

Diseño de sistema Smart Beach para la accesibilidad, sostenibilidad y seguridad en las zonas costeras de baño

Borja de Frutos Garayalde

Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

Smart Cities

David Crespo García

Santiago Alvira Sanz

29/05/2022



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Diseño de sistema Smart Beach para la accesibilidad, sostenibilidad y seguridad en las zonas costeras de baño</i>
Nombre del autor:	<i>Borja de Frutos Garayalde</i>
Nombre del consultor/a:	<i>David Crespo García</i>
Nombre del PRA:	<i>Santiago Alvira Sanz</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	05/2022
Titulación:	<i>Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Smart Cities</i>
Idioma del trabajo:	<i>Español</i>
Palabras clave	<i>Smart Beach Sensores Comunicaciones</i>
Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras): <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados y conclusiones del trabajo.</i>	
<p>Las playas inteligentes o smart beaches son arenas en los que la tecnología y la innovación se han incorporado en beneficio del entorno y de los usuarios. La digitalización de estos espacios ofrece servicios de alto valor añadido para la población y los turistas, para mejorar así la experiencia gracias a una gestión más eficiente.</p> <p>El presente trabajo propone un sistema autónomo para la gestión de la sostenibilidad, accesibilidad y seguridad en las zonas costeras de baño.</p> <p>La playa inteligente será por tanto más accesible, avisará de la temperatura y calidad del agua, aire y arena, comprobará el estado de las mareas, medirá el nivel de ocupación y hasta ofrecerá información sobre posibles protocolos Covid-19 para garantizar entornos seguros desde el punto de vista higiénico y sanitario, entre otras.</p> <p>Todo ello se diseñará mediante el despliegue de sensores de medición, videovigilancia y tecnología de conteo, drones de vigilancia y salvavidas y digitalización de la información turística.</p>	

El Internet of Things ha llegado a nuestras playas para sintonizar con la demanda y los nuevos hábitos de consumo. Las posibilidades de escalabilidad son muy elevadas y el turismo de sol y playa ya no volverá a ser como antes.

Abstract (in English, 250 words or less):

Smart beaches are sandbanks in which technology and innovation have been incorporated for the benefit of the environment and users. The digitization of these spaces offers high value-added services for the population and tourists, thus improving the experience thanks to more efficient management.

This work proposes an autonomous system for the management of sustainability, accessibility and safety in coastal bathing areas.

The smart beach will therefore be more accessible, it will warn of the temperature and quality of the water, air and sand, it will check the state of the tides, it will measure the level of occupation and it will even offer information on possible Covid-19 protocols to guarantee safe environments from the start. hygienic and sanitary point of view, among others.

All of this will be designed through the deployment of measurement sensors, video surveillance and counting technology, surveillance drones and lifeguards, and digitization of tourist information.

The Internet of Things has reached our beaches to tune in with demand and new consumption habits. The possibilities of scalability are very high and sun/beach tourism will never be the same as before.

Índice

1	Introducción.....	1
1.1	Contexto y justificación del Trabajo	1
1.2	Objetivos del Trabajo.....	1
1.3	Enfoque y método seguido	2
1.4	Planificación del Trabajo.....	2
1.5	Breve resumen de productos obtenidos	5
1.6	Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	5
2	Estado del arte	6
2.1	Introducción	6
2.2	Características de las soluciones Smart Beach.....	6
2.3	Sensores	8
2.4	Actuadores	15
2.5	Análisis de las comunicaciones IoT	18
2.6	Referencias de proyectos Smart Beach	20
3	Diseño del sistema Smart Beach.....	22
3.1	Solución hardware del sistema.....	22
3.2	Solución de comunicaciones	33
3.3	Solución de almacenamiento y gestión de los datos	34
3.4	Arquitectura física de la solución	37
3.5	Arquitectura lógica de la solución	38
4	Análisis Técnico-económico de la solución	41
5	Conclusiones.....	47
5.1	Lecciones aprendidas con el Trabajo	47
5.2	Objetivos obtenidos	47
5.3	Planificación y metodología adoptada	48
5.4	Líneas de trabajo futuras	49
6	Glosario	50
7	Bibliografía	51

Lista de figuras

Ilustración 1: Diagrama de Gantt del TFM.....	4
Ilustración 2: Modelo gráfico playas inteligentes	8
Ilustración 3: Sensor de sustrato TDR.....	9
Ilustración 4: Sensor de sustrato de capacitancia	10
Ilustración 5: Dron autónomo de vigilancia.....	10
Ilustración 6: Cámara de videovigilancia	11
Ilustración 7: Sónar batimétrico	12
Ilustración 8: Boya inteligente.....	12
Ilustración 9: Sensor rayos UVA.....	13
Ilustración 10: Sonda de temperatura y humedad.....	13
Ilustración 11: Sensor de calidad del aire.....	14
Ilustración 12: Ducha inteligente	15
Ilustración 13: Banderas inteligentes.....	15
Ilustración 14: Pantalla de información al usuario	16
Ilustración 15: Puntos de acceso WiFi	17
Ilustración 16: iBeacon	18
Ilustración 17: Arquitectura de red LoRaWAN.....	18
Ilustración 18: Sensor de sustrato propuesto	23
Ilustración 19: Dron autónomo de rescate acuático	23
Ilustración 20: Base de carga inalámbrica.....	24
Ilustración 21: Instalación cámaras de videovigilancia.....	25
Ilustración 22: Software de control de aforos con alta ocupación.....	26
Ilustración 23: Software de control de aforos con baja ocupación.....	27
Ilustración 24: Pantallas de información general del sistema Smart Beach	29
Ilustración 25: Atril de información táctil.....	30
Ilustración 26: Proyecto Smart WiFi Palma de Mallorca.....	31
Ilustración 27: Rango de detección de iBeacon	32
Ilustración 28: Solución de comunicaciones LoRaWAN.....	33
Ilustración 29: Switch PoE wireless routing LPWAN	37
Ilustración 30: Arquitectura física de la Smart Beach.....	38
Ilustración 31: Integración de red LoRaWAN en AWS	39
Ilustración 32: Gráfico costes por entorno monitorizado de Smart Beach.....	43

Ilustración 33: Gráfico costes por funcionalidades aportadas a Smart Beach..	44
Ilustración 34: Gráfico de porcentaje de costes de la Smart Beach	45

Lista de tablas

Tabla 1: Características sensores de temperatura y humedad	14
Tabla 2: Características técnicas drones autónomos.....	24
Tabla 3: Coste sensores y actuadores de la Smart Beach.....	41
Tabla 4: Coste red de comunicaciones de la Smart Beach.....	44
Tabla 5: Coste solución almacenamiento y gestión de datos Smart Beach	45
Tabla 6: Abreviaturas	50

1 Introducción

1.1 Contexto y justificación del Trabajo

Actualmente hay un cambio de paradigma tecnológico que viene dado por el Internet of Things y que es llevado a cabo gracias a las nuevas tecnologías que nos permiten compartir una gran tasa de datos entre dispositivos.

Con este pretexto la idea de este trabajo surge para cubrir tecnológicamente uno de los entornos más concurridos sobre todo durante las épocas de temperaturas elevadas, como son las playas.

El diseño de un sistema autónomo smart beach que vele por la sostenibilidad, accesibilidad y seguridad de las zonas costeras de baño es fundamental para la conservación del medio y para el mejor aprovechamiento de las playas a nivel turístico.

En la actualidad en las playas el nivel de sensorización es muy bajo, apenas hay algún sensor de mareas o algún sensor de control de aforos. La propuesta de este trabajo es diseñar un sistema completo que consiga mejorar los siguientes puntos:

- Agua: la calidad del agua en cuanto a contaminación, control de temperatura y control de mareas.
- Arena: la calidad de la arena en cuanto a temperatura y contaminación
- Aire: la calidad del aire y las condiciones meteorológicas.
- Seguridad: videoanalítica de video para conteo de personas, drones de vigilancia y salvavidas.
- Información: proporcionar información turística relevante, medidas de seguridad en caso de pandemia e información de seguridad como el color de la bandera.

Este sistema se regula de manera autónoma recogiendo los sensores y dispositivos finales toda la información, que se mostrará en pantallas de información al turista.

1.2 Objetivos del Trabajo

Los principales objetivos del trabajo son los siguientes:

- Analizar las necesidades de los municipios costeros con zonas de playa y las necesidades de los turistas.
- Estudiar los sensores, actuadores y dispositivos existentes, tecnología y tipos para cubrir las necesidades que se quieren aportar a la solución.
- Seleccionar los sensores que mejor se adapten al diseño del producto, comunicaciones óptimas entre sensores y dispositivos, establecer protocolos de comunicación.

