



Universitat Oberta
de Catalunya

Trabajo Final de Máster

Diseño de una Smart UCI para la monitorización de pacientes

Jorge Alarcó Pérez

Universitat Oberta de Catalunya

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación UOC-URL

Área de Especialización: Sistemas de Comunicación

Consultor: Raúl Parada Medina

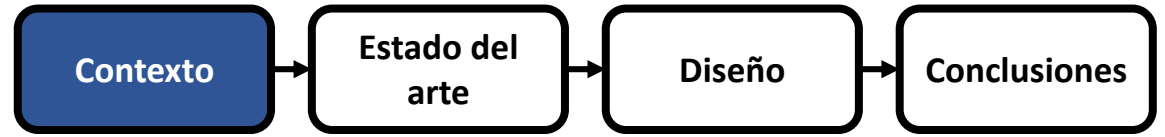
PRA: Carlos Monzo Sánchez



Índice

- 1. Contexto y justificación del proyecto**
- 2. Estado del arte**
- 3. Diseño de la Smart UCI**
- 4. Conclusiones y futuras líneas de investigación**

Introducción



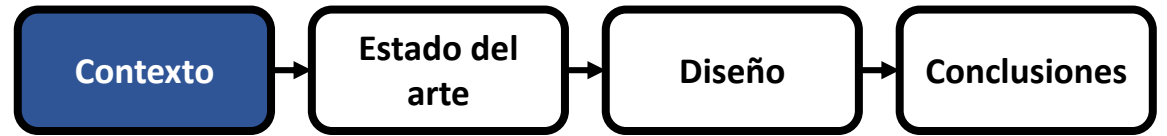
Fuente: www.massagetherapycanada.com

Dificultades en la UCI tradicional

- Alta demanda de pacientes
- Gran volumen de datos generado
- Sistemas de monitorización rudimentarios



Labor profesional limitada por la tecnología



El Virgen del Rocío incorpora plataforma de análisis predictivo en las UCI desarrollada por Everis y NTT Data

Fuente: www.20minutos.es – 15 de enero de 2016

ehCOS SmartICU aumenta la precisión y eficiencia en las UCI

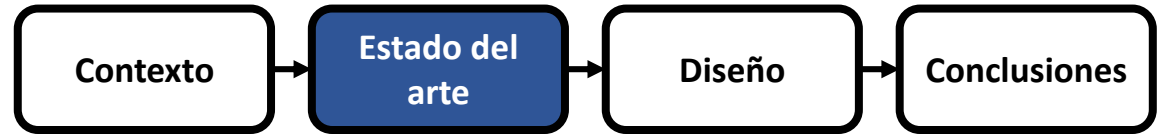
Fuente: www.ehcos.com – 28 de julio de 2016

La consellera Alba Vergés ha inaugurado la nueva smart UCI de Vall d'Hebron

Fuente: www.vallhebron.com – 12 de septiembre de 2018



Estado del arte



Diseño de una red WBAN

- Monitorización de pacientes
- Interconexión con otras redes
- Estandarización IEEE 802.15.6

Ejemplos: CodeBlue (2005), Universidad de Alabama (2006), *Fahier et al.* (2015)

Empleo de algoritmos predictivos

- Detección de anomalías
- Anticipación de síntomas en tiempo real
- Correlación entre variables

Ejemplos: *Tarassenko et al.* (2005), *Zhang et al.* (2012), Reviriego (2017)

Integración de *Blockchain*

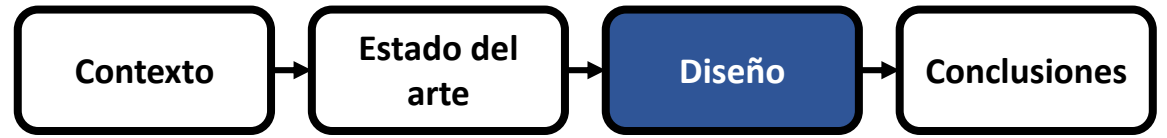
- Complemento de redes inalámbricas
- Lecturas como conjunto de transacciones
- Compartición de la información entre entidades

Ejemplos: *Peterson et al.* (2016), *Liang et al.* (2017), *Theoduli et al.* (2018)

