

# Ingeniería clínica y su relación con la epidemiología

## Clinical engineering and epidemiology

Franco Romani<sup>A,B</sup> y Luis Vilcahuamán<sup>B,C</sup>

### RESUMEN

La ingeniería clínica es una disciplina nueva en nuestro medio, que ha emergido producto del desarrollo de las tecnologías de salud en el ámbito clínico. Como disciplina tiene roles y funciones bien establecidos que buscan mejorar el uso de la tecnología aplicada al paciente. A pesar de la importancia de la ingeniería clínica en el ámbito hospitalario y clínico en general, no se han incorporado en forma sistemática departamentos de ingeniería clínica en hospitales peruanos. Diversos intentos provenientes de instituciones extranjeras y académicas nacionales no han tenido éxito en la implementación de este departamento dentro de la organización hospitalaria.

La ingeniería clínica necesita de la epidemiología clínica para cumplir algunas de sus funciones. De la interrelación de estas dos disciplinas se logra equilibrar la oferta limitada y la demanda ilimitada de servicios de salud de nuestra población.

**PALABRAS CLAVE:** Ingeniería clínica, Epidemiología, Tecnología biomédica

### INTRODUCCIÓN

En el presente artículo de revisión desarrollaremos una disciplina que ha emergido en la última mitad del siglo XX gracias al incremento y desarrollo de compleja tecnología utilizada en los ambientes de cuidado de salud para aplicaciones preventivas, terapéuticas, diagnósticas y restaurativas. Esta disciplina llamada ingeniería clínica y su profesional el ingeniero clínico tienen ámbitos de acción bien definidos en el ambiente hospitalario y los trataremos en esta revisión. Además describiremos la situación actual de esta disciplina en nuestro medio y como la epidemiología, propiamente, el perfil epidemiológico se encuentra en estrecha relación con la labor del ingeniero clínico.

El objetivo de esta revisión es divulgar la existencia de esta disciplina entre los profesionales de salud de nuestro país, hacer una primera aproximación del ingeniero clínico a la comunidad médica en cuanto a sus funciones, roles y perfil profesional. Otro objetivo importante es establecer la estrecha relación que tiene la epidemiología en la labor del ingeniero clínico y como el perfil epidemiológico es de vital importancia en la planificación de los servicios de un establecimiento de salud.

En futuras revisiones detallaremos con mayor amplitud algunos aspectos particulares de esta disciplina y su ámbito de acción.

#### Definición de ingeniería biomédica

Para poder comprender qué es ingeniería clínica y cuál es su campo de acción, procederemos a definir y revisar aspectos de la ingeniería biomédica.

Muchos de los problemas que confrontan hoy en día los profesionales de salud recaen en ingenieros formados específicamente

para el sector salud, ya que cuentan con el conocimiento de los fundamentos científicos necesarios para explicar la aplicación y las consecuencias del uso de la tecnología, entendida no sólo como los dispositivos médicos, incluyéndose también a la capacidad de organización para el manejo de los recursos, los procesos, los sistemas de información, los materiales médicos y todo lo necesario para una aplicación clínica idónea.

La Federación Internacional de Ingeniería para la Medicina y Biología define a la bioingeniería como la ciencia que integra las ciencias físicas, químicas, matemáticas y principios de ingeniería para el estudio de biología, medicina, comportamientos y salud. Desarrolla conceptos fundamentales, productos biológicos innovadores, materiales, procesos, implantes, dispositivos y sistemas informáticos para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, rehabilitación de pacientes y mejora de la salud. A menudo se considera a la bioingeniería como sinónimo de ingeniería biomédica; sin embargo, en sentido estricto, la bioingeniería puede ser aplicada a un campo más amplio que incluye la ingeniería de alimentos, ingeniería agrícola o la biotecnología. Mientras que la ingeniería biomédica está relacionada al campo médico.<sup>1</sup>

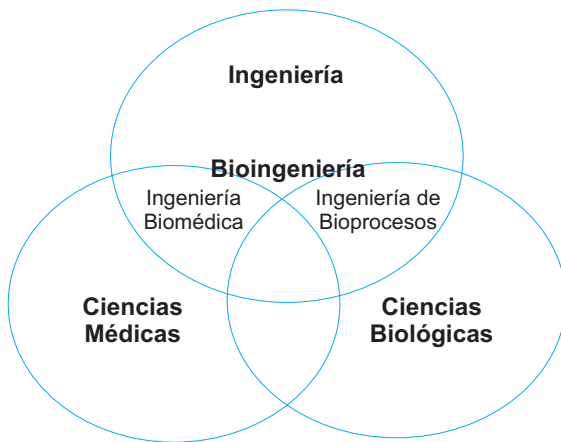
(A) Sección Epidemiología del Instituto de Medicina Tropical de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú. (B) Maestría en Ingeniería Biomédica, Escuela de Posgrado, Facultad de Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). (C) Tecnopolo Salud CENGETS, Facultad de Ingeniería Electrónica de la PUCP.

Correspondencia a Franco Romani: fromani@epiredperu.net

Solicitado el 20 de febrero de 2010 y recibido el 25 de abril de 2010.

Cita sugerida: Romani F, Vilcahuamán L. Ingeniería clínica y su relación con la epidemiología. Rev Peru Epidemiol. 2010; 14 (1) [p. 11]

FIGURA 1. Ubicación de la ingeniería biomédica dentro del campo de la bioingeniería



Para entenderlo mejor, la bioingeniería o “ingeniería de sistemas vivos”, podría ser dividida con fines prácticos en dos ramas: ingeniería de bioprocesos e ingeniería biomédica.<sup>2</sup> Ver Figura 1.

Otra definición más simple y concreta nos dice que la ingeniería biomédica es una disciplina que desarrolla avances en ingeniería, biología y medicina mejorando el cuidado de la salud humana a través de actividades multidisciplinares que integran la aplicación de ciencias de ingeniería y tecnología al campo de las ciencias biomédicas y la práctica clínica.<sup>3,4</sup>

Como una disciplina relativamente nueva en nuestro medio, pero con 56 años en el mundo, mucho del trabajo en ingeniería biomédica consiste de investigación y desarrollo. Por eso es crucial que las instituciones de salud, institutos de investigación y fabricantes trabajen juntos y eficientemente.<sup>3,5</sup>

En el sentido amplio, la ingeniería biomédica forma diversos perfiles profesionales, todos basados en un profundo estudio de la fisiología, estos ingenieros pueden ser: 1. El ingeniero clínico enfocado en la gestión de los recursos tecnológicos para el cuidado de la salud; 2. Ingeniero biomédico que desarrolla tecnología biomédica enfocada al ámbito industrial, tecnológico y que puede especializarse en una rama de medicina como el neuroingeniero, ingeniero pulmonar, ingeniero de rehabilitación, entre otros; y 3. El ingeniero biomédico científico-investigador.

El primer tipo de ingeniero biomédico lo desarrollaremos con amplitud posteriormente en la revisión. El segundo tipo, es el llamado también “emprendedor tecnológico”. Examina parte de la frontera médica o biológica e identifica áreas en las que el avance tecnológico podría ser ventajoso. Así, plantea sus propios problemas y luego procede a dar una solución, en un principio conceptual y que luego se traduce en una tecnología de tipo hardware o software. Como tarea final, estos profesionales deben convencer a la comunidad médica que pueden proporcionar una herramienta útil. Por la naturaleza de su trabajo, los “emprendedores tecnológicos” deberían tener bases sólidas de conocimiento de ingeniería, fisiología y medicina.

