

**27. Manos de Sistema.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.51

**28. Pinzas gancho para prótesis accionadas por tracción.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.64

**29. Manos Convencionales.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.69

**30. Muñecas.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.75

**31. Prefabricados de Codo.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.80

**32. Articulaciones de hombro.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.87

**33. Prefabricado modular de brazo.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, p.3.89

**34. El corazón Humano.**

Fuente: The Biomedical Engineering Handbook, p.7

**35. Trasplante Cardíaco.**

Fuente: Diccionario Enciclopédico GRIJALBO, p.1839

**36. El Hombre Biónico.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.16

**37. Los Tetraplejicos.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.18

**38. Los Tetraplejicos.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.19

**39. Retina Artificial.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.21

**40. Oído Artificial.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.20

**41. Mecanismo Electrónico del Implante Coclear.**

Fuente: The Biomedical Engineering Handbook, p.2051

**42. Minibomba de Insulina.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.22

**43. Desfibrilador Cardíaco.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.24

**44. El Corazón Artificial.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.24

**45. Todas las bombas del mercado.**

Fuente: Muy Interesante. Agosto, 1997, p.74

**46. El Último Corazón.**

Fuente: Muy Interesante. Agosto, 1997, p.73

**47. Las Piezas que hacen Palpitar.**

Fuente: Muy Interesante. Agosto, 1997, p.77

**48. El Marcapasos Cardíaco**

Fuente: El Ingeniero, p.180

**49. Marcapasos Marathon.**

Fuente: Manuales varios de marcapasos. Cortesía Sultzer Médica.

**50. Respirador Artificial**

Fuente: Enciclopedia SALVAT del Estudiante, Tomo 9, p.139

**51. Máquina de Diálisis**

Fuente: El Ingeniero, p.197

**52. Marcapasos Sexual.**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.26

**53. Vivir sin dolor...**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.26

**54. Descargas Eléctricas...**

Fuente: Muy Interesante, Agosto, 1996, p.26

**55. Telematización del sistema de salud.**

Fuente: Muy Interesante, Edición Especial. Junio 1997, p.70

**56. Prótesis Extremidad Inferior.**

Fuente: Otto Bock. Componentes de prótesis. Extremidad Inferior, Portada.

**57. Prótesis Extremidad Superior.**

Fuente: Otto Bock. Componentes para Brazo, Portada.

**58. Mano Mieléctrica.**

Fuente: Otto Bock. La Ayuda Profesional, p.13

**59. Donación de Órganos**

Fuente: Muy Interesante, Edición Especial. Junio 1997, pp.8-9

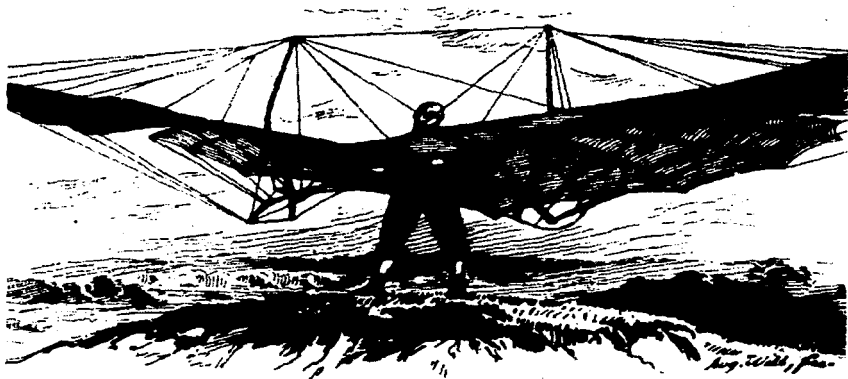
**60. Los diez máximos países donantes.**

Fuente: Muy Interesante, Edición Especial. Junio 1997, p.43



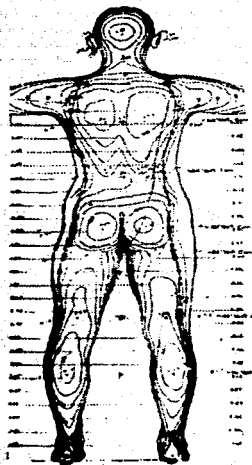
**A PRINCIPIOS DEL SIGLO XVI**, y tras estudiar y registrar los detalles estructurales de las alas de las aves, Leonardo da Vinci esbozó esta ala, que impulsaba la fuerza humana. Leonardo dejó instrucciones para hacer sus alas de tiras flexibles de abeto, pena y plumas, pero su "máquina voladora" nunca fue construida, ni esta primera incursión en la biónica hubiera dado resultado. Leonardo copió demasiado servilmente su modelo biológico; y no tuvo en cuenta otros factores como el que los músculos de vuelo de las aves, en proporción a su peso, son unas 20 veces más grandes que los músculos pectorales del hombre.