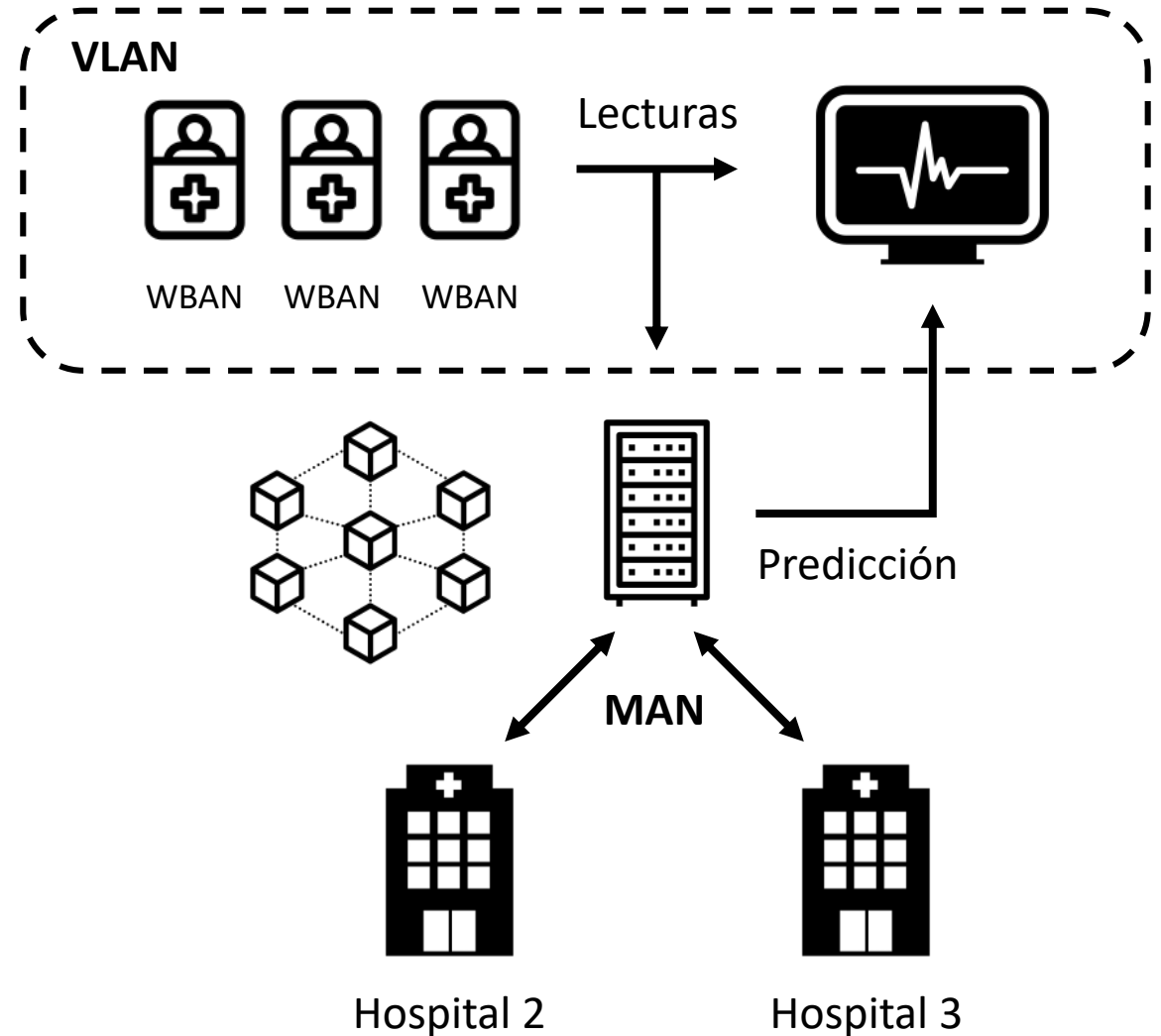
Aportación del proyecto



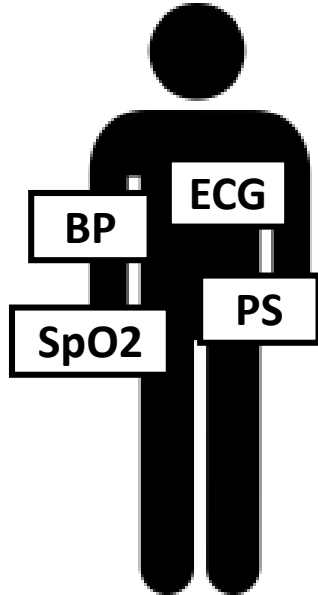
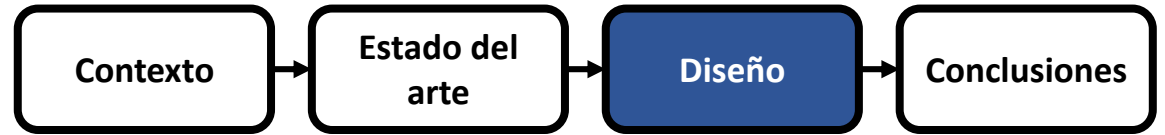
Objetivos



- 1) Diseñar una red inalámbrica.
- 2) Emplear un algoritmo predictivo.
- 3) Integrar *Blockchain*.
- 4) Escalar el diseño.



Caracterización WBAN



Requisitos fisiológicos

Variable	Tipo	Tasa de envío	Ancho de banda
ECG	Continua	71 kbps	100-500 Hz
BP	Discreta	16 bps	50-100 Hz
SpO2	Discreta	16 bps	0-1 Hz

Tecnología inalámbrica

- Frecuencia de operación
- Potencia
- Tasa de envío
- Método de acceso
- Cobertura
- Topología soportada

Topología de la red

- Estrella de salto único
- Servidor personal en cadera



Bluetooth LE

