



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**El papel del ingeniero biomédico y
el departamento de ingeniería
biomédica en el área de quirófano
en un hospital de sector privado**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniera en Sistemas Biomédicos

P R E S E N T A

Alicia Iraís Martínez Nieto

ASESORA DE INFORME

Dra. Michelín Álvarez Camacho



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado EL PAPEL DEL INGENIERO BIOMEDICO Y EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA BIOMEDICA EN EL AREA DE QUIROFANO EN UN HOSPITAL DE SECTOR PRIVADO que presenté para obtener el título de INGENIERO EN SISTEMAS BIOMÉDICOS es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

ALICIA IRAIS MARTINEZ NIETO
Número de cuenta: 316135407

Jurado asignado

Presidente: M.I. Serafín Castañeda Cedeño

Vocal: Dra. Michelín Álvarez Camacho

Secretario: M.I. Elizabeth Orencio Lizardi

1er suplente: Dra. Zaida Estefanía Alarcón Bernal

2do suplente: Dr. Didier Torres Guzmán

Ciudad de México

Directora de Informe:

Dra. Michelín Álvarez Camacho

Agradecimientos

Al **Hospital Ángeles Acoxa**, donde tuve la oportunidad de descubrir y apasionarme profundamente por la **Ingeniería Biomédica**. A la **Ing. Ana González**, jefa del Departamento de Ingeniería Biomédica, por su confianza y liderazgo ejemplar, y a mis mentores, el **Ing. Rogelio Hernández** y el **Ing. Ricardo Ramírez**, por compartir su experiencia y conocimientos, fundamentales para el desarrollo de este trabajo y para potenciar mis habilidades en mi primera experiencia profesional.

Al **Hospital General de México**, por recordarme que el aprendizaje es un proceso continuo y por reforzar aún más mi vocación. A la **Ing. Elizabeth Orencio**, jefa del Departamento de Ingeniería Biomédica, por su liderazgo, profesionalismo y capacidad de resolución, así como a la **Ing. Savannah Hernández** y a todo el equipo del departamento, por enriquecer mi formación, brindarme una nueva perspectiva y proporcionarme el discernimiento necesario para culminar el presente trabajo.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a mis profesores, por brindarme las herramientas y conocimientos esenciales en mi formación como ingeniera. A mi asesora, la **Dra. Michelín Álvarez Camacho**, por su guía, paciencia y valiosa orientación en la estructuración de este trabajo, facilitando el cierre exitoso de esta etapa académica.

A **mi familia y seres queridos**, por su apoyo incondicional y por ser mi mayor fuente de motivación.

A todos y cada uno, mi más profundo agradecimiento por ser parte esencial de esta etapa de mi vida.

Índice general

CONTENIDO

Jurado asignado.....	1
Agradecimientos	2
Índice general.....	3
Glosario	4
Introducción y objetivos.....	5
Antecedentes	8
Labores Operativas del Departamento de Ingeniería Biomédica en el Quirófano.....	9
Cirugía microscópica: Definición y aplicaciones	12
Neuronavegación: Técnica avanzada en Neurocirugía	14
Labores Administrativas del Departamento de Ingeniería Biomédica en el Quirófano	17
Definición del problema o contexto de la participación profesional	18
Metodología utilizada.....	19
Contexto del Proceso Quirúrgico	19
Etapas del Proceso de Cirugías Complejas	19
Recolección de datos.....	20
Cuestionario base.....	20
Análisis de datos	20
Resultados y discusión.....	21
Percepción del Personal de Salud de Quirófano	21
Participación del Ingeniero Biomédico.....	21
Desglose de las Etapas del Proceso de Cirugías Complejas	22
1. Planificación de la Cirugía (Antes).....	22
2. Procedimiento Quirúrgico (Durante).....	27
3. Fin del Procedimiento Quirúrgico (Después)	32
Indicadores clave identificados.....	35
Conclusiones.....	36
Recomendaciones.....	37
Bibliografía.....	40
Referencias de fuentes de información:.....	40
Referencias de imágenes:	41

Glosario

C.

CEyE - Siglas de Central de Esterilización y Equipos.

Cx - Abreviatura médica de cirugía.

D.

DIB - Abreviatura asignada para Departamento de Ingeniería Biomédica.

E.

EMAT - Siglas de equipo médico de alta tecnología.

EPP - Siglas de equipo de protección personal.

G.

GASS - Siglas de Grupo Angeles Servicios de Salud.

H.

HAA - Siglas de Hospital Angeles Acoxa.

P.

PAMP - Siglas de Programa Anual de Mantenimientos Preventivos.

Proceso - Conjunto de actividades planificadas que implican la participación de un número de personas y de recursos materiales coordinados para conseguir objetivos previamente definidos.

Px - Abreviatura médica de paciente.

Q.

Qx - Abreviatura médica de quirófano.

S.

Sistema - Conjunto de procesos que interactúan y se relacionan para alcanzar objetivos previamente definidos.

T.

TAC - La tomografía axial computarizada es la prueba diagnóstica que utiliza rayos X de cortes o secciones del cuerpo con la intención de crear imágenes detalladas de órganos internos, huesos, tejidos blandos y vasos sanguíneos.

Introducción y objetivos

El presente trabajo se desarrolla en el Hospital Angeles Acoxa (HAA), una institución privada de alta especialidad que destaca por ofrecer atención médica de calidad en una amplia gama de servicios y especialidades. Una característica distintiva de este hospital es el uso de *equipo médico de alta tecnología* (EMAT), definido como “aquel equipo con alto costo y complejidad, que debe ser operado por especialistas, requiere instalaciones especiales y es de acceso restringido” (Jennet B., 1984, citado de CENETEC, 2016).

Desde su concepción, el Hospital Angeles Acoxa ha buscado posicionarse como líder en la adopción de tecnología avanzada, siendo una de las pocas sedes del Grupo Angeles que realiza cirugías asistidas por microscopía y neuronavegación. Esto exige que el Departamento de Ingeniería Biomédica (DIB) cuente con personal altamente capacitado, capaz de brindar soporte técnico especializado y trabajar en conjunto con el resto del personal de salud para garantizar un servicio de excelencia a los pacientes.

A pesar del prestigio que caracteriza a la institución, se ha identificado una limitada comprensión, por parte de un gran número del personal de salud, sobre las funciones y responsabilidades del Ingeniero Biomédico y del Departamento de Ingeniería Biomédica en el área de Quirófano (Qx), particularmente en procedimientos de alta complejidad, como las cirugías asistidas por microscopía y neuronavegación. Por ello, el presente trabajo busca principalmente describir a detalle el rol que desempeña el Ingeniero Biomédico en esta área, destacando su impacto en la operación eficiente del Quirófano y su contribución al éxito de las intervenciones quirúrgicas mencionadas.

Teniendo esto en cuenta, los objetivos del presente trabajo son:

- **Evaluar** las percepciones y el nivel de conocimiento del personal de salud del Hospital Ángeles Acoxa sobre el rol y la importancia del Ingeniero Biomédico y del Departamento de Ingeniería Biomédica en la correcta operación del área de Quirófano, especialmente durante las cirugías complejas.
- **Definir** y esclarecer el papel del Ingeniero Biomédico y del Departamento de Ingeniería Biomédica en el área de Quirófano en el Hospital Angeles Acoxa.
- **Describir** el proceso de las cirugías complejas en el HAA, resaltando la participación del Ingeniero Biomédico y del Departamento de Ingeniería Biomédica en la asistencia de procedimientos quirúrgicos de alta complejidad, haciendo énfasis en las cirugías microscópicas y de neuronavegación.
- **Difundir** entre la comunidad de Ingeniería Biomédica el papel del Ingeniero Biomédico en el área de Quirófano, destacándolo como una de las múltiples oportunidades laborales que existen en este campo, ya sea en la operación, desarrollo de tecnología médica o investigación.
- Por último, **documentar** las actividades realizadas en el área de Quirófano durante las prácticas profesionales en el Hospital Angeles Acoxa, en el periodo del 23 de agosto de 2023 al 23 de febrero de 2024.

El informe se divide en los siguientes apartados:

1. **Antecedentes:** Se presenta el contexto del hospital en el que se desarrolla el trabajo, así como la operación del área de Quirófano, las características del Equipo Médico de Alta Tecnología con el que cuenta y las actividades realizadas durante las prácticas profesionales.
2. **Definición del problema y el contexto de la participación profesional:** Se describe el entorno del área de Quirófano, el nivel de conocimiento del personal sobre el papel del Ingeniero Biomédico y los retos identificados.
3. **Metodología:** En este apartado se describe el **análisis cualitativo** empleado como método principal, basado en un cuestionario con preguntas abiertas diseñado para comprender la percepción y el nivel de conocimiento del personal de salud del área de Quirófano del Hospital Ángeles Acoxa acerca de la participación y el impacto del Ingeniero Biomédico y el Departamento de Ingeniería Biomédica en dicha área.
4. **Resultados y discusión:** Las respuestas obtenidas a partir del cuestionario base evidenciaron que el personal de Qx del Hospital Ángeles Acoxa tiene un conocimiento limitado sobre las tareas específicas realizadas por los Ingenieros Biomédicos durante las cirugías complejas, por lo que se identificaron y detallaron todas estas actividades de cada una de las etapas del Proceso de Cirugías Complejas, diferenciando entre cirugías de navegación, cirugías microscópicas y otros procedimientos complejos. Se presentan diagramas de flujo con las personas y áreas involucradas, tablas que describen la participación específica del Ingeniero Biomédico y su interacción con otras áreas, así como diagramas de relación entre el personal de salud y el Ingeniero Biomédico, para cada una de estas etapas, obteniendo los siguientes hallazgos principales:
 - **Planificación de la Cirugía (Antes):**
 - El Ingeniero Biomédico desempeña un rol clave en la gestión del equipo médico, tanto propio del hospital como de proveedor, necesario para el procedimiento.
 - Participa activamente en la resolución de problemas técnicos previos.
 - Su intervención es mayor en las cirugías de cráneo navegadas, ya que requieren un mayor número de actividades, destacando la interacción con el médico, los proveedores, el equipo de enfermería de quirófano y la Central de Esterilización y Equipos (CEyE).
 - **Procedimiento Quirúrgico (Durante):**
 - El Ingeniero Biomédico tiene el mayor número de tareas asignadas en procedimientos que utilizan tecnología avanzada, como las cirugías de columna navegadas, por lo que su participación es más destacada.
 - En cirugías complejas que no requieren equipos avanzados, las tareas del Ingeniero Biomédico se limitan principalmente a la solución de fallas técnicas que puedan surgir durante el procedimiento.
 - Al finalizar esta etapa, el Ingeniero Biomédico realiza nuevamente una revisión de los códigos asignados al equipo biomédico utilizado durante la cirugía cuando es necesario.

- **Fin del Procedimiento Quirúrgico (Después):**

- El Ingeniero Biomédico realiza la gestión de los cargos del equipo médico, es decir; verifica que todos los cobros del equipo médico utilizado durante la cirugía y en áreas postquirúrgicas se realicen correctamente.
- Asegura el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en la recuperación del paciente e interviene oportunamente ante problemas técnicos.
- Supervisa la documentación y la entrega de equipos a proveedores, garantizando su registro y devolución adecuados.

El análisis permitió identificar que la participación del Ingeniero Biomédico es constante en todas las etapas del Proceso de Cirugías Complejas, especialmente en la resolución de fallas técnicas, sin importar el tipo de cirugía.

Además, se identificaron cinco indicadores principales que influyen en la efectividad del DIB en el área de Quirófano: tiempo de respuesta, preparación del personal, comunicación interdepartamental, presupuesto y carga laboral, cuya descripción y observaciones se describen a detalle en esta sección.

5. **Conclusiones:** Se presentan el impacto y las contribuciones del trabajo, así como el cumplimiento de los objetivos y su vinculación con la carrera de Ingeniería en Sistemas Biomédicos.

A través de este informe, se busca destacar la relevancia del Ingeniero Biomédico como un elemento clave en la operación y optimización de áreas críticas dentro del sector salud, especialmente en instituciones de alta especialidad como el Hospital Ángeles Acoxa.

Se detalla el análisis cualitativo utilizado como método principal, a partir de un cuestionario base con preguntas abiertas, para comprender el nivel de conocimiento del personal de salud que labora en el Quirófano del Hospital Angeles Acoxa sobre la participación del Departamento de Ingeniería Biomédica en dicha área.

Finalmente es importante mencionar que, a lo largo de este documento, se hará referencia al Ingeniero Biomédico dentro del área de Quirófano, ya que este es el nombre designado para el puesto de trabajo en el que se llevaron a cabo las prácticas profesionales. Aunque el presente informe se presenta como parte del proceso de titulación para obtener el grado de Ingeniero en Sistemas Biomédicos, se utilizará dicha denominación, ya que es la empleada dentro del gremio hospitalario para referirse a quien desempeña las funciones descritas en este trabajo. Esto refleja la nomenclatura utilizada en el campo laboral para quienes se encargan de la gestión, mantenimiento y operación de la tecnología biomédica en entornos hospitalarios.