El ingeniero biomédico “científico”, cuyo ámbito de acción más probable son las instituciones académicas y laboratorios de investigación, se dedica a la aplicación de conceptos y técnicas de ingeniería para la investigación y exploración de procesos biológicos. Su producto final más convincente y útil es la construcción de modelos físico-matemáticos apropiados que expliquen un sistema biológico específico. Estos procesos de

simulación facilitan el diseño apropiado de experimentos que pueden ser realizados en sistemas biológicos reales. Además estos modelos matemáticos permiten predecir el efectos de ciertos cambios en un sistema biológico en caso los experimentos reales resulten tediosos, difíciles de reproducir o sean peligrosos. Otra ventaja de estas descripciones matemáticas es la forma compacta y precisa que nos permite el lenguaje matemático para comunicar fenómenos.<sup>4,6</sup>

El campo de acción y actividades del Ingeniero biomédico cada vez es más amplio y significativo, podemos mencionar algunas de sus áreas de acción:<sup>4,5</sup>

- Análisis y modelamiento de sistemas biológicos (modelos fisiológicos, simulación y control).
- Detección, medición y monitoreo de señales fisiológicas (biosensores e instrumentación biomédica).
- Interpretación diagnóstica a través de técnicas de procesamiento de señales bioeléctricas.
- Procedimientos y dispositivos terapéuticos y de rehabilitación (ingeniería de rehabilitación).
- Dispositivos de reemplazo o aumento de funciones corporales (órganos artificiales).
- Análisis por computador de datos relacionados a pacientes y toma de decisiones clínicas (informática médica e inteligencia artificial).
- Imágenes médicas, presentación de gráficos de detalles anatómicos o funciones fisiológicas.
- Creación de nuevos productos biológicos (biotecnología y ingeniería de tejidos).
- Desarrollo de nuevos materiales para ser usado en el cuerpo (biomateriales).
- La gestión de la tecnología en el ámbito clínico (ingeniería clínica).

### Definición de ingeniería clínica

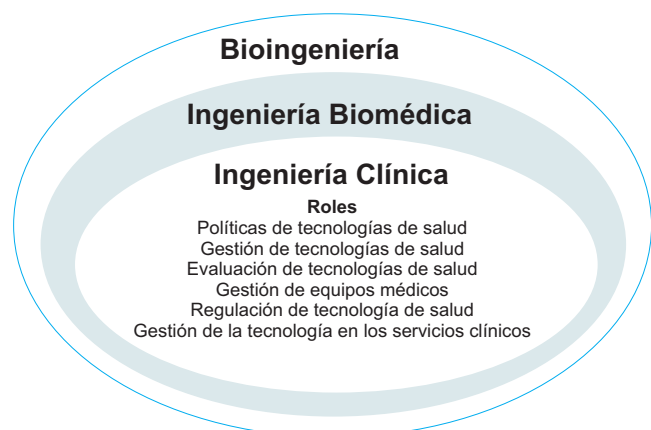
El Colegio Americano de Ingeniería Clínica (American College of Clinical Engineering) define al ingeniero clínico como “un profesional que sostiene y mejora el cuidado de los pacientes, aplicando sus habilidades y competencias de ingeniería y de gestión de la tecnología del cuidado de la salud”.<sup>7,8</sup>

Esta definición es bastante amplia e inclusiva y ha sido aceptada por una amplia variedad de organizaciones incluyendo: La Comisión de Certificación de Tecnología del cuidado de salud, la Organización Panamericana de Salud, la Federación Internacional de Ingeniería para Medicina y Biología y la Sociedad de Ingeniería para Medicina y Biología. Esta definición permite que la realidad oriente de diferente manera la formación y experiencia de vida de cada ingeniero clínico. A pesar, de que trabajan en el mismo espacio clínico, como un profesional interdisciplinario, el ingeniero clínico puede tener muchas facetas y perspectivas. Así, un mismo ingeniero clínico puede parecerle a una persona un asesor sobre selección y adquisición de tecnología, a otro como un investigador y a una tercera persona como docente en gestión de equipos biomédicos.

La labor del ingeniero biomédico involucra la aplicación de conceptos, conocimientos y enfoques de virtualmente todas las disciplinas de ingeniería (ingeniería eléctrica, mecánica y química) para solucionar problemas específicos del cuidado de la salud. Cuando el ingeniero biomédico trabaja dentro de un hospital o en un ambiente clínico, es llamado ingeniero clínico.<sup>7</sup>

Para el propósito de certificación, la Junta de Examinadores para la Certificación de Ingenieros Clínicos lo considera como “un ingeniero cuyo enfoque profesional se centra en la interface paciente-equipos médicos y que aplica los principios de ingeniería tanto en el manejo de sistemas médicos y de equipos biomédicos en el ámbito del paciente, como en la gestión necesaria para su uso apropiado”.<sup>7</sup>

FIGURA 2. La ingeniería clínica dentro de la bioingeniería



Bronzino, en su libro sobre “Manejo de tecnología médica”, define al ingeniero clínico como “un ingeniero graduado de un programa académico acreditado en ingeniería y que está comprometido con la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos, desarrollados a través de su formación académica como ingeniero o de su experiencia profesional, en el ambiente del cuidado de la salud apoyando las actividades clínicas”.<sup>8</sup>

El Colegio Americano de Ingenieros Clínicos (ACCE), fundado a inicios de 1990, define su misión “mejorar el cuidado de la salud promocionando el desarrollo y aplicación de tecnologías de salud seguras y efectivas a través del avance global de la investigación, educación, práctica y actividades relacionadas a la ingeniería clínica”.<sup>9,10</sup>

Como vemos, en todas las definiciones, se enfatiza que una de las características básicas del ingeniero clínico es su desempeño en el ámbito clínico. Estas actividades clínicas incluyen cuidado directo del paciente, investigación, docencia y manejo de actividades que tienen como objetivo mejorar el cuidado por el paciente. En la Figura 2, se esquematiza la ubicación de la ingeniería clínica dentro del ámbito de la bioingeniería

## RESEÑA HISTÓRICA DE LA INGENIERÍA CLÍNICA

El primer congreso de ingenieros que trabajaban en medicina y biología emergió luego de la Segunda Guerra Mundial. Según los registros de la Alianza de Ingenieros en Medicina y Biología, el Primer Congreso de Ingeniería Biomédica se llevó a cabo en 1948. En ese año, un grupo de ingenieros de la Sociedad Americana de Instrumentos y del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos con intereses profesionales en aparatos de rayos X usados en medicina celebraron la Primera Conferencia Anual de Equipos Electrónicos Médicos. En años sucesivos, la ingeniería biomédica continuó madurando y creciendo y la diversificación en los congresos continuó. En 1968 se constituye el “Comité Conjunto de Ingeniería en Medicina y Biología”. En estos primeros congresos, la investigación fue el punto sobresaliente, luego, en la década de 1960, empezó a emerger un segmento identificable de profesionales que se concentraron en el cuidado de pacientes y en la aplicación práctica de principios de ingeniería para la solución de problemas en el cuidado de salud.<sup>11</sup>

En 1966, el Departamento Americano de Asuntos de Veteranos, dependencia del Gobierno Norteamericano y que tiene entre sus funciones el proveer cuidado de salud en todas sus formas, así como

investigación médica; estableció el Programa Central de Investigación de Instrumentos, el cual luego en 1972 se convirtió en el Programa de Ingeniería Biomédica. El Hospital General de Massachusetts, en 1967, combinó ingenieros y técnicos para formar el servicio de ingeniería biomédica. Luego, a través de todo Estados Unidos, se establecieron departamentos de ingeniería clínica en la mayoría de grandes hospitales y en algunos centros clínicos pequeños con al menos 300 camas. Por el año 1974, muchos centros de mediano o pequeño tamaño también reconocieron la necesidad de tales servicios o departamentos, ya que inspecciones de funcionamiento antes y después del uso de equipos biomédicos empezaron a ser norma y se desarrollaron procedimientos de inspección, de esta forma los departamentos de ingeniería clínica empezaron a ser los centros de apoyo lógicos para toda la tecnología médica, pero por el costo no podían ser instalados. Posteriormente se formaron organizaciones independientes que se dedicaron a brindar servicios compartidos a estos hospitales sobre asuntos de manejo de instrumentos médicos de alta tecnología y de sistemas usados en hospitales, entrenamiento de personal médico en uso de equipos y seguridad, al diseño, selección y uso de tecnología para ofrecer un cuidado de salud efectivo y seguro.<sup>7,9</sup>

