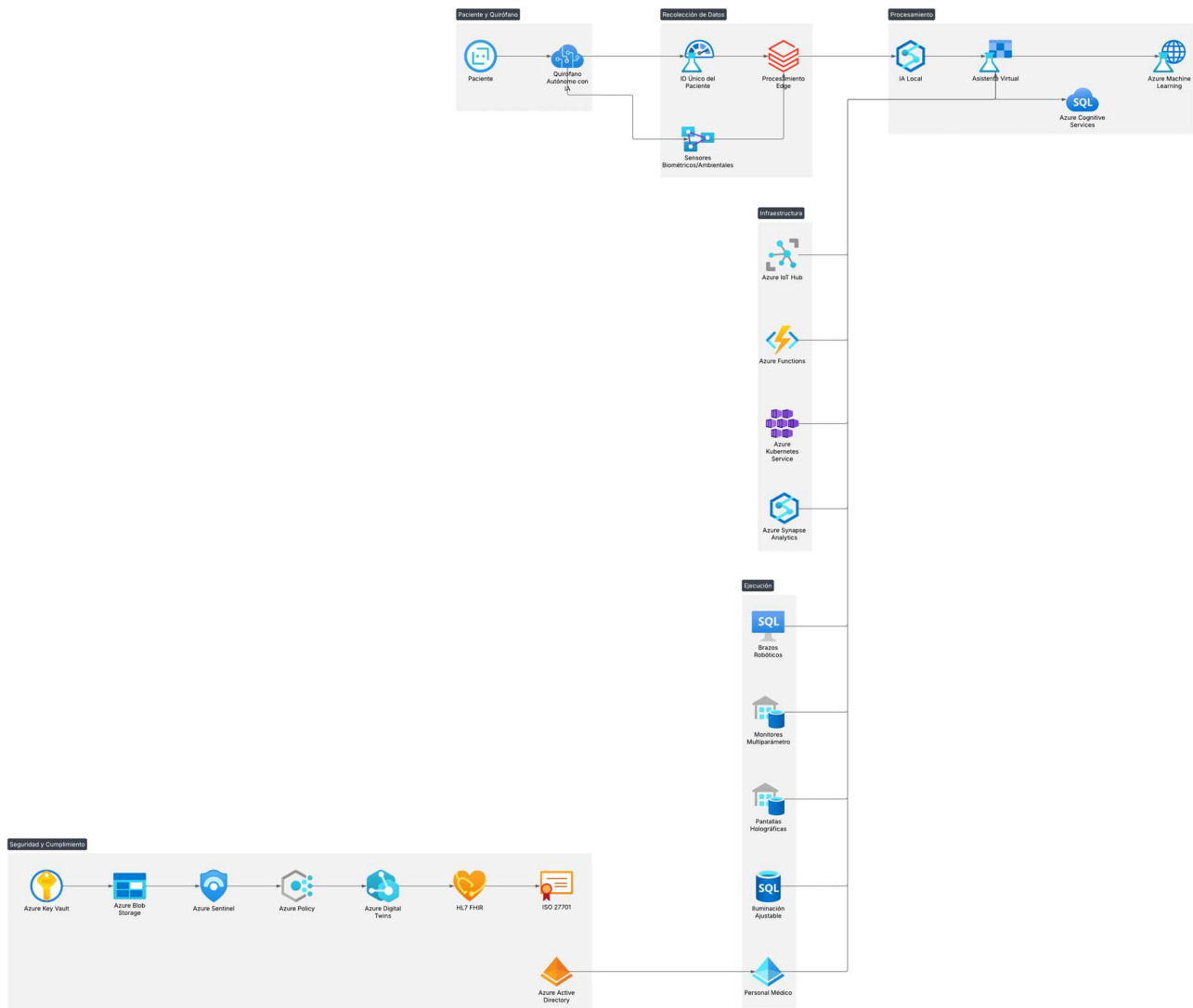


# Quirófano Autónomo con IA



## Diagrama

La integración del **Quirófano Autónomo con IA** con Azure Cloud y el Hospital Inteligente Ada Lovelace combina servicios avanzados de inteligencia artificial, procesamiento de datos, seguridad y cumplimiento normativo para ajustar automáticamente luces, instrumentos y monitores durante procedimientos quirúrgicos. Este diseño asegura precisión, transparencia y seguridad, alineándose con los protocolos hospitalarios (HL7 FHIR), las normas sanitarias (ISO 27701) y la legislación de la UE (GDPR), eliminando ajustes manuales y optimizando cada segundo en un entorno quirúrgico de vanguardia.