- Análisis de la capa de datos de la solución, definiendo alguna solución de mercado que se podría aplicar a nuestra smart beach. Dejando fuera del alcance de este trabajo el análisis de las diferentes soluciones BigData que se puedan plantear.
- Análisis técnico-económico del sistema para estudiar la viabilidad de sus funcionalidades en función del coste de inversión en algún caso de uso real.

1.3 Enfoque y método seguido

En este trabajo se va a desarrollar un nuevo producto, adaptando posibles soluciones ya implantadas e integrando todas las nuevas propuestas para que el sistema smart beach cubra un gran número de funcionalidades.

Se realizará una labor de ingeniería para diseñar el producto elegido a partir de una serie de sensores y actuadores que permitirán las funcionalidades descritas.

Para la ejecución del proyecto se opta por aplicar la metodología de valor Canvas, que tiene como objetivo analizar los diferentes modelos de negocio antes de lanzarlos al mercado, adaptada a nuestro caso.

Esta metodología sigue las siguientes fases:

1. Se observan y analizan los problemas a resolver para así atender a las necesidades reales.
2. Se diseña el producto con el que se obtiene el mejor resultado.
3. Se valida sobre una hipótesis los posibles problemas del cliente. Y con una hipótesis de valor, los aspectos y funcionalidades que van a satisfacer las necesidades del cliente.
4. En caso de que no se consiguieran validar las hipótesis, se volvería a iterar desde el principio, hasta obtener la solución deseada.

1.4 Planificación del Trabajo

La planificación del trabajo se divide en cinco grandes que serán el resultado de las cinco Pruebas de Evaluación Continua en dicha asignatura.

1.4.1 Introducción y planificación

En esta tarea se redacta la introducción del proyecto, el cual consiste en un resumen, contexto y justificación, objetivos, alcance, enfoque y método seguido y planificación.

1.4.2 Estado del arte

Se analizan las soluciones existentes y los problemas que ofrecen. Se realiza un estudio de los sensores, tipos de sensores, actuadores, tecnología de estos, formas de comunicación, para posteriormente seleccionar lo que mejor se adapta a nuestra solución de smart beach.

1.4.3 Diseño de la solución

Esta tarea es el grueso del trabajo, en la que se define la problemática a resolver, se propone la solución y propuesta de valor, se valida dicha

solución, destacando cuales son las funcionalidades más demandadas en la actualidad.

A continuación, se definen todos los componentes y protocolos utilizados para el sistema y se estudia la viabilidad técnico-económica de aplicación en algunos casos tipo.

1.4.4 Redacción de la memoria

Se redacta la versión final de la memoria del trabajo, secciones pendientes o incompletas, referencias, figuras y conclusiones para su posterior evaluación.

1.4.5 Defensa TFM

El objetivo de esta tarea es preparar al defensa del trabajo, para ello, se realiza una síntesis de la información más relevante que será incluida en la presentación de la defensa ante el tribunal.

En la siguiente figura se puede ver la representación del diagrama del Gantt del TFM, incluyendo las tareas descritas anteriormente:

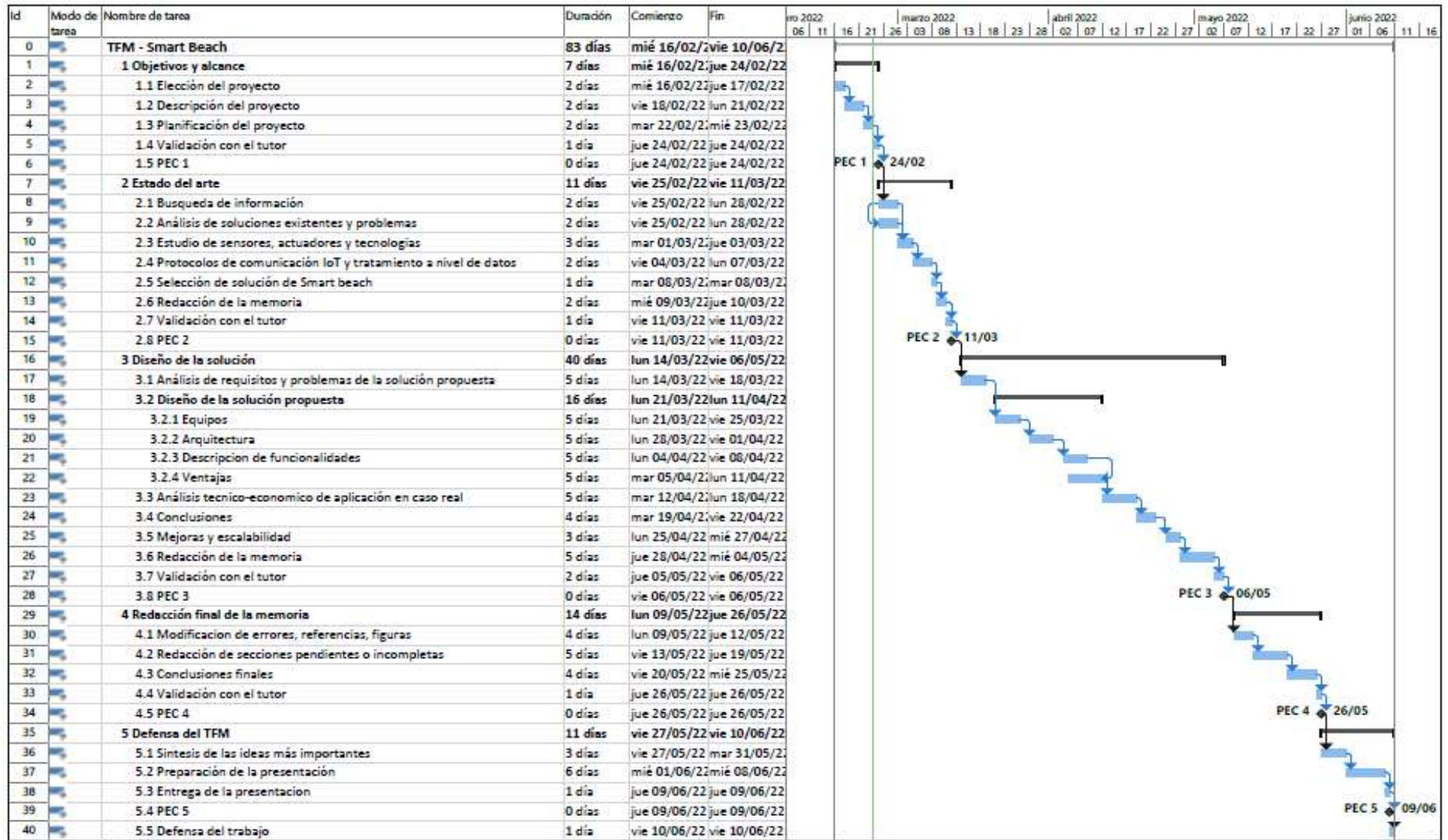


Ilustración 1: Diagrama de Gantt del TFM

1.5 Breve resumen de productos obtenidos

Como resultado de este trabajo se ha diseñado una solución de sensores IoT con una serie de actuadores para la monitorización de las playas de una manera más eficiente.

El presente diseño detallado incluye la siguiente información sobre los dispositivos planteados para la solución:

- Datos técnicos
- Arquitectura
- Conectividad y tecnología de datos.

Además, se presenta el estudio de viabilidad técnico-económico de un caso de aplicación real en una de las playas de nuestro país.

1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

A lo largo de la memoria se han generado los siguientes capítulos que contienen la siguiente información sobre el proyecto:

1.6.1 Estado del arte

En este apartado se hace un análisis y estudio de los sensores, tipos de sensores, actuadores, tecnología de estos, formas de comunicación y aplicación para diseñar la solución. Además, se realizará un análisis de las soluciones existentes.

1.6.2 Diseño de la propuesta de valor

Se analiza el problema a resolver, se diseña el sistema solución y se validan las hipótesis.

Adicionalmente en este apartado se mostrará la arquitectura y detallaran todas las tecnologías de comunicación y modelos de datos utilizados.

1.6.3 Conclusiones

Se exponen las conclusiones a las que se han llegado finalmente, indicando que se ha aprendido, los problemas que han aparecido, los que se han podido resolver y las posibles mejoras a futuro.

1.6.4 Glosario

En este apartado se listan los términos particulares utilizados en la memoria

1.6.5 Bibliografía

Es una lista de referencias bibliográficas del TFM

1.6.6 Anexos

Se añade un presupuesto económico con los recursos necesarios y el coste de la ejecución de este proyecto

2 Estado del arte

2.1 Introducción

En los últimos años las ciudades están experimentando la digitalización y en este caso las playas no van a quedarse atrás, es por ello por lo que muchas instituciones públicas y agrupaciones turísticas ya están proyectando la viabilidad de estas soluciones con el fin de conseguir una playa inteligente que se autogestione y ofrezca un mejor servicio a los usuarios.

