# MATISSE: A Smart Hospital Ecosystem (MATISSE: Un Ecosistema Hospitalario Inteligente)

**Abstracto:**

Los procesos actuales en el hospital, parcialmente o incluso no automatizados, a menudo permiten que ocurran errores inaceptables, cuyos efectos pueden abarcar desde lesiones simples hasta mortalidad. Los recientes avances en el Internet de las cosas, las etiquetas inteligentes y las tecnologías en la nube pueden alterar de manera decisiva este hecho y minimizar tales "nunca eventos". En este documento, MATISSE se presenta como un ecosistema hospitalario inteligente, con el objetivo de disminuir decisivamente "nunca eventos" en la cadena de valor del hospital. En el ecosistema propuesto se respalda la verificación de medicamentos / píldoras en tiempo real / verificación de aptitud y administración de medicamentos, la identificación y asociación de pacientes con medicamentos y exámenes médicos, así como la evaluación de calidad en tiempo real. El ecosistema aprovecha la explotación de la información que se encuentra en etiquetas inteligentes (dinámicas) unidas a entidades físicas y virtuales del ecosistema, así como la integración de un carrito de medicamentos inteligente. El documento presenta los casos de uso admitidos y el diseño arquitectónico de la solución propuesta, a la vez que proporciona información sobre el ensamblaje de hardware y software del carrito de medicamentos inteligente.

**Publicado en:**[21a Conferencia Euromicro de 2018 sobre diseño de sistemas digitales (DSD)](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8490807/proceeding)

**Fecha de la conferencia:** 29-31 de agosto de 2018

**Fecha añadida a IEEE *Xplore* :** 15 de octubre de 2018

**Información del ISBN:**

**Número de acceso de INSPEC:** 18166647

**DOI:**[10.1109 / DSD.2018.00083](https://doi.org/10.1109/DSD.2018.00083)

**Editorial:**IEEE

**Lugar de la conferencia:** Praga, República Checa

**SECCIÓN I.**

## **Introducción**

Los errores médicos en el hospital a menudo conducen a los llamados eventos nunca del sitio, procedimiento, paciente (WSPE) incorrectos; errores prevenibles que pueden provocar lesiones temporales o incluso la mortalidad. Nunca Los eventos incluyen medicamentos incorrectos, caducados, retirados del mercado o defectuosos, diagnóstico incorrecto debido a trastornos en los exámenes médicos, terapia inexacta debido a la falta o registros electrónicos de salud (EHR) de los pacientes no actualizados. Por otra parte, nunca acontecimientos conducen a costos significativos para los hospitales afectados, que van desde 700to9,000 por caso en promedio. Se ha informado que los errores médicos representan 2.4 millones de días adicionales de hospitalización, $ 9.3 mil millones en cargos en exceso y 32,600 muertes [1] . Los errores en la cirugía también son un hecho, lo que lleva a 9,744 acuerdos de negligencia pagados por casos quirúrgicos nunca ocurridos entre 1990 y 2010 [2] , donde el 6.6% de los pacientes condujeron a la mortalidad y el 32.9% en lesiones permanentes. La Universidad Johns Hopkins aprobó la experimentación y posterior publicación de P. Pronovost et al. [3]lo que demostró que la aplicación de un procedimiento de lista de verificación en ciertos hospitales de Michigan salvó más de 1,500 vidas y casi $ 100 millones. Nunca se pueden atribuir eventos a la falta de cumplimiento por parte de los profesionales de las normas de seguridad de los hospitales, errores humanos, información errónea o engañosa (por ejemplo, una marca de medicamento mal interpretada). A pesar de los continuos esfuerzos por optimizar las reglas de seguridad en todo el mundo, nunca se producen eventos. Indicativamente, se han registrado al menos 445 eventos Never desde abril de 2016 hasta marzo de 2017 en el Sistema de Información Ejecutiva Estratégica de Inglaterra (StEIS) [4] , mientras que es cuestionable si los WSPE se pueden eliminar alguna vez, sin explotar profundamente el Internet de las cosas (IoT) y tecnologías relevantes, como etiquetas inteligentes.

IoT es un catalizador para el cuidado de la salud, abriendo grandes perspectivas en la calidad de los servicios médicos. De hecho, se espera que la IoT global en el cuidado de la salud crezca a una tasa compuesta anual del 38% entre 2015 y 2020, según un estudio de mercado de P&S [5] . Además, Transparency Market Research informa que el uso de tarjetas inteligentes en el cuidado de la salud podría disminuir la tasa de error de los datos de pacientes que no coinciden del 10% al 15% a tan solo el 2% [6] , mientras que se espera que el mercado respectivo alcance los $ 14.17Bn para 2023 en 7,4% CAGR de 2016 a 2023.

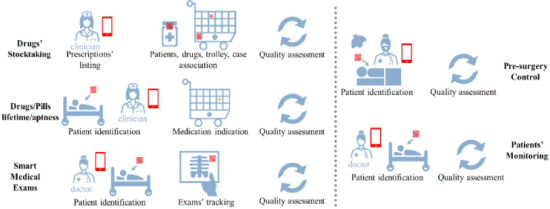
En este documento, se presenta el sistema MATISSE, que tiene como objetivo minimizar los errores de nunca suceso desde la admisión hasta el monitoreo postoperatorio a través de la automatización de procesos médicos y la evaluación de calidad basada en etiquetas dinámicas. MATISSE asigna etiquetas inteligentes dinámicas, en lugar de códigos de barras o RFID de uso común a todas las entidades (desde pacientes y carros inteligentes hasta medicamentos y cardiogramas), reduciendo el costo general de la solución, al tiempo que respalda la evaluación de calidad, confiabilidad, seguimiento verificable, condiciones de almacenamiento y usabilidad .