Antecedentes

El Hospital Angeles Acoxa, inaugurado en 2013, es una de las 28 sedes que conforman el Grupo Angeles Servicios de Salud (GASS). Clasificado como un hospital de Tercer Nivel de Alta Especialidad Médica, cuenta con una moderna Torre de Especialidades Médicas que refuerza su capacidad para ofrecer atención de calidad en una amplia variedad de servicios especializados (Ramos, 2014).

Para asegurar un servicio de excelencia, el hospital opera bajo una estructura organizacional bien definida, conformada por cinco direcciones principales:

1. **Dirección Médica:** Encargada de coordinar la atención médica y garantizar la calidad de los servicios clínicos.
2. **Dirección de Enfermería:** Responsable de la gestión y capacitación del personal de enfermería, así como de la supervisión de los estándares de cuidado.
3. **Dirección de Servicios Clínicos:** Orientada a la supervisión y administración de los servicios de diagnóstico, laboratorio y terapias.
4. **Dirección de Operaciones:** Encargada de la logística y el funcionamiento operativo del hospital, incluyendo mantenimiento, tecnología y suministros.
5. **Dirección de Finanzas:** Gestiona los recursos económicos para garantizar la sostenibilidad del hospital.

En el marco de este trabajo, el enfoque se dirige específicamente a la Dirección de Operaciones, ya que en esta área se encuentra el Departamento de Ingeniería Biomédica, como se muestra en el organigrama de la Figura A.1. Este departamento desempeña un papel crucial en la gestión y mantenimiento de los equipos médicos, garantizando su disponibilidad, funcionalidad y seguridad. Además, colabora estrechamente con las demás direcciones para optimizar los procesos hospitalarios y asegurar el cumplimiento de los más altos estándares de calidad en la atención al paciente.

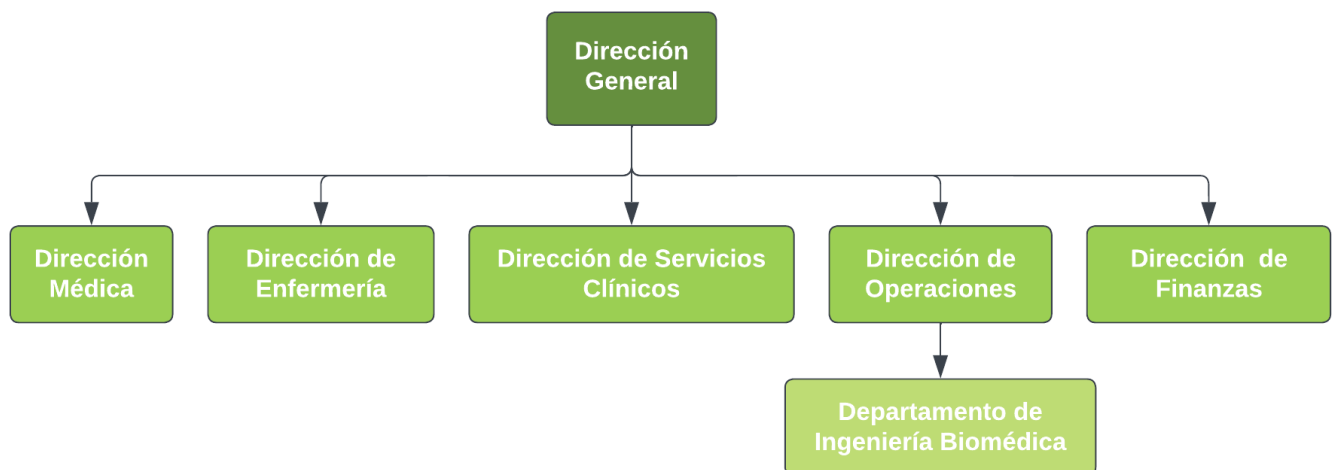


Figura A.1. Organigrama de direcciones del Hospital Angeles Acoxa haciendo énfasis en la Dirección de Operaciones, a la que pertenece el Departamento de Ingeniería Biomédica.

Durante el periodo de mis prácticas profesionales el equipo de trabajo del Departamento de Ingeniería Biomédica del Hospital Angeles Acoxa estaba conformado por dos ingenieros en el turno matutino, uno para el turno vespertino y un jefe de departamento. El personal altamente capacitado de este departamento se encarga de gestionar tanto tareas operativas como administrativas en todas las áreas del hospital, garantizando la funcionalidad de los equipos médicos y el cumplimiento de los estándares normativos. Durante mi estadía en el hospital, brindé apoyo al ingeniero del turno vespertino en la realización de dichas actividades.

Una de las áreas donde desempeñé más tareas fue el **Quirófano Central**, el cual está dividido en tres secciones: Preoperatorio, Quirófanos y Recuperación. Estas están clasificadas como **áreas blancas**, lo que implica un acceso restringido únicamente al personal autorizado y proveedores, quienes deben portar en todo momento uniforme quirúrgico y equipo de protección personal (EPP).

En términos generales, en el área del **Preoperatorio** el personal de enfermería se encarga de preparar a los pacientes para sus procedimientos quirúrgicos. Una vez finalizada la cirugía, los pacientes son trasladado al área de **Recuperación** para su monitoreo postoperatorio.

Los **Quirófanos**, por su parte, son salas especialmente diseñadas para realizar una amplia gama de procedimientos quirúrgicos de diferentes especialidades médicas, tales como: Cirugía General, Neurocirugía, Cardiología, Otorrinolaringología, Oftalmología, Gastroenterología, Urología, Coloproctología, Ortopedia, Traumatología, Laparoscopia, Microcirugía, Cirugía Plástica y Oncología (Hospital Ángeles, Health System, 2023).

Estas instalaciones cumplen con los estándares establecidos en la **NOM-016-SSA3-2012**, que señala las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada. En particular, los quirófanos están diseñados conforme al Apéndice H (Normativo) de dicha norma, que detalla los requisitos específicos para unidades quirúrgicas (SSA, 2013).

Labores Operativas del Departamento de Ingeniería Biomédica en el Quirófano

En esta área clave, el Departamento de Ingeniería Biomédica desempeña un conjunto de funciones críticas, entre las que destacan:

1. Check de Quirófano

Este es uno de los procesos de control que se realizan diariamente antes de iniciar las actividades del día para garantizar el correcto funcionamiento de los quirófanos. Incluye la inspección de:

- a. Correcto funcionamiento de lámparas quirúrgicas, tableros, negatoscopios y mesas quirúrgicas.
- b. Tomas de gases medicinales, verificando que no haya fugas.
- c. Limpieza y correcta colocación de los canisters en los reguladores de vacío (Figura A.2).
- d. Registro de la temperatura ambiental de la sala.
- e. Revisión del último chequeo general de las máquinas de anestesia, las cuales están bajo contrato de comodato.

Esta revisión diaria es llevada a cabo y registrada por los practicantes en una hoja de cálculo, asegurando un control detallado de las condiciones de cada quirófano.

2. Mantenimientos preventivos

El Departamento de Ingeniería Biomédica desarrolla un **Programa Anual de Mantenimientos Preventivos (PAMP)**, en el que se planifican los mantenimientos preventivos de los equipos médicos de todas las áreas del hospital. Este programa tiene como objetivo llevar un control y garantizar la operatividad y seguridad de los equipos mediante la programación mensual de sus mantenimientos, considerando factores como:

- a. La clasificación del equipo médico (soporte vital o no)
- b. La complejidad técnica
- c. El área de operación

Algunos de estos mantenimientos preventivos son realizados directamente por los ingenieros del departamento siguiendo las cédulas técnicas aprobadas previamente, mientras que el resto son ejecutados por proveedores externos, según el tipo de contrato establecido (Figura A.3). En ambos casos, se documenta la información en una **orden de servicio**, donde se detallan los procedimientos realizados para cada servicio, facilitando un seguimiento preciso y asegurando el cumplimiento de los estándares establecidos.



Figura A.2. Regulador de vacío; ejemplo de equipo médico del Qx al que los ingenieros del DIB realiza mantenimiento preventivo. Otros ejemplos son: lámparas quirúrgicas y flujómetros.



Figura A.3. Mesa de cirugía; ejemplo de equipo médico del Qx al que proveedor realiza mantenimiento preventivo. Otros ejemplos son: aspiradores y microscopio Kinevo 900.

3. **Mantenimientos correctivos**

Los mantenimientos correctivos en el Hospital Angeles Acoxpa varían según la naturaleza de las fallas en los equipos médicos. Entre las averías más comunes se encuentran:

- a. Problemas electrónicos o reemplazo de baterías en mesas quirúrgicas.
- b. Colocación incorrecta de canisters en los reguladores de vacío.
- c. Ajuste de tornillos en lámparas quirúrgicas.

Estas tareas son atendidas de manera prioritaria para evitar interrupciones en las actividades del área quirúrgica y garantizar la seguridad de los procedimientos.

4. **Solicitudes específicas**

El hospital cuenta con un sistema electrónico llamado “**Mesas de ayuda**”, que permite a cada área comunicar sus requerimientos relacionados con el equipo médico al Departamento de Ingeniería Biomédica. Este sistema no solo centraliza las solicitudes, sino que también sirve como herramienta para medir la eficiencia y eficacia del departamento mediante el seguimiento de cada caso. Las solicitudes más comunes provenientes del área de Quirófano incluyen:

- a. Mantenimientos correctivos.
- b. Solicitudes de refacciones.
- c. Adquisición de nuevos equipos médicos.

El uso constante de los equipos genera un desgaste natural, lo que explica la alta incidencia de solicitudes relacionadas con el mantenimiento y las refacciones.

5. Preparación de salas quirúrgicas

El Departamento de Ingeniería Biomédica es responsable de garantizar que las salas quirúrgicas estén equipadas con todos los dispositivos necesarios para los procedimientos programados. En particular, cuando se realizan cirugías microscópicas o de neuronavegación, se requiere la preparación específica del Equipo Médico de Alta Tecnología (EMAT). Esta tarea incluye:

- a. Verificar y montar los equipos necesarios según las especificaciones del médico.
- b. Asegurar que todos los dispositivos estén en óptimas condiciones antes del inicio de la cirugía.

6. Asistencia a cirugías

Una vez preparada la sala quirúrgica, los ingenieros biomédicos asisten directamente al cirujano en la operación del EMAT durante el procedimiento. Esta tarea requiere habilidades técnicas avanzadas y una coordinación precisa con el equipo médico. Solo el personal capacitado del Departamento de Ingeniería Biomédica puede desempeñar esta función, que es fundamental en procedimientos de alta complejidad.

Las cirugías que involucran asistencia técnica con el EMAT se clasifican como de **alta complejidad**, ya que combinan:

- a. Tecnología de punta.
- b. Técnicas quirúrgicas avanzadas.
- c. Riesgos vitales significativos para los pacientes, incluyendo tasas variables de mortalidad operatoria y una alta incidencia de complicaciones (Csendes y González, 2005).

Entre estas cirugías destacan las mínimamente invasivas, las robóticas y las que utilizan microscopios quirúrgicos y sistemas de neuronavegación.

Antes de pasar a las especificaciones del EMAT utilizado en las cirugías microscópicas y de neuronavegación se explicará de manera general en qué consisten estos procedimientos.

Cirugía microscópica: Definición y aplicaciones

La **cirugía microscópica**, también conocida como microcirugía, es una técnica altamente especializada que emplea microscopios quirúrgicos de alta resolución y equipos de precisión para realizar procedimientos en estructuras extremadamente pequeñas del cuerpo humano.

Como señala el Dr. Andrew Zhang, cirujano microvascular en el Centro Médico de la Universidad de Columbia:

"La cirugía microscópica permite a los cirujanos trabajar con una magnificación significativa, lo que les permite realizar suturas y manipular tejidos con una precisión excepcional".

Este enfoque es especialmente útil en procedimientos donde se requiere una manipulación precisa y mínima invasión, como la reconstrucción de tejidos, trasplantes de órganos, cirugía oftalmológica y neurocirugía (Zhang, 2019).

Los microscopios quirúrgicos utilizados están diseñados específicamente para entornos quirúrgicos, con características como iluminación integrada, ópticas de alta resolución y sistemas de enfoque ajustables para adaptarse a las necesidades específicas del procedimiento (Figura A.4).

El Dr. John Doe, neurocirujano en el Hospital General de Massachusetts, enfatiza: "*La magnificación y la iluminación proporcionadas por los microscopios quirúrgicos son fundamentales para realizar procedimientos precisos en estructuras delicadas como los nervios y los vasos sanguíneos*" (Doe, 2020).

Esta técnica ha revolucionado diversos campos de la medicina al ofrecer intervenciones más precisas, permitir procedimientos menos invasivos, reducir los tiempos de recuperación y mejorar los resultados clínicos. La cirugía microscópica ha demostrado ser especialmente efectiva en procedimientos que involucran la reconexión de tejidos y vasos sanguíneos en cirugía reconstructiva y de trasplante (Smith et al., 2018).