ECG: Electrocardiograma

BP: Presión sanguínea

SpO2: Saturación de oxígeno

PS: Servidor Personal



Nonin Onyx 3



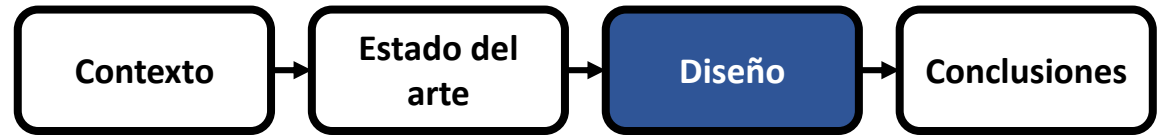
Isansys Lifetouch



A&D BPM



Protocolos WBAN



Estándar IEEE 802.15.6 → Simplificar el diseño, minimizar potencia y ahorrar costes.

Capa física

- Convertir la información fisiológica en señales eléctricas
- Codificación, transmisión y recepción de señales

Capa de acceso al medio

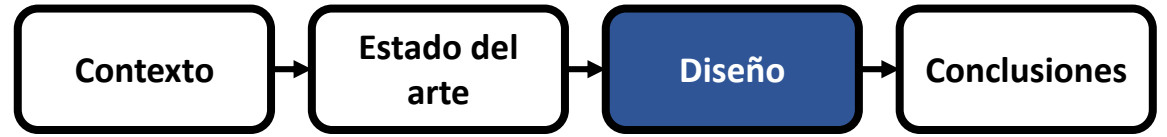
- Gestión del tráfico e intercambio de paquetes
- Protocolo TDMA para ahorrar potencia y garantizar QoS

Capa de enrutamiento

- Direccionamiento de paquetes
- Algoritmo basado en temperatura combinado con el método HPR