Respecto a la expansión de la disciplina, los primeros departamentos de ingeniería clínica aparecieron en 1960 e inicios de la década de 1970 en Canadá y los Estados Unidos. En Europa, sólo unos pocos departamentos existieron en el Reino Unido en el mismo periodo, expandiéndose rápidamente en la década de 1980. En países en vías de desarrollo, la existencia de la ingeniería clínica ocurrió más tarde, en la década de 1990, con unas pocas excepciones como la India y Brasil, en los cuales apareció en la década de 1980.<sup>10</sup>

## EL INGENIERO CLÍNICO y LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD

En los hospitales, el ingeniero clínico puede tener un amplio rango de deberes y responsabilidades. El grado de compromiso del ingeniero clínico en el funcionamiento del establecimiento de salud, depende de la naturaleza de dicho establecimiento (hospitales de diferente nivel de complejidad, hospitales docentes, estatales, privados, militares por ejemplo).

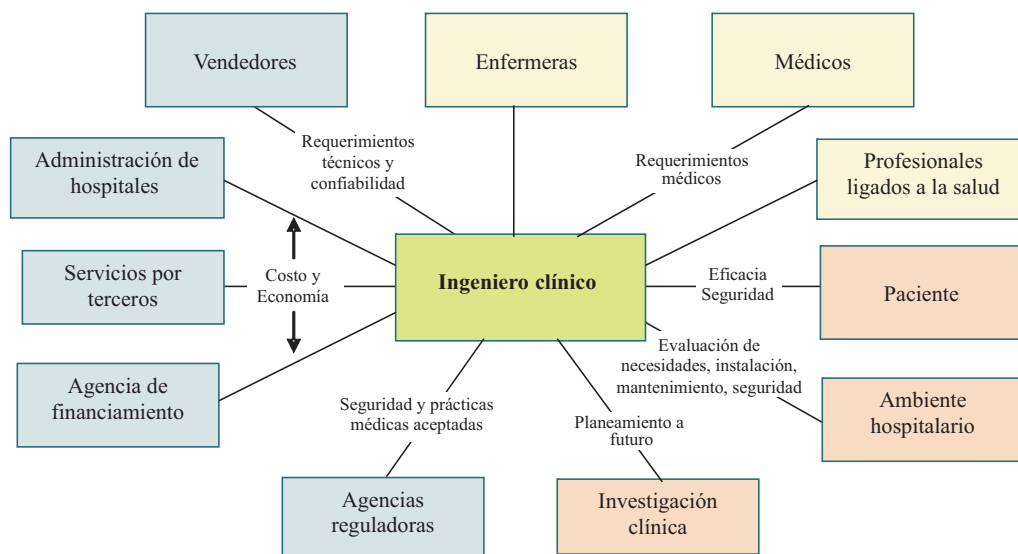
Los establecimientos de salud pueden ser independientes o por lo general forman parte de una cadena de establecimientos. También pueden ser especializados en una o más áreas (pediátricos, geriátricos, ginecológicos, oncológicos). De hecho, es raro encontrar dos hospitales que compartan las mismas características; por ende, la labor del ingeniero clínico de un establecimiento es diferente a la de otro, sin embargo comparten roles, actividades a cumplir e interrelaciones con los otros profesionales de salud.<sup>12</sup>

En la Figura 3 se muestra la interacción y el ámbito de acción del ingeniero clínico en relación con los diferentes actores de un establecimiento de salud.

Como observamos, la ingeniería clínica es una disciplina que se desempeña en un campo interdisciplinario y asume distintos papeles dependiendo de su interrelación con los distintos actores de un establecimiento de salud. Así, tiene un papel articulador con el empresariado, estado y administración (vendedores, administración del hospital, agencias reguladoras), con el ámbito médico (médicos, enfermeras) y con los pacientes.

El ingeniero clínico en los hospitales puede estar cercanamente relacionado con una amplia variedad y número de disciplinas y departamentos. Así, su trabajo se desarrolla en las Unidades Clínicas. Por ejemplo, son parte de los profesionales de salud en los cambios de guardia para evaluar el entorno tecnológico del paciente,

FIGURA 3. Interacciones del ingeniero clínico dentro de los establecimientos de salud



igualmente establecen requerimientos para el departamento de salud ambiental y seguridad, la oficina de control de infecciones, el soporte informático, los comités de ética, la oficina de información y epidemiología, enfermeras, médicos, el departamento de mantenimiento, procedimientos para manejo de materiales y almacén. Dentro de las especialidades médicas el ingeniero clínico puede especializarse en áreas particulares como ortopedia y traumatología, anestesiología, cirugía, neumología, radiología, oncología, neonatología, entre otras.<sup>12</sup>

Como profesional que trabaja en el ámbito del cuidado de salud, los ingenieros clínicos aplican sus conocimientos en situaciones donde los estándares de ética y calidad de atención deben ser cumplidos para asegurar que el cuidado de salud sea seguro y eficaz. A pesar que los ingenieros clínicos no tienen una relación directa con el paciente, como si la tiene el médico o enfermera, su trabajo tiene el mismo impacto en el público. El trabajo del ingeniero clínico trae beneficios directos para el bienestar del paciente y contribuye a generar confianza del público en los establecimientos de salud (Figura 4).<sup>11,13</sup>

### Rol del ingeniero clínico en el ámbito de los establecimientos de salud

El ingeniero clínico tiene como rol principal mejorar el uso de la tecnología aplicada al paciente, considerando los siguientes factores: la efectividad clínica, la seguridad del paciente con respecto a la tecnología y la eficiencia en el uso de los recursos que son aplicados en el sistema de atención del cuidado de la salud.<sup>7</sup>

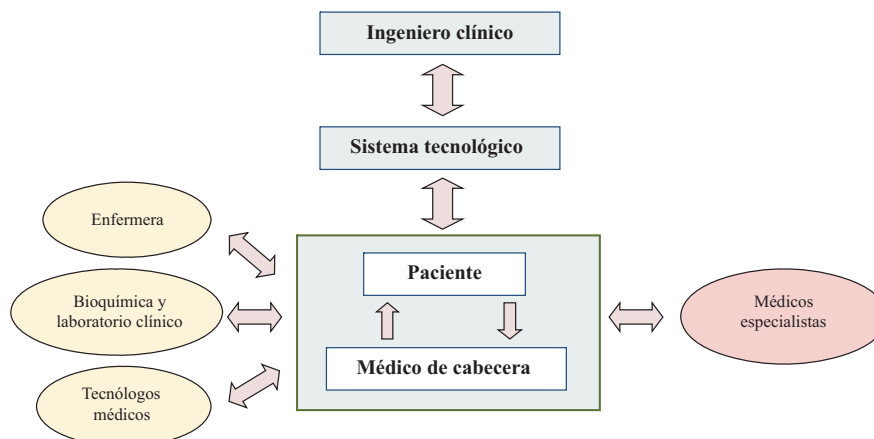
Como resultado del amplio rango de interacciones con el personal médico y hospitalario, los deberes y responsabilidades del ingeniero clínico son muy diversos.

Sin embargo, el elemento en común es el evaluar, gestionar y resolver problemas en el campo de la tecnología. Es el gerente y responsable de la tecnología, supervisa y califica el mantenimiento y participa en los procesos de planificación, evaluación y adquisición de la nueva tecnología.