Figura A.4. Cirugía microscópica en el Hospital Angeles Acoxpa.

Neuronavegación: Técnica avanzada en Neurocirugía

La **neuronavegación** es una técnica de vanguardia en neurocirugía que emplea imágenes de resonancia magnética (RM) o tomografía computarizada (TAC) para crear un mapa tridimensional del cerebro del paciente. Este mapa se utiliza como guía durante la cirugía, brindando al cirujano una referencia precisa en tiempo real para navegar por las estructuras cerebrales y localizar áreas específicas de interés.

El Dr. Juan Pérez, neurocirujano en el Hospital Central, explica:

"La neuronavegación proporciona una orientación espacial precisa durante la cirugía, lo que ayuda a minimizar el daño a las estructuras cerebrales circundantes y a mejorar los resultados quirúrgicos" (Pérez, 2021).

El sistema de neuronavegación combina las imágenes preoperatorias del cerebro del paciente con datos intraoperatorios en tiempo real, como la posición exacta del paciente y la ubicación precisa de los instrumentos quirúrgicos. Esto permite al cirujano visualizar de manera continua la relación entre el instrumento quirúrgico y las estructuras cerebrales críticas (Figura A.5).

De acuerdo con el estudio de la Dra. María López y colaboradores:

"La neuronavegación ha demostrado ser especialmente útil en cirugías de tumores cerebrales, epilepsia y procedimientos de biopsia cerebral, donde la precisión y la preservación de la función son esenciales" (López et al., 2020).



Figura A.5. Cirugía de cráneo con navegación electromagnética en el Hospital Angeles Acoxa.

Beneficios de la Neuronavegación

1. **Precisión quirúrgica:** La neuronavegación permite identificar con exactitud las áreas de interés, como tumores o lesiones, reduciendo al mínimo los riesgos asociados.
2. **Preservación de funciones vitales:** Al evitar estructuras cerebrales críticas, se maximiza la seguridad del procedimiento.
3. **Mejoras en los resultados clínicos:** La combinación de precisión y seguridad durante la intervención contribuye significativamente a la recuperación del paciente.

Aplicaciones principales

La neuronavegación se utiliza ampliamente en procedimientos como:

- Resección de tumores cerebrales.
- Tratamiento de epilepsia.
- Biopsias cerebrales.
- Corrección de escoliosis.
- Cirugías funcionales que requieren una precisión excepcional.

En resumen, la neuronavegación ha transformado la práctica neuroquirúrgica al proporcionar una herramienta que combina tecnología de imagen avanzada con datos en tiempo real, permitiendo a los cirujanos realizar procedimientos complejos con mayor confianza y seguridad. Esto no solo mejora los resultados quirúrgicos, sino que también reduce las complicaciones posoperatorias, posicionándola como una técnica indispensable en la neurocirugía moderna.

EMAT utilizado en las cirugías microscópicas y de neuronavegación en el HAA

La siguiente tabla presenta los detalles técnicos y operativos del EMAT empleado en las cirugías microscópicas y de neuronavegación en el Hospital Angeles Acoxpa. Se incluyen características clave de los equipos, como su función principal, especificaciones técnicas, requisitos operativos, y las aplicaciones quirúrgicas para las que están diseñados. Esta información es fundamental para comprender el alcance de las capacidades tecnológicas del área de Quirófano y el rol del Departamento de Ingeniería Biomédica en su preparación y mantenimiento.

Tabla 1. EMAT utilizado en las cirugías microscópicas y de neuronavegación en el HAA:

Equipo	Descripción	Imagen
Sistema Allen Spine	Es un dispositivo especializado que se adapta a cualquier mesa quirúrgica, diseñado específicamente para cirugías de columna vertebral. Su avanzada tecnología de compresión y posicionamiento permite ajustes precisos de la cabeza y la columna cervical, facilitando un mejor abordaje quirúrgico para el especialista. Además, su diseño optimiza el espacio para el libre movimiento de equipos de rayos X durante el procedimiento (Baxter, 2023). Como parte de las actividades realizadas, recibí capacitación para colocar correctamente la mesa con todos sus insumos y ajustarla una vez que se posiciona al paciente en ella antes de comenzar el procedimiento.	 <p data-bbox="1138 957 1497 989">Figura A.6. Sistema Allen Spine.</p>
Mesa ProAxis de Mizuho OSI	Es una mesa quirúrgica especializada para cirugías de columna. Su diseño de bisagra radiotransparente permite la flexión y extensión de la columna lumbar, optimizando la visibilidad, el acceso quirúrgico y la alineación adecuada para restaurar el equilibrio sagital. Gracias a sus múltiples aditamentos, es apta para una amplia variedad de procedimientos que requieren posicionamiento prono, supino o lateral, además de estar diseñada para permitir el libre movimiento de equipos de rayos X durante la cirugía (Mizuho OSI, 2023). Durante el periodo de prácticas, recibí capacitación para la colocación, manejo de comandos inteligentes del control y las técnicas correctas para posicionar al paciente en la mesa antes del inicio del procedimiento quirúrgico.	 <p data-bbox="1109 1402 1526 1434">Figura A.7. Mesa ProAxis de Mizuho.</p>
Microscopio Kinevo 900 de Zeiss	El Kinevo 900 es un microscopio quirúrgico de alta especialización que integra la visualización óptica y digital con tecnología robótica permitiendo al cirujano controlar el equipo mediante posicionamiento inteligente, garantizando un flujo de trabajo eficiente y seguro. Este microscopio ofrece visualización en calidad 4K y en 3D, lo que mejora significativamente la precisión en procedimientos complejos (ZEISS, 2023). La capacitación que recibí para este equipo incluye habilidades para su calibración, instalación de aditamentos, preparación con técnicas de "vestido" estéril, y asistencia al médico durante la cirugía, ajustando los parámetros según las necesidades del procedimiento.	 <p data-bbox="1114 1866 1524 1898">Figura A.8. Microscopio Kinevo 900.</p>

La mayoría del equipo médico empleado en cirugías complejas, incluido el mencionado anteriormente, es suministrado por proveedores externos y varía en función del tipo de procedimiento. Por otro lado, el equipo médico propiedad del hospital es gestionado directamente por el Departamento de Ingeniería Biomédica, el cual asume la responsabilidad tanto de su instalación como, en el caso de las tecnologías más avanzadas, de su operación durante los procedimientos quirúrgicos.

Labores Administrativas del Departamento de Ingeniería Biomédica en el Quirófano

Las labores administrativas realizadas por el Departamento de Ingeniería Biomédica en relación con el área de Quirófano incluyen la elaboración de cuadros comparativos, requisiciones de compra, y solicitudes de servicio, así como la asignación de cargos correspondientes al equipo médico empleado en las cirugías. Este último aspecto aplica para las cirugías complejas de diversas especialidades, las cuales siguen un protocolo estructurado que se denominará "**Proceso de Cirugías Complejas**".

Definición del problema o contexto de la participación profesional

Aunque las actividades operativas de los ingenieros biomédicos en el área de Quirófano pueden parecer limitadas, su impacto en la calidad del servicio es fundamental. Esto se evidencia especialmente en las cirugías microscópicas y de neuronavegación, ya sean craneales o de columna, donde su participación permite al personal médico y de enfermería reconocer el rol esencial que desempeña el Departamento de Ingeniería Biomédica en el éxito de estas intervenciones quirúrgicas.

El papel del Ingeniero Biomédico y el DIB no solo consiste en la gestión previa del equipo médico necesario para las cirugías, tanto propio del hospital como de proveedor, ya que su función incluye la interacción directa con el médico cuando se requiere una planificación quirúrgica en el caso de las cirugías de cráneo navegadas. Durante la cirugía, el Ingeniero Biomédico se encarga de la colocación, calibración y manejo del Equipo Médico de Alta Tecnología requerido y se asegura del correcto funcionamiento de los equipos médicos utilizados antes, durante y después del procedimiento quirúrgico, participando activamente en la resolución de los problemas técnicos que se presenten. Finalmente, se encarga de la gestión administrativa, incluyendo la asignación de cargos del equipo biomédico utilizado durante la cirugía y en áreas postquirúrgicas en la recuperación del paciente, así como la documentación y supervisión de la devolución de equipos a los proveedores.

El Hospital Angeles Acoxpa (HAA) destaca como una de las pocas instituciones en México que ofrece asistencia especializada en neurocirugía, lo que le confiere un alto prestigio dentro del ámbito hospitalario. Sin embargo, durante mi periodo de prácticas profesionales, observé que una parte considerable del personal de Quirófano desconoce las funciones específicas del Departamento de Ingeniería Biomédica en esta área. Esta falta de conocimiento incluye la participación del ingeniero biomédico en el proceso de las cirugías complejas, lo cual limita el aprovechamiento de los recursos tecnológicos y humanos disponibles.

La problemática ya había sido identificada por ingenieros biomédicos con mayor experiencia, quienes señalaron que esta falta de entendimiento no solo afecta la eficiencia operativa del Quirófano, sino que también subestima el impacto del Departamento de Ingeniería Biomédica en el éxito de las intervenciones quirúrgicas. Esto resulta en un menor reconocimiento hacia el ingeniero biomédico como pieza clave en el funcionamiento del área y en el logro de resultados exitosos para el paciente.

Metodología utilizada

Para abordar los objetivos planteados en este trabajo, se llevó a cabo un **análisis cualitativo** enfocado en comprender el nivel de conocimiento del personal de salud que labora en el Quirófano del Hospital Angeles Acoxpa sobre la participación del Departamento de Ingeniería Biomédica en dicha área. Este método fue elegido debido a que permite comprender y describir la naturaleza de fenómenos complejos en contextos específicos y no solo cuantificarlos numéricamente.

El análisis cualitativo se basa en la interpretación de datos no estructurados, como entrevistas y observaciones, para identificar patrones, temas y significados subyacentes (Merriam, 2009). Según Patton (2002), esta metodología implica un enfoque tanto inductivo como deductivo, generando conocimiento y captando perspectivas individuales a partir de la interacción directa con los participantes, en lugar de comenzar con hipótesis predeterminadas.

Una de las características clave del análisis cualitativo es su flexibilidad y capacidad para capturar la complejidad del contexto social y humano. Miles y Huberman (1994) destacan que los datos cualitativos ofrecen una riqueza que facilita una comprensión más profunda y detallada de los fenómenos sociales. Esto se logra a través de la interpretación reflexiva y contextualizada de los datos recopilados, lo cual es ideal para abordar los problemas expuestos en este informe e identificar los indicadores adecuados que permitan alcanzar los objetivos establecidos en el presente trabajo.

Contexto del Proceso Quirúrgico

Para enmarcar adecuadamente la participación del Ingeniero Biomédico, es fundamental entender las etapas del proceso quirúrgico. De acuerdo con Pozo et al. (2021), estas etapas son:

1. **Etapa preoperatoria o prequirúrgica:** Incluye el diagnóstico y la preparación del paciente para la intervención quirúrgica. Comienza con la consulta inicial con el cirujano y culmina con la entrada del paciente al quirófano para dar inicio al proceso de anestesia, momento en el que también se inicia la etapa transoperatoria.
2. **Etapa transoperatoria o transquirúrgica:** Comprende la intervención quirúrgica propiamente dicha, desde que el paciente ingresa al quirófano hasta su traslado al área posanestésica o de recuperación.
3. **Etapa postoperatoria o postquirúrgica:** Abarca desde el final de la cirugía hasta la recuperación total o parcial del paciente, incluyendo su seguimiento médico.

Tanto la etapa transoperatoria como la postoperatoria pueden presentar complicaciones y, en casos extremos, llevar a la muerte del paciente.

Etapas del Proceso de Cirugías Complejas

Para este informe, denominamos **Proceso de Cirugías Complejas** al Proceso Quirúrgico específico de las cirugías complejas realizadas en el HAA, mismo que también se dividió en tres etapas principales:

1. **Planificación de la cirugía (Antes):** Abarca desde que el área de programación se contacta con el médico hasta que el paciente entra al quirófano.

2. **Procedimiento quirúrgico (Durante):** Comprende la cirugía en sí misma, desde la entrada del paciente al quirófano hasta su traslado al área de recuperación.
3. **Fin del procedimiento quirúrgico y recuperación del paciente (Después):** Desde la salida del paciente del quirófano hasta su alta hospitalaria.

Recolección de datos

Se diseñaron entrevistas semiestructuradas como herramienta principal para recopilar información. Este formato permite una discusión abierta y flexible, proporcionando datos ricos en detalles y perspectivas.

Se utilizó un muestreo intencional para seleccionar a los participantes, priorizando a aquellos trabajadores del área de Quirófano y del Departamento de Ingeniería Biomédica con más experiencia y conocimientos relevantes en el tema de estudio. Se incluyó el mismo número de entrevistados, tanto del personal de enfermería del Quirófano como de ingenieros biomédicos, para garantizar una visión amplia y equilibrada. Para cada caso, el objetivo fue conocer las percepciones sobre la participación del Ingeniero Biomédico en el Proceso de Cirugías Complejas del HAA.