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. La Sección II proporciona una visión general de las soluciones relevantes propuestas para la prevención de errores en los hospitales. La Sección III presenta la solución MATISSE, enumerando los casos de uso admitidos. La Sección IV discute modelos innovadores de negocios de eSalud basados ​​en el sistema MATISSE. La sección V describe la arquitectura de la plataforma MATISSE, mientras que las secciones VI y VII presentan las etiquetas inteligentes MATISSE y el carro inteligente MATISSE correspondientemente. La Sección VIII da una idea del piloto de la plataforma MATISSE y la Sección IX concluye este documento.

**SECCION II.**

## **Trabajo relacionado**

En los últimos años, los sistemas que apuntan a la mejora de los procedimientos médicos existentes ejecutados dentro de un entorno hospitalario, aprovechando los avances recientes de IoT, computación en la nube y análisis, han aparecido principalmente apuntando a la reducción de errores en el hospital, especialmente los errores atribuidos al factor humano.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-1-source-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-1-source-large.gif)

**Figura 1:**

Los casos de uso de MATISSE

[Ver todo](https://ieeexplore.ieee.org/document/8491854/all-figures)

Por este motivo, se han considerado avances tecnológicos en el apoyo a procesos de medicación sin errores en [7] , indicando carritos de medicación inteligentes, robots y dispensadores para profesionales o dispensadores inteligentes para usuarios ingenuos como componentes propuestos que podrían integrarse en arquitecturas de eliminación de errores. Se sugiere que a cada paciente se le asigne un dispensador de medicamentos personal que gestione todos los medicamentos que deben recibirse.

En otra dirección, se han propuesto carritos de medicamentos inteligentes para la reducción de errores en la administración de medicamentos en casos de uso aislados en las ofertas actuales del mercado; Se ha entregado un carrito de medicamentos inteligente en DRIVE, financiado por la UE [8] , que utiliza códigos de barras 2D en medicamentos y dispositivos de escaneo en el carrito, lo que permite el inventario automático y el reordenamiento de los productos en el carrito. Un carro de cuidado inteligente también se presenta en [9], que puede moverse de forma autónoma dentro del hospital o seguir al personal de enfermería y puede proporcionar automáticamente servicios de atención y controlar su consumo. Además, 'una arquitectura de sistema inteligente y móvil basada en Lab-on-Chip (LoC) que permite la integración de biosensores o transductores electroquímicos, dando lugar a oportunidades para diagnosticar mejor la enfermedad, predecir y monitorear la eficacia del tratamiento personalizado, o proporcionar toma de decisiones de atención médica El apoyo en el Punto de Atención (PoC) se presenta en [10] .

Además, TAPPS [11] apunta a la extensión y personalización de dispositivos Cyber-Physical con servicios y características de terceros. Con respecto al dominio de la salud, donde las soluciones verticales se aplican regularmente para tratamientos específicos, TAPPS tiene como objetivo abrir estas soluciones hacia dispositivos multipropósito, donde se pueden instalar aplicaciones para diagnósticos o tratamientos específicos.

Los aspectos de seguridad y los riesgos inminentes de los sistemas médicos inteligentes móviles se analizan en [12] . Los tipos de posibles peligros examinados en este trabajo incluyen las vulnerabilidades de un cliente móvil, los riesgos de las transmisiones de datos, las redes hospitalarias y los servidores que combinados pueden conducir a la exposición del paciente, las vulnerabilidades generales del sistema y el robo de privacidad.

Los esfuerzos antes mencionados hacia mejoras y pruebas de errores de los procedimientos hospitalarios son de enorme importancia. Sin embargo, hasta donde sabemos, no hay esfuerzos para integrar realmente un gran número de etiquetas inteligentes de medicamentos, exámenes, dispositivos móviles / médicos, sensores, equipos médicos, pacientes, médicos en toda la cadena de valor del hospital, al tiempo que se apoya la evaluación de calidad en la prevención de errores. .

**SECCION III.**

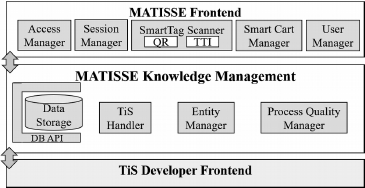
## **La solución de Matisse**

¡MATISSE tiene como objetivo disminuir significativamente los eventos nunca en la cadena de valor completa del hospital, construyendo sobre el TagItSmart! (TiS) plataforma [13]en un piloto de eHealth de la vida real. Aprovechando IoT, etiquetas inteligentes dinámicas y tecnologías de computación en la nube, MATISSE crea un ecosistema de atención médica más seguro al simplificar, automatizar y verificar el seguimiento, los informes y el monitoreo interno del hospital. MATISSE se realiza como un servicio de tratamiento hospitalario innovador e inteligente que, basándose en información pasiva y activa almacenada en etiquetas inteligentes, permite la verificación de la vida útil / medicamentos en tiempo real de medicamentos / píldoras (es decir, no expiró / retiró / desertó debido a la exposición al calor , luz, humedad), apoyo a la administración de medicamentos a través de la identificación de los pacientes y asociación con medicamentos y exámenes médicos (por ejemplo, cardiograma, rayos X, tomografía computarizada, resonancia magnética o PET), así como evaluación de calidad en tiempo real.