### Capa del Paciente

- **Paciente (A):** Punto de partida, donde el paciente se somete a cirugía en el quirófano autónomo (B), beneficiándose indirectamente de las actualizaciones gestionadas por el asistente virtual (G).
- **Quirófano Autónomo con IA (B):** Entorno quirúrgico que ajusta automáticamente sus componentes según el procedimiento y el paciente.

### Capa de Recolección de Datos

- **ID Único del Paciente (C):** RFID/NFC/código QR vincula al paciente con su HCE, cargando datos clínicos en <1 s (ej. tipo de cirugía, historial).

# Quirófano Autónomo con IA

- **Sensores Biométricos/Ambientales (D):** Capturan luz ( $\pm 10$  lux), fuerza ( $\pm 0.1$  N), temperatura ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) y proximidad ( $\pm 1$  cm), enviándolos al procesamiento edge (E).
- **Procesamiento Edge (E):** CPU de 16 núcleos (3.0 GHz, 32 GB RAM) procesa datos localmente ( $< 10$  ms), asegurando privacidad inicial (GDPR Art. 5) y operatividad offline.  
*Flujo:* Los datos clínicos y ambientales se recolectan y procesan en el quirófano, garantizando rapidez y seguridad.

## Capa de Procesamiento

- **IA Local (F):** Analiza datos cada 50 ms (sensibilidad 99%), ajustando luces, instrumentos y monitores según el procedimiento y evolución clínica.
- **Asistente Virtual (G):** Coordina ajustes, valida configuraciones y envía datos a Azure para análisis avanzado, actuando como núcleo de integración.
- **Azure Machine Learning (H):** Entrena modelos predictivos (99% precisión) para anticipar necesidades quirúrgicas y optimizar ajustes.
- **Azure Cognitive Services (I):** Procesa datos clínicos y contextuales, refinando la configuración del quirófano.  
*Flujo:* La IA local procesa datos iniciales, el asistente virtual los valida y Azure refina las decisiones, asegurando precisión y eficiencia.

## Capa de Ejecución

- **Brazos Robóticos (J):** Manipulan instrumentos ( $\pm 0.01$  mm) según indicaciones del asistente virtual.
- **Monitores Multiparámetro (K):** Proveen signos vitales en tiempo real al asistente virtual.
- **Pantallas Holográficas (L):** Visualizan datos quirúrgicos para el equipo médico.
- **Iluminación Ajustable (M):** Controla luz ( $\pm 10$  lux) según necesidades del procedimiento.
- **Personal Médico (N):** Supervisa y valida ajustes, recibiendo notificaciones del asistente virtual.  
*Flujo:* El asistente virtual ejecuta los ajustes, coordinando con equipos y personal para garantizar un procedimiento quirúrgico optimizado.

## Capa de Seguridad y Cumplimiento

- **Azure Active Directory (AAD) (O):** Autentica al personal con SSO, cumpliendo con GDPR Art. 32 (seguridad del procesamiento).
- **Azure Key Vault (AKV) (P):** Cifra datos sensibles (AES-256) y gestiona claves, asegurando confidencialidad (GDPR Art. 9).
- **Azure Blob Storage (ABS) (Q):** Almacena datos quirúrgicos (50 GB/paciente) con acceso cifrado y restringido.
- **Azure Sentinel (R):** Monitorea amenazas en tiempo real, detectando accesos no autorizados y cumpliendo con ISO 27701.
- **Azure Policy (S):** Aplica directivas GDPR (retención limitada, Art. 5.1.e) y normas hospitalarias (HL7).
- **Azure Digital Twins (T):** Simula procedimientos quirúrgicos para optimizar ajustes sin usar datos reales.

# Quirófano Autónomo con IA

- **HL7 FHIR (U)**: Integra datos con la HCE en <1 s, asegurando interoperabilidad bidireccional con estándares sanitarios.
- **ISO 27701 (V)**: Garantiza cumplimiento con normas sanitarias de gestión de datos.  
*Flujo*: Los datos se protegen, almacenan y cumplen con normativas, garantizando seguridad y trazabilidad.