Cuestionario base

El cuestionario base utilizado para llevar a cabo las entrevistas al personal de ambas áreas constó de cinco preguntas clave:

1. ¿Qué actividades realiza el Ingeniero Biomédico en el área de Quirófano?
2. ¿Qué papel desempeña el Ingeniero Biomédico en la **planificación** de Cx complejas?
3. ¿Cómo es la interacción del Ingeniero Biomédico con el médico **durante** la Cx?
4. ¿Cómo es la interacción del Ingeniero Biomédico con el resto del personal de salud involucrado **durante** la Cx?
5. ¿Cuál es el nivel de respuesta del Departamento de Ingeniería Biomédica?

Se aseguró que cada participante otorgara su consentimiento informado antes de participar en la entrevista, garantizando la ética y confidencialidad del proceso.

Análisis de datos

El análisis de las respuestas obtenidas permitió identificar patrones y temas relevantes relacionados con el conocimiento y la percepción del personal sobre el rol del Ingeniero Biomédico en el Quirófano. Además, se compararon las respuestas del personal médico y de enfermería con las de los ingenieros biomédicos para detectar discrepancias o áreas de mejora en la comunicación y colaboración entre ambos grupos.

Esta metodología, combinando el análisis cualitativo con una visión estructurada del proceso quirúrgico, proporciona una base sólida para entender y mejorar la integración del Departamento de Ingeniería Biomédica en el área de Quirófano del HAA.

Resultados y discusión

El análisis de las entrevistas realizadas al personal de salud del área de Quirófano reveló información significativa sobre el nivel de conocimiento que tienen respecto al papel del Departamento de Ingeniería Biomédica en esta área.

Percepción del Personal de Salud de Quirófano

Las respuestas más comunes a la pregunta inicial: ¿Qué actividades realiza el Ingeniero Biomédico en el área de Quirófano?, se resumieron en los siguientes puntos:

- Mantenimientos preventivos de los equipos médicos del área.
- Reparación de fallas en los equipos médicos del área.
- Colocación del equipo médico en las salas de cirugía.
- Movimiento del equipo médico durante las cirugías de cráneo o columna.

Estas respuestas, aunque muy generales, mostraron que el personal tiene una noción básica del rol del Ingeniero Biomédico. Sin embargo, al realizar el resto de las preguntas, se evidenció que el personal de Quirófano realmente no conoce las tareas específicas realizadas por los Ingenieros Biomédicos durante las cirugías complejas, ya que se obtuvieron respuestas como las siguientes:

- "Solo sé que los ingenieros mueven el equipo siempre", comentó Edith, enfermera del Quirófano.
- "Ustedes montan la sala cuando hay cirugía de cráneo o columna y luego le mueven a los equipos más complejos, pero ciertamente no sé con exactitud lo que hacen", mencionó Araceli, otra enfermera del área.

Participación del Ingeniero Biomédico

A partir de las entrevistas realizadas a los Ingenieros Biomédicos, se identificaron y documentaron las actividades del Proceso de Cirugías Complejas paso a paso, diferenciando entre las cirugías de navegación, las cirugías microscópicas y el resto de los procedimientos. Estas actividades se estructuraron en un diagrama de flujo para cada etapa del proceso detallando las tareas específicas (dentro de las figuras del diagrama) y mostrando las personas y áreas involucradas (fuera de las figuras del diagrama).

Con base en dichos diagramas, se elaboró una tabla detallando la participación del Ingeniero Biomédico según el tipo de cirugía compleja y otra tabla describiendo la interacción que tiene con el personal de otras áreas. Finalmente, esta información se utilizó para crear un diagrama de relación entre el personal de salud también para cada etapa del proceso.

Desglose de las Etapas del Proceso de Cirugías Complejas

1. Planificación de la Cirugía (Antes)

Caso 1: Cirugías complejas excluyendo cirugías de cráneo navegadas

En esta fase, el área de Programación se comunica con el médico (1), siendo este el primer contacto para conocer los requerimientos del procedimiento a realizar. Luego, el área elabora las **Requisiciones de materiales a vistas y fueros de línea**, conocidos como "**Fueros de línea**" (2), documentos que detallan los requerimientos y los proveedores a contactar.

Programación hace llegar aquellos Fueros de línea (FL) correspondientes a equipo médico y/o instrumental al Departamento de Ingeniería Biomédica (3); los ingenieros, a su vez, los remiten a los respectivos proveedores (4). Aquellos FL que no incluyen equipo médico ni instrumental, corresponden a consumibles y son canalizados hacia Almacén (5).

Los proveedores ingresan su equipo e instrumental al Departamento de Ingeniería Biomédica (6) con suficiente antelación dependiendo del tipo de cirugía y reciben un **Formato de Entrada** realizado por el área (7), que incluye marca, modelo y número de serie de cada elemento ingresado. El equipo queda resguardado en Biomédica, mientras que el instrumental se recibe en el Centro de Esterilización y Equipos (CEyE), con el formato de entrada expedido por Biomédica (8a, 8b y 8c).

Llegado el día de la cirugía, tanto el equipo médico como el instrumental son trasladados al quirófano una vez que se prepara la sala con todo lo necesario para el procedimiento (9a y 9b). Durante este proceso, se asignan los cargos para el equipo y/o instrumental de proveedor mediante códigos APB (Apoyo Biomédico), que son colocados por los Ingenieros Biomédicos en las remisiones del proveedor (10).

Diariamente, los ingenieros revisan la programación de las cirugías agendadas en el día (11) para ubicar los requerimientos de cada procedimiento e identificar si el equipo y/o instrumental solicitado es de proveedor o del hospital (12); en caso de ser de proveedor y contar con un Fuera de línea correcto, continúa el proceso, de lo contrario, Programación elabora el documento (2) y procede directamente con los pasos (4) a (10).

Luego se verifica que todo lo relacionado con los equipos médicos, tanto de proveedor como los propios del hospital, esté en orden antes del procedimiento; los ingenieros supervisan su correcto funcionamiento (13) y verifican que los mantenimientos preventivos correspondientes estén al día (14). Dentro de este último punto se incluyen los mantenimientos preventivos realizados por empresas externas (Figura A.3) y aquellos llevados a cabo por los ingenieros del DIB (Figura A.2).

Posteriormente, los Ingenieros Biomédicos montan la sala donde se realizará la cirugía con el equipo biomédico correspondiente (15), que ha sido verificado anteriormente. Este equipo incluye el EMAT necesario para cirugías específicas de cráneo o columna, como las mesas especiales para columna Mizuho Proaxis o Allen Spine System, el microscopio Kinevo 900 y el neuronavegador Stealth Station, además de equipos más simples, pero igualmente necesarios como bombas de perfusión o mesas Pasteur. El Ingeniero Biomédico consulta con el médico cirujano principal el acomodo de la sala según el tipo de cirugía y sus preferencias antes de montar el equipo.

El último paso en la planificación de la cirugía es el ingreso del paciente a la sala de quirófano (16), marcando el inicio de la siguiente etapa.

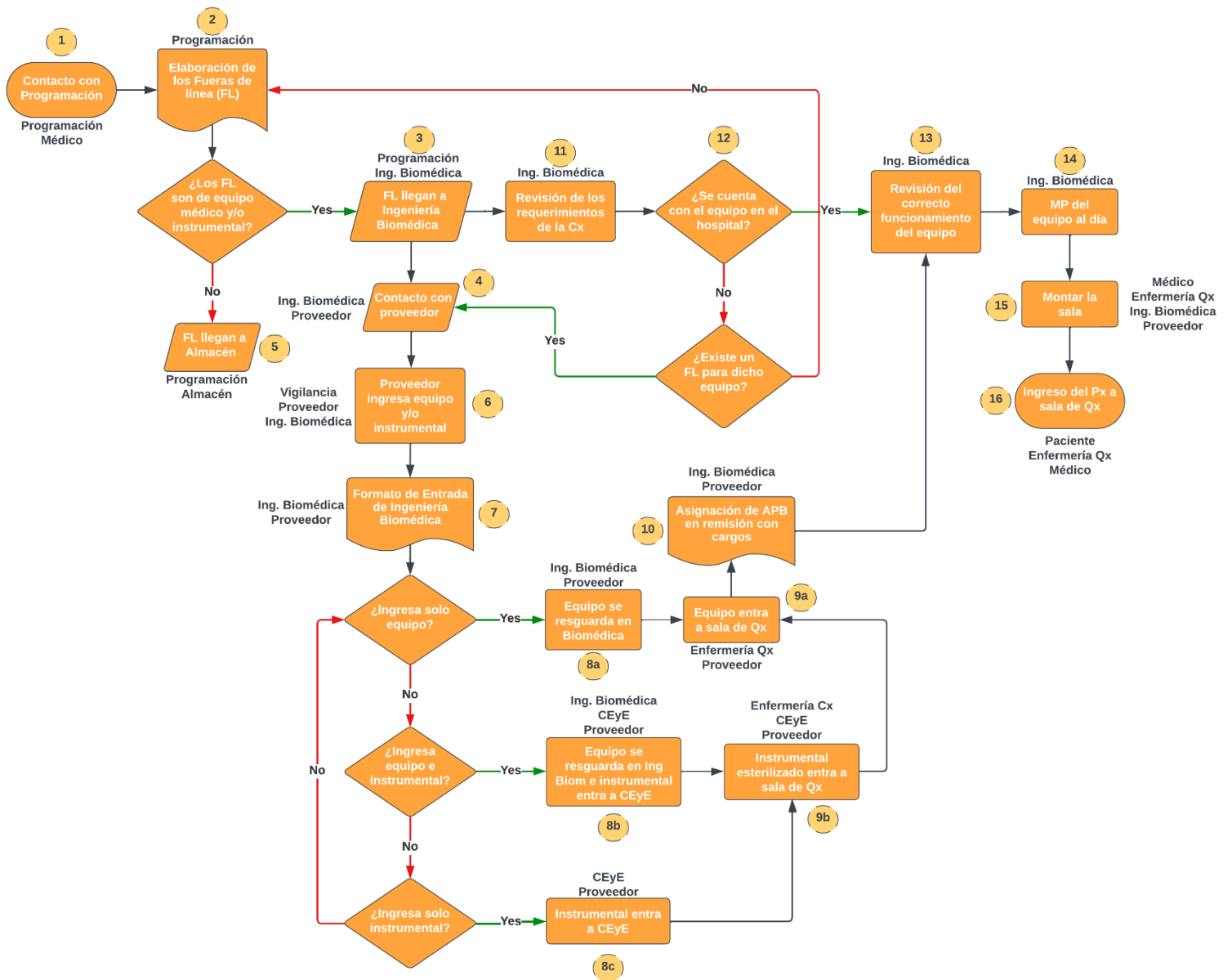


Figura 1.1. Diagrama de flujo de proceso en la etapa de **Planificación de Cirugías Complejas** mostrando las personas y áreas que participan en cada tarea.

Caso específico: Préstamo de equipo médico

Al revisar los requerimientos de una cirugía compleja específica (12), puede surgir la situación excepcional de no contar con el equipo médico necesario. En estos casos, el equipo requerido puede ser prestado por otro hospital del grupo. Ejemplos de este tipo de equipos incluyen: una bomba extracorpórea para cirugías cardiovasculares o una charola especializada, como la charola Vertex para neuronavegación.

Cuando esto ocurre, el DIB se encarga de coordinar el traslado del equipo desde el hospital que realizará el préstamo hasta el HAA, así como de su devolución una vez finalizada la cirugía. Además, el departamento gestiona toda la documentación necesaria para formalizar este préstamo.

Caso 2: Cirugías de cráneo navegadas

Es importante destacar que la participación del Ingeniero Biomédico en la etapa de planificación de las cirugías complejas varía significativamente según el tipo de intervención y la tecnología biomédica involucrada. Esto se determina en el paso 11; en el caso específico de una **cirugía navegada de cráneo**, ya que la inclusión del neuronavegador Stealth Station introduce los siguientes pasos adicionales al proceso de planificación, los cuales son críticos para garantizar el éxito del procedimiento:

1. **Cx navegada de cráneo (11a y 11b):** Una vez que el Ingeniero Biomédico ha revisado los requerimientos del procedimiento quirúrgico (11) y se trata de una cirugía navegada de cráneo (11a), automáticamente dentro de estos requerimientos se encuentra el neuronavegador (11b) y se dispone a seguir el **Proceso de Planificación de Cirugías Navegadas de Cráneo**.
2. **Transferencia del estudio al equipo (11c):** Antes del procedimiento, el Ingeniero Biomédico transfiere al neuronavegador el estudio preoperatorio del paciente (11c), ya sea una TAC o una imagen por resonancia magnética, para confirmar la compatibilidad del estudio con el equipo, lo que incluye verificar que los cortes sean adecuados para la navegación. El área de imagen del HAA conoce el protocolo y por ello se recomienda que el estudio se realice dentro de la institución con al menos un día de anticipación. Esta práctica es sugerida por el Ingeniero Ricardo Ramírez y se basa en su experiencia en cirugías navegadas de cráneo.