MATISSE actúa como una extensión de coordinación de procesos médicos no intrusiva además de los procedimientos existentes, basada en el etiquetado inteligente de pulseras, medicamentos, carros y exámenes de medicamentos, y dispositivos dedicados o teléfonos móviles para asociar a los pacientes con registros y exámenes médicos (es decir, CT, Resonancia magnética, etc.). La plataforma admite los casos de uso (UC) de la Fig. 1 , que se detallan a continuación.

### Caso de uso 1

Inventario de drogas. El clínico visualiza las recetas de los pacientes en su dispositivo móvil / teléfono y las asocia con el contenido del carro a través de la etiqueta del carro. Las etiquetas de los medicamentos se escanean antes de insertarlas en los cajones para verificar que sean correctas, que no hayan caducado, recuperado o que hayan desertado, o que no haya modificación del tratamiento. La información de la etiqueta verifica el almacenamiento adecuado de los medicamentos y la ejecución del proceso.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-2-source-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-2-source-large.gif)

**Figura 2:**

La arquitectura de alto nivel MATISSE

[Ver todo](https://ieeexplore.ieee.org/document/8491854/all-figures)

### Caso de uso 2

Drogas / Pastillas de por vida / idoneidad. Al visitar a los pacientes, el médico combina los cajones del carrito, los medicamentos y el paciente, escaneando etiquetas inteligentes y enumera información sobre la terapia del paciente, así como las alergias a medicamentos específicos. La señalización especial en el carrito inteligente indica la posición correcta de los medicamentos del paciente. La información dinámica de etiquetas inteligentes se utiliza para validar la ejecución del proceso.

### Caso de uso 3

Exámenes médicos inteligentes. Los exámenes médicos (CT, MRI, cardiografía, mosaicos) son parte del ecosistema inteligente del hospital, por lo que los errores de diagnóstico causados ​​por las confusiones mientras se verifican los pacientes hospitalizados y se minimizan sus exámenes médicos. Las etiquetas inteligentes dinámicas respaldan la evaluación de calidad.

### Caso de uso 4

Control prequirúrgico. Durante el control previo a la cirugía, los médicos involucrados escanean la etiqueta inteligente del paciente (es decir, anestesiólogo, cardiólogo, neumólogo) para recuperar los registros electrónicos de salud del paciente (EHR), información sobre síntomas, posibles alergias y detalles de operación, evitando errores de diagnóstico. La información dinámica de etiquetas inteligentes revela la corrección de la ejecución del proceso.

### Caso de uso 5

Seguimiento de pacientes. MATISSE facilitará a los médicos durante las visitas periódicas a las habitaciones del hospital. A través de la exploración de etiqueta inteligente del paciente, el médico es capaz de acceder del paciente **EHR** historial de tratamiento y en el hospital, así como los resultados de los últimos exámenes médicos. La información dinámica de etiquetas inteligentes revela la corrección de la ejecución del proceso.

Por último, pero no menos importante, el sistema MATISSE incorpora un ***carro inteligente*** , que puede interactuar con otros dispositivos MATISSE (por ejemplo, teléfonos inteligentes y tabletas) y conducir la preparación del carro con los medicamentos correctos, así como su entrega a los pacientes, utilizando luz y sonido. Indicaciones

**SECCION IV.**

## **Modelos innovadores de negocios de salud electrónica**

MATISSE innova en prevención de errores hospitalarios y procedimientos médicos / verificación de aptitud de medicamentos, evitando eventos nunca. Las etiquetas inteligentes dinámicas ayudan a automatizar los procesos médicos y garantizar su ejecución correcta y el almacenamiento adecuado de los medicamentos. El intercambio mutuo de conocimientos (como **EHR** y posición de etiquetas) permite la optimización de la logística de medicamentos, la reducción de costos y la configuración de la reputación.

Además, el ecosistema propuesto construye un innovador carro inteligente de medicamentos. Los carritos de medicamentos inteligentes ya han avanzado y se están mejorando aún más a través de la investigación en curso. El conocimiento generado a partir de la información activa sobre el uso dinámico de etiquetas inteligentes de trolley trae una nueva generación de servicios, basada en la evaluación de calidad de MATISSE mediante la verificación de la ejecución correcta del proceso. Estos procedimientos de evaluación y verificación podrían ampliarse gradualmente más allá de los casos de uso de MATISSE mencionados anteriormente, asegurando la exactitud de cada acción ejecutada dentro de un entorno hospitalario, generando desde la realización precisa de un examen médico hasta la asistencia en cirugía, etc.

La reducción de eventos nunca elevará la reputación de los hospitales y aumentará la eficiencia del personal, con un reflejo en el ahorro de costos y la mejora de los servicios prestados, un hecho que llevará a los hospitales a apoyar el sistema MATISSE. Además, se espera que las compañías de seguros médicos presionen a los hospitales privados para que instalen dicho sistema y obtengan tarifas más bajas en sus contratos de seguro médico.

