

Ingeniería biomédica

Giovanni Gismondi Glave

Resumen:

En la gran mayoría de los países de Sudamérica, los recursos humanos involucrados en los Sistemas de Salud son sólo profesionales médicos, bioanalistas, enfermeras, farmacéutas, etc., mientras otros profesionales como gerentes, administradores, ingenieros, son sólo casuales y su presencia no influye en el desenvolvimiento del sistema. Diríamos que hasta tradicionalmente en nuestros países las instituciones médico-asistenciales han sido planificadas y administradas exclusivamente por profesionales médicos, quienes se han visto obligados a asumir el papel que les correspondería a otros profesionales a causa de la inexistencia de recursos humanos especializados capaces de asumir tales funciones.

Sin embargo, cada día en el campo de las tecnologías médicas se da un gran avance, y por ende los equipos son más sofisticados y costosos, lo que limita a los profesionales médicos en su necesidad de estar al ritmo de estos cambios. Frecuentemente, en el desarrollo de estas tecnologías, se utilizan logros obtenidos dentro de las investigaciones de las ciencias técnicas y las ciencias exactas, por lo que sus principios de funcionamiento, en muchos casos, están fuera del alcance de los profesionales de las ciencias de la vida, quienes son únicamente usuarios.

Es importante aclarar que no es lo sofisticado de algunos equipos lo que justifica la presencia de profesionales de las ciencias exactas en la medicina, sino la diversidad de tecnologías, su utilización, los estudios de costo-beneficio, el entrenamiento al personal médico y paramédico que actuará como operador, la preparación de técnicos encargados del mantenimiento, la calibración de los equipos (sin contar el diseño de nuevos equipos y técnicas); y en particular la gestión especializada de la tecnología en el medio hospitalario, a fin de que la institución alcance el nivel de calidad que la sociedad le exige y espera.

Esto es lo que condiciona sin prórroga ni dilaciones la inmediata vinculación de los profesionales de las ciencias técnicas y exactas a los sistemas sanitarios en Bolivia y demanda una preparación especializada de los futuros profesionales en carreras como la Ingeniería Biomédica.

Por todo esto es que se ha deseado realizar una breve explicación de los alcances de la Carrera de Ingeniería Biomédica, que debiera ser incorporada en nuestro medio.

Palabras clave: Ingeniería biomédica, Ingeniería clínica, Biotecnología, Imagenología.

Abstract:

In the vast majority of countries in South America, the human resources involved in health systems are only medical professionals, bioanalysts, nurses, pharmacists, etc., While other professionals such as managers, administrators, engineers are only casual and their presence influences the development of the system. We would say that even in our countries traditionally medical-care institutions have been planned and managed exclusively by medical professionals, who have been forced to assume the role that correspond to other professionals because of the lack of specialized human resources capable of assuming such functions.

However, each day in the field of medical technologies, a major breakthrough, and thus are more sophisticated equipment and expensive, limiting medical professionals in their need to keep pace with these changes. Often in the development of these technologies are used achievements in research of technical sciences and exact sciences, as its operating principles, in many cases, are beyond the scope of professional science life, who are only users.

It is important to clarify that it is not the sophistication of some equipment which justifies the presence of professionals in the medical sciences, but also the diversity of technologies, their use, cost-benefit studies, training medical personnel and paramedical act as operator, the preparation of technicians for the maintenance, calibration of equipment (not including the design of new equipment and techniques), and in particular the specialized management of technology in hospitals, so that the institution the quality level that society demands and expects.

This is what determines without extension or delay the immediate involvement of professionals in the technical sciences and accurate health systems in Bolivia and demand for specialized training of future professional careers as Biomedical Engineering.

For all this is that they wanted to make a brief explanation of the scope of the School of Biomedical Engineering, which should be incorporated in our environment.

Key words: Biomedical Engineering, Clinical Engineering, Biotechnology, Imaging.

Introducción

Por el gran dinamismo de su desarrollo actual, la Ingeniería biomédica está considerada como una de las tecnologías de punta del siglo XXI, tal como se estableció en los resultados obtenidos por la *Nacional Academy of Engineering (NAE)* de Estados Unidos de América. La creciente importancia de esta disciplina ha quedado patente en las considerables tasas anuales de crecimiento de la industria sanitaria:

Se espera que el empleo para ingenieros biomédicos crezca más rápido que el promedio para todas las ocupaciones en las próximas décadas, ya que el envejecimiento de la población y un mayor enfoque en los asuntos de salud incrementarán la demanda por mejores sistemas y equipos médicos diseñados por ingenieros biomédicos. (*Bureau of Labor Statistics, 2007*).

En el año 2008, la National Academy of Engineering emitió una lista de los que serían los principales desafíos de la ingeniería en el siglo XXI. Fue elaborada por un equipo de expertos de todo el mundo convocados a petición de la National Science Foundation (NSF) y publicada el 15 de febrero del 2008. En la misma se concluyó que existe un total de 14 retos que debiera alcanzarse para mejorar nuestro modo de vida.

Los desafíos para el siglo XXI, según los científicos, serían los siguientes:

- Conseguir que la energía solar sea accesible
- Suministrar energía a partir de la fusión
- Desarrollar métodos de secuestro del carbono
- Gestionar el ciclo del nitrógeno
- Suministrar acceso al agua potable
- Restaurar y mejorar las infraestructuras urbanas
- Avanzar en la tecnología e informática para la sanidad
- Diseñar mejores medicamentos
- Hacer ingeniería inversa del cerebro
- Prevenir el terror nuclear
- Proteger el ciberespacio
- Enriquecer la realidad virtual
- Avanzar en el aprendizaje personalizado
- Diseñar herramientas para el descubrimiento científico

<http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=02152008>

Las selecciones finales fueron revisadas por más de 50 especialistas. Los 14 retos pueden resumirse en cuatro temas clave o pilares fundamentales para el éxito de la humanidad.

- La sostenibilidad
- La salud
- La reducción de la vulnerabilidad
- La calidad de vida.

El estudio señala que los ingenieros han marcado los avances de la civilización a lo largo de toda la historia, y que su presencia e influencia se ha acrecentado a partir de la Revolución Industrial, que supuso la sustitución del trabajo humano por el de las máquinas en incontables facetas. Todos estos avances, por otro lado, han generado una serie de desafíos ya que, a medida que la población crece y necesita expandirse, el problema de la sostenibilidad sigue aumentando, al igual que la necesidad de mejorar la calidad de vida.