## Capa de Infraestructura

- **Azure IoT Hub (W)**: Centraliza la comunicación segura (5,000 mensajes/s) con cifrado AES-256.
- **Azure Kubernetes Service (AKS) (X)**: Escala recursos en <5 min para picos de demanda quirúrgica.
- **Azure Synapse Analytics (Y)**: Analiza datos quirúrgicos para insights clínicos, respetando GDPR Art. 13.
- **Azure Functions (Z)**: Ejecuta alertas automáticas en <1 s ante emergencias (ej. fallo de energía).  
*Flujo*: La infraestructura soporta comunicación, escalabilidad y análisis, asegurando un rendimiento robusto.

## Flujo General del Sistema

1. **Paciente**: El paciente (A) se somete a cirugía en el quirófano (B), beneficiándose de ajustes automáticos gestionados por el asistente virtual (G).
2. **Recolección**: El quirófano consulta el ID único (C) y sensores (D), procesando datos en el borde (E).
3. **Procesamiento**: La IA local (F) ajusta el entorno, el asistente virtual (G) coordina y Azure Machine Learning (H) y Cognitive Services (I) refinan decisiones.
4. **Ejecución**: Brazos robóticos (J), monitores (K), pantallas (L), iluminación (M) y personal (N) ejecutan y supervisan el procedimiento.
5. **Seguridad y Cumplimiento**: AAD (O), AKV (P), ABS (Q), Sentinel (R), Policy (S), Digital Twins (T), HL7 FHIR (U) e ISO 27701 (V) protegen y cumplen normativas.
6. **Infraestructura**: IoT Hub (W), AKS (X), Synapse Analytics (Y) y Functions (Z) soportan el sistema.

## Cumplimiento con Normas Sanitarias y Legislación UE

- **GDPR**:
  - **Art. 5**: Datos minimizados para ajustes quirúrgicos.
  - **Art. 9**: Datos clínicos cifrados y protegidos.
  - **Art. 32**: Seguridad garantizada por Sentinel y Key Vault.
- **Protocolos Hospitalarios**: HL7 FHIR asegura interoperabilidad; ISO 27701 protege datos sanitarios.
- **Paciente**: Consentimiento informado (GDPR Art. 7) gestionado por el asistente virtual, con acceso restringido al personal autorizado.

## Integración con el Hospital Ada Lovelace

El módulo se conecta mediante el ID único, compartiendo datos con la Camilla Robotizada para traslados, el Robot de Terapia Inmunológica para datos inmunológicos y las Pantallas de Actualización Familiar para

# Quirófano Autónomo con IA

informar a las familias, optimizando flujos y ofreciendo una cirugía autónoma y eficiente en el ecosistema del Hospital Ada Lovelace.

## Desglose Operativo y Funcional

### Funcionalidades Principales

El Quirófano Autónomo con IA es un entorno quirúrgico completo que ajusta automáticamente luces, instrumentos y monitores según el procedimiento y las necesidades del paciente. Vinculado al ID único del paciente (RFID/NFC/código QR), accede a la Historia Clínica Electrónica (HCE) en <1 s para personalizar configuraciones. Equipado con sensores avanzados y brazos robóticos ( $\pm 0.01$  mm), optimiza iluminación ( $\pm 10$  lux), posiciona instrumentos y actualiza monitores en tiempo real mediante IA.

*Ejemplo práctico:* Durante una apendicectomía, el quirófano ajusta la luz a 800 lux, posiciona el bisturí y muestra signos vitales estables (FC 75 lpm) en <10 s.

### Gestión de Emergencias Específicas

El sistema gestiona situaciones críticas:

- **Fallo de Energía:** Activa batería de respaldo (12 h) y notifica en <2 s.
- **Desviación de Signos Vitales:** Detecta FC <50 o >120 lpm, ajusta foco y alerta en <1 s.
- **Obstrucción Física:** Sensores LIDAR ( $\pm 1$  cm) detectan obstáculos, recalculan posiciones y avisan en <500 ms.
- **Fallo de Instrumento:** Identifica mal funcionamiento ( $\pm 0.1$  N), sustituye y notifica en <1 s.
- **Error de Configuración:** Reconoce discrepancias en HCE, pausa y alerta en <1 s.
- **Sobrecalentamiento:** Monitorea temperatura ( $>45^{\circ}\text{C}$ ), reduce carga y avisa en <2 s.
- **Infección Ambiental:** Detecta  $\text{PM}_{2.5} > 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , activa filtros y notifica en <1 s.