Sistema de alarma



UCI tradicional

- Probabilidad
- Percepción
- Heterogeneidad



Data mining

- Detección de anomalías
- Predicción
- Toma de decisiones

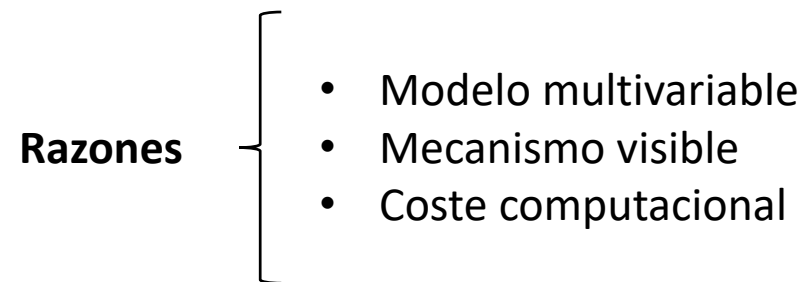
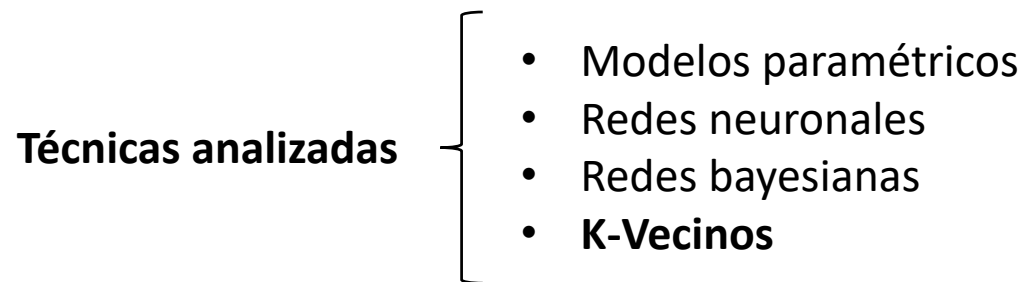
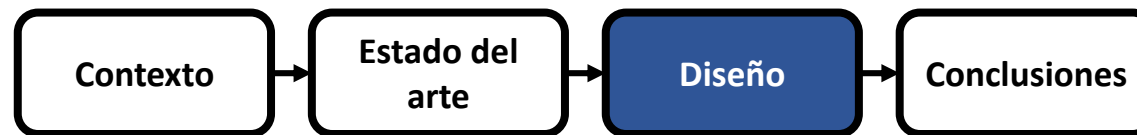
Bloque de minería de datos



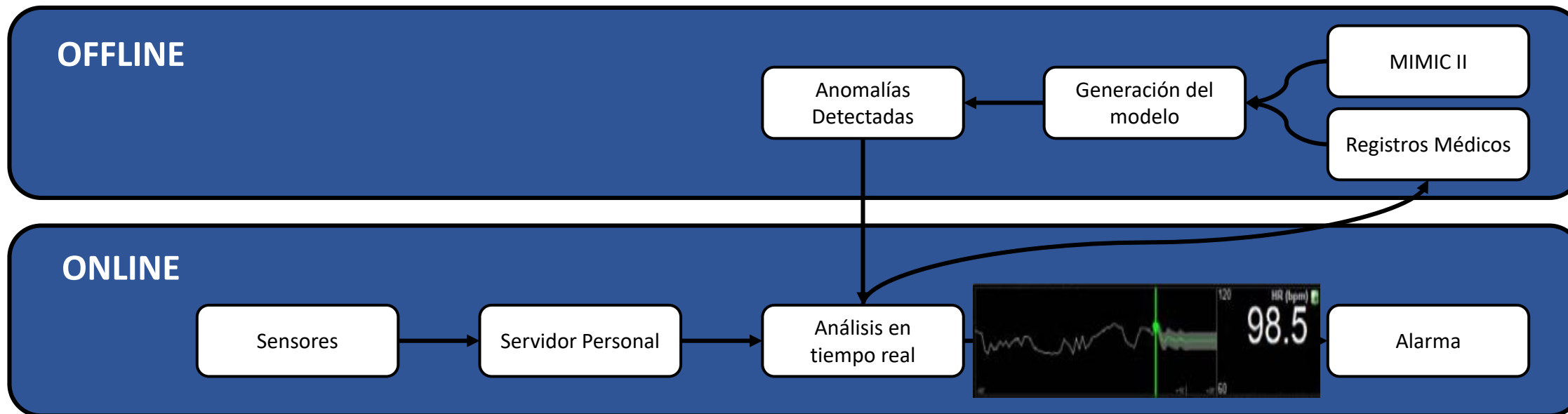
Procesar las señales para extraer la información útil y eliminar perturbaciones.

Reducir la dimensionalidad del conjunto de datos eliminando información redundante.