Nuevas y antiguas amenazas de salud demandan por otro lado una mayor efectividad de los tratamientos médicos: vulnerabilidad ante las pandemias requieren de investigaciones serias para la creación de nuevos métodos de protección y prevención. En cuanto a la salud humana relacionada con la calidad del agua, aún quedan importantes cuestiones por resolver, como el problema de la malaria, que requieren nuevos métodos y tecnologías médicas.

En general, la Ingeniería biomédica tiene pendiente la promesa de la medicina personalizada: los médicos reconocen que cada persona difiere tanto en el grado de susceptibilidad a las enfermedades como en las respuestas a los tratamientos, pero actualmente las tecnologías médicas ofrecen sólo soluciones estándar. La categorización de la genética humana y otros avances ofrecen la posibilidad de identificar factores específicos en cada persona que determinarán su bienestar o su tendencia a enfermar. Por otro lado, la profundización en el conocimiento del funcionamiento del cerebro ayudará al desarrollo de la inteligencia artificial, al mismo tiempo que deberán desarrollarse nuevas medicinas que puedan curar la expansión de nuevos virus.

Todo este esfuerzo, advierten los autores del proyecto, han de hacerse afrontando grandes obstáculos desde los políticos hasta los económicos. Por otra parte, se necesitan grandes sumas de dinero para llevar a cabo los proyectos necesarios, por lo que es preciso que los ingenieros se asocien con científicos, educadores y otros sectores para promover la mejora de la ciencia, la tecnología y la ingeniería.

1. Definiciones y conceptos

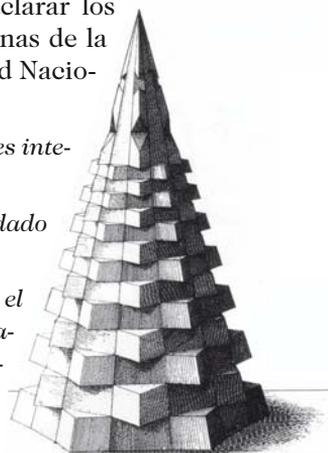
Las siguientes son algunas definiciones importantes para aclarar los conceptos y objetivos que persiguen cada una de las disciplinas de la Ingeniería relacionada con las ciencias naturales (Universidad Nacional de Córdoba Argentina – 2007)

Bioingeniería: la definición más amplia abarca todas las posibles interacciones entre las ciencias naturales y la Ingeniería

Ingeniería biomédica: Centrada en el ser humano y en el cuidado de su salud.

Ingeniería clínica: Parte de la Ingeniería biomédica centrada en el paciente (excluye el desarrollo de tecnologías)

Ingeniería hospitalaria: Parte de la Ingeniería biomédica centrada en la infraestructura y soporte. Electromedicina: Exclusivamente equipamiento electrónico de uso en Medicina.



Biotecnología: Generalmente asociada a la Genética y relacionada con aplicaciones agropecuarias y en medicamentos.

La Ingeniería biomédica es la rama de la ingeniería que implementa los principios de las tecnologías al campo de la medicina. Se dedica fundamentalmente al diseño y construcción de equipos médicos, prótesis, dispositivos médicos, dispositivos de diagnóstico (imagenología médica) y de terapia. También interviene en la gestión o administración de los recursos técnicos ligados a un sistema de hospitales. Combina la experiencia de la ingeniería con necesidades médicas para obtener beneficios en el cuidado de la salud.

Ingeniería biomédica es la disciplina encargada de unir los mundos de la ingeniería con la medicina y fisiología para lograr avances en el conocimiento científico y el desarrollo de la tecnología en medicina y biología. Las actividades que eso incluye van desde la aplicación de métodos matemáticos y la ciencia experimental hasta el desarrollo tecnológico y las aplicaciones clínicas.

La Ingeniería biomédica en la actualidad incorpora otras disciplinas que conforma la telemedicina, ya que, a través de telecomunicaciones, electrónica e informática, entre otras ramas de la ingeniería, se facilita la resolución de problemas en biología y medicina a grandes distancias.

Por lo tanto, la protagonista en Latinoamérica será la Telemedicina, que a través de la telefonía móvil y telefonía convencional, redes de acceso al Internet, videoconferencia y comunicaciones por satélite, facilitará la asistencia a personas o profesionales en lugares aislados o muy alejados de centros sanitarios.

El año 2008, la República de Venezuela, conjuntamente con la República de China, colocó en orbita el satélite artificial "Simón Bolívar", con el fin de disponer de la comunicación de datos, imágenes y video aplicados en el campo de la telemedicina y la teleeducación. La huella de cobertura del satélite toca la gran mayoría de los países sudamericanos utilizando la banda Ku y C, por lo que será posible su utilización para aplicaciones biomédicas también en nuestro país, el cual tendrá el apoyo adecuado para su desarrollo en el campo de la telemedicina.

2. Historia de la Ingeniería biomédica

Hay autores que indican que la Ingeniería biomédica existe ya desde hace 3000 años, como se demuestra en los hallazgos realizados en tumbas egipcias, donde se aplicaron remedios a problemas particulares del individuo, como una prótesis del dedo gordo (Nerlich, 2000).

Otros autores mencionan a los dibujos anatómicos de Leonardo da Vinci y sus aproximaciones a brazos de palanca, o los trabajos de Luigi Galvani y de Lord Kelvin sobre la conducción eléctrica en los seres vivos, como los primeros desarrollos en Bioingeniería.

Por lo tanto, todas las actividades con la solución de problemas médicos por medio de tecnología o con soluciones de ingeniería podrían considerarse como parte de la Ingeniería biomédica. Sin embargo, el desarrollo de la ins-

trumentación eléctrica y electrónica produjo una explosión de resultados y aplicaciones en medicina y biología, de tal manera que se puede considerar a este momento como uno de los orígenes verdaderos.

Sus orígenes se remontan un siglo atrás, a finales del siglo XIX cuando los esposos Curié descubren el Radio y Roentgen los rayos X, y se realizan los registros de A.D. Waller en corazones de humanos (1887). Ya en el siglo, W. Einthoven utiliza por primera vez (1903) un electrocardiógrafo, que luego refina la técnica al desarrollar un galvanómetro de cuerda (1901) y, finalmente, en 1924 Berger aplica éste al registro de señales electroencefalográficas en humanos.