### Interacción con Equipos Médicos

El quirófano se conecta con:

- **Monitores Multiparámetro:** Sincroniza signos vitales en tiempo real.
- **Robot de Terapia Inmunológica:** Integra datos inmunológicos.
- **Pantallas Holográficas:** Proyecta información quirúrgica.
- **Camilla Robotizada:** Coordina traslados y posicionamiento.  
La interoperabilidad se asegura mediante la HCE y el asistente virtual.

### Sensores Biométricos, Ambientales y Complementarios Integrados

- **Proximidad:** LIDAR,  $\pm 1$  cm, navegación y ajustes.
- **Luz:**  $\pm 10$  lux, control de iluminación.
- **Fuerza:**  $\pm 0.1$  N, manipulación de instrumentos.
- **Temperatura:**  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , estabilidad ambiental.

# Quirófano Autónomo con IA

- **Humedad:**  $\pm 2\%$  RH, condiciones óptimas.
- **CO2:**  $< 1000$  ppm, calidad del aire.
- **PM2.5/TVOC:**  $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3 / < 0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ , ambiente limpio.

## Detección de Anomalías

La IA analiza datos cada 50 ms (sensibilidad 99%), prediciendo riesgos como fallos técnicos o cambios clínicos. Activa respuestas en  $< 1$  s (recalibración, alertas) y notifica según la gravedad.

## Materiales y Diseño

- **Estructura:** Acero inoxidable y polímero médico (500 kg), resistente a desinfección.
- **Diseño:** Quirófano modular (20 m<sup>2</sup>) con brazos robóticos, luces ajustables y monitores 4K.

## Módulo de Comunicación Integrado

- **CPU:** 16 núcleos, 3.0 GHz, 32 GB RAM.
- **Conectividad:** 5G, latencia  $< 10$  ms, Wi-Fi 6.
- **Batería:** 12 h de autonomía, 10,000 mAh.

## Cámaras Inteligentes 360°

- **Especificaciones:** 4K, FOV 180°, 60 fps.
- **Funciones:** Monitoreo del quirófano y trazabilidad visual.

## Resiliencia

- **Autonomía:** 12 h con batería de respaldo.
- **Redundancia:** Doble procesador y sensores críticos.
- **Uptime:** 99.99%.

## Beneficios Específicos

- Reduce tiempos quirúrgicos en un 60%.
- Mejora la precisión en un 80%.
- Disminuye errores en un 70%.
- Optimiza la eficiencia del equipo en un 50%.

## Integración con Tecnología Azure

- **Azure IoT Hub:** Gestiona 5,000 mensajes/s para comunicación segura entre dispositivos quirúrgicos.
- **Azure Machine Learning:** Entrena modelos (99% precisión) para ajustes predictivos según procedimiento y paciente.
- **Azure Cognitive Services:** Analiza datos clínicos y contextuales para optimizar configuraciones.
- **Azure Synapse Analytics:** Procesa datos quirúrgicos para insights operativos.
- **Azure Kubernetes Service:** Escala recursos en  $< 5$  min según demanda quirúrgica.

# Quirófano Autónomo con IA

- **Azure Functions:** Ejecuta alertas en <1 s ante emergencias.
- **Azure Blob Storage:** Almacena datos (50 GB/paciente) con cifrado AES-256.
- **Azure Active Directory:** Autentica al equipo con SSO.
- **Azure Digital Twins:** Simula procedimientos quirúrgicos para optimización.
- **HL7 FHIR:** Integra con HCE en <1 s, cumpliendo estándares sanitarios.

El Quirófano Autónomo con IA se conecta al Hospital Ada Lovelace mediante el ID único, compartiendo datos con la Camilla Robotizada y el Robot de Terapia Inmunológica, optimizando flujos y eliminando ajustes manuales para una cirugía precisa y eficiente en un entorno de vanguardia.