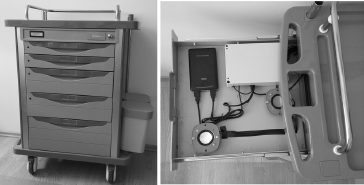
En conclusión, MATISSE permite la creación de nuevos modelos de negocio, creando flujos de ingresos tanto de la optimización de los servicios de apoyo a la salud como de la configuración de la reputación de los hospitales. El paradigma MATISSE permitirá que tanto hospitales públicos como privados, médicos y expertos médicos reclamen y prueben procedimientos sin errores, lo cual es crítico para la seguridad nacional.

**SECCION V.**

## **Thematisseplatform Architecture**

La arquitectura de alto nivel de MATISSE se presenta en la figura 2 . Como se muestra en la figura, la arquitectura de la plataforma está compuesta por dos grupos de componentes, a saber:

* el Frontend MATISSE, que proporciona funcionalidad de frontend. Este grupo de componentes interconecta una serie de dispositivos habilitados para MATISSE (exploración, identificación, autorización, comunicación, control) a través de sus etiquetas inteligentes adjuntas, administra a los usuarios que acceden a la plataforma, el carrito de medicamentos inteligentes y las sesiones en línea, la autenticación y autorización requeridas servicios, al tiempo que proporciona interfaces de usuario intuitivas y fáciles de usar (aplicaciones móviles, panel de control en línea).
* MATISSE Knowledge Management, que crea y administra entidades virtuales para los dispositivos involucrados y entidades Smart Tags para pacientes y objetos (por ejemplo, exámenes), se ocupa del acceso seguro a los datos almacenados y la autenticación del usuario, así como gestiona adecuadamente los datos insertados o solicitados del marco MATISSE. Esta capa arquitectónica es responsable de la gestión de la calidad del proceso, el almacenamiento de datos y la comunicación con la plataforma TiS.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-3-source-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-3-source-large.gif)

**Figura 3:**

El carro inteligente MATISSE

[Ver todo](https://ieeexplore.ieee.org/document/8491854/all-figures)

Los usuarios finales (médico, médico, cirujano, etc.) pueden acceder a los servicios de MATISSE a través de una aplicación móvil segura, instalada en su teléfono móvil. Además, los actores pueden actualizar el EHR y los datos de los pacientes a través del panel en línea de MATISSE. A continuación se presentan el papel y la funcionalidad de los componentes principales de la arquitectura MATISSE.

### Administrador de acceso

Access Manager (AM) es realizado por la interfaz de MATISSE y proporciona la interfaz de usuario (UI) de MATISSE. En el ámbito de la aplicación móvil MATISSE, el AM admite servicios de autenticación y autorización que emplean OAuth2.0 y luego otorga acceso a su menú principal, donde, dependiendo del tipo de usuario que haya iniciado sesión, puede permitir o no la ejecución de un caso de uso específico. En el ámbito del Tablero MATISSE, el AM admite operaciones de creación, lectura, actualización, eliminación (CRUD) en los diversos recursos de la plataforma.

### Smart Cart Manager

Smart Cart Manager (SCM) está totalmente implementado por MATISSE Knowledge Management y es responsable de proporcionar servicios relacionados con el carrito inteligente. Se activa a través del Administrador de acceso, cuando un usuario selecciona una de las opciones de inventario de medicamentos y medicamentos en el hospital. Para *el inventario de medicamentos* , se escanea la etiqueta del carrito inteligente y el SCM obtiene la lista de pacientes con recetas pendientes dentro de un rango de tiempo definido y los asocia a los cajones del carrito inteligente. Luego es responsable de notificar al Smart Cart las indicaciones visuales que deben activarse. Además, SCM monitorea el estado de las trampas colocadas en cada cajón, generando una alerta sonora cuando se abre el cajón incorrecto. Para *medicación en el hospital*, el SCM se activa cuando se escanea una etiqueta de paciente. Luego es responsable de obtener información sobre el paciente específico, obtener el cajón asociado, indicar al carrito inteligente la indicación de que debe activarse o simplemente notificar al usuario que el paciente específico no tiene recetas que se le deben proporcionar. En ambos casos, el SCM también se comunica con el Administrador de acceso entregando la información necesaria para el usuario.

### Almacenamiento de datos

El componente de Almacenamiento de datos (DS) está totalmente implementado por la Gestión del conocimiento de MATISSE y proporciona almacenamiento, así como acceso a la base de datos y operaciones de gestión para los datos de MATISSE. Se implementa como una base de datos relacional y admite el almacenamiento de toda la información necesaria para la operación MATISSE, incluidos pacientes, medicamentos, recetas, exámenes, cirugías, alergias, admisiones, usuarios, carros inteligentes, cajones de carros inteligentes, etc. El DS permite que asociación de pacientes con exámenes, cirugías, alergias, etc., recetas con pacientes y medicamentos y otras asociaciones esenciales. El acceso a los datos almacenados en el DS se habilita a través de una Interfaz de Programa de Aplicación (API) de Representational State Transfer (REST), que ofrece tanto interfaces simples a tablas de bases de datos como consultas más complejas.

### Tis Handler

Este componente es responsable de comunicarse con la plataforma TiS. Reenvía las solicitudes de servicios TiS y comunica los resultados al Entity Manager para procesarlos aún más. En la arquitectura del prototipo, el controlador TiS es responsable de reenviar solicitudes relacionadas con medicamentos a la plataforma EVRYTHNG empleada [14] .