La Ingeniería biomédica, la Física médica y la Biofísica nacieron conjuntamente hacia 1930, en diversos laboratorios de Europa y EE.UU. En ellos, físicos, ingenieros y médicos empleaban los métodos analíticos de las ciencias físicas y su materialización en instrumentos, a diversos problemas planteados por las ciencias de la vida. La instrumentación electrónica a partir de tubos de vacío se empleó por E. Lovett Garceau para amplificar señales eléctricas y el primer sistema de electroencefalógrafo comercial de tres canales fue construido por Alfred Grass en 1935. Dichas actividades se multiplicaron en los años 50 y los antiguos laboratorios se transformaron en departamentos universitarios dedicados a la Ingeniería biomédica. El primer programa oficial de estudio en Ingeniería biomédica comenzó en 1959, como Maestría en la universidad norteamericana de Drexel.

Desde 1970, los estudios de Ingeniería biomédica han ocupado la atención de las principales universidades latinoamericanas. Actualmente para nuestros países aplicar la Bioingeniería no es una opción, sino una obligada necesidad, utilizando recursos genuinos ante los problemas económicos de nuestro país.

Otro campo es el desarrollo de la instrumentación en imagenología. Desde el descubrimiento de los rayos-X por Röntgen, en 1895, hasta su primera aplicación en Biomedicina sólo pasó una semana. En 1896, Siemens y General Electric ya vendían estos sistemas.

Los nuevos desarrollos en imagenología han tomado más tiempo en lograr su aplicación clínica. El principio de resonancia magnética se descubrió en 1946, pero recién en 1976 es que se pudo desarrollar un sistema para su uso en seres humanos.

La primera conferencia mundial sobre Ingeniería biomédica se realizó en París, en 1959. En el año 1994 se celebró la decimoquinta conferencia mundial, y fue la primera vez que la sede de un evento de este tipo fue Latinoamérica (Río de Janeiro). Durante el año 2000 fue celebrada en Chicago la decimoséptima conferencia mundial. Se espera que la conferencia internacional N°32 de la IEEE EMBC10 "Engineering in Medicine and Biology Society" (Conferencia Mundial de la Sociedad en Ingeniería y Medicina) se realice el 2010 en Buenos Aires, Argentina.

3. Campos de acción de la Ingeniería biomédica

Como se mencionó, la Ingeniería biomédica inició su desarrollo con el diseño y construcción de instrumentación médica de diversos tipos. Sin embargo, a finales del siglo XX, los equipos de imagenología (rayos X, ultrasonido, tomografía computarizada y resonancia magnética, principalmente) tuvieron cada vez una importancia mayor, debido al aporte de estos equipos para el diagnóstico de múltiples enfermedades, de tal manera que en la actualidad la mitad del gasto de equipamiento médico en un hospital es en sistemas de este tipo.

Desde el punto de vista del tipo de instrumentos y procesos que se emplean, las distintas ramas de la Ingeniería biomédica se pueden clasificar en:

- Instrumentación médica
- Imagenología médica y procesamiento de imágenes
- Procesamiento digital de señales
- Biomecánica y rehabilitación
- Ingeniería clínica hospitalaria y Gestión tecnológica.

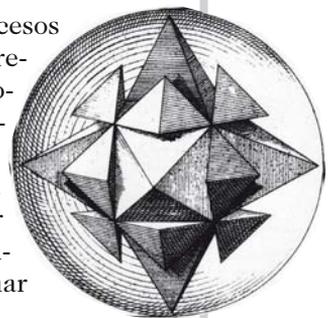
3.1 Instrumentación médica

Como se indicó, la instrumentación médica se desarrolla a finales del siglo XIX y a principios del siglo XX; la incorporación de los tubos de vacío en la electrónica durante la Primera Guerra Mundial proporcionó un gran impulso al diseño inicial de la instrumentación médica. Es así como se implementan los primeros sistemas comerciales para electrocardiografía (ECG) por Siemens y Halske (1920) y de electroencefalografía, a mediados de esa década, por Hans Berger y sus colaboradores.

Después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se generaron excesos en la disponibilidad de equipo electrónico como amplificadores y registradores, fue propicia la construcción de equipos con fines biomédicos, pero los resultados de esta época (años 50) no fueron enteramente satisfactorios. Los ingenieros se dieron cuenta de que los parámetros fisiológicos no se podían medir de la misma manera como se medían los parámetros físicos de cualquier equipo, y por consiguiente fue necesario iniciar el estudio y aprendizaje de la fisiología humana y animal con mayor profundidad, para poder diseñar instrumentos médicos.

Las necesidades de monitoreo telemétrico del programa espacial norteamericano impulsaron grandemente al mercado, de tal manera que en la década de los años 70 ya se habían establecido las bases para fundar una asociación profesional de especialistas en Ingeniería biomédica.

La comprensión de que las mediciones en seres vivos es fundamentalmente diferente a la de cualquier objeto llevó a la definición de la unidad hombre instrumento. (Cromwell *et al.*, 1980).



En este caso la problemática encontrada para la aplicación de la instrumentación en el campo médico biológico puede ser resumida por los siguientes factores:

- Inaccesibilidad a las variables a medir
- Variabilidad de los datos de persona a persona
- Interacción entre sistemas fisiológicos
- Efecto del transductor sobre la medición
- Artefactos o señales espurias que inciden en las mediciones.
- Limitaciones sobre la energía y consideraciones de seguridad.

Uno de los principales problemas en la medición de variables fisiológicas es la accesibilidad de esta última, ya que, frecuentemente, no es posible tener acceso directo a la variable a medir, y entonces es necesario obtener información a través de variables indirectas que representen de alguna manera al proceso que se quiere describir.

En otros casos deben construirse transductores de tamaños muy pequeños para limitar la técnicas invasivas de los mismos, pero esto implica una pérdida en la precisión de las mediciones. Aunque recientemente, con la inclusión de la nanotecnología se está consiguiendo disponer de transductores y sensores del orden de los nanómetros.

Las variables que se miden en sistemas biológicos no pueden considerarse como determinísticas, sino que deben considerarse como variables estocásticas. Es decir que, cada vez que se miden, la respuesta es distinta, aunque parecida. En estos casos es necesario llevar a cabo análisis estadísticos para obtener información a partir de una serie de mediciones, en lugar de obtener una sola medida.