ANEXO 2





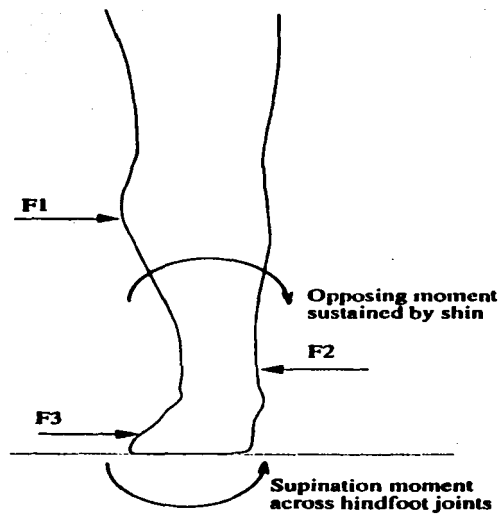


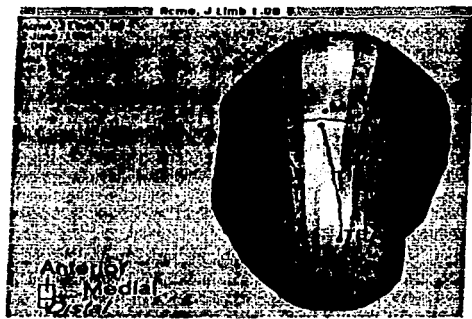


**ESTE MAPA DEL CONTOURNO HUMANO** — servir a los usos que los geólogos para ilustrar la topografía de la superficie de la tierra — es otro de los mapas de que se valen los ingenieros de factores humanos para hacer estudios detallados de la figura humana. La técnica, la más precisa hasta hoy ideada para medir la superficie del cuerpo, no sólo sirve para diseñar objetos que deben ser de tamaño exacto, sino que se usa para hacer estudios sobre exposición a la radiación.

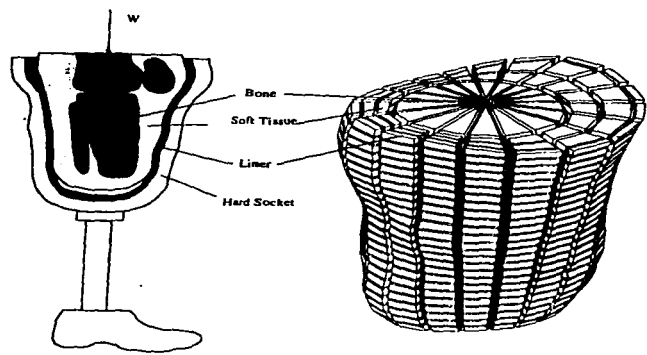


**EL RAYAR COMO CEBRA A ESTA MUJER** fue parte de la técnica fotográfica ideada por Jiro Kohara, ingeniero de factores humanos, para comprobar la relación de la estructura ósea con el contorno del cuerpo. Mediante un filtro luminoso.



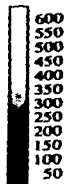
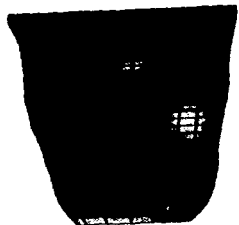
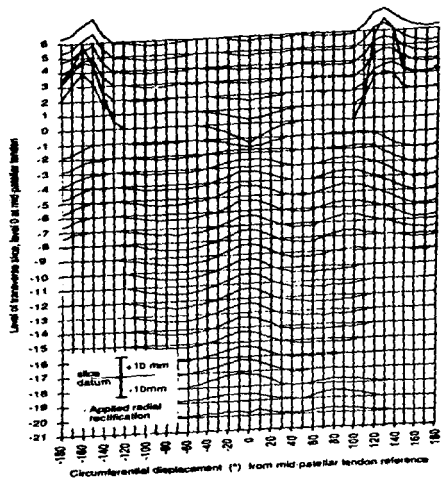


A rectification require defined over the tibia of lower limb stump using the Shapemaker application for computer-aided socket design.



Finite-element analysis employed to determine the sensitivity of interface pressure to socket shape rectification: (a) limb and socket; (b) elements in layers representing idealized geometry of bone, soft tissue, and socket liner; (c) rectification map of radial differences between the external free shape of the limb and the internal dimensions of socket; and (d) FE predictions of direct pressure. (Courtesy of Zhang Ming, King's College London.)

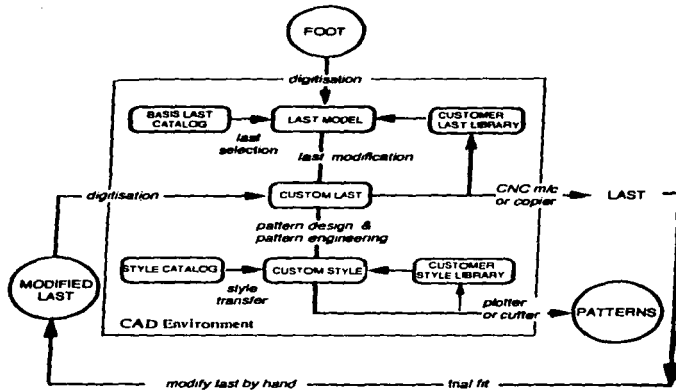
A N E X O 8



Stress, kPa



Adjusting a socket contour with reference to 3D graphics and cross-sectional profiles in the UCL CASD system. (Reproduced from Reynolds and Lord [1992] with permission.)



Schematic of operation of the Shoemaker shoe design system based on selection of a basis last from a database of model lasts. A database of styles is also employed to generate the upper patterns.