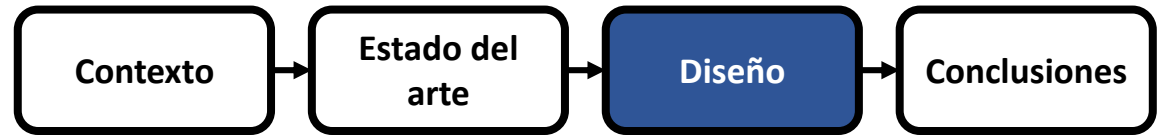
Detección de anomalías



Diseño del bloque



Red VLAN

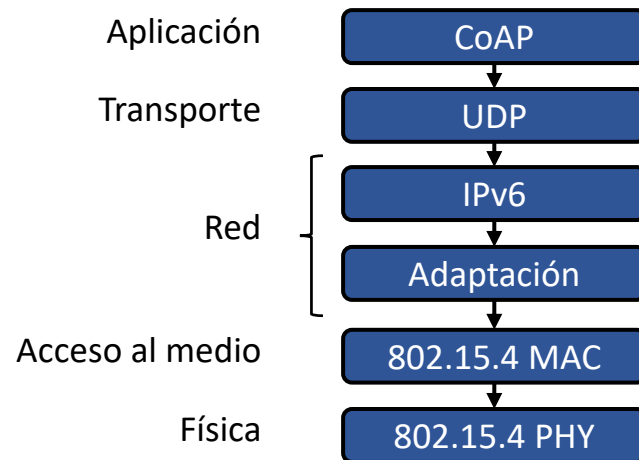


Objetivo: Red que permita transmitir y centralizar la información de la monitorización.

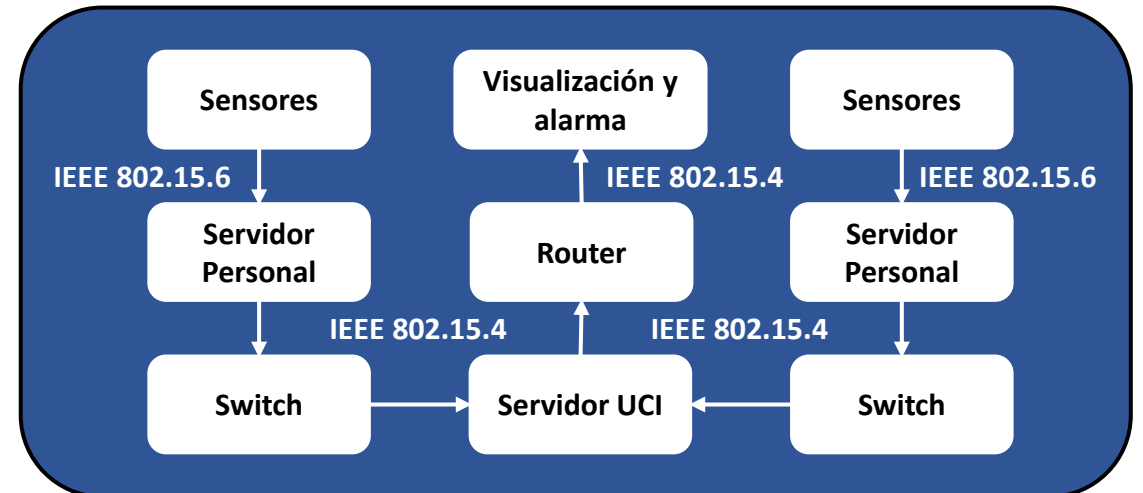
Interconexión WBAN: Incorporación del protocolo IP

- Mediante *gateway*
- **Integración nativa** → **6LoWPAN**

Pila de protocolos del servidor personal



Diseño de la red



Servidor personal: *Arduino MEGA 2560*

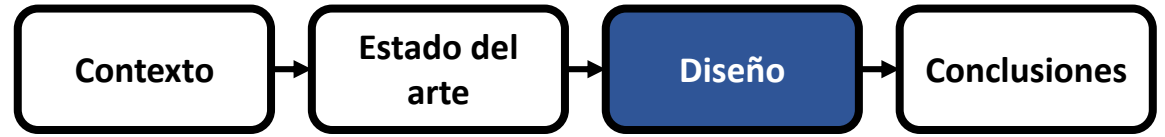
Servidor UCI: *Raspberry PI 3 Model B+*

Visualización: *Philips IntelliVue Center*

Middleware: *Stream Processing Core*



Red MAN



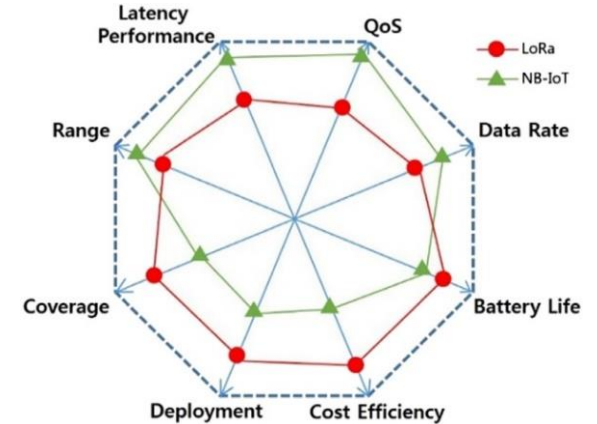
Objetivo: Red que permita la conexión entre hospitales.