2.2 Características de las soluciones Smart Beach

Las playas inteligentes o Smart Beaches son unas playas que son atractivas, confortables, están bien equipadas y que se comunican con los usuarios mediante el uso de la tecnología actual para hacer que la estancia en ellas se agradable y les aporten una nueva experiencia a través del uso de sus dispositivos móviles [\[1.1\]](#).

Las principales características de estas soluciones son:

- Interacción con sus usuarios.
- Equipamientos modernos, confortables y bien situados.
- Atractivo estético con su entorno natural y por la belleza de los elementos en ellas situados.
- Accesibles y adaptadas para todos.
- Parámetros ambientales contrastados que avalan la calidad de su arena y agua de baño.
- Proporcionar ventajas, beneficios sociales y económicos a los negocios de su alrededor y al conjunto del municipio.

Actualmente para convertir una playa salvaje en una Smart Beach debe adaptar el entorno primero para el uso turístico y posteriormente incluir la tecnología necesaria para la interacción con los usuarios.

Una playa turística debe tener las siguientes características:

- Ser **confortable**, mediante la instalación en ella de aquellos elementos necesarios para proporcionar confort a los usuarios, tales como aseos, duchas, paneles informativos, puestos de socorro, chiringuitos y puntos de venta de helados y bebidas, sombrillas, puntos de información y vigilancia, etc.
- Estar **ambientalmente gestionada**, hacer respetar la legislación ambiental nacional e internacional y llegar a obtener las certificaciones adecuadas.
- Garantizar la **calidad y la salud** de la playa y del entorno mediante, el cribado de la arena y la limpieza diaria de la zona. Se aconseja utilizar maquinaria adecuada e instalar el número adecuado de papeleras y puntos limpios, así como programar el vaciado de los mismos.

Partiendo de esta base para empezar a considerar una playa inteligente se deben tener al menos algunas de estas características:

- Disponer de puntos de conexión Wi-Fi bien situados.

- Disponer de cámaras de seguridad para emitir imágenes en tiempo real y/o control de aforos.
- Ofrecer de forma sistemática y diligente información útil para los usuarios, que les permita interactuar con las zonas de baño y los servicios de su alrededor.
- Unirse a la red Destino Turístico Inteligente (DTI) de SEGITTUR y proporcionar información a los usuarios habituales o turistas que disfruten de las ventajas que les ofrece la playa y la posibilidad de poder comparar entre diferentes destinos calificados dentro de este modelo [1.2].

Cabe destacar que esta red DTI engloba el destino turístico al completo tanto las ciudades inteligentes o smart cities como las smart beaches, como ocurre en el caso de Benidorm como veremos más adelante en este trabajo.

Las principales ventajas de la categoría de Smart Beach son:

- Playas más visitadas que el resto pues son más atractivas para los usuarios actuales.
- Los comercios de su alrededor pueden usar la tecnología actual para atraer más clientes.
- El municipio obtiene un reconocimiento muy importante a nivel de visitantes y turistas.
- Obtienen un feedback diario de los usuarios que puede servir para aumentar y mejorar su imagen y su posicionamiento frente a otras playas.
- Son playas que pueden generar recursos económicos para el municipio costero.

Cabe destacar que según estudios de Delatorre consulting: “El tamaño mínimo adecuado de una playa para rentabilizar el coste del proyecto, es de una extensión de al menos 250m lineales de costa” [1].

Tras la definición y el análisis de la playa, para implantar la Smart Beach se realiza a través de tres procesos:

1. **Sensorización:** instalación de dispositivos que monitoricen el estado de la playa o que reciban datos de los móviles de los usuarios.
2. **Conectividad:** el gestor del destino accede a la información a través de redes WiFi, LoRaWAN, Bluetooth, Zigbee, etc. Como veremos más adelante en el presente trabajo.
3. **Centro de datos:** implantación de un hub de datos que gestiona la información que será transferida a los gestores de destinos, los sistemas de seguridad o las apps de consulta para los usuarios.

Como resultado se obtiene la evaluación de la información y puesta en marcha de nuevos patrones de gestión.

A continuación, se muestra un modelo tipo de Smart Beach, proporcionado por Destinos Turísticos Inteligentes de la Comunitat Valenciana [2]:

MODELO GRÁFICO PLAYAS INTELIGENTES CV



Ilustración 2: Modelo gráfico playas inteligentes

(Fuente: DTI Comunitat Valenciana; disponible en <https://img.blogs.es/anexom/wp-content/uploads/2019/07/playas-inteligentes.jpg>)

Todo ello se concreta en diferentes soluciones tecnológicas según el eje de trabajo:

- **Seguridad**, tenemos drones de vigilancia, sensores UVA, búsqueda de personas a través de wearables y banderas sensorizadas.
- **Accesibilidad**, zonas de baño y servicios adaptados, paneles de información con asistentes inteligentes y iBeacons con indicaciones para invidentes.
- **Sostenibilidad**, con dispositivos como wifi, videovigilancia, boyas inteligentes, cargadores y parkings inteligentes.

2.3 Sensores

En este apartado se van a presentar los diferentes sensores y dispositivos utilizados para cada una de las funcionalidades que se van a cubrir en este trabajo [3].

2.3.1 Sensores de sustrato

Es un sensor cuantitativo que permite conocer la calidad y temperatura de la arena, así como su limpieza y la presencia de restos no deseados.

Los sensores de sustrato son típicamente usados para la calidad y humedad de la arena en agricultura, pero pueden aprovechar sus funcionalidades para las que se quieren obtener en nuestra smart beach.

Destacan dos tipos de sensores principalmente [4.0]. En primer lugar, **sensor TDR**, que consta de tres sondas paralelas, un generador de impulsos y un analizador de señal.

Para su funcionamiento se aplica un impulso eléctrico a las varillas, el cual se desplaza hasta el extremo de esta y vuelve al instrumento. El tiempo que tarda el impulso eléctrico en desplazarse esta distancia dependerá de la constante dieléctrica del sustrato. Cuando la constante dieléctrica es alta, el tiempo de desplazamiento del impulso es mayor y por tanto el sustrato es más húmedo.



Ilustración 3: Sensor de sustrato TDR

Las principales ventajas del sensor TDR son:

- Gran precisión y resolución
- No necesaria calibración
- Lecturas no afectadas por la temperatura o salinidad del sustrato
- Vida útil de varios años

Las principales desventajas del sensor TDR son:

- Alto coste
- Zona de detección limitada, del orden de pocos centímetros.

Por otro lado, tenemos el sensor de capacitancia, que consta de un par de capacitores separados por un material dieléctrico, el sustrato, además de un oscilador y un analizador de señal.

El funcionamiento es el siguiente, el oscilador aplica una frecuencia a las varillas, el contenido volumétrico de agua del sustrato influirá en la constante dieléctrica del sustrato, lo que afectará la capacitancia. Finalmente, la magnitud de la frecuencia que obtiene el oscilador se correlaciona con el contenido volumétrico de agua en el sustrato. Mientras más grande sea la magnitud de la frecuencia, menor será el contenido volumétrico de agua.



Ilustración 4: Sensor de sustrato de capacitancia

Las principales ventajas del sensor de capacitancia son:

- Sensible a pequeños cambios de humedad
- Buena resolución
- Gran zona de detección

Las principales desventajas del sensor de capacitancia son:

- Necesita calibración
- Vida útil es corta.

En el siguiente apartado 3.1, se evalúa cual es la solución óptima para la Smart Beach del presente trabajo.

2.3.2 Drones autónomos de vigilancia y salvamento

Los drones supervisarán a los bañistas o la posible presencia de especies peligrosas cerca de la costa como las medusas, tiburones, etc; incrementando de forma notable la seguridad de las playas inteligentes.

Estos drones facilitan las labores del personal de la playa ya que pueden acceder a zonas escarpadas con mayor facilidad y detectar eventos con mayor antelación debido a su condición de vehículo aéreo.



Ilustración 5: Dron autónomo de vigilancia

La utilización de drones tanto para uso lúdico como profesional está actualmente regulada en España por el Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre [5]. Hay que destacar que esta regulación solo abarca las aeronaves pilotadas por control remoto, pero no especifica nada sobre aeronaves autónomas que actualmente no tienen una regulación vigente, aunque para el presente trabajo podemos suponer una regulación similar a la vigente en el Real Decreto 1036/2017 mencionado anteriormente.