4

*Otto Pöck*  
FIRMENGRUPPE

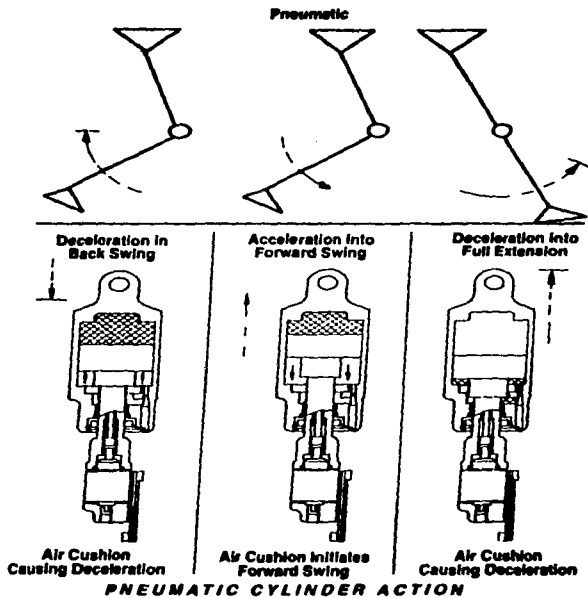
*Otto Pöck*  
ORTHOPÄDISCHE INDUSTRIE

*Otto Pöck*  
KUNSTSTOFF


*Otto Pöck*  
R E H A

**Rehband**



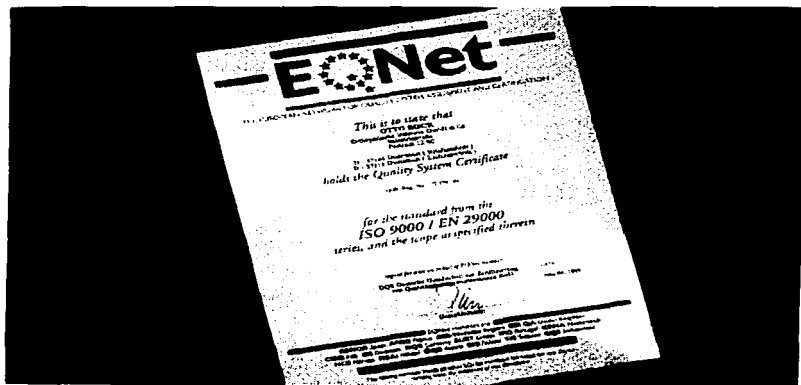


Pneumatic cylinder action in a swing phase controller.  
 (Reprinted with permission from S. Zahedi, The Results of the Field Trial of the Endolite Intelligent Prosthesis, Internal publication, Chas. A. Blatchford & Sons, U.K.)

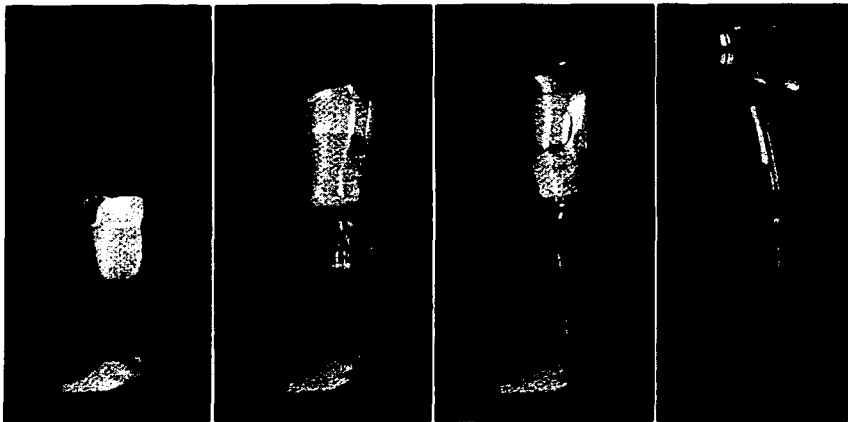


*Antes de entrar en producción, cada nuevo desarrollo de producto debe ser capaz de soportar 3 millones de ciclos de carga sin sufrir daños, para poder continuar con su producción.*

## *Certificado de calidad*



*Prótesis modulares de pierna Otto Bock*



## *Sistema de clasificación de Otto Bock®*

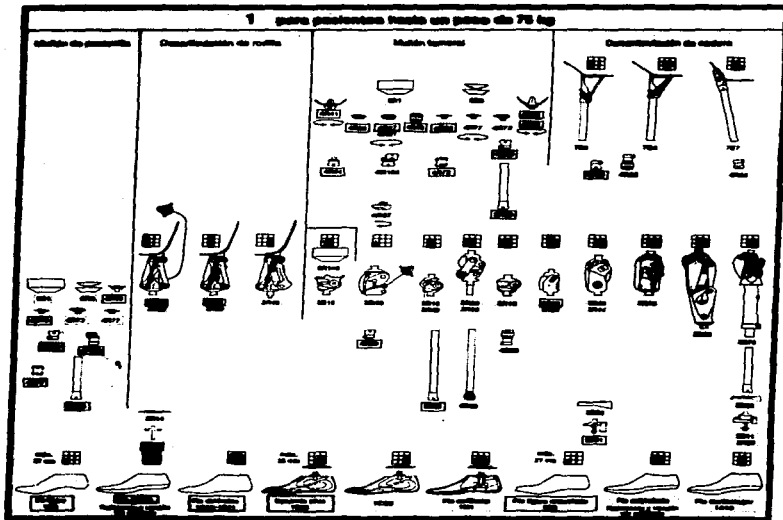
### *Matriz de clasificación®*

Peso del paciente	< 125 kg	3.1	3.2	3.3
	< 100 kg	2.1	2.2	2.3
	< 75 kg	1.1	1.2	1.3

