

Laia Solé (laiasole@biorem.cat)

Ingeniera Industrial Máster en ingeniería biomédica

Caterina Vidal (caterinavidal@biorem.cat)

Ingeniera Industrial Máster en ingeniería biomédica

Biorem, biomedical engineering

Previsión de tecnologías *smart* en los proyectos de obra de hospitales

El artículo analiza las tecnologías médicas *smart* existentes en el mercado o previsibles en un futuro cercano, y que pudieran ser de interés para los clínicos y los profesionales de procesos de soporte, con el fin de prever y dotar las infraestructuras del proyecto de ampliación y reforma del hospital Juan XXIII de Tarragona de los elementos suficientes para poder instalar dichas tecnologías médicas *smart* en el futuro con los mínimos trabajos de obra.

El Joan XXIII es un hospital terciario universitario de referencia de 200 camas, con todas las especialidades médicas y quirúrgicas, UCIs adulta y pediátrica, y tras el proyecto contará con un bloque quirúrgico de 14 salas de operaciones, un bloque de cirugía ambulatoria de 6 salas, así como con servicios completos de imagenología, intervencionismo y medicina nuclear.

TECNOLOGÍAS MÉDICAS SMART

Las tecnologías médicas *smart* se caracterizan, en base a sus requerimientos, por tener múltiples *impulsores*; y, por su diseño, por contener varios medios técnicos: (ver figura 1).

Desde la ingeniería biomédica, no existe un umbral fijo que determine si un hospital es o no es *inteligente*. Cuantas más tecnologías médicas *smart* de impacto real en los impulsores tenga dicho hospital, más inteligente lo consideramos. Pero cada hospital debe hacer su camino hacia el objetivo de hospital *smart* y trazar su estrategia en modo de objetivos, calendario e indicadores de medida de impacto *smart*.

El análisis de los procesos internos del hospital y de los requerimientos funcionales a los que se puede dar respuesta con alguna tecnología médica *smart*, disponible

o previsible, es fundamental para decidir incorporar o no dicha tecnología al proyecto del hospital nuevo.

Con este artículo queremos contribuir a la idea de que las tecnologías *smart* deben ser la solución y no el problema. Y para ello, nos enfocaremos a dar visibilidad

al proceso de proyecto de las infraestructuras sanitarias que darán cabida a las tecnologías en cuestión, con el objetivo de facilitar y reducir problemáticas previsibles en el proceso de su entrada.

El impacto de los requisitos arquitectónicos y/o de suministros es muy dife-

MEDIOS	IMPULSORES			
	SERVICIOS E INTERACCIÓN CON EL PACIENTE	PROCESOS DE ATENCIÓN	LOGÍSTICA Y SERVICIOS DE SOPORTE	ORGANIZACIÓN Y DISEÑO DE LA CAPACIDAD INSTALADA
TECNOLOGÍA MÉDICA	Telemedicina Serious games AR/ VR AI: ROBO-doc IoT Wearables	Robótica intraquirúrgica Impresión 3D Telemedicina Integración quirúrgica	IoT	Impresión 3D IoT Integración quirúrgica
INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA	Monitorización y reducción del ruido Iluminación circadiana y domótica	IoT Wearables Integración quirúrgica	Señalización digital Drones Sistemas de almacén general y logística Sistemas de transporte de material (vehículos autoguiados)	Control de accesos Gestión de colas Asistencia visual y acústica IoT RTLS Integración quirúrgica Sistemas de almacén general y logística
INFRAESTRUCTURAS Y OPERACIONES IT	Iluminación circadiana y domótica AI: ROBO-doc IoT Wearables RTLS	Robótica intraquirúrgica IoT Wearables Integración quirúrgica	Drones IoT	Control de accesos Gestión de colas Asistencia visual y acústica IoT RTLS Integración quirúrgica
GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	AI: ROBO-doc IoT Wearables RTLS	Robótica intraquirúrgica IoT Wearables Integración quirúrgica	Sistemas de almacén general y logística Sistemas de transporte de material (vehículos autoguiados) IoT	Control de accesos IoT RTLS Integración quirúrgica

Figura 1. Impulsores y medios de tecnologías médicas *Smart*.

rente según las diferentes tecnologías *smart*; hay un rango amplio de estas tecnologías que no comprometen obras finalizadas. Entre éstas, se encuentran las soluciones tecnológicas cuyos prerrequisitos se limitan a conexiones inalámbricas, desarrollo de software y/o incremento de elementos electrónicos de los sistemas IT.