### Gerente de la entidad

El Entity Manager (EM) es responsable de procesar la información relacionada con cualquier tipo de Entidad que aparezca en la plataforma MATISSE. Una entidad puede ser física o virtual, representando el conjunto de servicios soportados por la entidad física con la que está correlacionada. Dentro de MATISSE, una Entidad puede ser una etiqueta inteligente, un artículo de drogas, un carrito inteligente, un cajón, un paciente, un examen o cualquier cosa que pueda adjuntarse con una etiqueta inteligente. A nivel operativo, el EM recibe los resultados de los servicios de TiS consumidos y recopila toda la información necesaria para identificar el tipo de entidad relevante específica. Además, el EM es responsable de comunicar la información de la entidad identificada, después de un escaneo del sistema, al Process Quality Manager. Finalmente, el EM es responsable de manejar las asociaciones y disociaciones entre las entidades de MATISSE.

### Gerente de Calidad de Procesos

El Administrador de Calidad del Proceso (PQM) es implementado por la Gestión del Conocimiento de MATISSE y es responsable de realizar un seguimiento de las actividades realizadas dentro de cualquier componente de MATISSE, asegurando que se hayan seguido los procedimientos de calidad del proceso. Para este propósito, PQM recopila información sobre eventos de escaneo y almacena información relevante en el DS.

### Gerente de sesión

El Administrador de sesión (SM) está totalmente implementado por la aplicación móvil MATISSE y se refiere a los casos de uso relacionados con el carrito inteligente. Sus principales responsabilidades incluyen la inicialización, actualización y cierre de sesiones en línea. La posible duración de una sesión, aunque está definida por el proveedor de oAuth2.0, es configurable y se establece en 10 horas, lo que se considera un intervalo de tiempo seguro, que cubre el caso de una enfermera que trabaja horas extras. Por supuesto, como la aplicación maneja datos médicos confidenciales, el usuario siempre debe cerrar sesión cuando se completen todas sus tareas.

### Smarttag Scanner

El SmartTag Scanner (SSc) permite escanear etiquetas inteligentes y utiliza la utilidad de cámara del dispositivo que ejecuta la aplicación móvil MATISSE. Por lo tanto, está completamente implementado por este componente.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-4-source-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-4-source-large.gif)

**Figura 4:**

Ejemplo de la etiqueta combinada MATISSE

[Ver todo](https://ieeexplore.ieee.org/document/8491854/all-figures)

La arquitectura del sistema prototipo MATISSE implementado es capaz de admitir un número arbitrario de carros inteligentes que podrían usarse dentro de los diferentes departamentos de un hospital y un número arbitrario de usuarios que inician sesión simultáneamente en diferentes instancias de la aplicación móvil MATISSE. Además, la arquitectura del sistema implementado se puede implementar fácilmente. Estos hechos demuestran que la arquitectura del sistema MATISSE propuesta se puede aplicar fácilmente en grandes hospitales, donde se deben atender múltiples médicos, enfermeras o carros inteligentes para satisfacer las necesidades de los pacientes.

**SECCION VI.**

## **Las etiquetas inteligentes de Matisse**

Para el primer prototipo MATISSE integrado, se utilizan dos tipos de etiquetas:

* Códigos funcionales (FC) en forma de códigos de respuesta rápida (QR)
* Indicadores de tiempo y temperatura (TTI) sensibles en dos valores de temperatura umbral (superior e inferior) para garantizar que el medicamento se almacene entre 2 y 8 ° C.

Las siguientes subsecciones presentan con más detalle la solución TTI adoptada en MATISSE, así como la etiqueta combinada, compuesta por código TTI y QR, adjunta en los envases de los medicamentos.

### A. Shockwatch Healthcare Cold Chain Complete

La solución TTI adoptada en MATISSE es ShockWatch Healthcare Cold Chain Complete, que incluye una marca de frío y una marca de calor para el límite inferior (2 ° C) y superior (8 ° C) de las condiciones de almacenamiento adecuadas para medicamentos, que deben ser mantenido fresco Las características principales de los TTI empleados son:

* ColdMark: cambio de color visual, irreversible claro a púrpura en la ventana de activación
* WarmMark: Visual, cambio irreversible de color blanco a rojo en la ventana de activación
* Método de activación: Manual: despegue la etiqueta
* Vida del producto: 2 años a partir de la fecha de venta cuando se almacena como se recomienda
* Vida activa del producto: 6 meses siempre que el período de tiempo completo no exceda de 2 años
* Rango de temperatura de funcionamiento (estado activado): +2 ° C a +8 ° C
* Período de tiempo de exposición a la temperatura de activación: 30 minutos
* Precisión de temperatura: +/- 1 ° C

Las ITT con las características antes mencionadas se adjuntan solo a medicamentos que requieren condiciones especiales de almacenamiento.

### B. La etiqueta combinada de Matisse

Durante el caso de uso del Inventario de Medicamentos, se adjuntarán medicamentos tanto a los códigos QR como a las TTI para proporcionar información relacionada con los medicamentos y validar las condiciones de almacenamiento adecuadas, respectivamente. Aunque estas etiquetas se adjuntarán una al lado de la otra, se considerarán como una etiqueta combinada. Esta etiqueta combinada tendrá la forma del ejemplo que se muestra en la figura 5 .