La gran mayoría de los diseños actuales de sistemas fisiológicos están controlados a través de diversos lazos retroalimentados, es decir que algunos parámetros que se miden a la salida del sistema afectan al comportamiento de este control. Un ejemplo de esto es el control de la presión arterial. Sin embargo, varios de estos sistemas de control están interconectados, y por tanto es difícil encontrar relaciones de causa y efecto puras, sin interferencias de otras entradas, y más difícil aun poder cortar estos lazos de interrelación. Por ello se presentan retos a los diseños con sistema de control retroalimentados.

Cada variable que se desea medir es afectada de alguna manera por el transductor que realiza la medición. Al diseñar un sistema de medición, el ingeniero debe tener mucho cuidado para asegurarse que las modificaciones e interferencias generadas por el transductor sean mínimas.

La señal artefacto indica cuando una parte de la señal medida es espuria o no proviene del fenómeno fisiológico que se quiere medir. Un caso muy común es el que se encuentra con los movimientos del paciente. Por ejemplo, el movimiento respiratorio induce ruido o artefactos dentro de las señales electrocardiográficas. En algunos momentos estos artefactos pueden enmascarar completamente a la señal.

Otro de los elementos a considerar es que muchas técnicas de mediciones fisiológicas se basan en la aplicación de algún tipo de energía al paciente, para poder obtener una medida. Por ejemplo, para medir la resistencia eléctrica de un tejido es necesario aplicar un voltaje o una corriente. Es necesario asegurarse de que esta corriente no produzca excitaciones eléctricas indeseadas, o que no haya incrementos en temperatura que afecten a las variables a medir. En este mismo sentido, es necesario asegurarse que las energías aplicadas no pongan en riesgo la seguridad del paciente y que no generen trauma o dolor.

A partir de los factores mencionados anteriormente, debe quedar claro que la obtención de mediciones de un ser vivo tiene una problemática altamente compleja. Este reto es lo que hace que el diseño de la instrumentación médica sea una disciplina tan importante dentro de la Ingeniería biomédica y la ciencia biofísica para poder desarrollar instrumental médico de alta precisión y en lo posible que no sea invasivo al cuerpo humano.

3.2 Imagenología médica y procesamiento de imágenes

El análisis de las estructuras internas del cuerpo sólo ha sido posible durante el último siglo, con el descubrimiento de los rayos-X. Otra revolución llegó no hace más de 30 años, con la utilización de las tomografías computarizadas y resonancias magnéticas que permiten el estudio y análisis en tres dimensiones del cuerpo humano. Es así como el campo de la Imagenología médica se convierte en una de las aplicaciones más importantes del procesamiento y visualización de imágenes en realidad virtual.

Este campo de la medicina, cuyo desarrollo empezó a principios del siglo XX con el descubrimiento de los rayos X y que hasta hace unos cuantos años se basaba exclusivamente en la lectura de imágenes en 2D por parte de los especialistas, se encuentra en una constante evolución hacia el desarrollo de tecnologías que permitan también realizar reconstrucciones tridimensionales, teniendo las mismas bases de los equipos convencionales.

El Ultrasonido (ecografía), la Tomografía Axial Computarizada (CAT), la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y la Tomografía por emisión de positrones (PET) que con la ayuda de gran cantidad de software y hardware capaz de tomar estas imágenes para convertirlas en representaciones 3D bastante cercanas a la realidad que ya pueden ser trabajadas como imágenes digitalizadas en la red.

También deben ser consideradas dentro de la Imagenología los sistemas de endoscopia. Aunque el principio de funcionamiento es distinto a los antes descritos, resulta ser ahora uno de los instrumentos médicos más apreciados por los médicos. La endoscopia es una técnica diagnóstica y terapéutica que consiste en la introducción de un cámara o lente dentro de un tubo o endoscopio a través de un orificio natural, una incisión quirúrgica o una lesión, para la visualización de algún órgano o cavidad corporal.

Los métodos para producir una imagen médica no han cambiado tampoco desde hace más de 110 años, aunque con el apoyo computacional actualmente el procesamiento de información nos ha permitido visualizar estructuras que antes era muy difícil.

El principio de funcionamiento básico es la aplicación de algún tipo de energía a los tejidos para medir las diferencias entre la energía aplicada y la energía absorbida por el cuerpo. El ejemplo más sencillo son los sistemas de Rayos X de proyección. Se aplica la radiación X al cuerpo y distintas estructuras la absorben con distinta eficiencia. Los huesos absorben una gran cantidad de esta radiación, mientras que el aire (o tejidos como los pulmones) prácticamente no absorben nada.

Una placa fotográfica (radiográfica) que se pone detrás del paciente será afectada por la radiación que logra atravesar al cuerpo del paciente, de tal manera que, al revelarse la imagen expuesta, se mostrarán en negativo las sombras de los órganos por los que pasó la radiación. Este efecto se conoce como Radiografía de Proyección.

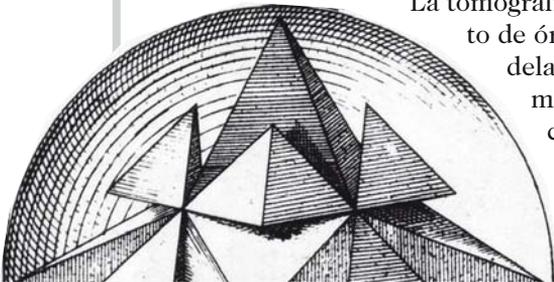
En la actualidad se dispone de un gran conjunto de tipos o modalidades de imágenes que se pueden emplear con fines de diagnóstico médico. Se han experimentado todos los tipos de energía concebibles para visualizar al cuerpo humano.

La Tomografía Axial Computarizada (TAC)

Esta tecnología emplea los mismos principios que los rayos X convencionales, pero se genera un número grande de tomas alrededor del paciente, ya que el tubo de rayos X y los detectores giran alrededor del paciente. Cada toma genera una proyección que se puede ver como la representación de la sombra producida por la radiación que atraviesa el cuerpo. La información se combina con el procedimiento denominado la *Reconstrucción Topográfica*, que genera la imagen a partir de estas exposiciones mediante algoritmos matemáticos calculados por un computador central.

El computador dispone de datos de cuatro tomas: 45°, 90°, 135° y 180°. Los perfiles de la imagen son octogonales, lo que la aproxima mucho más a los contornos circulares del objeto real. Cada exposición genera un perfil de sombras de acuerdo al punto donde se aplicó la radiación. Se calcula la retroproyección para reconstruir un corte a partir de una serie de perfiles.