Entrenamiento: Mediante computación GPU

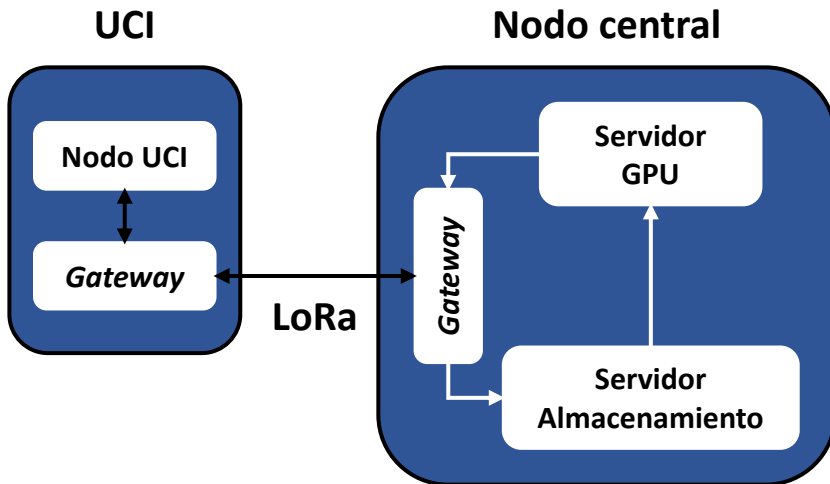
- *Cloud* (IaaS)
- **Nodo local**

Transmisión: Mediante tecnología LPWA

- *NB-IoT*
- **LoRa** → **Potencia consumida**



Fuente: Sinha et al. (2017)



- Envío de lecturas para el nodo de entrenamiento.
- Replicación de información en la red hospitalaria.

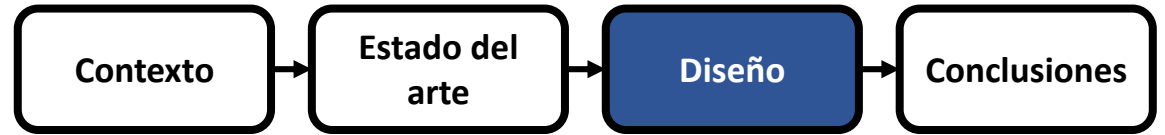
Servidor almacenamiento: Proliant Microserver X3216 (28 TB)

Servidor GPU

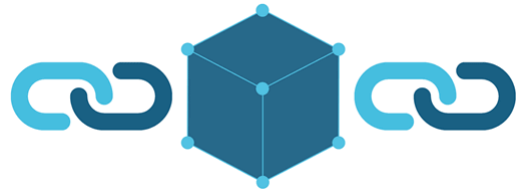
- 128 GB RAM
- 2 x Nvidia Titan X



Confidencialidad



Generación y compartición de EHR → Exposición de los datos a ataques internos y externos
↳ Cumplimiento de la legislación HIPAA y GDPR



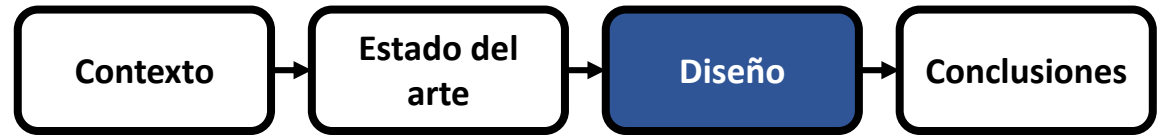
- Cadena incorruptible de bloques como conjunto de transacciones
- Sistema de almacenamiento distribuido → Mecanismo de consenso
- Programación de *smart contracts*
- ¿Compatibilidad? → **Trazabilidad de los registros médicos**

