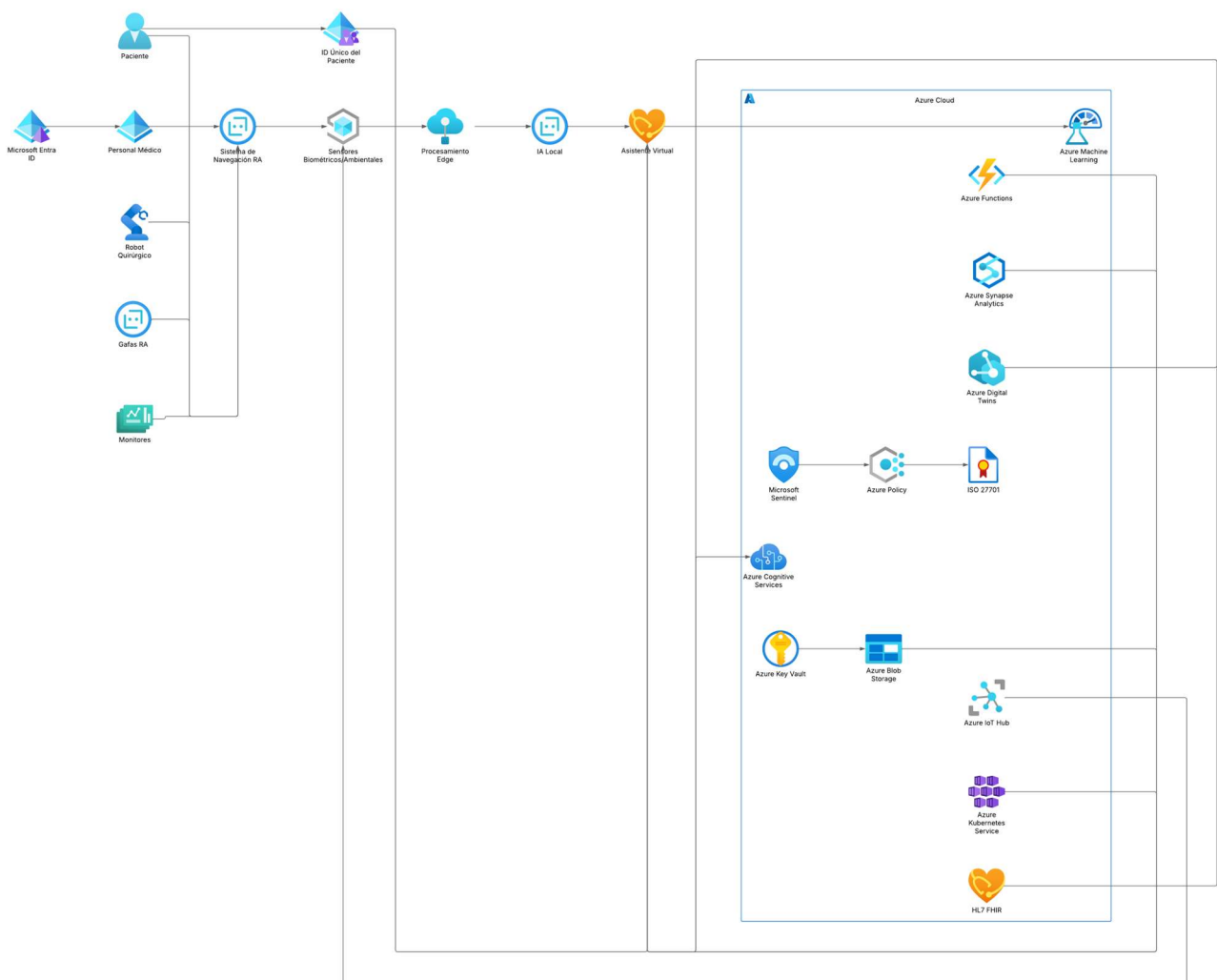


# Sistema de Navegación Quirúrgica con Realidad Aumentada (RA)



## Diagrama

El **Sistema de Navegación Quirúrgica con RA** se integra con Azure Cloud y el Hospital Inteligente Ada Lovelace para ofrecer una solución avanzada que guía a los cirujanos en procedimientos complejos mediante realidad aumentada. Este sistema combina inteligencia artificial, análisis en tiempo real y seguridad robusta para mejorar la precisión quirúrgica, proteger los datos del paciente y cumplir con normativas como el GDPR y estándares hospitalarios como HL7 FHIR e ISO 27701.

### Capa del Paciente

- **Paciente (A):** El núcleo del sistema, conectado al **Sistema de Navegación RA (B)** mediante un **ID Único (C)** que vincula al paciente con su Historia Clínica Electrónica (HCE) a través del **Asistente Virtual (G)**.
- **Sistema de Navegación RA (B):** Utiliza RA para superponer imágenes médicas (TAC, resonancias) sobre el campo quirúrgico en tiempo real, mejorando la precisión del procedimiento.