Ambos tipos de etiquetas se escanean con un teléfono móvil. En el caso del código QR, el escáner del teléfono móvil codificará la url asignada al medicamento actual, mientras que en el caso TTI, la aplicación móvil MATISSE podrá reconocer si hay una indicación visual de que se están violando los umbrales de temperatura. Para proporcionar tales servicios, MATISSE explotará en la medida de lo posible, los servicios proporcionados por TagItSmart! Plataforma.

**SECCION VII.**

## **El carro inteligente Matisse**

MATISSE se integra con un carro inteligente, que incorpora una computadora de bajo costo habilitada para comunicaciones (Rasp-berry Pi3) para proporcionar funcionalidad computacional, un dispositivo de batería, así como un conjunto de LED y altavoces para admitir indicaciones de luz y sonido. El carro inteligente MATISSE está involucrado en el inventario y distribución de medicamentos a los pacientes. Expone las siguientes características principales:

* Asociación de cajones y contenedores para pacientes, pendiente de provisión de medicamentos.
* Indicación luminosa del cajón y contenedor correctos correspondientes al paciente actual
* Notificación sonora de apertura incorrecta del cajón (no corresponde al paciente actual)
* Pantalla LCD de información útil (por ejemplo, paciente actual, usuario actual)
* Comunicación e integración con la aplicación móvil MATISSE.
* Comunicación segura con el componente de fondo MATISSE
* 10 horas de tiempo de ejecución

Dentro de MATISSE, el carrito inteligente se utiliza para facilitar y automatizar el proceso de preparación y distribución de medicamentos a los pacientes, al tiempo que se minimizan los posibles errores que pueden ocurrir durante estos procesos.

### A. Componentes de hardware

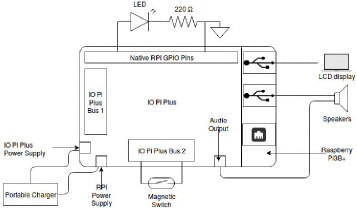
Para la construcción e implementación del Smart Cart del prototipo MATISSE se utilizaron los siguientes componentes de hardware.

* Raspberry Pi 3 Modelo B +: La unidad de procesamiento elegida para todas las operaciones esenciales en el carrito es la última revisión de Raspberry Pi (RPi). Esta placa ofrece una pluralidad de interfaces y puertos GPIO capaces de cubrir una gran parte de las operaciones deseadas que el carrito inteligente necesita llevar a cabo.
* ModMyPi WiFi Dongle: La revisión empleada de RPi tiene un adaptador WiFi incorporado. Sin embargo, se utiliza un Dongle WiFi externo para mejorar el alcance del adaptador y garantizar que el Smart Trolley de MATISSE esté siempre en línea.
* AB Electronics IO Pi Plus: IO Pi Plus es un expansor de puertos de 32 canales para Raspberry Pi. Está conectado al RPi a través de la interfaz I2C disponible y ofrece 32 puertos GPIO adicionales, aumentando su total a 58, un número adecuado para las operaciones de Smart Cart.
* LED verde súper brillante de 5 mm: se colocan un total de 52 LED en el carrito inteligente como indicadores. Se coloca un LED externo en cada uno de los 4 cajones del carrito, mientras que otros LED se colocan internamente en cada uno de los 12 compartimientos de un cajón.
* Interruptores magnéticos: se ha colocado un interruptor magnético en la parte posterior de cada cajón para que el RPi esté atento a su apertura.
* Altavoces USB: se ha incluido un juego de dos altavoces con alimentación USB de 3 W en el Smart Cart para que suene una alarma cada vez que se abre un cajón incorrecto.
* Pantalla LCD 16 × 2 RGB Adafruit con kit de mochila USB: se ha adjuntado una pantalla LCD 16 × 2 en la parte frontal del carro y contiene información sobre la identidad del operador actual del Smart Cart y el paciente actual. La pantalla viene con un USB y una mochila en serie para la comunicación con el RPi.
* Cargador portátil RAVPower 16750 mAh: la naturaleza de la aplicación requiere que se utilice un cargador portátil. El seleccionado viene con una capacidad suficiente para múltiples sesiones de Smart Cart. Ofrece dos salidas USB, una de 2.4A y otra de 2.1A, que cuando se combinan proporcionan suficiente corriente para el funcionamiento de los componentes antes mencionados.

La siguiente subsección ofrece una breve descripción del procedimiento de ensamblaje del carro inteligente.

### B. Ensamblaje de hardware

En esta sección se describe la interconexión de cada uno de los componentes con el RPi, tal como se presenta en la figura 5 . En primer lugar, el IO Pi Plus se apila y suelda en el RPi a través de los encabezados provistos. El expansor debe tener su propia fuente de alimentación, una fuente que se proporciona a través de la salida 2.1A del cargador portátil. Cuando se instala el expansor, estarán disponibles 32 pines GPIO adicionales, lo que hace posible que todos los cajones incluyan indicaciones LED para cada contenedor junto con interruptores magnéticos para notificar al RPi cada vez que se abre un cajón.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-5-source-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8490807/8491778/8491854/8491854-fig-5-source-large.gif)

**Figura 5:**

El ensamblaje de hardware del carro inteligente

[Ver todo](https://ieeexplore.ieee.org/document/8491854/all-figures)

En segundo lugar, los LED y los interruptores magnéticos deben conectarse a los pines GPIO disponibles. Cada LED necesita una resistencia de 220 entre el ánodo y la tierra, mientras que el cátodo está conectado al pin GPIO correspondiente, que puede ser el pin nativo de un RPi o el expansor. Los interruptores magnéticos también están conectados entre la tierra y un pin GPIO. Los pines destinados al uso con los LED se configuran como salidas, mientras que los pines destinados al uso con los interruptores magnéticos se configuran como entradas.