Podemos mencionar como tareas del ingeniero biomédico las siguientes:

- a. Desarrollar, implementar y dirigir los programas de adquisición

FIGURA 4. El ingeniero clínico y el entorno para el cuidado de salud del paciente. Extraído de Vilcahuamán L. Ingeniería clínica y gestión de tecnología de salud. Avances y propuestas.<sup>14</sup>



de equipos biomédicos. Esto incluye: evaluar y seleccionar nuevas tecnologías, instalación de nuevos equipos y manejo de los inventarios de equipos biomédicos. Asesora en cuestión de presupuestos, personal, espacios y define los requerimientos técnicos de los equipos.

b. Asesora al personal administrativo, médico y de enfermería en áreas de seguridad y adquisición de nuevos instrumentos y equipos médicos.

c. Evalúa y toma las acciones necesarias sobre incidentes atribuidos a mala función o mal uso de equipos biomédicos.

d. Selecciona personal y los entrena para cumplir funciones del departamento de ingeniería clínica de manera profesional.<sup>7,13</sup>

De esta forma, las funciones nucleares del departamento de Ingeniería clínica y por ende del ingeniero clínico pueden ser resumidas:<sup>7,14,15</sup>

1. Manejo o gestión de la tecnología en salud.
2. Manejo de riesgos.
3. Evaluación de la tecnología en salud.
4. Facilita el diseño y manejo de proyectos.
5. Garantizar la calidad de los servicios médicos.
6. Entrenamiento y docencia.

En la Figura 5 se plantea una clasificación sistémica de los roles del ingeniero clínico y los objetivos finales que se logran al cumplirse estas funciones.

## INGENIERÍA CLÍNICA EN EL PERÚ

### Antecedentes

El Plan Nacional de Acciones Coordinadas de Salud (PNACS 1982-1985) se implementó en 1981, con apoyo financiero del Banco Mundial y funcionarios de la OPS/OMS. Este plan debía abarcar a todo el país, buscando la participación activa de la comunidad, de todos los componentes del sistema, de otros sectores y de instituciones de operación técnica y financiera internacional. Este plan se sustentaba en un sistema de atención de salud por niveles de complejidad: nivel I (local comunal, posta médica, centro de salud), nivel II (hospital local), nivel III (hospital regional) y nivel IV (hospital altamente especializado). Además se definieron cinco áreas de trabajo: 1. Servicios (atención a las personas y atención al medio ambiente); 2. Recursos (humanos, físicos, financieros y legales), 3. Organización y Administración; 4. Información e investigación y 5. Coordinación (con la comunidad y otros sectores).<sup>16,17</sup>

Entre octubre y diciembre de 1983 se realizó la consultoría sobre el Sistema Nacional de Mantenimiento por el Ministerio de Salud, se dieron las siguientes recomendaciones: implementar un sistema de mantenimiento más completo y eficiente con apoyo de la Organización Panamericana de Salud y la Organización mundial de

Salud (PAHO/WHO); que la PAHO/WHO colabore activamente en un plan para presentar los beneficios económicos y sociales del programa de mantenimiento a los directores de hospitales y gerentes del Ministerio de Salud, indicando los índices y la proporción de capital requeridos para el mantenimiento y que una comisión permanente sea establecida para ejecutar las actividades de acuerdo al cronograma aprobado para el Plan de Mantenimiento Nacional. Esta consultoría no trajo ninguna acción práctica para establecer sistemas de mantenimiento.

En 1984, se realizó un diagnóstico situacional de servicios de mantenimiento existentes en los Hospitales de Lima Metropolitana, a cargo de la Oficina de Infraestructura física del ministerio de salud, con el nombre de proyecto “Desarrollo de la Infraestructura Física del Ministerio de Salud”, tuvo el apoyo del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP) y la PAHO. Este diagnóstico no trajo resultados concretos ni cambios en los sistemas de mantenimiento en el país.

Se realizaron intentos posteriores de establecer y regularizar los servicios de Mantenimiento en el Perú, siempre con ayuda o colaboración extranjera. Entre 1982 y 1994, se desarrollo el proyecto de Servicios de Mantenimiento en Hospitales con cooperación del gobierno alemán. Estuvo basado en la experiencia alemana en la construcción de hospitales durante 1960 y 1970. En el primer periodo (entre 1982-1987) se tuvieron los siguientes objetivos:

- Establecer un centro de entrenamiento para técnicos de servicios de mantenimientos hospitalarios en la ciudad de Chimbote (llamado CENFOTES).
- Establecer un centro regional en Chimbote que ofrezca servicios de mantenimiento a hospitales de Ancash y La Libertad.
- Promover cursos cortos de entrenamiento en mantenimiento de equipos biomédicos.

El segundo periodo (1987-1988) se caracterizó por donaciones provenientes del gobierno alemán. En el tercer periodo (entre 1989 y 1993) se tuvieron como objetivos:

- Desarrollar sistemas logísticos para suministrar partes y materiales para mantenimiento.
- Reorganizar la administración de mantenimiento.
- Establecer un sistema técnico de información.
- Reconocer la educación y entrenamiento de personal involucrado en el mantenimiento y operación de equipamiento.
- Instalar un sistema de mantenimiento preventivo.

Los objetivos de este proyecto no fueron completamente cumplidos debido a la falta de compromiso de las autoridades del Ministerio de Salud, especialmente en los programas de mantenimiento a nivel nacional. Así en 1991, como resultado de una evaluación realizada por la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), en la cual se reportó pequeños progresos en las actividades programadas, el

FIGURA 5. Roles y finalidad del ingeniero clínico

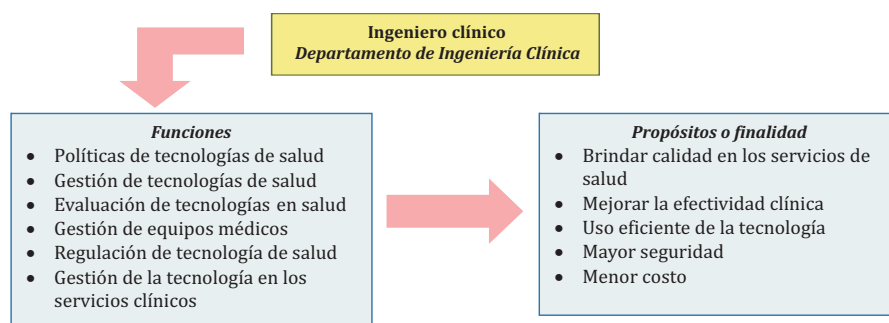
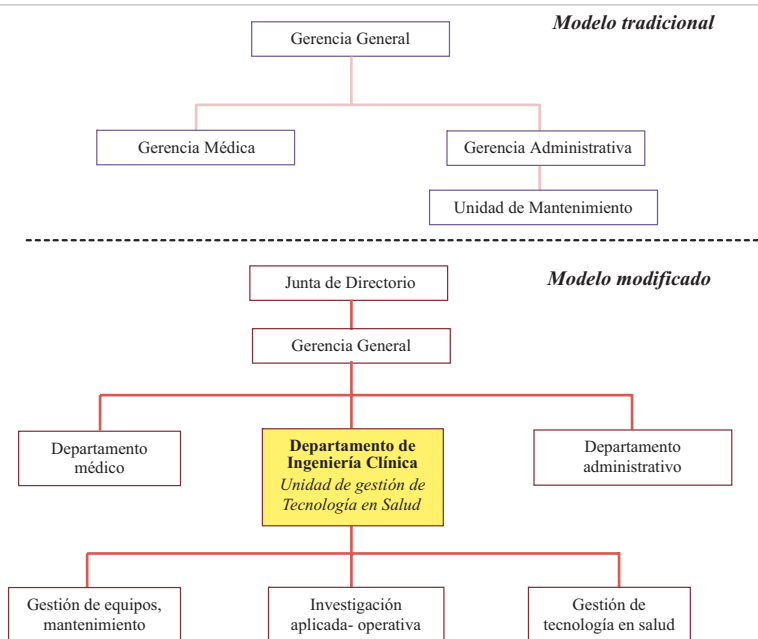


FIGURA 6. Modelos organizacionales hospitalarios tradicional y modificado



proyecto fue desactivado y los recursos económicos reorientados a hospitales del sur del país (Tacna, Arequipa).<sup>16</sup>

La imagen tradicional de hospital, entendido como el lugar donde las personas van y se curan y donde médicos, enfermeras y medicamentos confluyen es cada vez menos exacta. Hoy en día el hospital es una conglomeración de personas, material médico y elementos tecnológicos adecuadamente organizados a través de un manejo efectivo de los servicios de salud (preventivos, recuperativos y rehabilitador) buscando eficiencia máxima, confiabilidad y una óptima rentabilidad.<sup>16</sup>

Como vemos la ingeniería clínica en nuestro país aún ese encuentra en la etapa de conformación de unidades de mantenimiento, no existiendo departamentos de ingeniería clínica duraderos, reconocidos y en pleno funcionamiento en los establecimientos de salud.