Tecnologías médicas *smart* sin (o casi) prerrequisitos en obra son, por ejemplo, los equipos de telemedicina, las impresoras 3D, los dispositivos de pequeño tamaño como pulseras, chips pegados a la piel u otros *wearables*. Con lo que, si la tendencia es aumentar el número de datos recolectados, se deberán poseer potentes diseños de interconexión, algoritmos de análisis y elementos de decisión que hagan de toda la recolección de datos una acción útil e indispensable capaz de mejorar los diagnósticos y experiencia del usuario. Esta familia de tecnologías médicas *smart*, orientadas a la experiencia clínica del paciente pero con pocos requisitos de obra, incluye sistemas y equipos robotizados dotados de inteligencia artificial. Los *serious games*, la realidad virtual y aumentada, pueden ayudar in-situ a entender síntomas, realizar diagnósticos y terapias, planificaciones, facilitar la comprensión y aumentar la información de calidad entregada al paciente.

LA UCI DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL JOAN XXIII

Diseñar un servicio de cuidados intensivos *smart* es elegir unas coordenadas dentro de un espacio muy amplio de posibilidades de integración de señales de todos los orígenes, monitorización de las mismas y gestión también de dichas señales de forma activa. En este hospital, se analizó el funcionamiento de acuerdo a las

necesidades clínicas, se determinaron los requerimientos de comunicación entre dispositivos, y se decidió una solución modular y única para su caso.

Para empezar el proyecto *smart* UCI desde las necesidades, nos centramos en la integración de señales de dispositivos médicos, domóticos y de sistemas informáticos desde la visión clínica, lo cual nos permitirá controlar todos los subsistemas necesarios dotando de un componente *smart* al servicio.

Construimos el concepto de *smart* UCI sobre cuatro sistemas fundamentales que conectarán entre ellos, de forma uni o bidireccional:

- monitorización de equipos biomédicos;
- sistema departamental y de gestión centralizada de alarmas;
- sistema de interacción con la infraestructura; y
- sistema de indicadores de parámetros ambientales.

Este planteamiento es escalable porque cada sistema lo podemos desgarnar en subsistemas de actuación más específicos, y a la vez nos permite trabajar con una filosofía de máximos para prever en fase de diseño todos los requerimientos de instalación de la *smart* UCI que se deben dejar en obra.

El sistema de monitorización

Lo conforman los equipos de electro-medicina que generan datos y parámetros de interés para trazar, prever y analizar la evolución del paciente. En el box de la UCI el paciente se conecta al monitor de cons-

tantes, al ventilador mecánico, bombas de infusión o de jeringa, máquina de hemodíalisis, equipo de ECMO, la cama clínica eléctrica para UCI, etc. También genera datos, a la vez que tiene conexión al sistema de información del hospital, el ordenador de trabajo del personal médico a pie de cama.

Todos estos equipos se deben conectar a la red IP para intercambiar información. La tendencia de la tecnología para los equipos biomédicos es incluir *wifi* pero, por razones de seguridad y de diseño, algunos equipos se conectan todavía mediante toma RJ-45 o incluso puerto serie. Todos estos equipos requieren de tomas de RJ-45 dentro del box y cerca del paciente.

Estos datos –los de los equipos biomédicos– viajarán cada uno hasta su propia central de monitorización correspondiente. Esta conexión, por temas de seguridad, es imprescindible. Las centrales necesitan puntos de datos para conectarse y sus pantallas de visualización continua se ubican en el control de enfermería.

Departamental y gestión de alarmas

El sistema de gestión departamental recoge los datos numéricos y curvas provenientes de los equipos para hacer análisis de los mismos y crear avisos médicos. Permite comunicarse con los sistemas de información, otros servicios, e incluir los datos en la historia clínica del paciente. Esta gestión permitirá mostrar los datos en el control de enfermería, y/o en los periféricos oportunos, procesarlos de forma gráfica o realizar predicciones con el objetivo final de ayudar al personal asistencial a va-