- **Red VLAN** : Intercambio de información entre WBAN y servidor UCI
- **Red MAN**: Intercambio de información entre servidor UCI y nodo central
- Modelo *consortium* y mecanismo de consenso PBFT
- *Smart contracts* para la generación automática de documentación

Ethereum
+
BigchainDB



Integración *Blockchain*



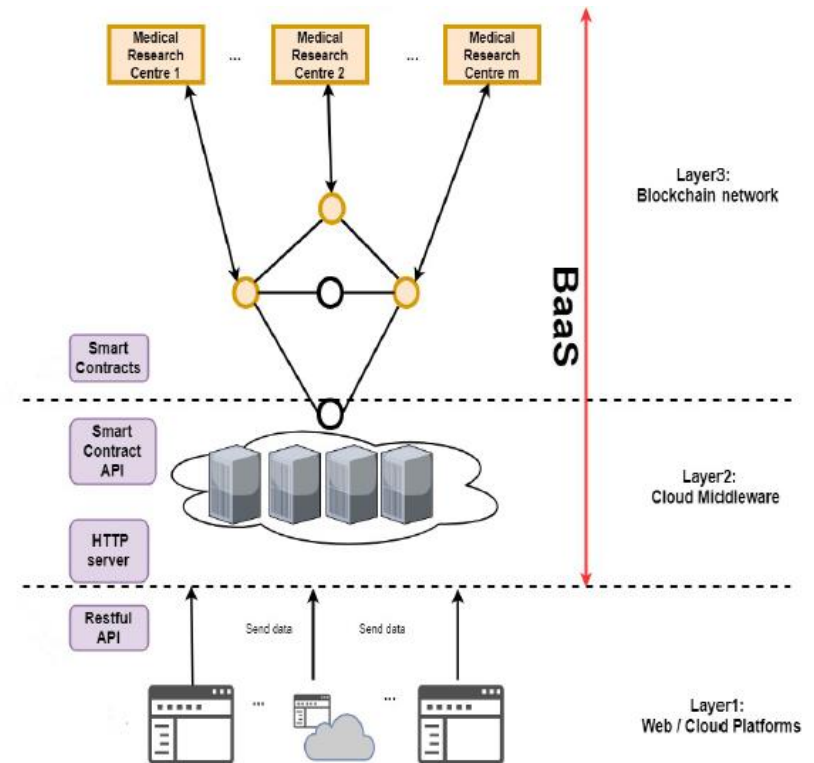
Objetivo: Minimizar el impacto de la integración sobre la arquitectura existente

- Entorno local
- **Cloud (BaaS)**

Ventajas BaaS

- Menores gastos de implantación
- Menor tiempo de implementación
- Menor coste de mantenimiento
- Potenciación del escalamiento del diseño