### Servicio de mantenimiento

Mantenimiento es el conjunto de actividades llevadas a cabo para mantener en estado operativo y en condiciones de funcionamiento especificadas por el fabricante, a los equipos biomédicos. El objetivo técnico del mantenimiento es tener en buenas condiciones los equipos cuando y donde sean necesarios. El objetivo económico es contribuir a un menor costo en la producción de los servicios. El objetivo social es hacer cumplir normas técnicas y prevenir muerte o empeoramiento de las enfermedades manteniendo los equipos biomédicos en buena condición.

Existen hasta tres tipos de mantenimiento:

1. Mantenimiento Preventivo: acciones tomadas como resultado de un planeamiento más que de la demanda, prolongan la vida útil y reducen las probabilidades de falla.
2. Mantenimiento correctivo: acciones tomadas como resultado de la demanda más que de un planeamiento.
3. Mantenimiento predictivo: Consiste en pronosticar el reemplazo de piezas antes de que se termine su vida útil probable, bajo determinadas condiciones técnicas de trabajo y funcionalidad establecidas por los fabricantes.<sup>16,18,19</sup>

Sin embargo, el mantenimiento no considera el manejo del ciclo de vida de las tecnología, ni la evaluación de las necesidades clínicas que determinan el tipo de tecnología a usar, no tiene capacidad de investigar para resolver problemas, tampoco tiene la capacidad de desarrollar planes directores de los servicios clínicos, igualmente no tiene capacidad de gestionar el ciclo de aplicación de tecnología en los establecimientos de salud, no realiza evaluaciones económicas del impacto de la tecnología, así como no es responsable de la seguridad del paciente, entre otras muchas decisiones que la actual complejidad de la tecnología exige. Así la Ingeniería Clínica es una versión evolucionada que incluye la gestión de mantenimiento y está orientada a gestionar la tecnología de forma integral, formando de esta manera lo que bien puede llamarse una Rama de la Tecnología en los establecimientos de salud, en paralelo a las Rama Médica y la Rama Administrativa.

### Departamentos de ingeniería clínica

En países como Venezuela, México y Brasil donde se han constituido departamentos de Ingeniería clínica, estos se encuentran en el mismo nivel jerárquico dentro del organigrama funcional que el departamento médico y administrativo. A continuación se plantea un modelo organizacional desarrollado en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) por el Ing. Luis Vilcahuamán para departamentos de ingeniería clínica en el Perú, teniendo como base lo hecho en los países antes mencionados (Figura 6).

El objetivo central en la prestación de los servicios de salud es asegurar la máxima calidad de atención al usuario y considerando la realidad peruana donde la demanda de servicios es ilimitada mientras que la oferta, es decir, los recursos disponibles son limitados, es importante y necesario establecer una gerencia del aspecto tecnológico (departamento de ingeniería clínica), de tal forma que se realice una movilización efectiva y eficiente de los recursos, en base a una realidad de demanda concreta, de esta forma un criterio importante en el proceso de planificación de la tecnología, es el perfil epidemiológico.<sup>14</sup>

A nivel académico, los primeros programas de Ingeniería biomédica surgen en Europa entre los años 1940 y 1950. En Latinoamérica,

surge en México en 1975, Cuba y Brasil en 1980, en Argentina y Venezuela en 1985, en Chile en 1990 y en nuestro país en 1998. Sin embargo ya en 1975 se había creado la Asociación Peruana de Ingeniería Biomédica (APIB), durando con todos sus miembros sólo un año. En 1996, la PUCP aprueba el proyecto de Creación de la Maestría de Ingeniería Biomédica, la cual entra en funcionamiento en 1998. Ese mismo año la Universidad Peruana Cayetano Heredia crea la “Licenciatura en equipos Médicos” la cual no funciona actualmente. Con el apoyo de la PUCP, el Instituto Especializado de Salud del Niño crea la primera Unidad de Ingeniería Clínica del país en el año 2000, la cual en pocos meses es desarticulada. En el año 2007 la PUCP crea el Tecnopolo-Salud CENGETS como un Cluster de Ingeniería Clínica y Gestión de tecnología en Salud. El 2004 y el 2007, la PUCP apoyo la creación de una unidad de Gestión de Tecnología en Salud en el Hospital Nacional Cayetano Heredia en Lima, teniendo un éxito temporal y desarticulado por falta de decisión de una política institucional, siendo desarticulado por no cumplir con sus fines originales. Igualmente, con el apoyo de la PUCP, el Hospital Nacional Dos de Mayo creó una Unidad de Gestión de Tecnología en Salud, sin embargo fue tempranamente desvirtuada de sus fines originales, siendo también cerrada la unidad. Finalmente el CENGETS-PUCP consiguió en el Instituto Nacional Materno Perinatal las condiciones necesarias para la incorporación de una Unidad de Gestión de Tecnología en Salud e Ingeniería Clínica, sin restricciones convirtiéndose en uno de los cambios más significativos en la evolución de las organizaciones de los establecimientos de salud en el Perú, con solicitudes de réplica en diferentes regiones de país. Como todo cambio de este tipo, esta intervención no está exenta a reacciones contrarias a todo nivel de una organización hospitalaria anticuada y poco eficiente. Como vemos, los logros en el desarrollo de la ingeniería clínica no serían posibles sin el respaldo institucional decidido. De otro lado, otras universidades se encuentran en tentativas de crear grupos de investigación de ingeniería biomédica.<sup>14</sup>

## RELACIÓN ENTRE LA INGENIERÍA CLÍNICA y LA EPIDEMIOLOGÍA

Muchas de las funciones de la Ingeniería clínica para poder ser llevadas a cabo necesitan de cierta información básica o situacional. La Ingeniería clínica que se ocupa de la gestión de la tecnología en salud, realiza “un abordaje sistémico y cuantificable para asegurar que la relación costo/efectividad, eficiencia, seguridad y tecnología disponible sean lo apropiado para cubrir la demanda por el cuidado de los pacientes”.<sup>14</sup>

Se sabe que no es posible cubrir el 100% de las necesidades de salud de la población, debido a las limitaciones de la actual tecnología disponible y también por la falta de recursos. Así la planificación en el sector salud tiene que manejar sus escasos recursos de tal forma que se maximice los resultados. Esta planificación de la tecnología es una tarea que no se realiza bien en los hospitales convencionales.<sup>14</sup>

Los cambios sociales, políticos y económicos globales, así como un incremento y cambios en el perfil de enfermedades, han generado amplios esfuerzos para reformar y adaptar los sistemas de cuidado de salud con fines a mejorar su eficiencia, equidad y efectividad. Los sistemas de cuidado de salud en todos los países, ricos y pobres, se han hecho cada vez más dependientes de la tecnología. La tecnología del cuidado de la salud continúa evolucionando y también lo hace su impacto sobre el paciente, sobre los procedimientos clínicos del hospital, sobre la eficiencia financiera y el desempeño global de los servicios de salud. De esta forma la tecnología tiene un rol paradójico sobre el sistema de cuidado de la salud, ya que frecuentemente es citada como el factor más

significativo para el incremento inaceptable de los costos en salud, sin embargo al mismo tiempo son herramientas indispensables para que los proveedores de salud realicen sus funciones más efectivas y eficientemente.<sup>20</sup>

## FUNCIONES DE INGENIERÍA CLÍNICA RELACIONADAS A LA EPIDEMIOLOGÍA

Dentro de las funciones de la Ingeniería clínica tenemos a la Evaluación de tecnologías en Salud, la cual tiene relación estrecha relación con la Epidemiología.