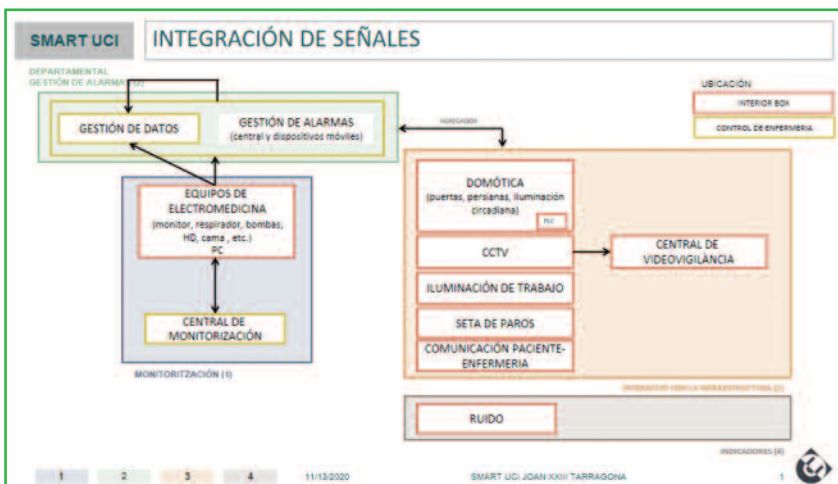


Figura 2. Diagrama conceptual genérico para una smart UCI.



Figura 3. Tomas en la columna de suministros cerca del paciente.

lorar la situación en tiempo real del paciente. Además, sin instalación añadida, pero con aplicaciones informáticas específicas, el sistema de gestión departamental se puede completar con sistemas de inteligencia artificial (meta-análisis de datos).

Por otro lado, el sistema de gestión de alarmas de la unidad de críticos recoge los datos de las alarmas emitidas por los equipos de electromedicina y otras fuentes de generación (como el sistema de aviso de paciente-enfermera) y las replica en periféricos. En el subsistema de gestión de alarmas existen alternativas como:

- una central de visualización de las alarmas de todos los sistemas (de equipos médicos, cámaras, domótica, etc);
- sistema de distribución de alarmas a pequeños dispositivos individuales, similares a un móvil, destinados a cada asistencial del servicio, llegando a evitar 3 turnos del responsable de visualización de las centrales de alarmas fijas del control de enfermería.

Todos los dispositivos instalados para cumplir estas funciones deberán tener acceso a los datos emitidos por los equipos biomédicos en uso.

Interacción con la infraestructura

El sistema permite, a partir del análisis de los datos biomédicos generados por el paciente, activar otros subsistemas para facilitar, adaptar o alertar al personal. Si en un box, el sistema de monitorización de paciente recibe señales compatibles con parada cardiorrespiratoria, la conexión con el subsistema de domótica puede actuar sobre la puerta del box, las persianas, las cámaras de seguridad o el sistema de iluminación. Estas interacciones se deben plantear en la fase de diseño para facilitar su instalación.

La comunicación paciente-enfermera permite enviar notificaciones al personal asistencial y establecer comunicación por voz. Se ha de prever la posibilidad de que interactúe con el subsistema de gestión de alarmas y domótica.

Finalmente se incorpora en la gestión de señales domóticas el sistema de indicadores. Estos elementos nos proporcionan valores sobre la calidad del ambiente. Tanto sea el de indicación con un gradiente lumínico si sobrepasa el límite prefijado, como de temperatura, humedad, etc.

LOS QUIRÓFANOS DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL JOAN XXIII

En el proyecto del nuevo bloque quirúrgico del Joan XXIII el análisis de necesidades se cruzó con un *benchmarking* amplio de las tecnologías, existentes en el mercado o con un tiempo aceptable de desarrollo, y se eligieron las que ofrecían mejor relación esfuerzo-impacto.

Interacción asistencial con el paciente

Se incluye la monitorización continua de las constantes vitales del paciente. Se prevé incorporar al paciente un *wearable* al inicio del proceso quirúrgico capaz de monitorizar las constantes vitales del portador para controlar la evolución del paciente durante todo el proceso quirúrgico (se podría usar incluso en espacios exteriores al Hospital para realizar un seguimiento domiciliario). También se prevé complementarlo con un sistema de tracking y localización mediante la adaptación RFID o *bluetooth* de la pulsera, para hacerla emisora, y el despliegue de la infraestructura de *gateways*, receptores, capaces de triangular la geolocalización. Esta información es útil para actualizar información a familiares y clínicos, monitorizar el proceso y leer tiempos quirúrgicos. El proyecto ejecutivo de instalaciones prevé las instalaciones necesarias para la ubicación y alimentación de estas tecnologías de *trackeado*.