Factores que complican la compatibilidad

Existen ocasiones en las que no es posible contar con un estudio compatible con la antelación requerida debido a diversos factores:

- El médico tratante es externo o proviene de otro estado.
- El paciente fue internado de emergencia.
- El estudio se realizó en otra institución y no cumple con el protocolo.

Acciones ante la falta de compatibilidad

En caso de que el estudio no sea compatible, se evalúan las siguientes alternativas:

- **Retrasar o reprogramar la cirugía:** Si las condiciones del paciente, el médico y el hospital lo permiten, la cirugía puede retrasarse o reprogramarse para repetir el estudio con el protocolo adecuado (11f) y transferirlo al neuronavegador (11c). Luego es posible continuar con el proceso y llevar a cabo la cirugía correctamente.
 - **Cancelar la navegación:** Si no es viable retrasar un poco el procedimiento o reprogramarlo, se procede a cancelar el uso del neuronavegador (11g), y el médico evalúa si es seguro realizar la cirugía sin navegación. De ser así, el resto del diagrama de flujo de proceso continúa (13).
 - **Cancelar la cirugía:** En el caso menos deseado la cirugía es cancelada (11i).
3. **Consulta y planificación previa (11d y 11e):** Una vez confirmado que el estudio es compatible, el Ingeniero Biomédico consulta con el médico cirujano si es necesaria una planificación previa en el neuronavegador (11d). Si es requerida, esta se realiza en colaboración con el médico (11e) para asegurar que todos los detalles técnicos estén configurados correctamente.

Por último, se procede continuar con el proceso como se hace normalmente con todas las cirugías complejas; se verifica el correcto funcionamiento de todo el equipo requerido (13) y una vez montada la sala (15), el Px ingresa para su cirugía (16), tal como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1.2.

Es importante aclarar que, en el caso de la **Planificación de Cirugías Navegadas de Columna**, el diagrama de flujo a seguir es el mostrado en la Figura 1.1. Esto se debe a que, a pesar de incluir el neuronavegador dentro de los requerimientos (11), este únicamente debe montarse en la sala con el resto del equipo solicitado (15), ya que no se necesita cargar un estudio previo.

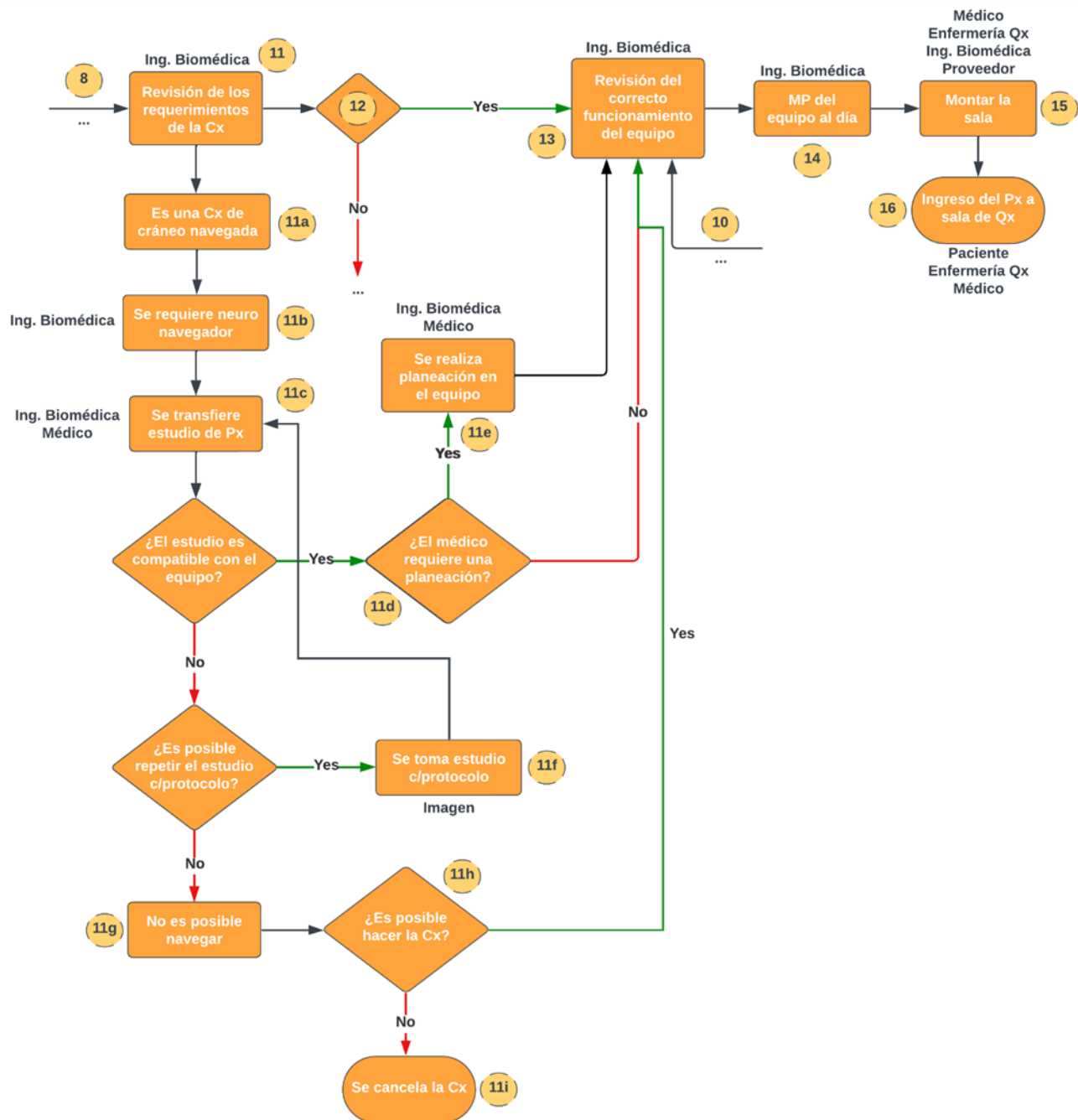


Figura 1.2. Diagrama de flujo de proceso en la etapa de **Planificación de Cirugías de Cráneo Navegadas**, mostrando las personas y áreas que participan en cada tarea. Los puntos suspensivos indican continuidad con el diagrama de la Figura 1.1.

El diagrama de la Figura 1.2, que ilustra la planificación de cirugías navegadas de cráneo, ejemplifica la complejidad del trabajo del Ingeniero Biomédico y su impacto en la realización y el éxito de los procedimientos quirúrgicos. La capacidad para gestionar y resolver problemas relacionados con la tecnología biomédica, en conjunto con el médico cirujano, es un aspecto clave que asegura no solo la precisión técnica, sino también la seguridad y bienestar del paciente. La información de estos diagramas de flujo refuerza la necesidad de documentar y comunicar estas responsabilidades, tanto al personal médico como al hospital en general, para fortalecer la colaboración interdisciplinaria.

Los diagramas de las Figuras 1.1 y 1.2 también facilitan la clasificación de las tareas en las que el Ingeniero Biomédico interviene durante la etapa de planificación, según el tipo de cirugía a realizar, dando lugar a la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Participación del Ingeniero Biomédico en la etapa de **planificación** según el tipo de cirugía compleja:

Caso	Caso 2	Caso 1		
Pasos	Cirugías de cráneo navegadas	Cirugías de columna navegadas	Cirugías microscópicas	Otras cirugías complejas
3	Revisión de FL	Revisión de FL	Revisión de FL	Revisión de FL
4, 6, 7, 8a,8b,	Requerimientos con proveedor (FL).	Requerimientos con proveedor (FL).	Requerimientos con proveedor (FL).	Requerimientos con proveedor (FL).
7, 8c	Verificar que se cumplan los requerimientos de instrumental (CEyE).	Verificar que se cumplan los requerimientos de instrumental (CEyE).	Verificar que se cumplan los requerimientos de instrumental (CEyE).	Verificar que se cumplan los requerimientos de instrumental (CEyE).
11c	Transferir el estudio del paciente al equipo.			
11e	Planeación de trayectorias.			
13	Verificar el correcto funcionamiento del equipo.	Verificar el correcto funcionamiento del equipo.	Verificar el correcto funcionamiento del equipo.	Verificar el correcto funcionamiento del equipo.
14	MP al día.	MP al día.	MP al día.	MP al día.
15	Preparar la sala según los requerimientos de equipo médico: Montar neuro navegador.	Preparar la sala según los requerimientos de equipo médico: Montar neuro navegador y mesa de columna.	Preparar la sala según los requerimientos de equipo médico: Montar microscopio.	Preparar la sala según los requerimientos de equipo médico.
10	Asignación de APB.	Asignación de APB.	Asignación de APB.	Asignación de APB.

La Tabla 1.1 destaca notablemente que el Ingeniero Biomédico tiene una mayor participación en la Planificación de las Cirugías de Cráneo Navegadas, al tener un mayor número de actividades a completar.

Con la información proporcionada en los diagramas de las Figuras 1.1 y 1.2, se puede observar la manera en la que el ingeniero interactúa con el resto de las personas y áreas involucradas en cada tarea, dando lugar a la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Interacción del Ingeniero Biomédico con el personal de otras áreas en la etapa de **planificación** de cirugías complejas:

Programación	Enfermería Qx	Enfermería CEyE	Imagen	Médico
Fueras de línea	Revisión de requerimientos	Requerimientos de instrumental (proveedor y propio)	Programación de su equipo para la Cx	Consulta para montar la sala
	Reportes de fallas			Reportes de fallas

De la Tabla 1.2, se puede deducir un diagrama de relaciones con las personas y áreas que interactúan entre sí en la etapa de Planificación de Cirugías Complejas, resaltado las interacciones más recurrentes del Ingeniero Biomédico, ya que son de mayor relevancia para este trabajo:

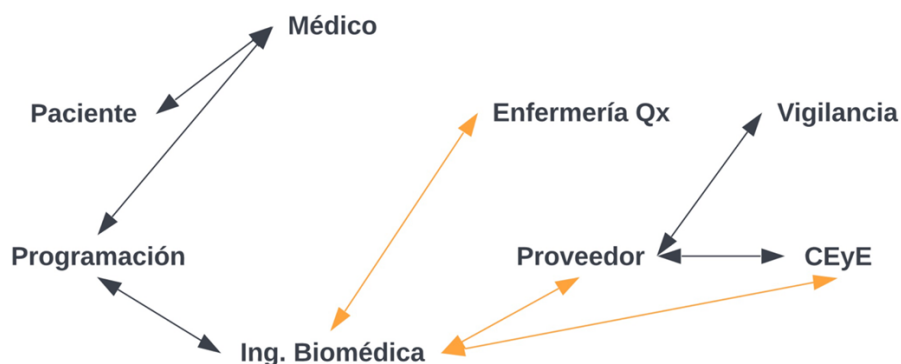


Figura 1.3. Diagrama de relación entre el personal de salud que participa en la etapa de **Planificación** de Cirugías Complejas.

Derivado de este diagrama, podemos concluir que, durante la etapa de Planificación de Cirugías Complejas, el Ingeniero Biomédico interactúa en mayor medida con los proveedores, el equipo de enfermería de quirófano y la CEyE.

En relación con las etapas subsiguientes, se aplicó la misma estrategia para detallar cada tarea del proceso y recopilar la información necesaria para este informe.

2. Procedimiento Quirúrgico (Durante)

En la **Etapa del Procedimiento Quirúrgico**, es esencial diferenciar entre las cirugías en las que el Ingeniero Biomédico tiene una participación significativa y aquellas en las que su intervención es mínima o circunstancial. Por ejemplo, en cirugías cardiovasculares, el Ingeniero Biomédico desempeña un papel relevante en la planificación, pero su participación durante el procedimiento se limita a casos en los que surjan complicaciones o situaciones que requieran asistencia técnica.

Desglosando esta etapa, se da inicio con el ingreso del paciente a la sala de quirófano (16). Posteriormente, se identifica si se trata de una cirugía de cráneo, columna u otra cirugía compleja (17a, 17b y 17c), ya que cada tipo de procedimiento implica requerimientos específicos para el equipo médico y el rol del Ingeniero Biomédico:

- **Cirugías de Columna:** Si está programada una mesa especial para columna (como la Mizuho Proaxis o el Allen Spine System), el Ingeniero Biomédico asiste en la correcta colocación del paciente (18).

- **Cirugías de Cráneo o Columna con Microscopio o Neuronavegador:** En estos casos, el Ingeniero Biomédico brinda asistencia directa al médico con el microscopio y el neuronavegador durante el procedimiento quirúrgico (19).
- **Otras Cirugías Microscópicas:** En el caso de ser otro tipo de cirugía microscópica, el Ingeniero Biomédico también brinda asistencia al médico durante el procedimiento quirúrgico según sea solicitado (19).

Es importante mencionar que, en las cirugías de columna que requieren el neuronavegador, también se monta el O-Arm, un sistema avanzado que proporciona imágenes intraoperatorias en tiempo real de tipo multidimensional en 2D y volumétrico en 3D, así como imágenes fluoroscópicas. Este sistema está diseñado para trabajar en conjunto con el neuronavegador, permitiendo al cirujano (ConSalud, 2021):

- Visualizar la anatomía del paciente en la posición operativa.
- Monitorear el progreso de la cirugía.
- Verificar cualquier cambio quirúrgico durante el procedimiento.