### Evaluación de tecnología en salud (Healthcare Technology Assessment-HTA)

Es una forma de investigación que examina sistemáticamente la aplicación de tecnología en salud y las consecuencias a corto y largo plazo de su uso. El objetivo de la HTA es proveer información que ayude a la toma de decisiones en política y práctica médica. Entendemos como tecnología en salud a las drogas, dispositivos y equipos biomédicos, procedimientos clínicos, el sistema organizacional y de apoyo hospitalario, así como a los sistemas informáticos. La actividad más frecuente en la HTA es la síntesis o revisión sistémica de información disponible, especialmente sobre eficacia y costo efectividad con la finalidad de asistir diferentes tipos de decisiones sobre tecnología. La HTA es un proceso interdisciplinario sistémico basado en evidencia científica y otros tipos de información. Se encuentran involucrados médicos, epidemiólogos, investigadores, especialistas en salud pública, ingenieros y éticistas. La HTA no es investigación para la generación de conocimiento, sus productos deben ayudar a identificar problemas y/o fortalezas de la tecnología en salud para el control de enfermedades.<sup>21,22</sup>

Existen una serie de tecnologías de la salud para cada uno de los ámbitos clínicos (cuidado de personas, cuidado del ambiente) las cuales están sujetas a la HTA. La planificación de la tecnología y el desarrollo tecnológico de un establecimiento de salud se realiza en base a la información epidemiológica (en caso de tecnologías de salud a ser aplicadas para los servicios de salud comunitarios) o en base a la información clínica del paciente (en caso de servicios de salud individual).<sup>14</sup> (Ver Figura 7)

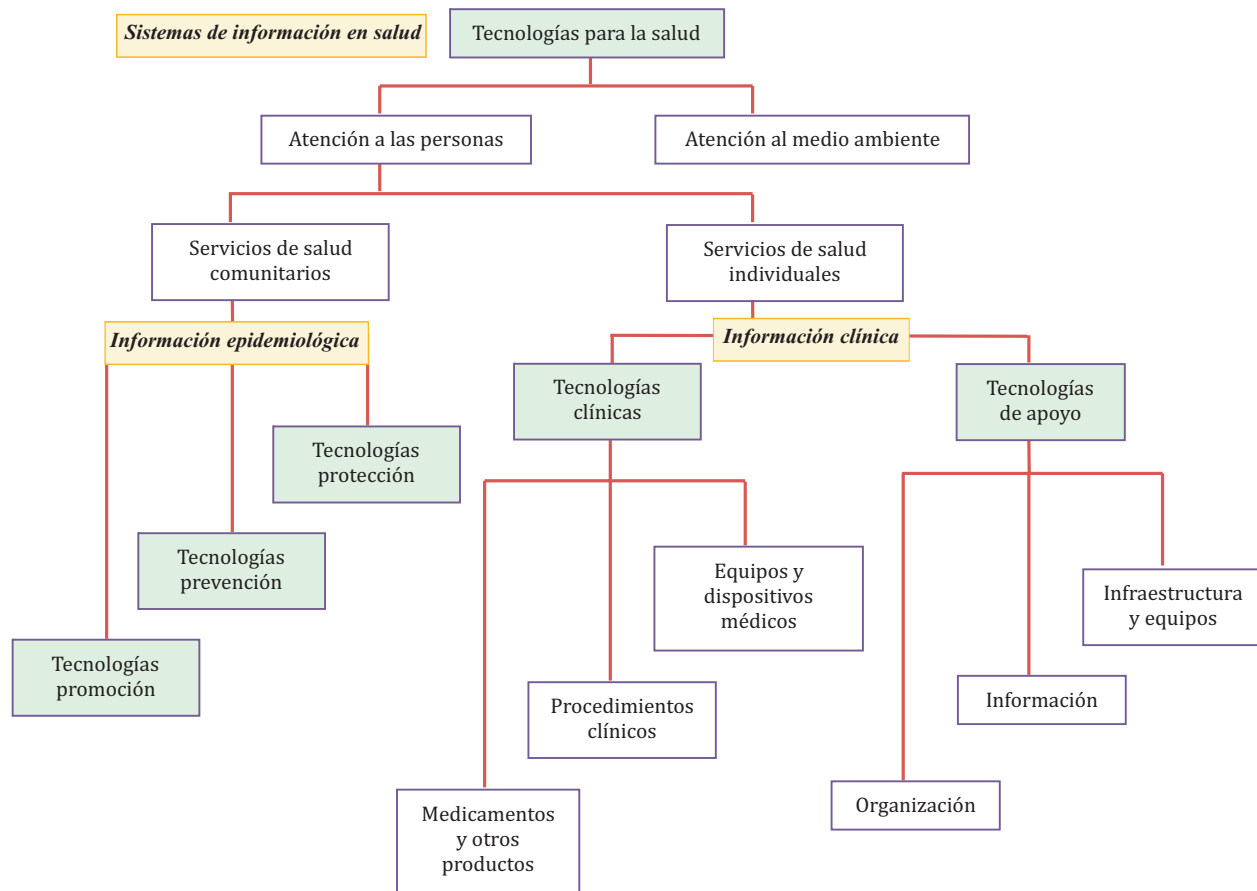
### Ciclo de aplicación de la tecnología en salud

Existe un concepto de ingeniería clínica denominado el ciclo de aplicación de la Tecnología en los establecimientos de salud, que es el proceso de incorporación y de disposición de una tecnología en el sistema de servicio de salud. En la Figura 8 se detalla el ciclo de aplicación de cualquier tecnología en salud. El objetivo de presentar dicho ciclo es entender en que etapa es útil e importante la epidemiología. En la etapa de planificación y evaluación de necesidades, el perfil epidemiológico es de vital importancia para maximizar resultados con recursos limitados, esto implica reemplazar recursos, colocar recursos nuevos en forma limitada o cancelar el uso de algunos recursos existentes en zonas donde no sean necesarios. El objetivo es equilibrar la oferta limitada y la demanda en base a una planificación y evaluación de las necesidades conociendo el perfil epidemiológico particular de la región donde nuestro establecimiento de salud se encuentre ubicado.

### Evaluación de necesidades y planificación

En forma resumida podríamos decir que el ciclo de aplicación de tecnología se resume en planeamiento, adquisición y administración de los recursos tecnológicos. El impacto de una enfermedad es un

FIGURA 7. Tecnologías para la salud y epidemiología



componente importante para la determinación de prioridades de salud. La epidemiología asiste en identificar el impacto de las enfermedades y este concepto hoy está estrechamente relacionado a aspectos económicos, sociales y de calidad de los servicios de salud.

De este modo el proceso de priorización, formulación de políticas de salud e implementación de iniciativas en salud deben ser específicamente formuladas dependiendo del perfil epidemiológico de la región, país o continente.<sup>20</sup> Ver Figura 9.