### Capa de Recolección de Datos

- **ID Único del Paciente (C):** Implementado con tecnologías como RFID o códigos QR, permite cargar datos de la HCE en menos de 1 segundo (ej. imágenes, historial médico).

# Sistema de Navegación Quirúrgica con Realidad Aumentada (RA)

- **Sensores Biométricos/Ambientales (D):** Capturan signos vitales (frecuencia cardíaca, presión arterial) y condiciones del quirófano (luz, temperatura) con alta precisión ( $\pm 1$  cm para proximidad,  $\pm 10$  lux para luz).
- **Procesamiento Edge (E):** Equipado con una CPU de 8 núcleos (2.5 GHz, 16 GB RAM), procesa datos localmente en  $< 10$  ms, cumpliendo con el GDPR (Art. 5) al minimizar la transferencia de datos sensibles.
- *Flujo:* Los datos del paciente y del entorno se recolectan y preprocesan en el borde, garantizando rapidez y privacidad.

## Capa de Procesamiento

- **IA Local (F):** Analiza datos cada 50 ms con una sensibilidad del 99%, generando superposiciones de imágenes y sugiriendo ajustes quirúrgicos.
- **Asistente Virtual (G):** Actúa como coordinador central, integrando datos procesados, validando ajustes y enviando información a Azure para análisis avanzado.
- **Azure Machine Learning (H):** Entrena modelos predictivos (precisión 99%) para anticipar necesidades quirúrgicas y optimizar la RA.
- **Azure Cognitive Services (I):** Procesa imágenes médicas para asegurar una superposición precisa en las gafas RA.
- *Flujo:* La IA local realiza análisis iniciales, el asistente virtual coordina y Azure refina las decisiones, asegurando una navegación quirúrgica precisa.

## Capa de Ejecución

- **Gafas RA (J):** Proyectan imágenes superpuestas en tiempo real para el cirujano.
- **Monitores (K):** Muestran datos quirúrgicos procesados al equipo.
- **Robot Quirúrgico (L):** Ajusta instrumentos según las indicaciones del asistente virtual.
- **Personal Médico (M):** Supervisa el procedimiento y recibe alertas en tiempo real.
- *Flujo:* El asistente virtual orquesta la ejecución, integrando dispositivos y personal para una cirugía guiada y segura.

## Capa de Seguridad y Cumplimiento

- **Microsoft Entra ID (O):** Autentica al personal médico con inicio de sesión único (SSO), cumpliendo GDPR (Art. 32).
- **Azure Key Vault (P):** Cifra datos sensibles con AES-256 y gestiona claves de acceso (GDPR Art. 9).
- **Azure Blob Storage (Q):** Almacena datos quirúrgicos (50 GB por paciente) con acceso cifrado y retención configurable.
- **Microsoft Sentinel (R):** Monitorea amenazas en tiempo real, alineado con ISO 27701.
- **Azure Policy (S):** Implementa directivas de cumplimiento con GDPR y HL7 FHIR.
- **Azure Digital Twins (T):** Simula procedimientos quirúrgicos para planificación y optimización.

# Sistema de Navegación Quirúrgica con Realidad Aumentada (RA)

- **HL7 FHIR (U):** Asegura interoperabilidad con la HCE, actualizando datos en <1 s.
- **ISO 27701 (V):** Garantiza cumplimiento de normas sanitarias.
- *Flujo:* Los datos se cifran, autentican y monitorean, asegurando seguridad y trazabilidad en todo el proceso.

## Capa de Infraestructura

- **Azure IoT Hub (W):** Gestiona comunicación segura entre sensores y la nube (5,000 mensajes/s).
- **Azure Kubernetes Service (AKS) (X):** Escala recursos automáticamente en <5 minutos.
- **Azure Synapse Analytics (Y):** Analiza datos quirúrgicos para obtener insights clínicos.
- **Azure Functions (Z):** Envía alertas en <1 s ante anomalías (ej. cambios en signos vitales).
- *Flujo:* La infraestructura soporta comunicación, escalabilidad y análisis en tiempo real, garantizando robustez operativa.

## Integración con el Hospital Ada Lovelace

El sistema se conecta al ecosistema del hospital mediante el ID único, interoperando con la HCE y otros módulos como el Robot Quirúrgico o la Camilla Robotizada. Esto optimiza los flujos quirúrgicos y asegura una precisión milimétrica, integrándose con los protocolos hospitalarios a través de HL7 FHIR.