**Equipos**

1

1 para producción hasta un punto de 70 kg



**Esquemas**

②

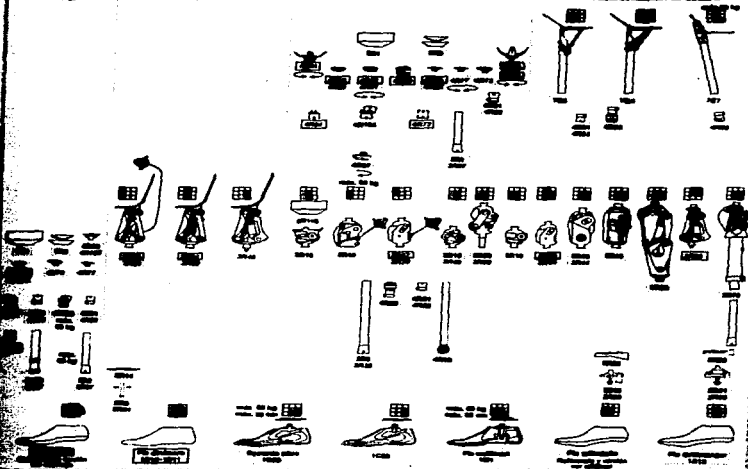
**2 para pedestales hasta un peso de 100 kg**