La tomografía tiene la ventaja de que elimina el ocultamiento de órganos por otros que estén anatómicamente por delante o detrás del órgano de interés. Adicionalmente, el contraste proporcionado por esta técnica facilita el reconocimiento de diversos tejidos. Finalmente los datos pueden visualizarse como una serie de cortes que pueden hacerse en distintos planos y son susceptibles de usar para una reconstrucción en tres dimensiones.



La Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

La Resonancia magnética nuclear es una tecnología basada en los principios de las propiedades de mecánica cuántica de los núcleos atómicos y es considerada no invasiva al cuerpo humano, debido a que a los campos magnéticos y las energías electromagnéticas aplicadas en la actualidad no generan ningún daño al paciente, comparado con los daños posibles producidos por la radiación ionizante, como son los rayos X.

El campo magnético principal produce una alineación de los espines de los protones del cuerpo a lo largo de su eje. Los campos aplicados por los gradientes realinean estos espines, y al dejarse de aplicar, éstos regresan a su estado de reposo, generando una señal electromagnética que se detecta a través de sensores que se emplean para la reconstrucción de la imagen.

Para seleccionar los distintos elementos de la imagen se aplican gradientes magnéticos en forma ortogonal. La codificación se genera al aplicar gradientes que codifican la posición en la información de fase de la señal. Estas fases se registran en una matriz 2D o 3D. Los datos representan las frecuencias espaciales del objeto de la imagen. Las imágenes se generan a partir de la aplicación de la Transformada discreta de Fourier a la matriz de datos.

Por lo general, las resonancias magnéticas estándar trabajan midiendo información de los átomos de hidrógeno encontrados en el agua y en la grasa contenida en los tejidos del cuerpo. Pero la nueva técnica en la que investiga el grupo inglés de la Universidad de York (Inglaterra) permite también medir datos de las moléculas a base de carbón, que son los componentes básicos de los tejidos. El profesor Duckett también ha avanzado que esta nueva técnica que, con mayor sensibilidad, permitirá sustituir los actuales productos químicos que se administran al paciente (contrastes) por sustancias más inocuas, como el agua. En este sentido, ha recordado que estos contrastes son en realidad sustancias radiactivas o metales pesados, que no son totalmente inocuos para el organismo.

Equipos de ultrasonido

Esta tecnología es una de las más empleadas debido a dos factores: no es invasiva y tiene un costo relativamente bajo. Estas ventajas han hecho que se emplee muy frecuentemente en dos tipos de estudios, principalmente: estudios abdominales, especialmente para aplicaciones gineco-obstétricas, y estudios cardíacos. Por medio de estos estudios se pueden detectar anomalías fetales o la viabilidad fetal en etapas tempranas, y en el caso de las imágenes cardíacas es posible determinar el funcionamiento de las cavidades cardíacas, las válvulas, y efectuar cálculos de la fracción de eyección, que se emplea para determinar la funcionalidad del tejido cardíaco.

En la actualidad, además de las imágenes anatómicas convencionales, es posible detectar el flujo en vasos sanguíneos y el corazón (Ultrasonido Doppler) y efectuar reconstrucciones en tres dimensiones de cortes tanto para imágenes fetales como cardíacas. En la siguiente figura se muestra a un equipo cuyo principio de operación está basado en un transductor piezoeléctrico que emite un pulso de sonido de alta frecuencia y también recibe

la señal reflejada, la misma que es tratada adecuadamente mediante micro-procesadores y es desplegada en un monitor.

Resonancia Magnética Funcional (RMNf)

Otra manera de producir imágenes es mapeando algunas características que proporcionan información acerca del funcionamiento del órgano bajo estudio. Un ejemplo es la resonancia magnética funcional, que estudia la función cerebral de manera indirecta. Las zonas del cerebro que están activas tienen un metabolismo elevado. Este aumento se traduce en un consumo de oxígeno que a su vez requiere de una mayor irrigación sanguínea. Como la hemoglobina de la sangre tiene propiedades magnéticas diferentes si está oxigenada o no, este cambio se puede detectar con los sistemas de resonancia magnética. El aumento de irrigación sanguínea, producto del aumento en el metabolismo, se puede indicar en un mapa bidimensional que se puede correlacionar con la misma imagen anatómica del paciente.

Las siguientes funciones han sido mapeadas por varios grupos: función motora (mano, pie, boca, ojos, cara); función sensorial (dolor, sensibilidad superficial, sensación térmica, sensibilidad profunda, reconocimiento de formas por el tacto, vibración, gusto, olfato); función visual (luz destellante, formas, colores, movimiento, formas complejas); función auditiva (tonos, música, sonidos naturales, percepción estereofónica, localización del sonido, diferenciación de fondo).

La Tomografía de Emisión de Positrones (TEP)

En la aplicación de la tomografía de emisión de positrones se aplica un fármaco al paciente con glucosa marcada radiactivamente. Esta glucosa se acumulará en zonas donde se tenga un metabolismo cerebral acelerado. El decaimiento del fármaco produce un positrón que viaja unos pocos milímetros antes de encontrar un electrón. Ambas partículas se eliminan, generando un fotón gamma que se detecta en un equipo de cámara gama similar a un tomógrafo.

El número de cuentas acumuladas es un reflejo de la capacidad del órgano blanco de captar los fármacos.

Procesamiento digital de imágenes

En la actualidad, la gran mayoría de las imágenes obtenidas tienen un formato digital, producto del procedimiento basado en la formación de la misma, que depende de procedimientos computacionales. Todas esas imágenes son susceptibles de ser procesadas fácilmente de manera digital. En los casos más sencillos se puede buscar la ventana ideal para la visualización de los fenómenos específicos o de las patologías que se están buscando. Ejemplo de ello son los ajustes de intensidad y contraste, aunque es posible también llevar a cabo procedimientos de filtrado.

De esta manera se pueden rescatar las imágenes que hayan sido tomadas con malas técnicas o que tengan artefactos leves de movimiento del paciente. Así, la aplicación de técnicas de procesamiento o realce de imágenes puede

resultar en una mejora en la calidad de la imagen de los pacientes y en una disminución en pérdidas.

Una de las técnicas computacionales muy empleadas en la actualidad es la reconstrucción de órganos en tres y cuatro dimensiones. En las modalidades tomográficas, en particular TAC y RMN, el formato de la imagen es como una rebanada de la imagen, y se hacen estudios de varias docenas de rebanadas sucesivas. Conceptualmente es fácil visualizar la aplicación de técnicas de ajuste y empalme de estas rebanadas para después obtener un volumen completo que proporcione información de una manera más natural al médico.