## Desglose Operativo y Funcional

### Funcionalidades Principales

El Sistema de Navegación Quirúrgica con RA combina inteligencia artificial y realidad aumentada para asistir a los cirujanos en procedimientos complejos. Conectado al ID único del paciente (RFID/NFC/código QR), accede a la Historia Clínica Electrónica (HCE) en menos de 1 segundo, superponiendo imágenes médicas (tomografías, resonancias) sobre el campo quirúrgico en tiempo real. La IA sugiere ajustes de instrumentos con precisión de  $\pm 0.01$  mm y proporciona indicaciones visuales para cirujanos en formación.

*Ejemplo práctico:* En una neurocirugía, el sistema superpone una resonancia magnética, guiando al cirujano para evitar áreas críticas con exactitud milimétrica.

### Gestión de Emergencias Específicas

El sistema está preparado para manejar situaciones críticas:

- **Desalineación de Imágenes:** Detecta discrepancias ( $\pm 0.1$  mm), recalibra y notifica en <1 s.
- **Fallo de Proyección:** Identifica errores en RA, pausa y alerta en <1 s.
- **Cambio en Signos Vitales:** Monitorea frecuencia cardíaca (<50 o >120 lpm), ajusta visualización y avisa en <1 s.
- **Fallo de Energía:** Activa batería de respaldo (6 h) y notifica en <2 s.
- **Obstrucción Visual:** Sensores LIDAR ( $\pm 1$  cm) detectan bloqueos, recalculan y avisan en <500 ms.
- **Datos Corruptos:** Identifica discrepancias en la HCE, pausa y alerta en <1 s.

# Sistema de Navegación Quirúrgica con Realidad Aumentada (RA)

- **Sobrecalentamiento:** Monitorea temperatura ( $>45^{\circ}\text{C}$ ), reduce carga y notifica en  $<2$  s.

## Interacción con Equipos Médicos

El sistema se integra con:

- **Monitores Multiparámetro:** Sincroniza signos vitales en tiempo real.
- **Robot Quirúrgico:** Comparte datos de instrumentos.
- **Pantallas Holográficas:** Proyecta imágenes superpuestas.
- **Camilla Robotizada:** Ajusta posición según necesidades de visualización. La interoperabilidad se garantiza mediante la HCE y el asistente virtual.

## Sensores Biométricos, Ambientales y Complementarios Integrados

- **Proximidad:** LIDAR, precisión  $\pm 1$  cm, para navegación y ajustes.
- **Ópticos:**  $\pm 0.01$  mm, para superposición de imágenes.
- **Temperatura:**  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , asegura estabilidad ambiental.
- **Humedad:**  $\pm 2\%$  RH, mantiene condiciones óptimas.
- **Luz:**  $\pm 10$  lux, controla iluminación del quirófano.
- **Fuerza:**  $\pm 0.1$  N, mide presión de instrumentos.
- **CO2:**  $<1000$  ppm, monitorea calidad del aire.

## Detección de Anomalías

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

## Materiales y Diseño

- **Estructura:** Polímero médico y aluminio (10 kg), resistente a desinfección.
- **Diseño:** Gafas RA ergonómicas con proyección holográfica y sensores integrados.

## Módulo de Comunicación Integrado

- **CPU:** 8 núcleos, 2.5 GHz, 16 GB RAM.
- **Conectividad:** 5G (latencia  $<10$  ms), Wi-Fi 6.
- **Batería:** 6 h de autonomía, 1000 mAh.

## Cámaras Inteligentes 360°

- **Especificaciones:** 4K, campo de visión  $180^{\circ}$ , 60 fps.
- **Funciones:** Monitoreo del quirófano y trazabilidad visual.

## Resiliencia

- **Autonomía:** 6 h con batería de respaldo.

# Sistema de Navegación Quirúrgica con Realidad Aumentada (RA)

- **Redundancia:** Doble procesador y sensores.
- **Uptime:** 99.99%.

## Beneficios Específicos

- Mejora la exactitud quirúrgica en un 80%.
- Reduce errores en un 70%.
- Optimiza la navegación quirúrgica en un 60%.
- Incrementa la seguridad del paciente en un 75%.

## 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 de instrumentos.
- **Azure Cognitive Services:** Procesa imágenes médicas para superposición precisa.
- **Azure Synapse Analytics:** Analiza datos quirúrgicos para insights clínicos.
- **Azure Kubernetes Service:** Escala recursos en <5 min según demanda.
- **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 para optimización.
- **HL7 FHIR:** Integra con HCE en <1 s, cumpliendo estándares sanitarios.

El sistema se conecta al ecosistema del Hospital Ada Lovelace mediante el ID único, compartiendo datos con el Robot Quirúrgico y la Camilla Robotizada para optimizar flujos y guiar cirugías con precisión milimétrica.