Detalle de pedestal

Desmontaje del pedestal

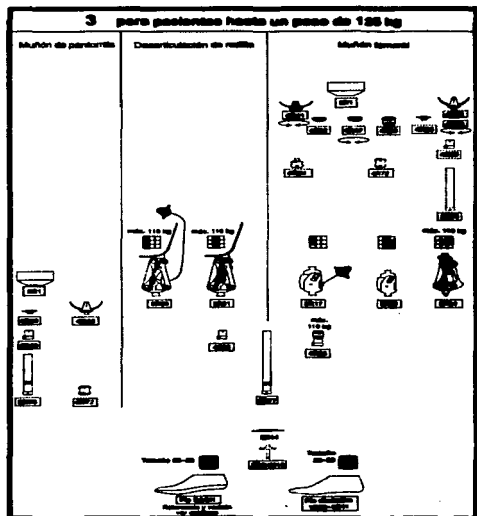
Detalle frontal

Desmontaje de cables



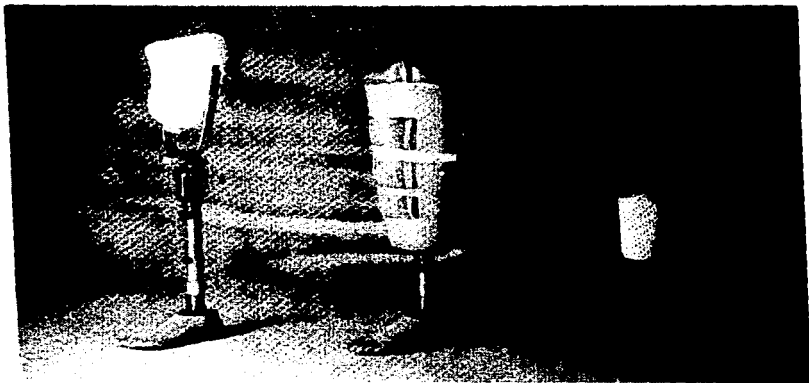
**Esquema**

3

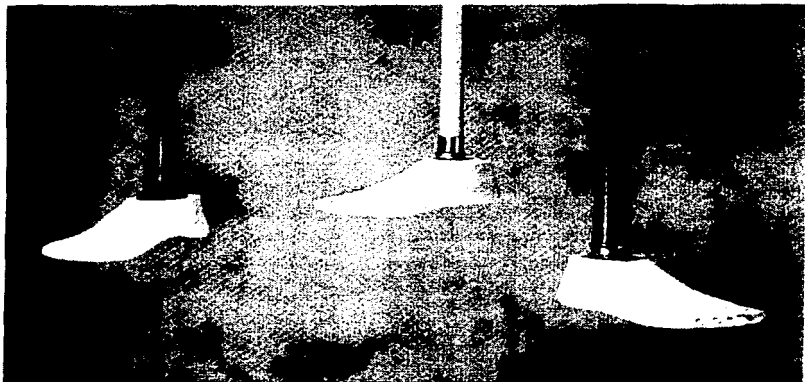




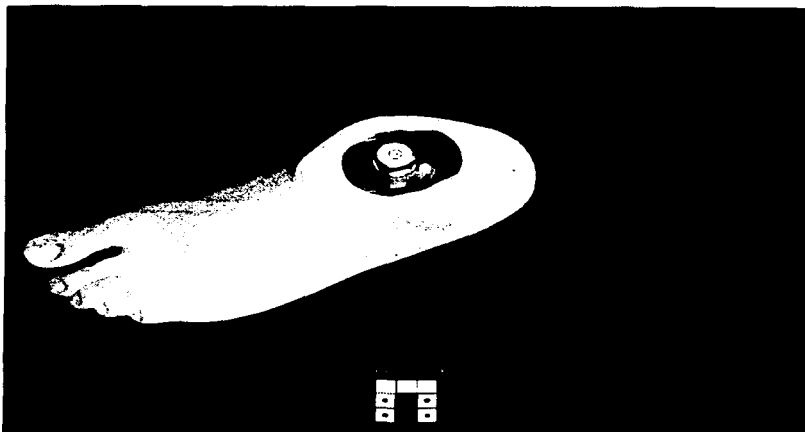
*Prótesis Interim Otto Bock*



*Pies protésicos modulares Otto Bock*



## *Pie multiaxial*



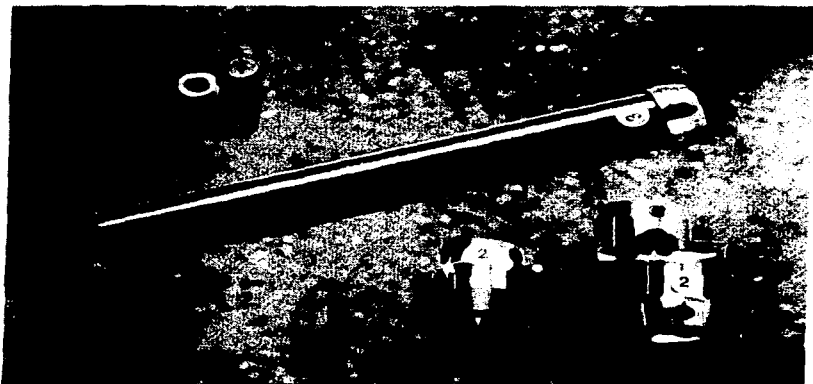
*Dynamic plus*



(1)

32 - 35	26 - 28
1	2
2	3

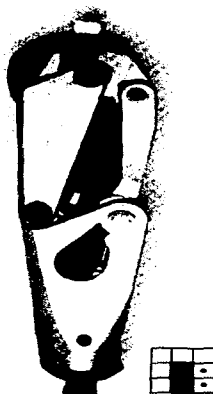
*Adaptadores modulares Otto Bock*



*Rodillas modulares Otto Bock*



## *Articulación modular de rodilla EBS*



(1)