Por lo tanto, según esta legislación vigente los drones autónomos pueden sobrevolar una playa cuando no pesen más de 250 gramos y lo superen los 20 metros de altitud de vuelo. En las zonas de la playa donde no hay usuarios como pueden ser los límites rocosos o las zonas de baño alejadas no hay limitación de pesaje para el dron ni límite de altura de vuelo.

La mayoría de las soluciones de drones autónomos actuales [5.1] tienen un peso del orden de kilogramos ya que el peso de la batería más el propio peso de carga útil del dron hace incrementar su volumen para una solución que pueda presentar las funcionalidades óptimas de autonomía y prestaciones para la playa inteligente.

En el siguiente apartado 3.1, se evalúa cual es la mejor solución para la Smart Beach del presente trabajo.

2.3.3 Videovigilancia

Estas cámaras permiten mediante videoanalítica el conteo de personas en las playas para el control de aforos de esta.

La videovigilancia se consigue con una solución de cámara fija ya que lo que se quiere conseguir es mediante la videoanalítica del conteo de personas poder medir el aforo de la playa.



Ilustración 6: Cámara de videovigilancia

En determinadas aplicaciones con el mismo software modificado de videoanalítica se pueden analizar eventos relacionados con la seguridad y el vandalismo, aunque en este sentido no nos estamos enfrentando ante un espacio de muy alta seguridad, sino a un espacio de ocio y recreo [6].

2.3.4 Batimetrías de monitorización

Permiten monitorizar el fondo marino en tiempo real y controlar las especies que lo surcan.

Esta solución utiliza un sistema de posicionamiento GNSS/INS con una solución multihaz de banda ancha y por tanto mejor resolución



Ilustración 7: Sónar batimétrico

Este sónar está preparado para trabajar en los entornos más exigentes como puede ser las condiciones marítimas adversas.

Es una solución que típicamente va instalada en embarcaciones, pero en este caso en nuestra smart beach se pueden colocar de manera fija en algún punto del agua con una boya adicional para cubrir todo el fondo marino de la costa [7].

2.3.5 Boyas inteligentes

Son las encargadas de controlar los límites de las zonas de baño y la proximidad de embarcaciones, para así poder prevenir accidentes.

También monitorizan la calidad del agua, estado del mar, su temperatura y ayudan a la detección de medusas.



Ilustración 8: Boya inteligente

Este tipo de soluciones, en un primer momento diseñadas para favorecer la pesca sostenible, tienen una alta resolución en sus sondas de detección por lo que se consigue una alta precisión de detección de especies y embarcaciones cercanas. También pueden integrar sensores de temperatura, calidad del agua además de detectores de niveles de movimiento, a través de todo ello se puede monitorizar de manera precoz

el estado del mar para dar una información muy precisa a los usuarios de la playa [8].

2.3.6 Sensores UVA

Permiten medir los niveles de radiación, su variación y trasladar información para que las pantallas muestren la necesidad de proteger la piel y ojos de los usuarios de los rayos UVA.



Ilustración 9: Sensor rayos UVA

Este sensor nos proporciona una medición de irradiación rápida y precisa en la región UVA. Su difusor de teflón asegura una respuesta angular cercana a una función coseno, lo que lo hace adecuado para medir radiación difusa como puede ser la directa del Sol que tenemos en las playas inteligentes [9].

2.3.7 Sensores de Temperatura y Humedad

Estos sensores que miden la temperatura y humedad del ambiente van integrados en una sonda que permite la medida de la temperatura con un sensor Pt1000, basada en la variación de la resistencia del Platino con la temperatura.

La humedad relativa se mide mediante un dispositivo capacitivo de estado-sólido, el cual varía sus características eléctricas respondiendo a variaciones de humedad, de tal manera que al absorber humedad disminuye la capacidad. Estos cambios son detectados, linealizados y amplificados por un circuito electrónico situado en la sonda, que, además, compensa la HR con la temperatura [10].



Ilustración 10: Sonda de temperatura y humedad

Las características técnicas de estos sensores son:

Variable meteorológica	Rango de señal	Rango de medida	Precisión	Sensor
Temperatura	0 – 1V	-40°C - +60°C	+0.226°C	Pt100
Humedad relativa	0 – 1V	0 -100%	+1.4%	HUMICAP 180R

Tabla 1: Características sensores de temperatura y humedad

2.3.8 Sensores de calidad del aire

Estos sensores ayudan a controlar los niveles de emisiones de CO2 en los parkings de las playas, limitando los accesos en vehículos y mejorando así la calidad del aire de los usuarios de las Smart Beach.



Ilustración 11: Sensor de calidad del aire

Este dispositivo que detecta hasta 4 gases contaminantes permite crear redes de medición de calidad del aire inalámbricas IoT a través de los protocolos habituales 4G, WiFi, 6lowpan, ZigBee, LoRa, etc [11].

2.3.9 Duchas inteligentes

Controlan el consumo de agua, disponiendo de un temporizador y de un sensor de autodiagnóstico, permitiendo así mejorar su mantenimiento y apostar por un entorno sostenible.

En apariencia estas duchas no distan mucho de las que puede haber en las playas en la actualidad, se alimentan con un panel solar en su parte superior que activa tanto sus sensores de presencia como la conexión inalámbrica que permite su control remoto.

Los mantenedores de la playa reciben los de consumo, conteo de usuarios, estadísticas de horas de mayor demanda o avisos de averías.

Esta información contribuirá a mejorar las infraestructuras del litoral.



Ilustración 12: Ducha inteligente

La principal mejora de este equipamiento es que los sensores de presencia son sin contacto para la activación del sistema de agua, lo que es mucho más higiénico y optimiza en gran medida el consumo de agua dulce.

Esta característica también supone una mejora para las personas de movilidad reducida las cuales pueden tener dificultades en alcanzar los botones de los lavaderos convencionales [12].

2.4 Actuadores

Los actuadores principales de este trabajo son los que se describen a continuación.

2.4.1 Banderas inteligentes

En este caso se propone una baliza de señalización LED, con código de color rojo, amarillo y verde, que estén conectadas a la red IoT y a través de los diferentes sensores que miren la calidad y el estado del agua poder mostrar un color que sea fácilmente identificable por los usuarios de la smart beach.



Ilustración 13: Banderas inteligentes

Las principales características de estos dispositivos son una alta fiabilidad, sin precisar mantenimiento durante la vida útil. Las luces LED son de alta potencia para que sean visibles en toda la costa y a plena luz del día.

Tienen una gran resistencia a las inclemencias del tiempo con una clasificación IP65 de protección frente a agua y arena [13].

Respecto al código de colores se propone la siguiente regulación:

Color	Estado	Medidas de seguridad
Rojo	Peligroso	El baño está prohibido para los usuarios*
Amarillo	Precaución	El baño está permitido con precaución*
Verde	Correcto	El baño está permitido

**En este caso hay que consultar el sistema inteligente para ampliar la información de que es lo que sucede. Si el estado de las mareas es peligroso, hay animales salvajes o cualquier otro peligro que impida el baño con seguridad.*

2.4.2 Pantallas de información LED

Las pantallas de información a los usuarios son uno de los actuadores fundamentales en la smart beach ya que serán las que muestren toda la información recogida por los sensores, desde información meteorológica, estado del entorno, avisos, alertas, aforos, etc.



Ilustración 14: Pantalla de información al usuario

Estas pantallas LED tienen una fácil integración en entornos del litoral gracias a su sólida construcción. Sus armazones metálicos de alta resistencia y módulos LED de alta luminosidad con protección frontal contra la lluvia y arena. Esta gran luminosidad permite que sean visibles claramente incluso a plena luz solar.

Su gran tamaño los hace ideales para lugares con alta concurrencia de público como pueden ser las playas inteligentes por su gran impacto visual [14].

Su capacidad de comunicación remota dentro de la red de IoT hace que su contenido cambie de manera autónoma en función del estado del entorno.

Estas pantallas mostrarán toda la información que también se podría visualizar desde el teléfono de los usuarios si se desarrolla una aplicación que así lo permita.

2.4.3 Puntos acceso WiFi

Los puntos de acceso WiFi ya repartidos en múltiples entornos, son un actuador que fomentará el uso del teléfono en caso de no disponer de conectividad 4G/5G para conectarse a internet y por tanto estar conectado con la smart beach.

Estos puntos de acceso WiFi podrán ayudar a la doble verificación del conteo de personas ya que se puede saber cuantos usuarios de la playa están conectados a la red [15].



Ilustración 15: Puntos de acceso WiFi

En el siguiente apartado 3.1 se analizará la aplicación real de este actuador para un entorno de una Smart Beach teórica y las problemáticas que esto conlleva.

2.4.4 iBeacon

Hacer que la smart beach sea más accesible para personas invidentes es también una necesidad es por ello por lo que se integrarán indicadores auditivos como actuadores que puedan ayudar a estas personas con discapacidad a tener un acceso más seguro a las instalaciones.