Aunque el O-Arm forma parte del EMAT del Hospital Angeles Acoxpa (Figura A.9), su manejo corresponde al personal del área de Imagen, y por ello no se incluyó en el diagrama de la Figura 2.1.



Figura A.9. Sistema O-Arm de Medtronic.

En cirugías que no requieren el uso de equipos avanzados como el microscopio o el neuronavegador, la participación del Ingeniero Biomédico se limita a atender fallas técnicas que puedan surgir o a proporcionar equipos biomédicos específicos que se soliciten durante el procedimiento (20). Finalmente, esta etapa concluye con la salida del paciente de la sala de quirófano (21) para su traslado al área de recuperación.

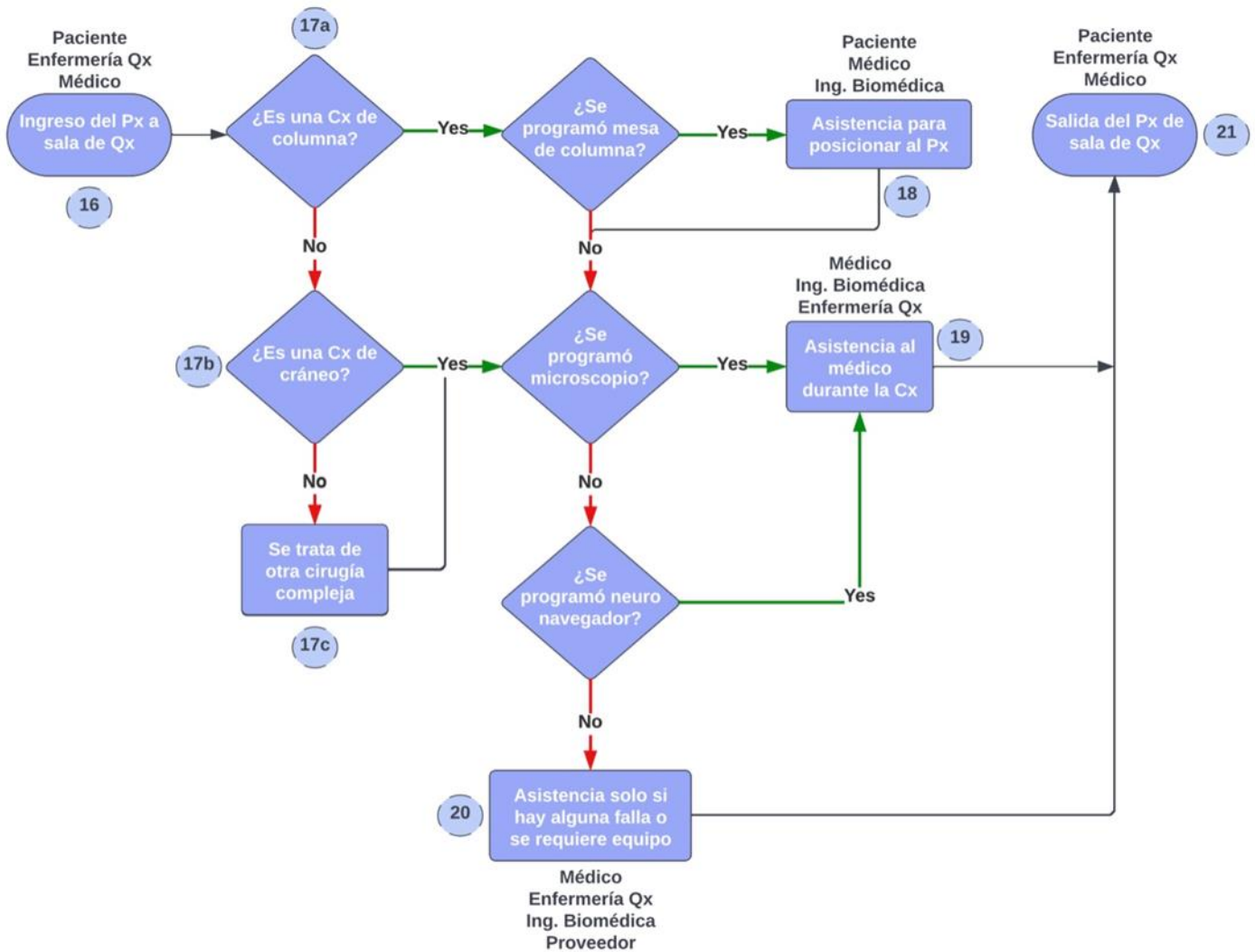


Figura 2.1. Diagrama de flujo de proceso en la etapa del **Procedimiento Quirúrgico de Cirugías Complejas** mostrando las personas y áreas que participan en cada tarea.

En algunas ocasiones, al finalizar esta etapa, el Ingeniero Biomédico realiza nuevamente una revisión de los cargos correspondientes al equipo biomédico utilizado durante la cirugía; asegurándose de que cada elemento esté correctamente documentado. Sin embargo, este punto no se colocó en el diagrama de la Figura 2.1 debido a que no forma parte del proceso como tal y solo es necesario cuando se deben modificar los códigos asignados en la Planeación de la Cirugía.

El diagrama de la Figura 2.1 ilustra las personas y áreas que intervienen en cada tarea de la etapa del **Procedimiento Quirúrgico de Cirugías Complejas**, permitiendo identificar los puntos clave de participación del Ingeniero Biomédico en esta etapa, destacando:

- La interacción con el médico en procedimientos que requieren tecnología avanzada.
- Las posibles acciones en caso de complicaciones técnicas.
- La colaboración con otras áreas, como Imagen o Enfermería, para garantizar el flujo adecuado del procedimiento quirúrgico.

La participación del Ingeniero Biomédico en esta etapa es especialmente significativa en procedimientos de alta complejidad, donde su manejo de equipos como el neuronavegador Stealth Station, el microscopio Kinevo 900, o las mesas especializadas, asegura la precisión y eficacia del procedimiento quirúrgico. En otros casos, su rol reactivo garantiza que cualquier problema técnico que surja sea resuelto con prontitud, evitando interrupciones que puedan comprometer el éxito de la cirugía o la seguridad del paciente.

Este desglose resalta la importancia de la intervención del Ingeniero Biomédico en esta etapa y la necesidad de seguir fortaleciendo su integración y reconocimiento como parte fundamental del equipo quirúrgico.

Así mismo, el diagrama de flujo de la Figura 2.1 facilita la clasificación de las tareas en las que participa el Ingeniero Biomédico durante el Procedimiento Quirúrgico según el tipo de cirugía a realizar, dando lugar a la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Participación del Ingeniero Biomédico en la etapa del **Procedimiento Quirúrgico de Cirugías Complejas:**

Cirugías de cráneo navegadas	Cirugías de columna navegadas	Cirugías microscópicas	Otras cirugías complejas
Verificación de la referencia	Posicionamiento del Px en la mesa de columna	Posicionamiento del Px en la mesa de columna	Participación mínima (salvo imprevistos)
Navegación como tal	Verificación de la referencia	Manejo del microscopio	
	Navegación como tal		
	Proyecciones y ajuste del tamaño de tornillos		

Al observar la Tabla 2.1, es evidente que las tareas realizadas por el Ingeniero Biomédico durante el Procedimiento Quirúrgico varían significativamente entre los diferentes tipos de cirugías complejas, marcando una clara diferencia con lo observado en la Tabla 1.1, que corresponde a la etapa de Planificación de Cirugías Complejas.

Otra discrepancia es que, en esta etapa, las cirugías de columna navegadas son las que presentan el mayor número de tareas asignadas al Ingeniero Biomédico. Esto se debe al uso intensivo de tecnologías avanzadas como el neuronavegador Stealth Station y el microscopio Kinevo 900, que requieren asistencia técnica constante.

En contraste, las cirugías complejas que no requieren equipos avanzados tienen una menor carga de tareas asignadas al Ingeniero Biomédico, limitándose principalmente a la solución de fallas que puedan surgir.

Con la información que se aprecia en el diagrama de la Figura 2.1, también se logra reconocer la manera en la que el Ingeniero Biomédico interactúa con las otras personas y áreas involucradas en cada tarea llevada a cabo durante la etapa del Procedimiento Quirúrgico; con esto se obtiene la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Interacción del Ingeniero Biomédico con el personal de otras áreas **durante el procedimiento quirúrgico** en cirugías complejas:

Almacén	Enfermería Qx	Enfermería CEyE	Imagen	Médico
Colocar sello en remisión de proveedor	Consumibles	Requerimientos de instrumental de proveedor o del hospital	Estudio durante la Cx	Asistencia con equipo biomédico requerido
	Reportes de fallas			Reportes de fallas
	Principales usuarios del equipo			

De la Tabla 2.2 podemos rescatar los siguientes puntos:

- **Relación con el médico:** La interacción más relevante y constante ocurre con el médico cirujano, especialmente en cirugías microscópicas y navegadas, donde el Ingeniero Biomédico ajusta los parámetros del equipo en tiempo real según las instrucciones del médico.
- **Colaboración con enfermería:** Aunque es menor que la interacción con el médico, los ingenieros también colaboran con el personal de enfermería para garantizar que los equipos y materiales estén listos antes y durante la cirugía.
- **Ausencia de Programación:** A diferencia de lo observado en la Tabla 1.2, correspondiente a la etapa de Planificación de Cirugías Complejas, en esta etapa no se registra participación alguna del área de Programación, lo que es lógico dado que su función culmina antes del inicio del procedimiento quirúrgico.

Con la Tabla 2.2, también se puede obtener un diagrama de relaciones entre las personas y áreas que interactúan entre sí durante el procedimiento quirúrgico:

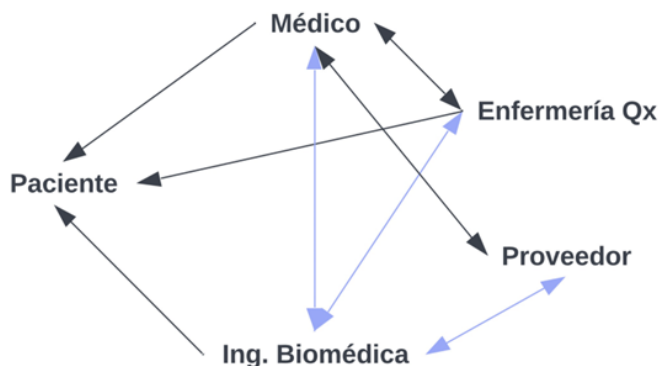


Figura 2.2. Diagrama de relación entre el personal de salud en la etapa del **Procedimiento Quirúrgico de Cirugías Complejas**.

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 2.1 y el diagrama de la Figura 2.2, el trabajo principal del Ingeniero Biomédico en la etapa del Procedimiento Quirúrgico de Cirugías Complejas es:

1. Seguir las instrucciones del médico cirujano, especialmente en el manejo de equipos avanzados como el microscopio quirúrgico y el neuronavegador.
2. Solucionar problemas técnicos relacionados con el equipo médico, independientemente del tipo de cirugía.

3. Garantizar la funcionalidad continua de todos los equipos biomédicos utilizados en la intervención.

Para concluir esta etapa, es importante destacar el rol del Ingeniero Biomédico en procedimientos altamente especializados, como las cirugías microscópicas y las de cráneo o columna navegadas, donde su participación técnica es crucial para el éxito de la operación. Además de su intervención siempre que surge algún problema o imprevisto relacionado con el equipo médico, independientemente del tipo de cirugía.

Las interacciones multidisciplinarias y el manejo de equipos especializados posicionan al Ingeniero Biomédico como un elemento clave en la operación quirúrgica, garantizando no solo la funcionalidad del equipo, sino también la seguridad y eficacia del procedimiento.

3. Fin del Procedimiento Quirúrgico (Después)

La etapa del Fin del Procedimiento Quirúrgico se centra en garantizar la correcta finalización del proceso quirúrgico y la continuidad del cuidado del paciente durante su recuperación. En esta fase, la tarea principal del Ingeniero Biomédico es verificar que el equipo utilizado durante la recuperación del paciente funcione adecuadamente, así como solucionar cualquier tipo de falla en el mismo.

Esta etapa inicia formalmente con la salida del paciente de la sala de quirófano (21), seguida por el desmontaje del equipo e instrumental utilizado en el procedimiento (22). A continuación, los proveedores completan sus remisiones con los cargos del equipo y/o instrumental utilizado durante la cirugía (23) y proceden a retirarlo del hospital (24) con la ayuda del Formato de Salida, documento proporcionado por el Departamento de Ingeniería Biomédica (25).