El siguiente paso es la conexión de la pantalla LCD. Una mochila USB y de serie viene con una pantalla que se puede usar de inmediato con el RPi. La pantalla está soldada en la mochila y la mochila está conectada a una de las entradas USB RPi. Luego, está listo para recibir y mostrar texto. Luego, los altavoces USB deben conectarse al RPi a través de las entradas de audio y USB. Finalmente, el dongle WiFi también está conectado a una de las entradas USB del RPi.

En este punto, se completa la configuración de RPi y el cargador portátil se puede conectar tanto al RPi como al expansor, lo que enciende el Smart Cart como un todo.

### C. Integración de software

El objetivo principal de la aplicación RPi es permitir el control del funcionamiento de los LED, interruptores magnéticos, pantalla LCD y altavoces desde el componente de fondo MATISSE. Para este propósito, el back-end se comunica con el RPi y el RPi es responsable del control de los componentes de hardware antes mencionados.

Para empezar, el sistema operativo RPi es Raspbian, un sistema operativo basado en Debian para RPi, y específicamente Raspbian Stretch. Este sistema operativo tiene controladores incorporados para muchas de las interfaces que ofrece RPi, por lo que facilita el desarrollo de la aplicación. La comunicación entre el back-end y el RPi se logra a través de una API REST que ofrece el RPi. Para la implementación de esta API, se emplearon Django junto con Django REST Framework. La API incluye vistas responsables del control de los componentes de hardware y pruebas visuales del funcionamiento del Smart Cart. La aplicación se sirve con el servidor Nginx y uwsgi. Además, para garantizar que la aplicación RPi Django esté constantemente en funcionamiento, se utiliza Supervisor.

El siguiente paso es identificar el software y las bibliotecas necesarias para el funcionamiento de los componentes de hardware. Los pines GPIO nativos, los pines GPIO de IO Pi Plus, la pantalla LCD y los altavoces deben ser controlados. Por lo tanto, se han seleccionado e instalado las siguientes bibliotecas:

* **python3-smbus e i2c-tools** : estos paquetes son requisitos previos, generalmente ya instalados en las últimas distribuciones de Raspbian y esenciales para la interfaz con la interfaz RPi I2C.
* **RPi.GPIO** : RPi.GPIO es una biblioteca de Python que nos ayuda en el control de los pines GPi GPIO nativos, ya sea que funcionen como entradas o salidas.
* ABElectronics\_Python\_Libaries.IOPi: esta biblioteca de Python ha sido desarrollada por ABElectronics para el soporte del expansor de puerto de canal IO Pi Plus 32.
* **lcdbackpack** : la pantalla LCD escucha en el puerto serie del RPi y lcdbackpack incluye funciones de envoltura de Python que funcionan con Adafruit USB y Serial Backpack de la pantalla.
* **pygame** : Pygame es un conjunto multiplataforma de módulos de Python que incluye bibliotecas de sonido utilizadas para el funcionamiento de los altavoces.

Una vez instaladas las bibliotecas mencionadas y el software necesario, se puede implementar la aplicación en el RPi. Por supuesto, para la implementación de la aplicación, el SSID y la contraseña de la red objetivo deberían haberse configurado anteriormente para que el RPi pueda conectarse automáticamente a la red.

**SECCION VIII.**

## **El piloto de Matisse**

Después de la integración de los componentes de MATISSE, se realizó un exhaustivo y exhaustivo procedimiento de prueba. Los resultados de este procedimiento aseguraron que el prototipo MATISSE implementado estaba listo para ser puesto a prueba en un entorno hospitalario real. El piloto de la plataforma MATISSE implementada actualmente está alojado en City Clinic, un hospital privado en el corazón de Atenas. City Clinic se consideraba un entorno ideal para el piloto MATISSE; con clínicas especializadas (UC1), cuatro pisos de habitaciones de dos camas en su mayoría espaciosas (UC2, UC5), laboratorios de diagnóstico (UC3) y un piso quirúrgico totalmente equipado (UC4).

### A. Configuración del piloto

Hasta la fecha, MATISSE ha sido validado principalmente en el departamento de Ortopedia de City Clinic. El hospital participa en el piloto MATISSE con 2 médicos y 2 enfermeras semanalmente, y se espera que el número total de participantes llegue a al menos 4 médicos únicos y 8 enfermeras únicas al final del piloto.