FIGURA 8. Ciclo de aplicación de la tecnología en salud

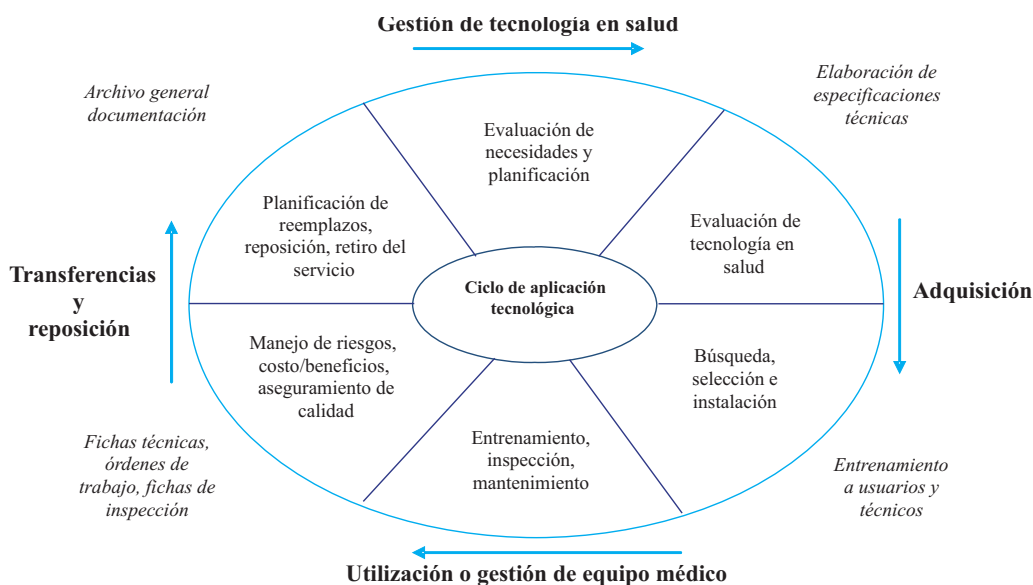
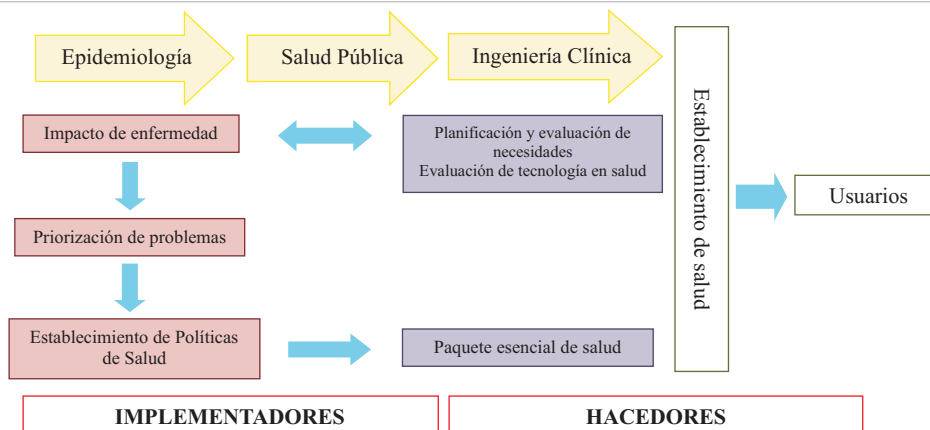


FIGURA 9. Relación entre la epidemiología y la ingeniería clínica



Los cambios en el patrón de enfermedades y diferencias epidemiológicas entre regiones y países deben ser incorporados para la elaboración de las lista de equipamiento, las cuales derivan a su vez de los paquetes esenciales de salud. Cambios fundamentales en el desarrollo de las listas esenciales de equipamiento han sido logrados usando la metodología de los paquetes esenciales de salud. La naturaleza estática de la lista de equipamiento determina que un número limitado de expertos (médicos especialistas) normalmente formulen estas listas. Estas listas de equipamiento derivadas de los paquetes esenciales de salud tienen una base mayor de conocimiento, puesto que cada enfermedad y su intervención de salud específica está determinada por un grupo de expertos y la medicina basada en la evidencia. Así, cada especialidad médica tiene su contribución en el desarrollo de una apropiada lista de tecnología para el cuidado de la salud sin influenciar la lista formulada por otra especialidad médica.<sup>20</sup> Sin embargo, aún se requiere de una diversidad de decisiones especializadas (expuestas en el Ciclo de Aplicación de la Tecnología) para que efectivamente se disponga del equipamiento idóneo. Esta labor la realiza el ingeniero clínico, quién asume la responsabilidad de la planificación, la adquisición y la administración de los recursos

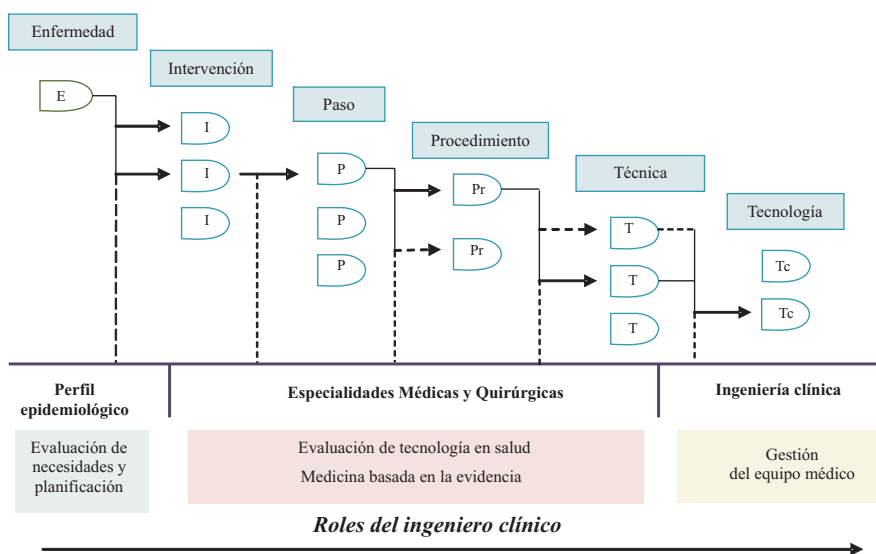
tecnológicos con que debe contar un establecimiento de salud. De esta manera, se termina implementando una Rama Tecnológica en la organización del establecimiento de salud, paralela a la Rama Médica y la Rama Administrativa.

Por lo expuesto, vemos que la tecnología o dispositivos biomédicos a usarse en un centro depende directamente del conocimiento del perfil epidemiológico y de una adecuada evaluación de necesidades y planificación. Además de una adecuada gestión de dichos equipos dentro del establecimiento de salud (Figura 10).

CONCLUSIONES

La ingeniería clínica y su profesional el ingeniero clínico a lo largo de su evolución han encontrado un campo de acción específico e indispensable dentro del complejo y multidisciplinario sistema del cuidado de la salud. Esto es patente en países con sistemas de salud mejor estructurados que el nuestro y donde el desarrollo tecnológico es base importante de desarrollo. En nuestro medio, a pesar de haber contado con apoyo de instituciones extranjeras, no se han podido

FIGURA 10. Vínculo de entre la ingeniería clínica y la epidemiología (lista de equipos biomédicos en base a la metodología de paquetes esenciales de salud)



establecer completamente departamentos de Ingeniería clínica que se encarguen de la gerencia del sistema tecnológico en el cuidado de la salud de pacientes y todo lo que esto involucra. La realidad indica que en nuestros hospitales “se hace lo que se puede” con respecto a la tecnología biomédica, esta labor está a cargo de diversos entes dispersos y de los servicios de mantenimiento, siguiendo un modelo de organización propio de la década de 1960.

El establecer políticas de tecnología de salud, evaluar y regular las tecnologías de salud, y gestionar los equipos médicos en los establecimientos de salud, son funciones que actualmente se realizan de forma desarticulada en los hospitales, es decir sin responsabilidad real, y si algo se hace, no siguen una base científica (conocimientos de ingeniería, medicina y gestión), esto produce mayores gastos en el aspecto tecnológico del sistema de salud de nuestro país, es decir mayor desperdicio de recursos económicos.

Es importante considerar que el acto médico es el producto final de todo el proceso de servicios del cuidado de la salud. Es el último eslabón de una cadena que debe estar en perfecto engranaje para ofrecer a los pacientes un servicio de la más alta calidad. Los grandes beneficiados no sólo son los pacientes, sino también el personal médico que, siendo conocedor de la calidad de los dispositivos biomédicos que usa en su quehacer, puede ofrecer sus servicios con seguridad y confianza.