Actualmente se dispone de software basados en algoritmos no paramétricos (que no dependen de un conocimiento previo de las características estadísticas de la imagen) para la segmentación automática de estructuras cerebrales. Esta técnica permite clasificar tejido cerebral en materia blanca, materia gris y líquido cefalorraquídeo. Normalmente, la tarea de segmentar manualmente las imágenes es muy tediosa para los médicos, y por lo mismo es susceptible a errores, principalmente por fatiga. Al realizarse de manera automática, los cortes están disponibles para apilarse y para procesarse como un volumen de datos que se puede desplegar en tres dimensiones.

4. Biomecánica y rehabilitación

Este campo de investigación dentro de la Ingeniería biomédica ha tenido diversas etapas de desarrollo. Inicialmente su orientación fue paliar las discapacidades del paciente por accidentes u otras causas.

La rehabilitación es una de las especialidades médicas que requieren de mayor número de equipos para proporcionar tratamiento clínico. Por ejemplo, se tienen equipos de Hidroterapia, Electroterapia, Mecanoterapia, Movimiento Humano y Rehabilitación laboral. En la actualidad esta línea de desarrollo se puede considerar como de asistencia a discapacidades y adaptación del entorno para facilitar la integración del paciente a un ambiente productivo. Se pueden considerar actividades de los siguientes tipos:

- Adaptaciones al medio ambiente
- Modificaciones a las habitaciones y a los ambientes de trabajo
- Dispositivos de asistencia a discapacidades
- Visuales
- Auditivas
- De comunicación
- Adaptación de prótesis y órtesis

Una línea de investigación muy importante ha sido el estudio y aplicación de conocimientos en sistemas neurales, donde se incluyen tecnologías del tipo de:

- Interfases cerebro-computadora
- Estimulación eléctrica funcional
- Análisis y decodificación de información neuronal

Dentro del tema de adaptaciones al medio ambiente existen variados equipos y diseños que permiten al paciente la facilitación del acceso a los vehículos hasta la modificación del mismo para operarlo por medio de controles manuales, el control de los sistemas caseros, como los desarrollados por la Domótica (encendido y apagado de luces; apertura y cierre de puertas; y otras modificaciones sencillas).

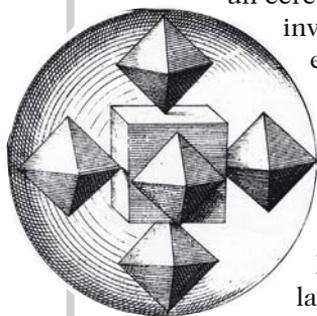
Los dispositivos de asistencia a discapacidades también son tan amplios en la industria médica como los dispositivos para asistencia a personas con debilidades visuales y deficiencias auditivas. Ejemplos relevantes son el bastón con radar ultrasónico para personas ciegas y los implantes de prótesis en el oído interno.

Algunos sistemas facilitadores para la comunicación son el empleo de síntesis de voz por medio de teclados o bien de íconos. Una de las líneas más tradicionales de la biomecánica es la adaptación y fabricación de prótesis (reemplazo de miembros, principalmente) y órtesis (dispositivos de soporte).

4.1 Interfases cerebro-computadora (BCI)

Una interfase cerebro-computadora es una vía de comunicación directa entre un cerebro (humano o animal) y un dispositivo externo. Estas líneas de investigación tienen una liga directa con la rehabilitación, ya que en la mayor parte de los casos se trata de restaurar la función de alguno de los sentidos que haya sido dañado (oído, visión o movimiento, principalmente). La plasticidad cerebral es una de las características que se explotan en estas prótesis, ya que el cerebro se adapta a la prótesis y llega a considerar a las mismas como si fueran miembros u órganos naturales.

El término prótesis neural se emplea en el mismo contexto que las BCI, salvo que el primer término se emplea en dispositivos de uso clínico, como los implantes cocleares (que son las prótesis que se colocan en el oído interno, y son las más empleadas), mientras que las BCI se emplean más en dispositivos experimentales.



4.2 Investigación en humanos

Las interfases BCI en humanos se pueden clasificar en invasivas y no invasivas. Las interfases invasivas tienen como uno de sus elementos principales la implantación de varios electrodos en la corteza cerebral del paciente. Se ha hecho trabajo para sustituir la función visual, la auditiva y para desarrollar el campo de las neuroprótesis, donde se desea permitir a pacientes con el síndrome del “encerramiento” o “*locked-in syndrome*”, (pacientes que debido al daño cerebral que han sufrido no se pueden comunicar con el mundo exterior) puedan mover al menos un cursor en una computadora bajo el control de su actividad cortical. Las interfases no invasivas son menos riesgosas y fáciles de usar, pero tienen menos resolución (una relación señal/ruido mala) por el efecto de atenuación por las meninges y el cráneo. En estas modalidades se estudia principalmente al electroencefalograma.

Otros trabajos se basan en el tipo de ondas cerebrales que se pueden producir, sobre todo las ondas *mu* y *beta*. Finalmente, un tipo adicional de estudios se han hecho con estudios del llamado potencial P300. En este caso se trata de los llamados *potenciales evocados*, que se producen involuntariamente cuando el sujeto o paciente reconoce algo visualmente aunque su ocurrencia sea infrecuente. Este modelo se puede aplicar para controlar acciones a través de un símil de oprimir botones. Este paradigma se puede ampliar, de tal manera que se puede presentar el equivalente a un teclado de computadora, donde se presenta infrecuentemente cada letra, también en un orden aleatorio. El sistema puede entonces reconocer las “teclas” que se quieren seleccionar.

5. Procesamiento Digital de Señales (DSP)

En el caso de la Ingeniería biomédica, fue posible analizar las características de las distintas señales electrofisiológicas para poder obtener mayor información de la que estaba visible anteriormente, y esto llevó a nuevos avances en la fisiología y la biofísica, con sus subsecuentes repercusiones en la calidad de la atención médica, de tal manera que no se concibe prácticamente ningún equipo o sistema de adquisición de parámetros fisiológicos que no esté acoplado a una computadora. Estos cambios han llevado a una nueva etapa en el desarrollo de la instrumentación, en la cual se pueden construir sensores y hasta ropa “inteligentes”.

Las señales comúnmente encontradas en el ambiente hospitalario son representaciones de fenómenos electrofisiológicos del cuerpo humano, como el electrocardiograma (EEG) y el electroencefalograma (ECG). Este tipo de señales se denominan señales analógicas, porque son similares al fenómeno que representan.