Posteriormente, el paciente ingresa al área de Recuperación (26) y, según su estado, se determina si puede ser trasladado a Hospitalización (27) o si requiere ingreso a la Unidad de Cuidados Intensivos (28). En cualquier caso, el ingeniero es responsable de responder ante cualquier falla en el equipo (29); si todo está en orden, el paciente puede continuar su recuperación (30) y eventualmente es dado de alta (32). Mientras tanto, el Departamento de Ingeniería Biomédica finaliza el proceso de cargos del equipo médico utilizado durante las tres etapas.

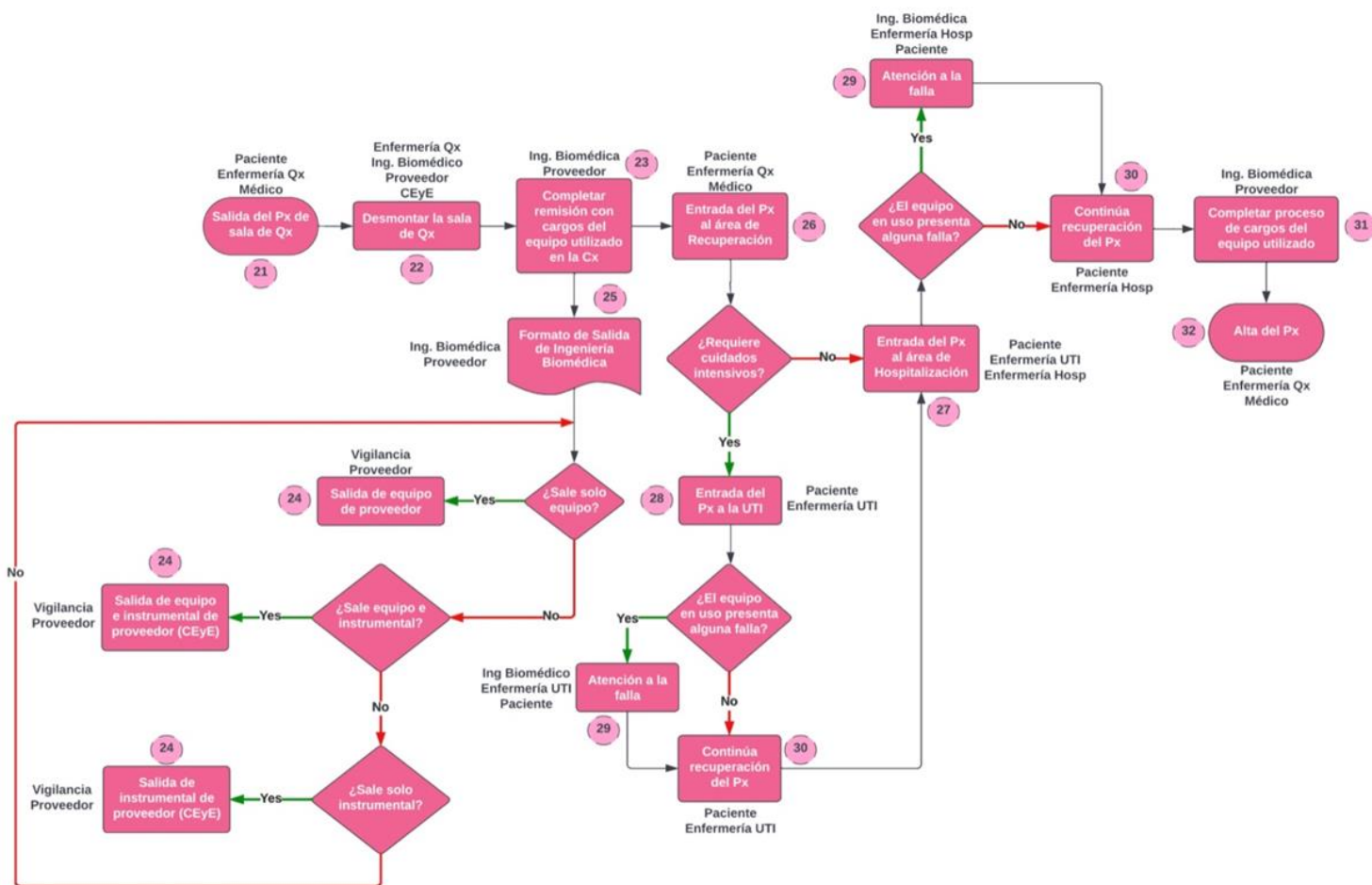


Figura 3.1. Diagrama de flujo del proceso en la etapa del **fin de la cirugía y recuperación del paciente** en cirugías complejas mostrando las personas que participan en cada tarea.

Es importante considerar el carácter del servicio que otorga el Departamento de Ingeniería Biomédica y las necesidades del hospital: al ser una disciplina multidisciplinaria e interdisciplinaria, la Ingeniería Biomédica requiere un contacto directo con el personal de diversas áreas del hospital durante las diferentes etapas de las cirugías complejas.

Con el diagrama de la Figura 3.1 se identifican las personas y áreas que intervienen en cada tarea del proceso correspondiente y a partir de esta información, se puede señalar que el Ingeniero Biomédico desempeña un rol más reactivo en esta etapa, concentrándose en:

- **Verificación de cargos:** Revisar que todos los cargos del equipo médico utilizado durante la cirugía y en áreas postquirúrgicas se hagan correctamente.
- **Atención del equipo:** Garantizar el correcto funcionamiento del equipo médico utilizado durante la recuperación del paciente e intervenir oportunamente ante cualquier problema técnico que pudiera surgir. Ejemplos de este equipo son los monitores de signos vitales, los ventiladores mecánicos y las bombas de infusión.
- **Gestión de equipos:** Supervisar la documentación y entrega de los equipos a los proveedores, garantizando que todo el material sea registrado y devuelto correctamente.

Esto aplica para todos los tipos de cirugías, por lo que no es necesario elaborar una tabla específica.

Caso específico: Máquina de hemodiálisis

Entre los equipos utilizados durante la recuperación de los pacientes en la Unidad de Terapia Intensiva (UTI) se encuentra la máquina de hemodiálisis. El Departamento de Ingeniería Biomédica es responsable de la instalación y desinstalación tanto de la máquina como del compresor, según sea necesario. Debido a que esta tarea es muy específica y forma parte de las actividades permanentes del departamento dentro de la UTI, está incluida en el paso 28 de la Figura 3.1, que corresponde al ingreso del paciente a esta unidad.

Asimismo, mediante el diagrama de la Figura 3.1 es posible reconocer la forma en que el Ingeniero Biomédico interactúa con las otras personas y áreas involucradas en cada tarea llevada a cabo durante la etapa del Fin del Procedimiento Quirúrgico, lo cual da lugar a la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Interacción del Ingeniero Biomédico con el personal de distintas áreas en la etapa del **fin de la cirugía y recuperación del paciente** en cirugías complejas.

Almacén	Enfermería Qx	Enfermería CEyE	Médico
Verificar o corregir cargos	Reportes de requerimientos o fallas en equipo médico	Salida de instrumental de proveedor.	Reportes de fallas

Es evidente que, a diferencia de la Tabla 2.2 la interacción con el área de Imagen en la etapa del Fin del Procedimiento Quirúrgico y la posterior recuperación del paciente; es nula. Además, las tareas colocadas son significativamente reducidas en comparación con las dos etapas anteriores.

De la Tabla 3.1 se obtuvo un diagrama de relaciones con las personas y áreas que interactúan entre sí en la etapa del Fin del Procedimiento Quirúrgico:

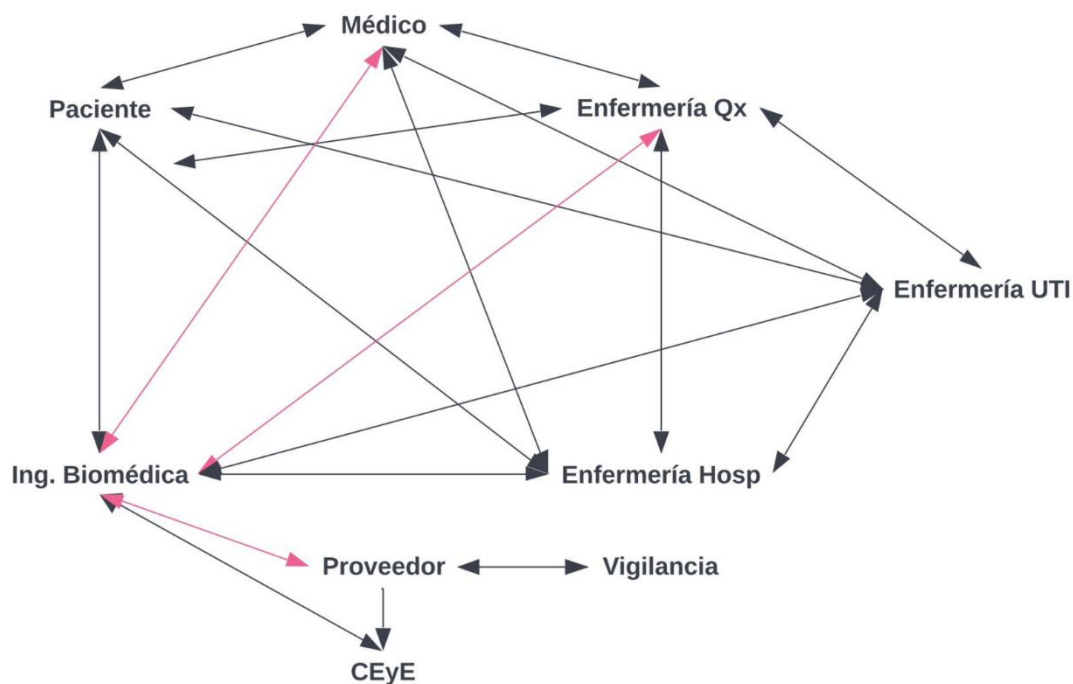


Figura 3.2. Diagrama de relación entre el personal de salud en la etapa del **Fin del Procedimiento Quirúrgico de Cirugías Complejas**.

Con los diagramas y tablas de la etapa del Fin del Procedimiento Quirúrgico, podemos decir que el Ingeniero Biomédico se enfoca en tareas clave que aseguran el cierre exitoso del proceso quirúrgico y la continuidad de la atención al paciente. Aunque su participación en esta fase es menos intensiva que en las etapas previas, su rol sigue siendo crucial para prevenir riesgos técnicos y garantizar que los equipos funcionen adecuadamente en áreas como Recuperación o la UCI.

El trabajo multidisciplinario del Ingeniero Biomédico con proveedores, personal médico y de enfermería destaca su papel como enlace entre la tecnología médica y la atención al paciente, asegurando que los recursos tecnológicos sean utilizados de manera eficiente y segura.

Tomando en cuenta las Tablas 1.2, 2.2 y 3.1 se puede concluir que la participación del Ingeniero Biomédico siempre está presente en caso de presentarse alguna falla de equipo, sin importar la etapa ni el tipo de cirugía.

Otra cuestión que es necesario aclarar es que, al tratarse del sector privado, los pacientes no son los únicos clientes: el primer cliente que debe quedar satisfecho es el médico. Por lo tanto, la atención al cliente durante todo el proceso debe ser más que satisfactoria y debe reflejarse una vez concluida la cirugía.

Una vez desglosado el Proceso de las Cirugías Complejas, se procedió a analizar de manera cualitativa, la última pregunta planteada en el cuestionario base “¿Cuál es el nivel de respuesta del Departamento de Ingeniería Biomédica?”

Según el propio personal del DIB, el nivel de respuesta del departamento no es como se esperaría y esto se debe principalmente a que la operación del hospital, más específicamente en el área de Quirófano, ha rebasado al número de trabajadores del departamento. Los ingenieros coinciden en que el apoyo que brindan los practicantes es vital para la correcta operación del Quirófano.

Indicadores clave identificados

Con las respuestas recopiladas, así como los diagramas y esquemas desarrollados a partir de ellas, se lograron identificar cinco indicadores principales que influyen en la efectividad de la participación del DIB en el área de Quirófano:

1. **Tiempo de respuesta:** Reducir el tiempo de atención a fallas o solicitudes críticas es una prioridad, ya que cualquier retraso puede comprometer la seguridad del paciente o la eficacia del procedimiento quirúrgico.
2. **Preparación del personal:** Existe una variabilidad significativa en la capacitación tanto de los Ingenieros Biomédicos como del personal médico en el manejo de tecnología avanzada. Esto afecta la integración y el uso óptimo del Equipo Médico de Alta Tecnología (EMAT).
3. **Comunicación interdepartamental:** Se identificaron deficiencias en la claridad de los requerimientos y en la planificación de recursos entre departamentos, lo que genera retrasos o confusiones que afectan la operación.
4. **Presupuesto:** Las limitaciones económicas restringen la adquisición de nuevos equipos y la contratación de más personal, lo que dificulta atender adecuadamente la creciente demanda en el área de Quirófano.
5. **Carga laboral:** La sobrecarga operativa debido al reducido número de Ingenieros Biomédicos en el hospital genera tensiones que afectan la capacidad del departamento para responder con eficiencia y calidad a las necesidades del Quirófano.