Procesos de atención

Son varias las tecnologías *smart* presentadas en la Figura 1 que impactan en los procesos de atención al paciente en el entorno quirúrgico y se han incluido en el proyecto que comentamos: la impresión 3D para modelos quirúrgicos y presentación al paciente, previsión de *wearables* para *trackeado* y seguimiento de constantes (ver párrafo anterior), uso de la telemedicina (videoconferencia y transmisión de imágenes) a través del proyecto de integración que se presenta en el punto 4, y finalmente, incorporación de robots quirúrgicos.

Los robots con finalidades terapéuticas dentro del entorno quirúrgico están especializados en la ejecución de procesos mecánicos de elevada precisión; existen robots específicos para cirugía laparoscópica en urología, ginecología, traumatología y neurología, entre otras subespecialidades. En general, están compuestos por los brazos o componente eje-

cutora en contacto con el paciente, más la consola de tele-operación de dichos brazos, dirigida por el profesional quirúrgico y finalmente los dispositivos de visualización propios del sistema. Las tendencias actuales del mercado apuntan a la compactación y modularidad, de modo que la previsión en proyecto se ve favorecida porque no se deben preservar grandes reservas de espacio ni de consumo eléctrico. Tampoco el proyecto debe incluir previsiones en obra para nano-robots o micro-robots, cuya incorporación no afecta a las condiciones físicas de las salas.

En el otro extremo en cuanto a reserva de espacio y pre-instalaciones, están los sistemas robotizados de imagen avanzada, para los cuales se debe hacer previsión en proyecto en cuanto a pesos a soportar en forjados y pre-instalaciones eléctricas y de climatización. Estos sistemas deberán incorporarse acompañados de un proyecto específico, ligado al modelo concreto a instalar.

Logística y servicios de soporte

El bloque quirúrgico es un gran demandante de personas y tareas de soporte a la intervención quirúrgica que garanticen el correcto y preciso funcionamiento. Esto ejerce una fuerte presión sobre los sistemas de aprovisionamiento y servicios auxiliares como fungibles, material médico-quirúrgico, prótesis, implantes, material específico y medicamentos. Por ello, la implantación de sistemas logísticos automáticos optimiza los procesos, tiempos y recursos de soporte, libera cargas, evita errores y es la base para una gestión del stock automática, pedidos mecanizados, trazabilidad, etc.

Otras tecnologías *smart* relacionados con el BQ que se pueden incorporar en el futuro sin condicionar el proyecto ejecutivo son sistemas robotizados y autónomos de desinfección mediante UV, un departamental del servicio de esterilización y el hardware asociado para realizar el control.

Organización y diseño de la capacidad instalada

De nuevo, son varias las tecnologías *smart* presentadas en la Figura 1 que impactan en el diseño y organización de la capacidad instalada en el entorno quirúrgico: en el proyecto que presentamos optamos por prever la inclusión futura de la mayoría de ellas (impresión 3D, IoT, inte-

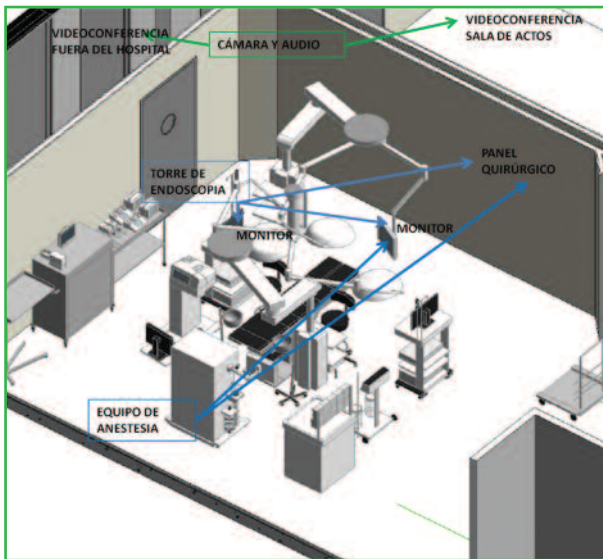


Figura 4. Esquema del viaje de señales dentro de la sala de operaciones.

gración de imágenes y datos intraoperatorios, *trackeado* de personas y materiales, automatización de procesos logísticos, etc). En general, estas tecnologías tienen una sencilla previsión en proyecto, que incluye tener en cuenta pesos, espacios y gran cantidad de alimentación eléctrica y de datos. Pero hay una tecnología cuya previsión en obra es compleja y afecta profundamente al proyecto arquitectónico y de instalaciones: la integración de imágenes y datos quirúrgicos.