Las señales en general y las electrofisiológicas en particular están inmersas en un ambiente lleno de interferencias y ruido eléctrico que degrada la calidad de la señal. Aunque es posible mejorar algunas características de la señal por medios electrónicos convencionales, el diseño y construcción de sistemas de muy alta sensibilidad y de una buena relación señal/ruido depende de una adecuada construcción.

Por otra parte, la aplicación de las computadoras facilita la extracción de la señal de interés. Se basa en que permiten la modificación de los parámetros de la señal fácilmente al requerir únicamente cambiar la programación. Esto facilita las mejoras continuas en un equipo.

En términos generales, las familias de aplicaciones del procesamiento digital se pueden separar en *Análisis de señales*, que trata sobre la medición de las señales y de sus propiedades, y *Filtrado digital*, con el cual se puede eliminar el ruido no deseado, eliminar interferencias y separar una señal en bandas de frecuencia, empleando operaciones adecuadas.

6. Ingeniería hospitalaria o Ingeniería clínica

La Ingeniería clínica es la rama de la Ingeniería biomédica que se ocupa de la gestión tecnológica hospitalaria, cuyo objetivo fundamental es alcanzar una atención de excelencia a costos razonables, mediante el empleo racional y eficiente de la tecnología. Estos dos términos pueden emplearse indistintamente para describir las actividades de un Ingeniero biomédico alrededor de las instituciones de salud. En este caso, el trabajo del ingeniero se centra alrededor de la interfase equipo-paciente, como apoyo de las actividades del médico alrededor del paciente. Todas las actividades del ingeniero clínico se enfocan a mejorar la calidad de la atención a los pacientes, empleando las herramientas de ingeniería para esto.

Originalmente se comenzaron a contratar los primeros ingenieros en hospitales a finales de la década de los 60s, cuando la complejidad de la instrumentación médica iba creciendo y se comenzaron a generar preocupaciones alrededor de la seguridad de los pacientes. Durante los años 60s y 70s, los ingenieros en hospitales eran casi siempre ingenieros eléctricos o electrónicos que por haber trabajado en empresas de tecnología médica se habían especializado en la instrumentación médica (algo similar a lo que ocurre actualmente en Bolivia). Entre las décadas de los 70s y 80s, la comunidad de ingeniería biomédica comenzó a crecer, debido a la aparición de los primeros programas de esta disciplina a nivel licenciatura en las universidades.

Actualmente se menciona que el Ingeniero biomédico especializado en la Ingeniería clínica deberá estar preparado para:

- Coordinar las nuevas inversiones de tecnologías biomédicas, a fin de propiciar la mejor selección de acuerdo al crecimiento programado, procurando adecuadas garantías de mantenimiento del nuevo equipo a fin de asegurar su explotación durante toda su vida útil.
- Garantizar el cumplimiento de las normas para la seguridad de los equipos y las instalaciones, a fin de minimizar las causas de riesgo para pacientes y operadores. Ello incluye establecer programas de adiestramiento y capacitación relacionados con las normas de seguridad eléctrica del hospital, sistemas y equipos médicos.
- Investigar los accidentes y daños relativos a la instrumentación biomédica.
- Cumplir con los procedimientos de medidas y de verificación establecidos para la instrumentación biomédica.
- Coordinar y administrar los contratos de mantenimiento de la tecnología biomédica instalada.
- Programar y dirigir la ejecución del mantenimiento preventivo para el equipamiento médico instalado, de acuerdo a las normativas oficiales vigentes y las recomendaciones del fabricante.
- Lograr pequeños desarrollos para dar solución a diferentes problemas que se presentan en el ámbito médico-hospitalario, propios del campo de la bioingeniería.
- Efectuar el mantenimiento correctivo del equipamiento que lo requiera.

De acuerdo a la *Food and Drug Administration (FDA)*, organismo que se encarga en los Estados Unidos del registro, control y certificación de los dispositivos médicos, en la actualidad existen más de 55000 tipos diferentes de equipos médicos, número al cual se agregan cada año otros 5000 nuevos. Todo esto debido a la fuerte relación existente entre la ingeniería y la medicina, que ha dado origen, en los países industrializados, a un gran complejo médico-industrial.

Un estudio realizado en 54 países produjo dos conclusiones básicas:

1. El nivel de salud de la población viene determinado, en un país, por los siguientes factores:

- Educación
- Vivienda
- Nutrición
- Urbanización
- Recursos médicos (incluida la tecnología)

2. Existe un óptimo en cuanto a inversiones en el sistema sanitario, a partir del cual sólo se consiguen mejoras marginales en el nivel de salud de la población, afectando cada vez a menos habitantes las mejoras. De los estudios realizados en relación con el uso de la tecnología biomédica, se ha comprobado que si establecer un diagnóstico con una probabilidad de acierto del 95% cuesta cinco unidades, obtener una certidumbre del 96% requeriría invertir 500 unidades.

En la prestación de los servicios médico-asistenciales convergen múltiples factores, tales como recursos humanos, financieros, administrativos, tecnológicos, biológicos, etc., los cuales para el análisis pueden agruparse en:

- Factores médico-biológicos,
- Factores médico-administrativos
- Factores médico-tecnológicos.

Por analogía, un sistema de salud se puede subdividir en tres sub-sistemas: Sub-sistema médico-biológico, Subsistema médico-administrativo y Subsistema médico-tecnológico, y a cada sub-sistema le corresponden aspectos que le son particulares, los cuales deben ser abordados por especialistas en cada disciplina.

Un informe de la OMS sobre dirección, mantenimiento y reparación de equipos utilizados en la salud, señalaba hacia el final de la pasada década “que un país en desarrollo tendría raramente el 50% de sus equipos en estado de utilización... En algunos casos hasta el 80% pudieran estar inoperables”. El factor principal que determina esta situación es la falta de calificación del personal médico y paramédico con relación a la utilización de nuevas tecnologías y la incapacidad de generar desarrollos en el ámbito médico-hospitalario que puedan elevar la calidad de la atención.

6.1 Requisitos del mantenimiento

Los requisitos del mantenimiento varían con el tipo de equipo. Algunos equipos, tales como ventiladores, máquinas de diálisis y artículos similares, requieren mantenimiento extensivo. Equipos mecánicos, neumáticos o hidráulicos requieren de alineación rutinaria o calibración por el personal de mantenimiento. Equipos como los monitores fisiológicos y las bombas de infusión necesitan solamente que sea comprobado su funcionamiento y su seguridad, por lo que tienen requisitos de mantenimiento promedio.