Conclusiones

Luego de detallar las actividades realizadas durante las Prácticas Profesionales en el área de Quirófano del Hospital Ángeles Acoxa (HAA), llevadas a cabo entre el 23 de agosto de 2023 y el 23 de febrero de 2024, y analizar los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

1. **Importancia del Ingeniero Biomédico en las tres etapas del Procedimiento Quirúrgico:**

- El rol del Ingeniero Biomédico es fundamental en las tres etapas del Proceso de las Cirugías Complejas: Planificación, Procedimiento Quirúrgico y Fin de la Cirugía. Su participación asegura la operatividad del equipo médico, permite resolver imprevistos técnicos en tiempo real y respalda al médico cirujano en la toma de decisiones críticas.
- Además de realizar mantenimientos preventivos y correctivos, el Ingeniero Biomédico responde a solicitudes operativas y administrativas del área, participa activamente en cirugías navegadas y de microscopía, y gestiona la documentación de los equipos utilizados.

2. **Contribución al Paciente y al Médico:**

- El Ingeniero Biomédico trabaja en conjunto con el médico cirujano para determinar las mejores soluciones que mejoren la calidad de vida del paciente, contribuyendo directamente a la seguridad y eficacia de los procedimientos.
- En el contexto del sector privado, como el HAA, la satisfacción del médico como cliente interno también es prioritaria. La atención técnica y operativa brindada por el Ingeniero Biomédico influye significativamente en la percepción del médico sobre la calidad del servicio hospitalario.

3. **Brechas y Necesidades Identificadas:**

- **Falta de Conocimiento del Personal Médico y de Enfermería:** Existe una brecha importante en la comprensión de las funciones del Ingeniero Biomédico por parte del personal de salud, lo que subestima su impacto en el éxito de las cirugías. Esto evidencia la necesidad de promover mayor visibilidad y reconocimiento del rol estratégico del Departamento de Ingeniería Biomédica.
- **Limitaciones de Recursos Humanos y Materiales:** La actual carga operativa del Departamento de Ingeniería Biomédica supera la capacidad del equipo, afectando su capacidad de respuesta. Es indispensable aumentar la plantilla de ingenieros y asignar mayores recursos materiales para atender la demanda creciente del área de Quirófano.
- **Capacitación Continua:** Tanto el personal del DIB como los médicos y enfermeros necesitan capacitación constante en el uso y manejo de tecnologías avanzadas. Esto es especialmente relevante en procedimientos de alta complejidad que requieren conocimientos técnicos específicos.
- **Comunicación Interdepartamental:** Se deben establecer canales de comunicación más claros para definir requerimientos, establecer prioridades y planificar recursos, lo que contribuiría a una operación más eficiente y coordinada.

4. **Impacto en la Calidad del Servicio Hospitalario:**

- La labor del Ingeniero Biomédico no solo mejora la seguridad y eficacia del cuidado del paciente, sino que también optimiza el uso de tecnología médica y recursos hospitalarios, alineándose con los estándares de calidad en el sector salud.

- La integración del Ingeniero Biomédico en las actividades quirúrgicas asegura que el hospital pueda ofrecer un servicio médico de alta especialidad con resultados positivos para pacientes y médicos.

Recomendaciones

Para fortalecer el rol del Ingeniero Biomédico en el Quirófano y mejorar la eficiencia del Departamento de Ingeniería Biomédica, se proponen las siguientes acciones:

1. Incrementar Recursos:

- Ampliar la plantilla de Ingenieros Biomédicos y asignar un presupuesto adicional para la adquisición de equipos y herramientas necesarias.

2. Capacitación y sensibilización:

- Implementar programas de capacitación técnica tanto para ingenieros como para el personal médico y de enfermería.
- Realizar sesiones informativas regulares para destacar la importancia del Ingeniero Biomédico en las actividades quirúrgicas.

3. Mejorar la comunicación:

- Establecer reuniones periódicas entre el DIB y otros departamentos para alinear objetivos y requerimientos.

4. Optimizar la gestión de cargos y tiempos de respuesta:

- Crear protocolos más ágiles para la atención de fallas y solicitudes, asegurando una respuesta más rápida a problemas técnicos críticos.

Con estas recomendaciones, se busca no solo mejorar la operación del Departamento de Ingeniería Biomédica, sino también garantizar una experiencia positiva para médicos y pacientes, fortaleciendo la posición del HAA como un referente en servicios de salud de alta especialidad.

Por otro lado, tras analizar los resultados obtenidos, se puede afirmar que los objetivos planteados al inicio del trabajo han sido cumplidos de manera satisfactoria:

1. Evaluación de la percepción sobre la importancia del Departamento de Ingeniería Biomédica:

A través del análisis cualitativo y las entrevistas realizadas, se evidenció la necesidad de sensibilizar al personal médico y de enfermería sobre el impacto del Ingeniero Biomédico en el área de Quirófano. Aunque su trabajo es fundamental para garantizar la calidad del servicio, existe una brecha significativa en el conocimiento del personal de salud sobre sus funciones específicas, especialmente en procedimientos de alta complejidad.

2. Definición y esclarecimiento del rol del Ingeniero Biomédico:

El análisis y la documentación detallada de las actividades del Ingeniero Biomédico permitieron definir y esclarecer su papel antes, durante y después de las cirugías complejas. Este rol no solo incluye la realización de mantenimientos preventivos y correctivos, sino también la asistencia técnica en cirugías navegadas y de microscopía, así como la gestión operativa y administrativa del equipo médico.

Su participación garantiza la operatividad y seguridad del equipo biomédico, lo que resulta esencial para el éxito de los procedimientos quirúrgicos.

3. Descripción del Proceso de las Cirugías Complejas:

Se logró una descripción detallada de las cirugías complejas realizadas en el HAA, divididas en las etapas de planificación, procedimiento quirúrgico y fin de la cirugía. En cada una de estas etapas se identificaron las tareas específicas del Ingeniero Biomédico, destacando su interacción con equipos avanzados como el neuronavegador Stealth Station, el microscopio Kinevo 900, y las mesas quirúrgicas especializadas Mizuho ProAxis y Allen Spine System. La información recopilada se complementó con diagramas y tablas que facilitan la comprensión del proceso y la participación del Departamento de Ingeniería Biomédica en cada etapa.

4. Difusión del rol del Ingeniero Biomédico entre la comunidad de Ingeniería Biomédica:

Este trabajo no solo documentó las actividades realizadas en el área de Quirófano, sino que también destacó las oportunidades laborales que este campo ofrece. La Ingeniería Biomédica en el Quirófano representa un área de alta especialización con un impacto directo en la seguridad del paciente, la innovación tecnológica y el desarrollo profesional. Este reporte contribuye a visibilizar estas oportunidades dentro de la comunidad de Ingeniería Biomédica.

5. Documentación de las actividades realizadas:

Las actividades llevadas a cabo durante el periodo de prácticas profesionales fueron registradas y analizadas de manera sistemática, proporcionando una visión integral del trabajo del Ingeniero Biomédico en el área de Quirófano del HAA. Este registro es una herramienta valiosa para futuras generaciones de estudiantes y profesionales interesados en este campo.

Los objetivos planteados al inicio del trabajo se cumplieron satisfactoriamente debido a los siguientes logros:

- La elaboración de diagramas, tablas y descripciones detalladas permitió definir con claridad las responsabilidades y funciones del Ingeniero Biomédico en cada etapa del proceso quirúrgico.
- Se documentaron y analizaron los procedimientos quirúrgicos complejos, enfatizando la relevancia del Ingeniero Biomédico en cirugías de microscopía y neuronavegación.
- A través de las conclusiones y recomendaciones, se propuso un camino para mejorar la integración y el reconocimiento del Departamento de Ingeniería Biomédica en el área de Quirófano, promoviendo su impacto en la calidad del servicio hospitalario.
- Este trabajo aporta un registro exhaustivo de las actividades realizadas, sirviendo como referencia para la comunidad de Ingeniería Biomédica y fomentando el interés en esta área laboral.

Estas conclusiones resaltan la relevancia estratégica del Ingeniero Biomédico en el Quirófano del HAA, así como la necesidad de seguir trabajando en su integración, capacitación y reconocimiento como pieza clave en la prestación de servicios de salud de alta calidad.

Finalmente, me gustaría destacar que el término este trabajo, tras mis prácticas profesionales, me permitió reflexionar profundamente sobre el impacto de mi labor como Ingeniera Biomédica en un área crítica del hospital, como lo es el Quirófano.

He llegado a comprender que soy la primera persona que debe valorar y entender la relevancia de mi participación, ya que la seguridad del paciente y el éxito del procedimiento quirúrgico dependen, en gran medida, de mi desempeño y de mi colaboración con el resto del personal de salud.

Más allá del aprendizaje técnico adquirido, me llevo un firme compromiso con la responsabilidad que asumí al decidir estudiar esta carrera: ofrecer un servicio de excelencia y dedicarme con pasión y esfuerzo a esta vocación.

Bibliografía

Referencias de fuentes de información:

- Arellanes, E / CENETEC. (2016). Inventario Nacional Equipos Médicos de Alta Tecnología. Ciudad de México: <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipoMedico/Inventario-Nacional-EMAT.pdf>
- Baxter. (2023). Sistema para columna vertebral Allen®. <https://www.hillrom.lat/es/products/allen-spine-system/>
- ConSalud. (2021). Los sistemas 'StealthStation' y O-arm de Medtronic, referentes en Neurocirugía. https://www.consalud.es/salud35/nacional/sistemas-stealthstation-o-arm-medtronic-referentes-neurocirugia_100112_102.html
- Csendes, A y González, G. (2005). Operaciones de “alta complejidad” definiciones, técnicas y estadísticas. *Revista Chilena de Cirugía*, vol. 57 (núm. 2), pp. 178-183. <https://www.redalyc.org/pdf/3455/345531910016.pdf>
- Doe, J. (2020). Advances in Microscopic Neurosurgery. *Neurosurgery Clinics of North America*, 31(2), 231-240.
- Hospital Angeles. Health System. (2023). *Hospital Angeles Acoxa: Especialidades*. https://hospitalangeles.com/acoxa#special_area
- López, M., et al. (2020). Aplicaciones clínicas de la neuronavegación en cirugía cerebral: Revisión de la literatura. *Neurocirugía Clínica*, 28(1), 102-110.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. John Wiley & Sons.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. Sage.
- Mizuho OSI. (2023). Mesa de operaciones para ortopedia ProAxis®. <https://www.medicalexpo.es/prod/mizuho-osi/product-91205-676865.html>
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods*. Sage.
- Pérez, J. (2021). Neuronavegación en neurocirugía: Principios y aplicaciones. *Revista de Neurocirugía*, 45(3), 321-330.
- Pozo, G. et al. (2021). *El Acto Quirúrgico. Procedimientos y técnica*. Mawil Publicaciones de Ecuador. <https://doi.org/10.26820/978-9942-826-24-4>
- Ramos, J. (2024). Crece la red de Hospitales Ángeles en México. *Excelsior*: <https://www.excelsior.com.mx/de-la-red/2014/01/16/938653>
- Secretaría de Salud. (2013). *NORMA Oficial Mexicana NOM-016-SSA3-2012, Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284306&fecha=08/01/2013#gsc.tab=0
- Smith, C., et al. (2018). Microsurgical Techniques in Reconstructive Surgery: A Comprehensive Review. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 142(6), 1423-1431.
- ZEISS. (2023). ZEISS Kinevo 900. <https://www.zeiss.com/meditec/es/productos/microscopios-quirurgicos/zeiss-kinevo-900.html>
- Zhang, A. (2019). Microsurgery: Techniques and Applications. *Journal of Surgical Research*, 245, 456-463.

Referencias de imágenes:

Figura A.1. Organigrama de direcciones del Hospital Angeles Acoxpa haciendo énfasis en la Dirección de Operaciones, a la que pertenece el Departamento de Ingeniería Biomédica. Elaboración propia.

Figura A.2. Regulador de vacío; ejemplo de equipo médico del Qx al que los ingenieros del DIB le realiza mantenimiento preventivo. Otros ejemplos son: lámparas quirúrgicas y flujómetros. Adquisición propia.

Figura A.3. Mesa de cirugía; ejemplo de equipo médico del Qx al que proveedor le realiza mantenimiento preventivo. Otros ejemplos son: aspiradores y microscopio Kinevo 900. Adquisición propia.

Figura A.4. Cirugía microscópica en el Hospital Angeles Acoxpa. Adquisición propia.

Figura A.5. Cirugía de neuronavegación en el Hospital Angeles Acoxpa. Adquisición propia.

Figura A.6. Sistema Allen Spine. Adquisición propia.

Figura A.7. Mesa ProAxis de Mizuho OSI. Adquisición propia.

Figura A.8. Microscopio Kinevo 900 de Zeiss. Recuperado de: <https://www.quironsalud.com/es/comunicacion/actualidad-quironsalud/kinevo-900-microscopio-quirurgico-sofisticado-mercado.ficheros/1848343-KINEVO900.jpeg?width=518&height=405&aspectRatio=true>

Figura A.9. Sistema O-Arm de Medtronic. Adquisición propia.