*Manos estéticas Otto Bock*

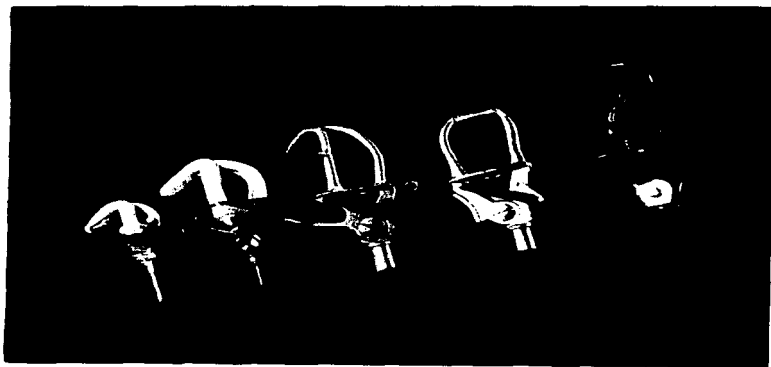




*Manos de sistema Otto Bock*



*Pinzas gancho para prótesis accionadas por tracción*



*Manos convencionales / Aparatos de trabajo*



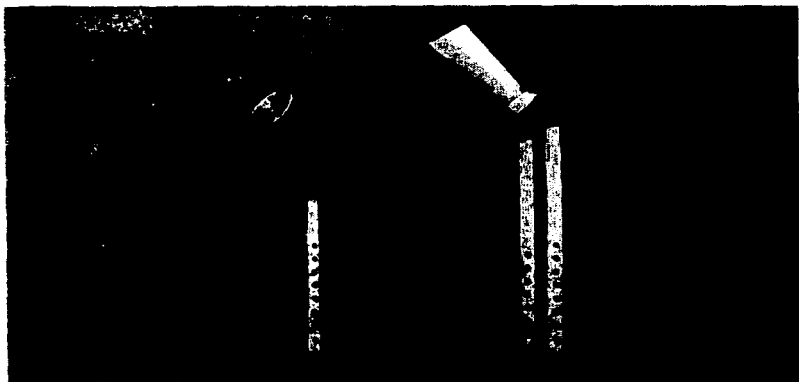
*Muñecas, Piezas de unión*



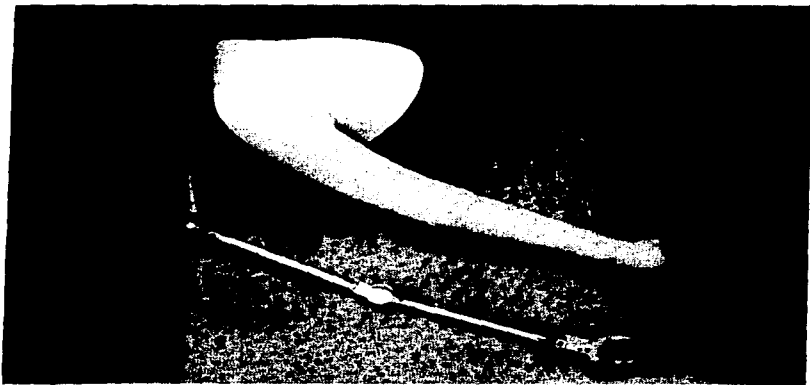
*Prefabricados codo*

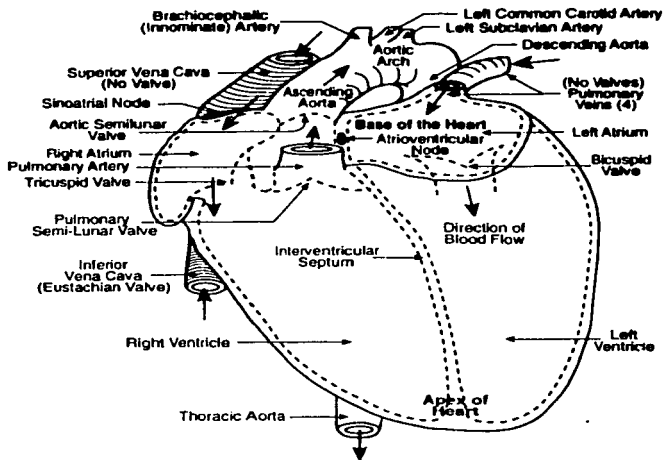


*Articulaciones de hombro*



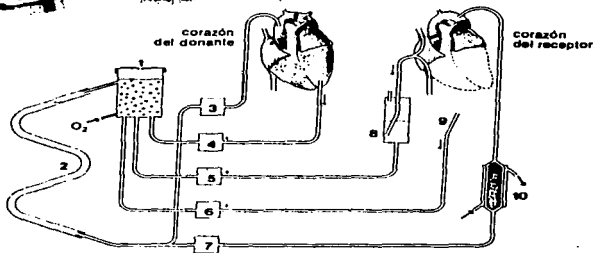
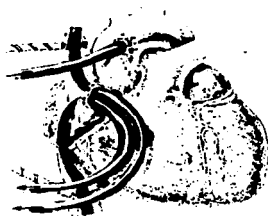
*Prefabricados modulares de brazo Otto Bock*





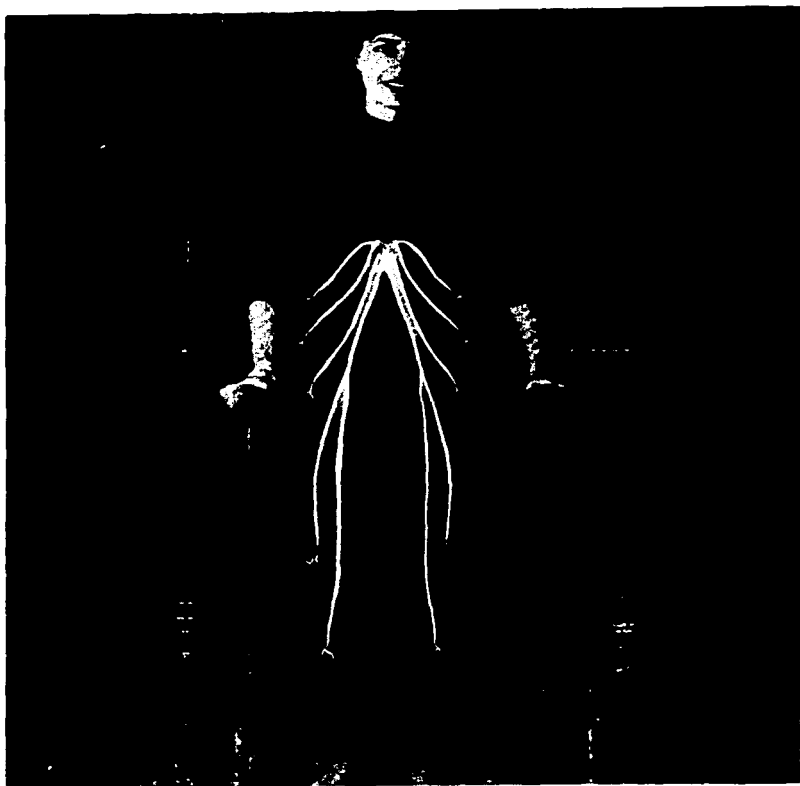
Anterior view of the human heart showing the four chambers, the inlet and outlet valves, the inlet and outlet major blood vessels, the wall separating the right side from the left side, and the two cardiac pacing centers--the sinoatrial node and the atrioventricular node. Boldface arrows show the direction of flow through the heart chambers, the valves, and the major vessels.