Como vemos la labor del ingeniero clínico, le da solidez, eficiencia y confianza a la labor de los médicos asistenciales y servicios clínicos, sin embargo la labor del ingeniero clínico sería ineficiente e incompleta sin el conocimiento que brinda la epidemiología, ya que la planificación y el estudio de impacto de algunas enfermedades es el primer paso en la labor de la ingeniería clínica.

#### Recomendaciones

1. Fortalecer la institucionalidad de los ingenieros clínicos o ingenieros biomédicos graduados de programas académicos nacionales o extranjeros.
2. Crear programas de internado para ingenieros clínicos en el sistema de salud.
3. Fomentar la formación de ingenieros clínicos como especialización en estudios de postgrado para médicos e ingenieros en universidades del país.
4. Difundir la ingeniería clínica entre los profesionales médicos y empoderar acerca de su rol e importancia dentro del sistema de salud.
5. Establecer regulaciones o leyes para crear los departamentos de ingeniería clínica como parte de una mejor estructura organizacional de nuestros hospitales.

\*\*\*\*\*

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN INSTITUTE FOR MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING (ON LINE), [HTTP://WWW.AIMBE.ORG/](http://www.aimbe.org/) . CONSULTA 26 ENERO 2010.
2. DUANE B. KEYNOTE LECTURE: THIRTEENTH SOUTHERN BIOMEDICAL ENGINEERING CONFERENCE, "BIOENGINEERING IN THE FUTURE", WASHINGTON, D.C., APRIL 16, 1994.
3. ARNTZEN A, LEGUY C. A MODEL OF KNOWLEDGE SHARING IN BIOMEDICAL ENGINEERING: CHALLENGES AND REQUIREMENTS . JOURNAL OF BUSINESS CHEMISTRY 2007, 4(1): 21-32.
4. BRONZINO J. THE BIOMEDICAL ENGINEERING HANDBOOK. THIRD EDITION. 2006 BY TAYLOR & FRANCIS GROUP, LLC. HARTFORD, CONNECTICUT, U.S.A. CAP: INTRODUCTION AND PREFACE.
5. ENDERLE J. INTRODUCTION TO BIOMEDICAL ENGINEERING. SECOND EDITION. 2005, ELSEVIER. CALIFORNIA , USA. CAP: BIOMEDICAL ENGINEERING: A HISTORICAL PERSPECTIVE, P: 17-26.
6. KUTZ M. STANDARD HANDBOOK OF BIOMEDICAL ENGINEERING AND DESIGN. 2003, THE MCGRAW-HILL COMPANIES, INC. PART I. BIOMEDICAL SYSTEMS ANALYSIS, P: 1.3-1.10.
7. DYRO J. CLINICAL ENGINEERING HANDBOOK. CAP: INTRODUCTION. P: 14-22. ELECTRICAL ENGINEERING MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. ACADEMIC PRESS, INC . ELSEVIER. 2004.
8. BRONZINO JD. MANAGEMENT OF MEDICAL TECHNOLOGY: A PRIMER FOR CLINICAL ENGINEERS. PHILADELPHIA, BUTTERWORTH-HEINEMANN, 1992
9. AMERICAN COLLEGE OF CLINICAL ENGINEERING [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTP://WWW.ACENET.ORG/CE/DEFINITION.HTML](http://www.accenet.org/ce/definition.html). VISITADO 28 FEBRERO 2010.
10. FRIZE M, CAO X, ROY I. SURVEY OF CLINICAL ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES AND MODEL FOR TECHNOLOGY ACQUISITION AND DIFFUSION. PROCEEDINGS OF THE 2005 IEEE. ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY 27TH ANNUAL CONFERENCE SHANGHAI, CHINA, SEPTEMBER 2005, P: 170-174.
11. ZAMBUTO R. CLINICAL ENGINEERS IN THE 21ST CENTURY. CHARTING RECENT CHANGES AND A LOOK TO THE FUTURE. IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY MAGAZINE. MAY/JUNE 2004. P: 37-41.
12. DYRO J. CLINICAL ENGINEERIN: A PROSPECTUS. SPECIAL SYMPOSIUM ON MATURING TECHNOLOGIES AND EMERGING HORIZONS. IEEE, 1988.
13. BRONZINO JD. CLINICAL ENGINEERING: EVOLUTION OF A DISCIPLINE. IN BIOMEDICAL ENGINEERING HANDBOOK, ED 1, 2. BOCA RATON, FL, CRC PRESS, 1995, 2000.
14. VILCAHUAMÁN L; RIVAS, P. INGENIERÍA CLÍNICA Y GESTIÓN DE TECNOLOGÍA EN SALUD. AVANCES Y PROPUESTAS. 1RA EDICIÓN, LIMA. APOYO EDIT. OPS/OMS. 2006.
15. DECOUVELAERE M, MACQUET P, VOGT A. CLINICAL ENGINEERING IN FRANCE : STATE AND TRENDS FOR THE FUTURE. PROCEEDINGS OF THE 29TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE. EMBS CITÉ INTERNATIONALE, LYON, FRANCE AUGUST 2007. P:2772-2775.
16. VILCAHUAMAN L, BRANDÁN J. CLINICAL ENGINEERING HANDBOOK. CAP 25: CLINICAL ENGINEERING IN PERU. P: 102-104.
17. SALAVERRY O. HISTORIA DE LA MEDICINA PERUANA DEL SIGLO XX. FONDO EDITORIAL UNMSM. 2000.
18. DISPONIBLE EN: [WWW.MINSA.GOB.PE/DGIEM/GERENCIA%20MANTENIMIENTO.PDF](http://www.minsa.gob.pe/dgiem/GERENCIA%20MANTENIMIENTO.PDF). VISITA ONLINE: 2 DE FEBRERO 2010.
19. BAKER T. JOURNAL OF CLINICAL ENGINEERING ROUNDTABLE: DEBATING THE MEDICAL DEVICE PREVENTIVE MAINTENANCE DILEMMA AND WHAT IS THE SAFEST AND MOST COST-EFFECTIVE REMEDY. 2003. 28(3):183-190.
20. DYRO J. CLINICAL ENGINEERING HANDBOOK. CAP 25: THE ESSENTIAL HEALTH CARE TECHNOLOGY PACKAGE. P: 164-170. ELECTRICAL ENGINEERING MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. ACADEMIC PRESS, INC . ELSEVIER. 2004.
21. BANTA D. HEALTH TECHNOLOGY ASSESSMENT. INT JOURNAL OF TECHNOLOGY IN HEALTH CARE, 25: SUPPLEMENT 1 (2009):10.
22. CARBAJAL M, RUIZ C. EVALUACIÓN TÉCNICA Y CLÍNICA DE TECNOLOGÍA BIOMÉDICA EN PROCESOS DE ADQUISICIÓN: UN ENFOQUE EN EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA DE SALUD. REV ING BIOMÉDICA. 2008. 2(4): 34-45.

**ABSTRACT****CLINICAL ENGINEERING AND EPIDEMIOLOGY**

Clinical engineering is a new discipline in our country that has emerged from the development of health technologies in clinical settings. As a discipline, it has well established roles and functions that seek to improve the use of technology applied to patient. Despite the importance of clinical engineering in hospitals and clinical environment, clinical engineering departments have not been systematically incorporated into Peruvian hospitals. Several attempts from foreign and national institutions have not been successful in the implementation of these departments within hospital organization. Clinical engineering needs of clinical epidemiology in order to meet some of its functions. From the interactions of these two disciplines, balance between the limited supply and unlimited demand for health services could be achieved.

**KEY WORDS:** Clinical engineering, Epidemiology, Biomedical technology



Artículo terminado de editar el  
miércoles, 28 de abril de 2010