Ilustración 16: iBeacon

Estos dispositivos trabajan en bandas de 2.4 GHz y detectan a las personas invidentes que estén conectadas como usuarios en la smart beach, guiándoles con sonidos hasta la zona reservada para personas de movilidad reducida de las playas inteligentes.

Son dispositivos manejables, fáciles de instalar y con una gran resistencia al entorno por lo que dan mucha versatilidad para adaptarse a cualquier tipo de necesidad [16].

2.5 Análisis de las comunicaciones IoT

Una vez definido el hardware, vamos a analizar las diferentes opciones de comunicación disponibles para nuestro sistema IoT y definir cual o cuales cubren con nuestras necesidades de transmisión de datos.

2.5.1 LoRaWAN

Es una especificación de baja potencia de redes LPWAN.

Permite la transmisión de datos a velocidades de hasta 50kbps de forma adaptativa permitiendo alcances del orden de 10 a 20 kilómetros. Existen tres clases priorizando latencia o consumo energético, en función de las necesidades.

Permite modelos de suscripción o de despliegue de red propia [17].

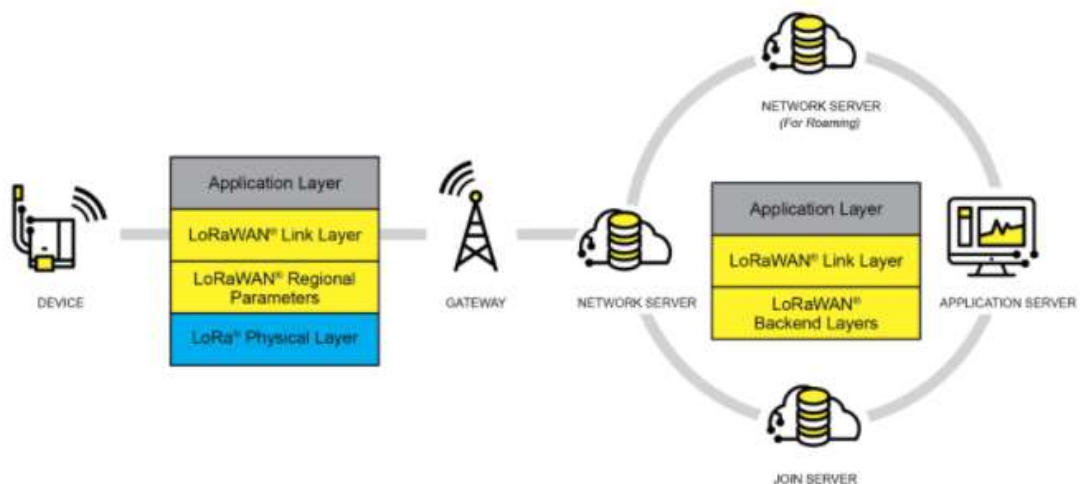


Ilustración 17: Arquitectura de red LoRaWAN

Su frecuencia de trabajo varía en función del continente pero en Europa se fija en 868 MHz, un poco por encima de banda UHF de televisión digital.

2.5.2 WiFi

La tecnología WiFi funciona sobre las bandas de frecuencia de 2.4 y 5 GHz permitiendo tasas de transferencia de datos de 600 y 1200 Mbps, respectivamente [18].

Estas tasas de datos están muy por encima de lo en principio necesario para la comunicación de nuestros sensores de la smart beach. Su alcance está en torno a los 100 metros y se ve mermado por la aparición de obstáculos.

El consumo de energía es bastante elevado en este caso haciéndolo útil para dispositivos con baterías que puedan ser cargados habitualmente pero no apropiado para dispositivos de larga autonomía como los que tenemos en la red IoT de la playa inteligente.

2.5.3 Bluetooth

Es un protocolo para redes WPAN sobre la banda libre de 2.4 GHz. En las últimas revisiones permite tasas de transferencia del orden de los 50Mbps, lo que está a priori muy por encima de lo necesario para nuestros sensores de Smart Beach. Alcanza hasta los 100 metros, pero la señal se ve muy mermada debido a los obstáculos que se puedan presentar, aunque la playa se trate de un entorno al aire libre muy abierto.

En cuanto a consumo energético consume mucho menos que lo que consume un dispositivo WiFi [18].

2.5.4 Zigbee

Es la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para redes WPAN enfocada en el bajo consumo. Permite transmitir con velocidades de hasta 250kbps con un consumo en torno al 75% del consumo de la tecnología Bluetooth y un alcance en interior de unos 20 metros [19].

2.5.5 Sigfox

Es una solución enfocada para redes IoT basada en la suscripción a una red, lo que permite que el alcance no sea una preocupación, siempre y cuando estemos dentro de una zona de cobertura de esta gran red. Lo que puede suponer un problema en playas alejadas de las ciudades y poblaciones que se encuentren fuera de rango.

Esta tecnología ofrece una tasa de compartición de datos de entre 100 a 600 bps [20].

2.5.6 Redes celulares 3G/4G/5G

Las soluciones basadas en la suscripción a redes móviles han sido de las que más han evolucionado con el paso del tiempo.

En primer lugar, tenemos las redes GPRS y LTE que pueden ser utilizadas debido a los poco limitantes requisitos de latencia y tasa de datos de nuestra solución.

Por otro lado, las redes 5G ofrecen características específicas que hacen que sea mucho más apropiado para el uso en IoT, como el bajo consumo y el soporte de múltiples dispositivos simultáneamente. En cuanto al alcance no debe ser un problema siempre que estemos dentro del rango de cobertura de compañía comercializadora de los servicios [21].

Sin embargo, el despliegue del 5G está aún en fases iniciales limitándose a las grandes ciudades por lo que solo tendría aplicación en algunas playas que dispongan de este tipo de cobertura.

2.5.7 Conclusiones

Para el sistema que queremos diseñar, necesitamos alcances del orden de kilómetros para poder cubrir todo el litoral. Esto unido a las necesidades de un bajo consumo energético de los diferentes sensores y dispositivos, hace que se descarten las tecnologías WiFi, Bluetooth y Zigbee, que son más adecuadas para entornos domésticos.

Por otro lado, dado el bajo despliegue de las redes 5G en entornos salvajes como pueden ser algunas playas y la no idoneidad de las redes de generación anterior 3G/4G en cuanto al consumo energético, se descarta la opción de las redes celulares.

La mayor tasa de datos, unida a la posibilidad de desplegar una red propia en lugar de depender de los servicios de una empresa externa, además de tener un destacable bajo consumo y una cobertura del orden de kilómetros, hace que se elija la solución LoRaWAN por encima de Sigfox.

2.6 Referencias de proyectos Smart Beach

2.6.1 Benidorm Smart Beach

Una de las soluciones comerciales de proyectos Smart Beach más destacada, que se quiere llevar a cabo en España es el **Benidorm Smart Beach**, que surge de la necesidad de implementar un destino turístico inteligente y debido a sus dimensiones, para servir de escaparate para el resto de los destinos turísticos que quieran implementar una Smart Beach.

El objetivo es aplicar tecnologías que ayuden a la interoperabilidad y conexión con un sistema integral de gestión, como el que se propone en este trabajo, para disponer de datos y así poder analizar las actividades de la playa para la toma de decisiones y mejora del destino.

También se quiere disponer de una política medioambiental impecable y bien dirigida con el mayor número de certificaciones posible. Además de permitir la interacción entre los usuarios y los prestadores de servicios.

La principal aportación tecnológica del Benidorm Smart Beach es un sistema integral de gestión de calidad de las playas centrado en la monitorización y supervisión del índice de seguridad además de un sistema que proporcionará en todo momento información real sobre los indicadores de salvamento y seguridad de las playas. Con ello se espera una mejor gestión de la calidad de las playas de Benidorm [22].

Las principales innovaciones de este proyecto son:

- Sistema de monitorización de playas en tiempo real.

- Monitorización de nivel de ocupación en playa
- Predicción de la evolución horaria de la ocupación de la playa
- Detección de zonas alta peligrosidad para bañistas tales como zonas con corrientes de resaca.
- Ayuda a la detección en tiempo real de situaciones de alta peligrosidad como soporte y ayuda a los servicios de rescate en playas.
- Participación en proyectos piloto que mejoren las playas y los servicios a ciudadanos y turistas en playas para hacerlas más inteligentes

Benidorm fue la primera localidad de España en tener el sello de Destino Turístico Inteligente de SEGITUR tras superar en 2018 la auditoría conforme a la norma UNE 178501 de Sistema de Gestión Turístico Inteligente.