El sistema de integración de imágenes y señales biomédicas avanzadas se desarrolla en una compleja red de conexión de equipos fuente y generadores, un despliegue de cableado, adaptadores y soporte para la transmisión de datos y los equipos receptores y visualizadores. Los equipos fuente son, en gran parte, equipos de electromedicina generadores de imagen clínica: torres de endoscopia, ecógrafos, angiógrafos, microscopios o neuronavegadores; también la cámara ambiental de quirófano o la de la lámpara quirúrgica e



Figura 5. Ejemplo de subestructura de anclaje entre el forjado y la platina de anclaje de la columna de suministros.

incluso el sistema PACS. El sistema también integra fuentes de datos como el HIS, LIS, equipos de anestesia, monitores de constantes, BEC, bombas de infusión, etc.

Para incluir sonido en la integración se debe instalar micrófonos en el interior del quirófano. Estas imágenes y sonidos viajarán hasta dispositivos de visualización dentro del mismo quirófano (monitores suspendidos de las columnas de suministros o embebidos en el perímetro de la sala de operaciones), en otra sala del bloque quirúrgico, en un espacio del Hospital o incluso fuera de la ciudad, país o continente. Este sistema favorece la tele-asistencia, el soporte remoto mediante videoconferencias, la formación y la divulgación.

Todo esto no se podría sustentar sin sistemas de información clínica informatizados, capaces de recoger todos los datos relevantes para la Historia Clínica del paciente con una interfaz agradable para el usuario. En términos de equipamiento podemos fortalecer el proceso implantando sistemas informáticos en los quirófanos, ordenadores, para el registro de datos y trabajo de enfermería.

En el proyecto del nuevo BQ del Hospital Joan XXIII se ha previsto incorporar un sistema de integración con diferentes niveles de complejidad. Cada nivel se asocia a una profundidad de integración o funcionalidades disponibles; así, las preinstalaciones necesarias y el hardware

de soporte también son proporcionales a la complejidad del acto quirúrgico. En global, para todo el BQ, se ha previsto garantizar un circuito libre de paso de una gran cantidad de cableado desde los puntos de origen de datos hasta los puntos finales de visualización pasando por

el rack, espacio para instalar componentes de transmisión y adaptadores de señales así como espacio físico para instalar la sala de servidores. Aunque se prevé la implantación de los departamentales, éstos no han condicionado el proyecto ejecutivo ya que carecen de un impacto en preinstalaciones.

Impacto de las tecnologías smart en la redacción del proyecto y la previsión del desarrollo de la obra

Para el bloque quirúrgico del Hospital Joan XXIII apostamos por unos quirófanos terminados y cerrados al máximo desde la fase de obra. Los plafones de pared se pueden instalar en fase de obra dejando perforados los espacios, dimensionados para alojar los monitores de visualización murales y las ventanas. Es necesario que las instalaciones lleguen hasta el punto de uso. Esto se puede realizar por todo el perímetro del quirófano a excepción del sitio de trabajo de enfermería y zona de control. En este caso se puede dejar la franja pendiente de cerrar, con otro material si fuera el caso, posterior a la instalación de todos los controles de iluminación, gases, persianas, temperatura, etc.

Y similar con los techos de las salas de operaciones. Si se ha previsto con antelación, la obra se puede cerrar antes de la adquisición y recepción del equipamiento de instalación a techo, como las lámparas quirúrgicas o columnas de suministros. Si bien es cierto que estos equipos necesitan de una sujeción robusta, debido a su peso y al momento que transmite, la obra puede dejar una estructura de soporte entre el forjado y el falso techo para que el proveedor adjudicatario del equipamiento pueda instalar ahí su placa de anclaje. La subestructura deberá permitir el paso de conductos de gases y tubos corrugados para posteriormente pasar el cableado que se ha quedado en la entrada de cada quirófano.

Esta metodología proporciona muchas ventajas de tipo constructivo, de calidad y tiempos. Pero se debe invertir el suficiente esfuerzo en la fase de diseño para definir el número y ubicación de las lámparas y columnas de suministros para cada quirófano, cuáles serán las principales fuentes de imagen, datos y audio, los receptores y visualizadores de imágenes y video dentro del quirófano sobre todo los perimetrales. Todo ello con la intención de dejar las preinstalaciones previstas y ubicados hasta el punto de uso.