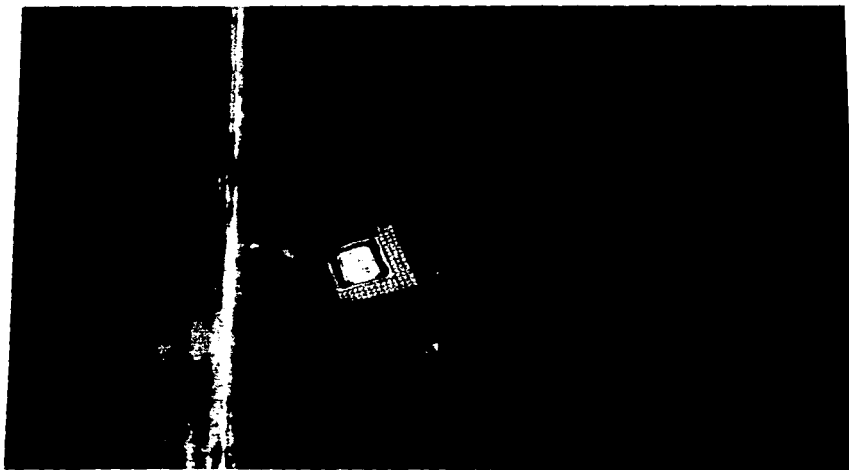






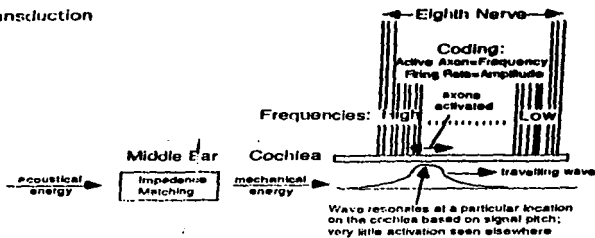


A N E X O 39

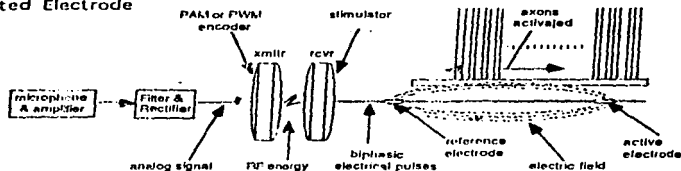




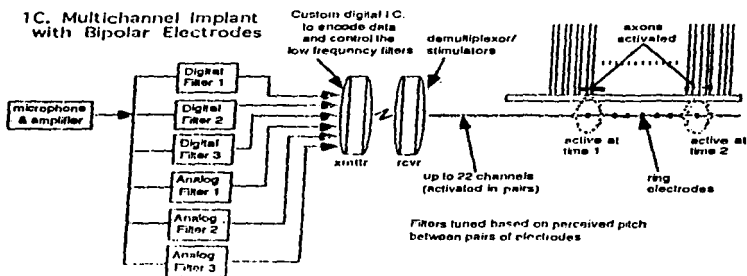
1A. Normal Transduction



1B. Single Monopolar Implanted Electrode



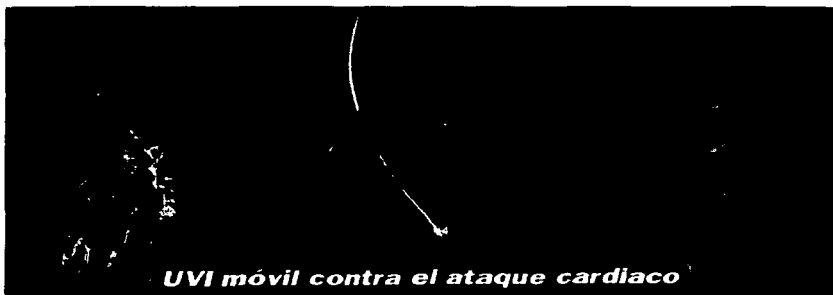
1C. Multichannel Implant with Bipolar Electrodes



Mechanisms of normal hearing (1A), and electrical stimulation via a single (1B) or multichannel (1C) cochlear implant.







**UVI móvil contra el ataque cardiaco**



## Todas las bombas del mercado

En la actualidad, existen básicamente dos diseños diferentes de ayuda a la circulación cardíaca. Son éstos:

● **Bombas mecánicas:** Se trata de unos dispositivos de flujo continuo que aprovechan la fuerza centrífuga de la rotación de

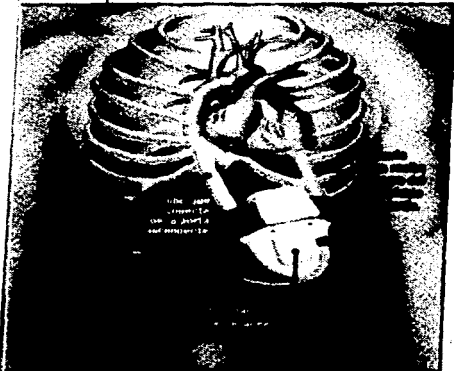
una pieza móvil y la viscosidad de la sangre para realizar su impulsión. Fáciles de manejar e implantar, se utilizan como puente al trasplante. Hay tres tipos: **dispositivo de asistencia ventricular izquierda (AVI), derecha (AVD) y bi-ventricular (ABV).**

● **Bombas de diafragma:** Impulsan la sangre de manera pulsátil mediante unas membranas o diafragmas que se contraen y expanden al ser accionadas de forma neumática o eléctrica. De este modo, se genera una presión positiva des-

de las aurículas o el ventrículo izquierdo hacia las arterias aorta o pulmonar.

Los dispositivos de desplazamiento más populares son el **Thoratec**, el **Abimed SVS 5000**, el **Novacor** y el **Heartmate 1000**. Estos dos últimos han sido modificados para ser empleados de modo permanente.

Por último, cabe mencionar los corazones artificiales, como el **Cardwest 70 TAM**, que requieren para su implante la extracción del órgano dañado.



El sistema **Novacor 1000** (arriba) ha sido implantado en 300 pacientes de todo el mundo.