2.6.2 Las Canteras Smart Beach

Otra de las referencias más destables en España es Las Canteras Smart Beach en Las Palmas de Gran Canaria.

Dicha infraestructura de sensorización está compuesta por todos los dispositivos electrónicos de medición y comunicación que se desplegarán en el entorno del paseo de Las Canteras: 80 dispositivos de conteo de personas y 3 estaciones meteorológicas, así como caudalímetros y electroválvulas para el control de consumo de agua en duchas y sensores volumétricos de papeleras a lo largo del litoral.

Esta actuación va a permitir ampliar o racionalizar los recursos que se destinan a la playa en función de la afluencia de personas o del contexto correspondiente, tanto con la llegada de cruceros, la celebración de eventos en su entorno u otras variables cambiantes como la temperatura, la lluvia o las estaciones del año.

Además, todos los datos que se extraen de esta sensorización general nutrirán a la plataforma digital gestionada desde el área de Innovación Tecnológica, lo que permitirá el desarrollo de indicadores para la toma de las mejores decisiones en la gestión eficiente de las infraestructuras de la playa.

La automatización de estos recursos posibilitará intensificar los servicios en función de la necesidad cambiante de los usuarios de Las Canteras y de sus zonas aledañas, estableciendo un sistema de recogida de basuras acorde con el estado de las papeleras, además de facilitar una mayor frecuencia del transporte público en determinados momentos si es necesario, o la presencia de más agentes de seguridad en eventos de elevada presencia de personas [23].

3 Diseño del sistema Smart Beach

Para el diseño del sistema Smart Beach del presente trabajo se plantea una playa teórica tipo, basándose en un promedio de las playas con categoría azul del litoral mediterráneo de España.

La playa propuesta tiene las siguientes características:

- Longitud de la costa: 1,000 metros
- Anchura media de la arena: 50 metros (este factor puede variar en función de las mareas y en un proyecto real habría que analizarlo caso a caso)
- Anchura de la superficie de baño: 500 metros
- Superficie de arena: 50,000 m²
- Superficie de baño: 500,000 m²

3.1 Solución hardware del sistema

A continuación, en base al estudio realizado en el estado del arte de las soluciones hardware y buscando la solución idónea para la playa tipo propuesta, se definirán los sensores y actuadores concretos con los que se debe implementar la playa para que alcance la categoría de Smart Beach.

3.1.1 Sensor de sustrato propuesto

En cuanto a sensores de sustrato hay que destacar que la gran diferencia entre los sensores TDR y los de capacitancia, es que los primeros son más robustos a las condiciones ambientales y disponen de una vida útil más larga, pero los segundos tienen un campo de medida del orden de metros en lugar de pocos centímetros.

Estos sensores de sustrato se situarán en la superficie de la arena en diferentes puntos estratégicos, por lo que para cubrir nuestra playa inteligente de 1km bastará con unos 100 sensores de capacitancia, los cuales tienen un coste mucho más bajo que sus análogos TDR.

El inconveniente se produce con el mantenimiento preventivo que hay que realizarle a este tipo de sensores ya que necesitan calibración y su vida útil es más corta, es por ello que para cada proyecto Smart Beach hay que analizar los parámetros concretos del litoral y su explotación.

El sensor propuesto para este proyecto se sitúa enterrado en la arena de forma vertical sin obstaculizar a ningún usuario, tiene 2 electrodos que miden la conductividad entre ellos y la humedad hace que varíe, cuanto más húmeda este la tierra más conductividad habrá [24].



Ilustración 18: Sensor de sustrato propuesto

Los pines de conexión se pueden conectar a cualquier controladora o Arduino para su interconexión inalámbrica dentro de la red LPWAN IoT.

3.1.2 Dron autónomo de vigilancia y salvamento propuesto

Actualmente la regulación de las aeronaves no tripuladas en España es ambigua, como hemos visto anteriormente los únicos drones controlados por control remoto que pueden sobrevolar zonas pobladas son aquellos que son muy ligeros y con poca autonomía. Esta regulación no tiene en cuenta que los drones autónomos propuestos son mucho más seguros ya que no dependen del fallo humano que es mayor que el de la inteligencia artificial.

Es por ello que aún estando sin regular su aplicación en un proyecto real, la solución óptima que se propone es el siguiente dron autónomo de rescate acuático, el cual con su gran pesaje y autonomía es capaz de ayudar a los socorristas en las labores de salvamento y detectar los accidentes en las zonas de baño de una manera mucho más precoz [\[25\]](#)



Ilustración 19: Dron autónomo de rescate acuático

El dron propuesto está destinado a la búsqueda y rescate de personas, tienen resistencia al agua frente a la lluvia y también presentan estabilidad frente al viento. Pueden alcanzar una velocidad de unos 50km/h.

La cámara integrada tiene una resolución HD con un zoom digital de x20. Además, lleva integrado un software de analítica de video que es el que le permite detectar todos los eventos del entorno.

En los modelos actuales la transmisión se produce vía Wifi o 4G, pero se puede desarrollar en LoRaWAN para integrarlo dentro de la Smart Beach.

Las principales características de estos drones son las siguientes:

Características	Descripción
Tiempo de vuelo	7 horas de autonomía ininterrumpida
Velocidad máxima	50 km/h
Peso	10 kg
Carga máxima	9.5 kg
Motores	6
Baterías	84 x 5200 MAH
Vuelo autónomo	Sí
Analítica de video	Sí
Zoom digital	x20
Control inalámbrico	WiFi, 4G/5G, LoRaWAN

Tabla 2: Características técnicas drones autónomos

Como según la normativa vigente de socorrismo y salvamento marítimo tiene que haber al menos un socorrista por cada 500 metros de costa, con un mínimo de 2 socorristas por playa [26]. Para nuestra Smart Beach de 1km se proponen 3 drones autónomos de vigilancia y salvamento, dos de ellos funcionando activamente y uno de back up para casos de fallo o alta afluencia de usuarios.

Adicionalmente a los drones en la costa hay que colocar 3 bases de carga inalámbrica repartidas en puntos equidistantes de la playa. Estos puntos de carga tienen las siguientes ventajas para el sistema [27]:

- Se evita que un operario tenga que intervenir en la carga.
- Se evita el desgaste que ocasionan los contactos físicos de bornes de carga.
- Se evita tener cableado en la arena para los cargadores.



Ilustración 20: Base de carga inalámbrica

La propia plataforma de aterrizaje generará una energía inalámbrica de alta frecuencia que se pasa a la bobina de la antena de transmisión, la cual generará campos eléctricos y magnéticos.

Cuando la energía es recogida por el dron se transporta al cargador y por consiguiente vuelve a ser transformada en voltaje para cargar la batería.

Cabe destacar que si se desarrollan drones autónomos más ligeros se pueden integrar en el sistema, conviviendo con los drones de salvamento y complementándoles en la vigilancia para las zonas donde haya más densidad de usuarios y el dron ligero sea más seguro para volar.

3.1.3 Cámara de videovigilancia propuesta

Cada cámara propuesta puede cubrir un ángulo de visión de hasta 90 grados y tiene una resolución óptima para el conteo de aforos de hasta unos 500 metros.

Es por ello por lo que dadas las dimensiones de nuestra playa teórica se ha decidido colocar tres postes de unos 3 metros de altura con dos cámaras cada uno. Dos de ellos se sitúan en los extremos de la playa y uno de ellos en el centro, como se muestra en el ejemplo de la siguiente imagen:

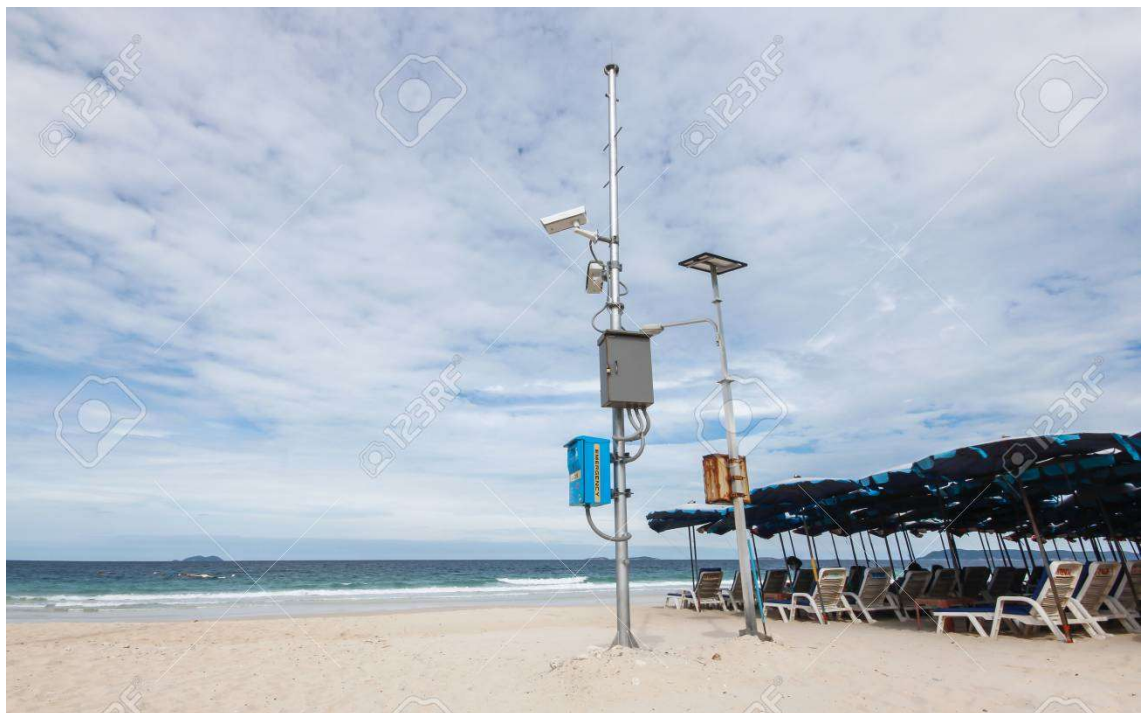


Ilustración 21: Instalación cámaras de videovigilancia

(Fuente 123RF.com disponible en https://es.123rf.com/photo_43525621_la-c%C3%A1mara-de-seguridad-en-la-playa.html)

Las cámaras estarán integradas con los switches de la red LoRaWAN a través del protocolo TCP/IP y estarán alimentadas por PoE lo que simplifica notablemente la instalación de cableado eléctrico de baja potencia además de reducir el coste total del sistema.

En algunos casos y al tratarse de un entorno a priori muy soleado puede instalarse un panel solar en lo alto del poste que proporcione energía de apoyo a las cámaras y resto de dispositivos cercanos.

Respecto a la analítica de video, el software instalado en las cámaras no graba imágenes y no almacena ningún dato personal, solo detectará las zonas del espacio que están ocupadas y cuáles están libres [28].

Gracias a esto no se incumple la LOPD, ley que protege los datos personales y garantía de los derechos digitales.

A través del sistema Smart Beach mediante cámaras IP con conectividad LoRaWAN, dotadas de un potente software, estas cámaras detectan qué zonas están siendo ocupadas y las que están libres y calcula el porcentaje de ocupación en tiempo real. Además, permite disponer de cámaras exclusivas para conteo de personas en los accesos a la playa mejorando la fiabilidad del sistema y combinando datos de porcentaje de ocupación del espacio con datos de aforo de personas en dicho espacio.

Con esta solución, los ayuntamientos podrán controlar, de forma sencilla y eficaz, el aforo de sus playas a través de unas cámaras que captan fotogramas de la zona.

Desde el panel de control de usuario, un mapa muestra todos los puntos del área de playa y permite visualizar, tanto esa área, su porcentaje de ocupación, su aforo actual y el máximo permitido para esa localización. Además, se pueden configurar las alertas en el teléfono móvil de los responsables de supervisar el aforo.



Ilustración 22: Software de control de aforos con alta ocupación



Ilustración 23: Software de control de aforos con baja ocupación

Este sistema de control de aforo y ocupación cuenta con más del 99% de fiabilidad gracias a las cámaras dotadas de un potente software con inteligencia y visión artificial mediante red neuronal y es capaz de discriminar otros elementos como y descartarlos de la métrica del conteo ya que solo contabiliza personas.

3.1.4 Batimetrías y boyas inteligentes propuestas

Para el análisis del fondo marino y la calidad se incluyen las batimetrías y boyas inteligentes como hemos analizado en el estado del arte.

Para cubrir la playa teórica de manera robusta nuestro sistema va a intercalar una batimetría y una boya sensorizada cada 100 metros, obteniendo un total de 5 batimetrías y 5 boyas integradas el sistema para cubrir toda la superficie del agua de nuestra costa.

La distancia de la superficie de baño desde la arena hasta el límite de las boyas es de 500 metros lo que entra dentro de la distancia de conectividad de la red LoRaWAN.

3.1.5 Sensor UVA propuesto

En cuanto a los niveles de radiación se presentan de manera uniforme para toda la playa ya que la radiación UVA es un efecto provocado por el sol y por la atmósfera terrestre; y aplica a grandes extensiones de terreno de la misma manera o al menos similar [29].

Se colocará un sensor UVA cada 1km de costa por lo que nuestro sistema smart beach podrá ser cubierto con este único sensor.

Dicho sensor generará una alerta en el sistema cuando la radiación alcance unos niveles perjudiciales para la salud de los usuarios y permitirá lanzar recomendaciones a los bañistas sobre el uso de cremas y medios de protección contra la radiación solar.

Al igual que el resto de los sensores está integrado dentro de la red LoRaWAN a través de un microcontrolador.

Por redundancia en caso de fallo, se decide duplicar el sensor para cubrir la Smart Beach, aunque los resultados de dichos sensores deben ser similares para esta extensión de la playa teórica.

3.1.6 Sensor Temperatura y Humedad del aire propuesto

La temperatura y la humedad al igual que la radiación no suele experimentar grandes oscilaciones en pequeñas extensiones de terreno.

En el sistema smart beach se van a colocar 4 sensores de temperatura y 4 de humedad que podrán aportar al sistema con gran exactitud cuál es la condición de temperatura y humedad del aire.

Los resultados se mostrarán a los usuarios, teniendo unos sensores dedicados en la Smart beach que ya no dependerá de los datos meteorológicos externos proporcionados por otras entidades.

Estos sensores no tienen un gran impacto económico en el proyecto, pero pueden ser de los más recurridos por los usuarios en condiciones normales, ya que el clima de una playa es uno de los factores que más condiciona la afluencia de usuarios.

3.1.7 Sensor calidad del aire propuesto

Para la monitorización de la calidad del aire debemos tener en cuenta tanto los gases atmosféricos perjudiciales para nuestro sistema respiratorio como los gases contaminantes producidos por otros compuestos como el CO₂.

Por ello, se colocarán sensores en las entradas de los accesos a la playa que son las zonas más cercanas a las zonas de aparcamiento y también están en contacto con la playa. En estas zonas se puede dar una información con detalle sobre la afluencia de gases nocivos.

En la smart beach teórica tendremos una entrada cada 250 metros y por tanto 3 sensores de calidad del aire en total.

La red de sensores de calidad del aire está dentro la red LoRaWAN del sistema y aportará a los usuarios información adicional en cuanto a si hay mucho tráfico en los alrededores de la playa, hay presencia de calima, etc.

3.1.8 Ducha inteligente propuesta

Las duchas inteligentes se han descrito con detalle en el estado del arte, apartado 2.3.

En este proyecto se colocarán 2 duchas inteligentes sin contacto en cada entrada de la playa, lo que forma un total de 6 duchas integradas en la smart beach.

Dentro la red smart beach como hemos visto anteriormente se monitorizará el consumo del agua y las alarmas de mantenimiento de dichas duchas con mayor facilidad.

3.1.9 Bandera inteligente propuesta

Actualmente, uno de los principales actuadores de las playas son las banderas de diferentes colores.

Con la baliza de señalización LED tricolor propuesta se puede mantener una misma infraestructura en la playa que cambiará de color en función de los datos recibidos por los sensores de calidad del agua. Lo que favorece un entorno autónomo y sostenible.

Para una correcta luminosidad y visibilidad, se colocarán cada 400 metros de playa y no más de 20 metros de la pleamar [30]. Además, estarán instaladas a una altura de 10 metros de mástil.

Esto hace un total de 3 balizas de señalización para la playa teórica inteligente, con las cuales será posible que los usuarios vean de un vistazo el estado de seguridad de la mar y si tienen permitido el baño.

3.1.10 Pantalla de información propuesta

Las pantallas de información a usuarios son uno de los elementos donde se van a reflejar los resultados de todo el sistema implementado, al menos a nivel usuario.

En este caso en la playa teórica se pueden desplegar dos tipos de pantallas a lo largo de la costa.

Las primeras serán pantallas de gran tamaño 320x160 mm, con información general del sistema Smart Beach, este modelo es la evolución natural de las antiguas vallas publicitarias. La gran versatilidad de estos dispositivos permite que sea instalada en postes a lo largo de la playa [31].

Para una visión adecuada desde los puntos con más afluencia de usuarios de las playas, se incluye una pantalla de información cada 200 metros por lo que tendremos un total de 5 pantallas de información general.