Los procedimientos para el mantenimiento deben ser obtenidos a partir del fabricante y/o agencias especializadas, los contenidos y la frecuencia de cada uno de ellos no están estandarizados, sino sujetos a una adecuación particular para cada institución prestadora de servicios de salud, puesto que se confeccionan para las condiciones del país del diseñador y deben ser adaptados a las condiciones del usuario.

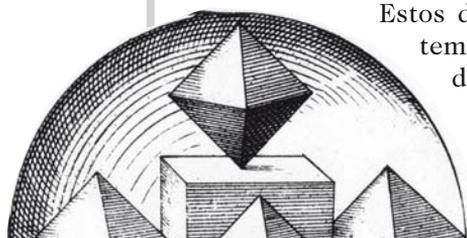
Finalmente, el trabajo que tiene que desarrollar el ingeniero clínico es multidisciplinario por naturaleza, pero también es necesariamente un trabajo en equipo. Aun cuando en este trabajo es necesario emplear muchas herramientas de administración, el Ingeniero clínico debe ser ante todo un ingeniero, extraordinariamente competente, que pueda formar un sólido equipo de trabajo.

7. Nuevos desarrollos

La aplicación de nuevas tecnologías, junto con el envejecimiento de la población en diversas partes del mundo, ha hecho que se generen expectativas de una mejor calidad de vida para los pacientes, sin importar el tipo de padecimiento que tengan. En la actualidad los pacientes quieren ser tratados en su hogar con el menor sufrimiento posible. Este aumento en calidad debe llevarse a cabo al mismo tiempo que la reducción de los costos para la atención médica.

Uno de los factores que puede facilitar estos objetivos es el desarrollo de tecnologías flexibles y contar con sistemas de monitoreo portátiles (ambulatorios), junto con vestimentas con sensores integrados no invasivos. Éste promete ser un campo de grandes posibilidades para el futuro. Para el caso de personas con riesgo de enfermedad, estos sistemas podrán proporcionar información acerca de distintos factores de riesgo, como hipertensión, obesidad, diabetes y stress, y podrán proporcionar información acerca de cómo cambiar algunas conductas que ponen a la persona en riesgo.

Estos dispositivos podrán emplearse tanto para la detección temprana de anomalías, haciendo un análisis a largo plazo de las tendencias de las variables fisiológicas bajo medición, como para mejorar las posibilidades de rehabilitación con pacientes que han tenido algún evento de consecuencia.



Adicionalmente los sistemas deben ser cómodos y discretos, de tal manera que no interfieran con las actividades cotidianas de los pacientes. Los sistemas que monitorean a los sensores y a los parámetros vitales y que efectúan mediciones en los momentos apropiados se denominan sensores inteligentes.

Todo esto se debe a los avances en distintas ramas de la ingeniería, como:

- Nuevos avances en miniaturización en sensores, circuitos integrados y microprocesadores.
- Manejo inteligente de la capacidad y carga de baterías junto con nuevos diseños de las mismas.
- Aplicación de nuevas tecnologías de la información, como la aplicación de tecnologías GPS para localización de pacientes con Alzheimer, o GSM para transmitir datos de importancia a través de tecnologías de telefonía celular.

8. El futuro de la Ingeniería biomédica en Bolivia

En Bolivia el desarrollo de esta disciplina no ha tenido las mismas características que en los países desarrollados. En primer lugar, existe una necesidad urgente de dar mantenimiento y servicio a la instrumentación médica instalada en el país, que en general tienen una antigüedad mayor a los 10 años. Esto junto, con una escasez de especialistas en Biomédica, ha fomentado la contratación de ingenieros y técnicos electrónicos que en el transcurso del tiempo han tenido que realizar las labores de mantenimiento de los equipos, tanto dentro de los hospitales como en empresas que se dedican a la venta y mantenimiento de los mismos.

Por todo lo anterior resulta imprescindible contar en nuestro medio con una carrera de Ingeniería biomédica, inicialmente a nivel de Licenciatura, que permita cubrir esta área con profesionales de este rubro, tan importante en el sector de salud. En una segunda fase se debería proyectar que los futuros ingenieros biomédicos, así como los actuales ingenieros en Electrónica, puedan contar con un postgrado para iniciar funciones de investigación y desarrollo en las universidades o institutos de investigación, con el objetivo de obtener productos acordes a las necesidades de nuestro país. Incluso esta producción debiera ponerse en alta relación con el sector industrial de la salud, de tal manera que los resultados de las investigaciones se lleven a la práctica en el mundo hospitalario.

La Ingeniería biomédica es una de las carreras profesionales con más futuro en el mundo moderno, ya que cada año se invierten millones de dólares en desarrollo de tecnologías biomédicas, requiriéndose entonces de expertos en su diseño y desarrollo, como también en su instalación y mantenimiento.

Referencias bibliográficas

Bushong, Stewart C., 2005. *Manual de radiología para técnicos*. España: Elsevier, octava edición.

Cohen, Mark S. 2001. *Real-Time Functional Magnetic Resonance Imaging Methods*.

Cromwell, L., F.J. Weibell y E.A. Pfeiffer. 1980. *Biomedical instrumentation and measurements*. India: Prentice-Hall, segunda edición.

Lebedev, Mikhail A., Jose M. Carmena, Joseph E. O'doherty, Miriam Zacksenhouse y S. Mindel. 1997. "Role of imager in developing world". En: *The Lancet*, Agosto (9;349:426-429 Volume 350. Elsevier.

Sistema Regional de datos básicos en salud - perfil de país resumen del análisis de situación y tendencias de salud - Bolivia - Versión actualizada al 9 de noviembre de 2004, La Paz Bolivia.

Sykes, A. H., 1989. "A.D. Waller and the University of London". *Physiological Laboratory. Medical History*. Abril, 33(2): 217-234.

Valdés-Cristerna, Raquel, Joaquín Azpiroz Leehan, Enrique Hernández Matos y Miguel Cadena Méndez. 1995. *Imagenología médica*. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalpa.

Webgrafía

Duke University Hospital, "Clinical Engineering Department",
<http://www2.mc.duke.edu/depts/clineng/cestats.htm>

Organización Panamericana de la Salud Bolivia
<http://www.ops.org.bo/servicios/?DB=D&SE=SE>