Por el momento, aunque MATISSE se evalúa en un entorno hospitalario real, no se trata de pacientes ni recetas reales. En lugar de esto, los pacientes virtuales se consideran en camas potencialmente libres de la clínica. A estos pacientes virtuales se les asignan recetas virtuales y EHR en general a través de la plataforma MATISSE. De esta manera, el piloto simula lo más cerca posible el caso real con pacientes reales, recetas reales y registros de salud. Dado que los datos procesados ​​por los componentes de la plataforma MATISSE son virtuales, no hubo necesidad de una implementación local en el hospital del componente de fondo MATISSE, ya que los datos almacenados y manejados por este componente no eran confidenciales. Además, por razones de seguridad y privacidad, no se otorgó acceso a la red del hospital. En lugar de esto, Se estableció una LAN inalámbrica para que haya una conexión disponible. El panel de MATISSE y el carrito inteligente de MATISSE se conectaron a esta red con el fin de comunicarse con el back-end de MATISSE.

Hasta la fecha, todos los participantes han realizado una breve capacitación sobre el uso de la plataforma MATISSE en su conjunto para garantizar la validez de los datos recopilados durante toda la duración del piloto. La capacitación incluyó la familiarización de los participantes con cada uno de los componentes de MATISSE, comenzando con el Tablero de MATISSE, continuando con la Aplicación Móvil de MATISSE y finalmente la combinación de todos entrenando a los participantes sobre el uso del componente de Carro Inteligente de MATISSE. Su capacitación fue seguida por extensos ensayos supervisados ​​en el hospital para garantizar que comprendieran completamente el flujo de trabajo de MATISSE para cada caso de uso. Se prestó especial atención a los casos de uso 1 (inventario de medicamentos) y 2 (distribución de medicamentos) que se consideran más significativos y, además, involucran a todos los componentes MATISSE implementados.

Además, cada uno de los participantes completa un cuestionario especial para cada uno de los casos de uso semanalmente, de modo que no se induce una carga de trabajo adicional en el personal médico. Para la referencia cruzada y la validación real de los casos de uso, se registran los conjuntos de datos virtuales junto con los resultados de cada caso de uso para cada conjunto de datos virtuales. Se solicitó amablemente a los participantes que fueran lo más cuidadosos posible al validar los resultados de forma cruzada para garantizar la integridad del procedimiento de validación del piloto. También se alienta a los participantes a hacer comentarios y sugerencias para mejorar la plataforma general de MATISSE si se ajustara mejor a un entorno hospitalario real, sin apenas obstrucciones a los procedimientos hospitalarios existentes.

### B. Primeros resultados y comentarios recopilados

Los casos de uso de MATISSE propuestos e implementados se consideran válidos hasta la fecha, ya que no se han registrado errores particulares. Sin embargo, los resultados finales de la validación a través de los cuestionarios no están disponibles ya que el piloto aún no se ha completado. Por otro lado, los comentarios y sugerencias perspicaces de los participantes se recopilan gradualmente y de acuerdo con ellos:

* A través del Tablero de MATISSE, un médico podría hacer una alteración en una receta o recetar un nuevo medicamento para un paciente de forma remota y este hecho quedaría registrado. En la próxima sesión de inventario de medicamentos, la receta se habrá incluido en la lista de medicamentos del paciente.
* Las alergias conocidas de un paciente a sustancias específicas se almacenan en el perfil del paciente. El médico no podrá enviar la receta de un paciente si incluye alguna de las sustancias alergénicas registradas para este paciente, lo que protege a los pacientes de posibles episodios alérgicos.
* El escaneo de drogas antes de colocarlas en el cajón del carrito inteligente induce una carga de trabajo adicional para el personal médico, pero prácticamente aniquila la probabilidad de errores durante las sesiones de inventario de drogas.
* Durante la medicación en el hospital, las múltiples indicaciones, a saber, LED, pantalla LCD, pantalla de aplicación móvil y alarma en caso de apertura errónea del cajón, minimizan la probabilidad de cualquier confusión.
* El sistema MATISSE no tiene en cuenta el tamaño de los medicamentos. La asociación de pacientes a contenedores se realiza automáticamente asignando el primer cajón disponible al primer paciente recuperado con recetas pendientes. De esta manera, los pacientes pueden estar asociados a un contenedor que no puede ajustar físicamente sus medicamentos.

En resumen, todavía no se han registrado errores particulares y los participantes parecen satisfechos con la plataforma general. La validación piloto se continúa regularmente y se planea que dure al menos 4 meses. Sin embargo, los participantes ya han ofrecido comentarios invaluables sobre cada componente de la plataforma MATISSE.

**SECCION IX.**

## **Conclusión**

En este documento, el ecosistema MATISSE se ha presentado como una solución innovadora de hospital inteligente que tiene como objetivo optimizar los procesos médicos mediante la automatización, la racionalización y la conducción electrónica de los usuarios involucrados. MATISSE se compone de tres componentes principales: a) la Gestión del conocimiento, que proporciona servicios de back-end, b) la Frontend, realizada a través de una aplicación móvil de Android y un panel de control en línea, que proporciona acceso de usuario autorizado a los datos del repositorio, yc) el carrito de medicamentos inteligente, totalmente integrado con el resto del ecosistema MATISSE. Se lanzó el piloto de la plataforma y se llevará a cabo el procesamiento de los resultados de la validación y evaluación del piloto, revelando hasta qué punto MATISSE ofrecerá mejoras reales y prevención de errores a los procedimientos existentes en el hospital.

### RECONOCIMIENTO

El trabajo presentado en este documento fue creado parcialmente dentro del proyecto MATISSE, apoyado por el Proyecto H2020 TagItSmart, financiado por la UE. en virtud del Acuerdo de subvención no 688061.