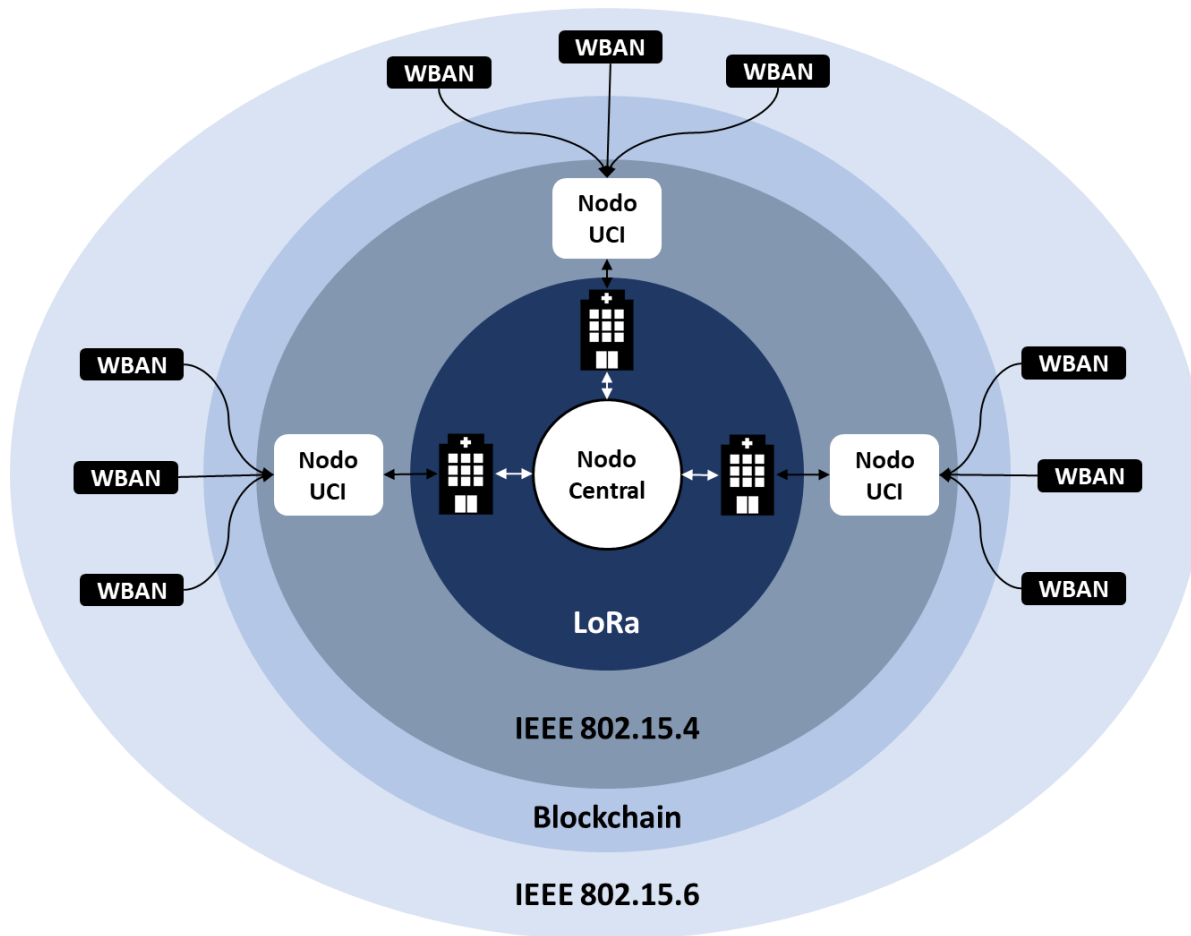
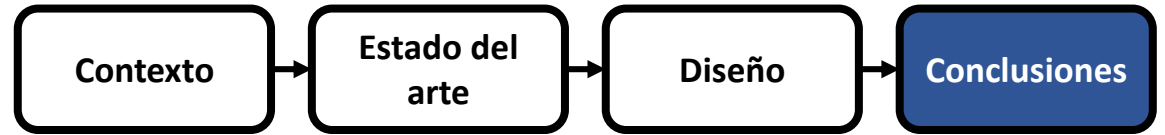
- ↓ Retardo
- ↓ Vulnerabilidad
- ↑ Disponibilidad
- ↑ Inmutabilidad
- ↑ Trazabilidad
- ↑ Privacidad



Fuente: Theodouli et al. (2018)



Solución final



Red WBAN

- *Bluetooth* LET + IEEE 802.15.6
- Algoritmo basado en temperatura

Capacidad predictiva

- Algoritmo K-Vecinos
- Entrenamiento y comparación

Topología de red

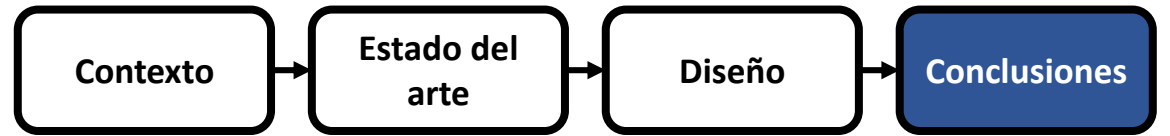
- VLAN: CoAP + UDP + 6LoWPAN + IEEE 802.15.4
- MAN: LoRa

Blockchain

- Red tipo *consortium*
- Servicio BaaS + *BigchainDB*

Inversión final: Decenas de millones de euros

Conclusiones



Resultados

- Centralización de los datos fisiológicos monitorizados
- Análisis de las lecturas en tiempo real y capacidad predictiva
- Colaboración multidisciplinar entre centros hospitalarios
- Garantía en la privacidad e integridad de la información

Futuras líneas de investigación

- Avance en las especificaciones de las redes WBAN
- Monitorización con más sensores y variables fisiológicas
- Topología de red con dispositivos intermedios (PDAs, *smartphones*...)
- Vulnerabilidad frente a posibles ataques internos



Muchas gracias por su atención.