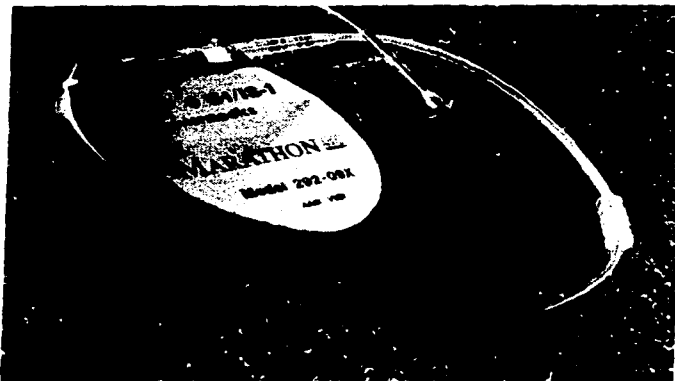
# El último corazón

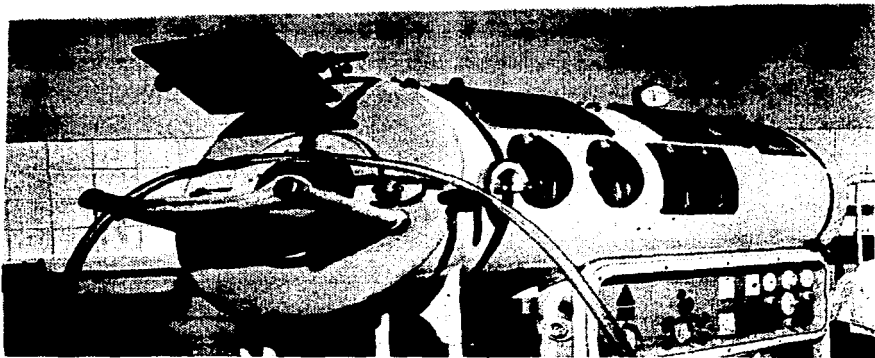
*Ante la escasez de  
órganos donados,  
los científicos han  
aguzado el ingenio  
para desarrollar un  
corazón artificial que  
sustituya de manera  
permanente al dañado.  
Fabricada con titanio y  
materiales especiales  
que evitan el rechazo,  
ésta es la posible  
bomba cardiaca  
del próximo milenio.*



**6.2 Un marcapasos cardíaco en que se ve la unidad formada por la parte electrónica y la batería. Los cuatro objetos cilíndricos son pilas de mercurio que proporcionan fuerza para varios años. El alambre forrado de plástico tiene una clavija en un extremo para conectarlo con la unidad electrónica y un electrodo en forma de lazo, en el otro extremo.**

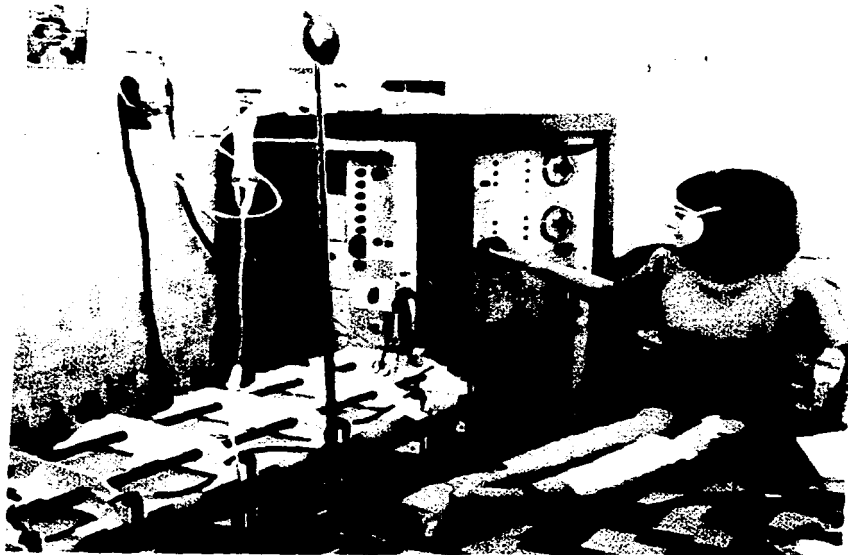








Una joven enferma maneja una unidad de diálisis, Cambridge, instalada en su propio dormitorio. La diálisis realizada a domicilio supone una menor limitación de la vida del paciente y menos trabajo para el personal del hospital. La conexión se hace mediante cánulas que forman un empalme externo arteriovenoso.











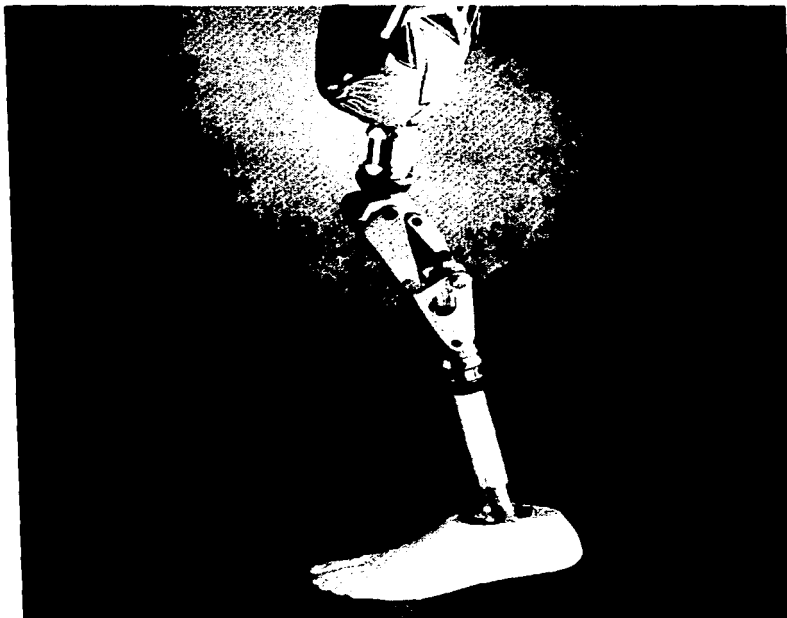
**SOLUCIÓN DIGITAL.**

*Los datos cerebrales obtenidos por el médico de cabecera del paciente serán transmitidos por red para que el especialista los analice en las imágenes tridimensionales de su computadora. Establecido el diagnóstico, envía el tratamiento correspondiente.*

# *Componentes de prótesis*

*-Extremidad inferior-*

1996/97



A N E X O 57

*Oslo Pock*  
CALZADOS CONTORTIDA

## *Componentes para brazo*

1995/96



ANEXO 58







### Los diez máximos países donantes