Ilustración 24: Pantallas de información general del sistema Smart Beach

En cuanto a las características técnicas cabe destacar la alta luminosidad necesaria para un entorno tan habitualmente soleado y luminoso. La luminosidad del dispositivo es de al menos 7000nits.

La resistencia al entorno del hardware es de al menos IP65, lo que garantiza un tiempo de vida adecuado para la playa.

Por otro lado, se propone un segundo modelo de pantalla táctil instalado en las entradas de las playas, en este caso 3 dispositivos en la playa teórica [32].

Esta pantalla permitirá la interacción directa con los usuarios que quieran ampliar información sobre el sistema. Se muestra la misma información que la que aparece en la teórica aplicación de DTI donde consultar la información relevante de la Smart Beach.

En el frontend de esta pantalla aparece directamente la información de cada sensor de monitorización tanto del agua, arena y aire; siendo esta información pública y abierta para cualquier usuario.

En el sistema no hay información sensible que proteger adicionalmente por lo que cada usuario podrá consultar lo que considere. Esta interacción creará un vínculo con los usuarios que se sentirán informados sobre su entorno y podrán disfrutar de todo un espacio natural sabiendo que es un espacio sostenible, accesible y seguro.

Estos atriles táctiles propuestos son de unas 49", incluyen sistema de audio y protección IP65 para resistir al agua y polvo como ya se ha comentado en el caso anterior.



Ilustración 25: Atril de información táctil

Las dos pantallas estarán integradas dentro de la red LoRaWAN donde tendrán acceso directo a los datos captados por los diferentes sensores.

3.1.11 Punto de acceso WiFi propuesto

El punto de acceso Wifi permitirá una tasa de transmisión de datos de unos 450 Mbit/s de acuerdo con el protocolo standard 802.11n. Su grado de resistencia al entorno es IP65 por lo que también son ideales para estar expuestos en el exterior.

El principal problema de cubrir la playa con tecnología WiFi es el corto alcance de estos dispositivos sumado al alto número de usuarios en la playa.

Basándonos en un proyecto ya ejecutado en la Playa de Palma de Mallorca en la cual se ha colocado un punto de acceso wifi cada 100 metros a lo largo de los 5km de costa.



Ilustración 26: Proyecto Smart WiFi Palma de Mallorca

(Fuente Smartcity.es disponible en <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/infraestructura-smart-wifi-playa-palma>)

Para nuestra playa se colocarán por tanto 10 puntos de acceso repartidos de forma equidistante para cubrir toda la zona de arena de la costa.

Una gran desventaja de esta solución es que en 100 metros de playa podemos tener un número muy elevado de usuarios [33].

Con el protocolo 802.11n en una red de 2.4GHz podemos tener una tasa de bits máxima de 80 Mbps, lo que para una estimación de 50 usuarios por cada 100 metros de playa nos deja una velocidad máxima de 1.6Mbps por cada usuario que utilice el WiFi. Una velocidad bastante reducida y limitada por el número de usuarios simultáneos que estén interactuando.

El número de colisiones entre las redes WiFi que se solapan emitiendo en canales se multiplican. Hoy en día sigue siendo un reto incluir soluciones WiFi gratis en entornos abiertos con gran número de usuarios como un estadio de fútbol.

En conclusión, obtener un servicio WiFi público del sistema Smart Beach es complicado si se quiere dar un servicio parecido al del 4G.

3.1.12 iBeacon propuesto

Los iBeacon de nuestro sistema tienen la particularidad de trabajar dentro de la red LoRaWAN y no con tecnologías más habituales en este dispositivo como BLE.

La playa inteligente dispondrá de un espacio de unos 2.500 m² dedicado para personas incapacitadas.

En este acceso se incluirán los iBeacon que reconocerán los dispositivos móviles registrados en la Smart Beach y guiarán a las personas de movilidad reducida hasta su espacio en la playa donde podrán tener un área dedicada para ellos con las máximas comodidades del entorno.

Para un rango de detección adecuado, debemos instalar los iBeacon de manera uniforme para obtener los mejores resultados. Minimizar el espacio entre los nodos iBeacon aumentará la precisión del sistema.

- Si hay un espacio de 10 metros entre los nodos iBeacon, puede ofrecer una precisión media de 2 metros.
- Si hay un espacio de 15 metros entre los nodos iBeacon, puede ofrecer una precisión media de 4 metros.

Como queremos una precisión adecuada, se incluirán seis (6) iBeacon para los 50 metros de recorrido de anchura de la arena de la playa teórica.

Realmente el rango de detección de un usuario de un iBeacon es alto, en torno a 70 metros para usuarios lejanos y 3 metros usuarios cercanos con los que interactuar [34].

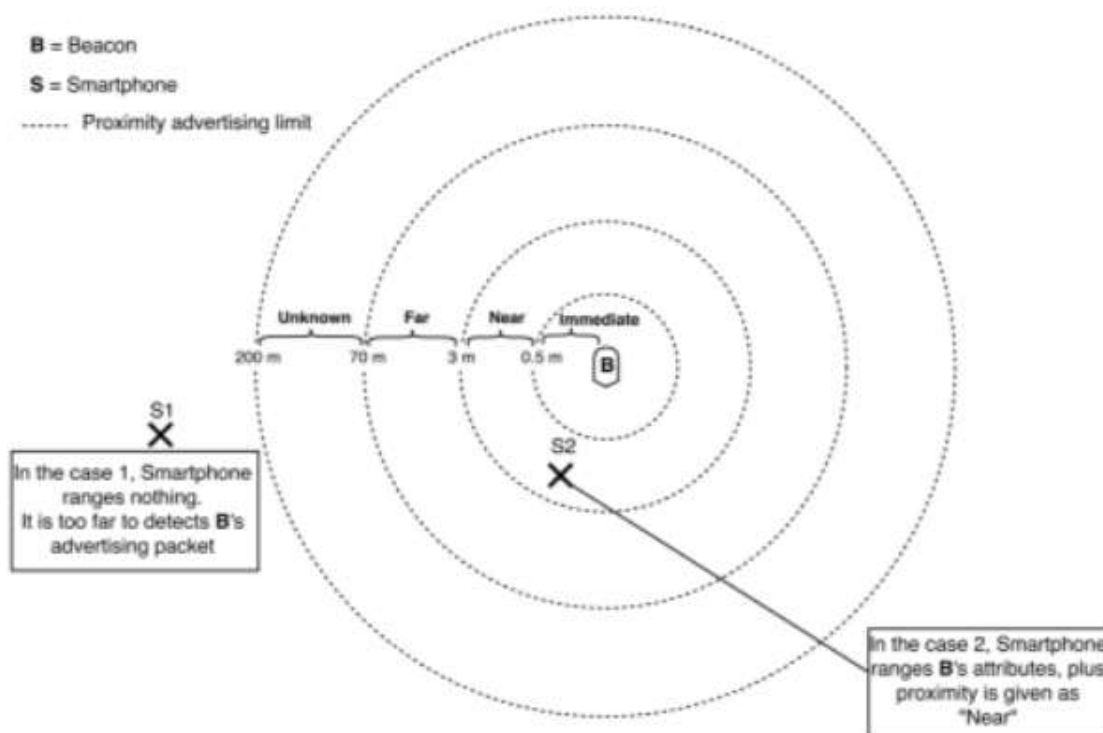


Ilustración 27: Rango de detección de iBeacon

3.2 Solución de comunicaciones

Como se ha analizado en el estado del arte, las comunicaciones LoRaWAN son las más apropiadas para el sistema Smart Beach.

El alcance del orden de kilómetros hace de este protocolo de comunicaciones el adecuado para disponer de soluciones independientes en cada Smart Beach, sin depender de ninguna otra red externa.

Además, esta red tiene un bajo consumo frente a sus competidoras lo que permitirá la inclusión de las diferentes soluciones de sensorización vistas en el apartado anterior.

En el futuro, si se despliega el 5G con niveles de cobertura aceptables para cualquier entorno natural y no solo en grandes ciudades, es posible que el sistema Smart beach evolucione a este tipo de comunicaciones ya usadas en algunas Smart City.

La posibilidad de desplegar una red propia LoRaWAN es relevante ya que con los propios dispositivos inteligentes existirá una interacción autónoma que permitirá la autogestión de los datos del sistema Smart Beach.

LoRaWAN es una especificación de protocolo basada en la tecnología LoRa desarrollada por LoRa Alliance. Utiliza bandas industriales, científicas y médicas (ISM) sub-1GHz sin licencia. Los dispositivos finales se comunican con las puertas de enlace LoRaWAN en un solo salto y estas puertas de enlace proporcionan un enlace ascendente TCP/IP al servidor de la red LoRaWAN, que luego es responsable de enrutar los mensajes entre los dispositivos y las aplicaciones de LoRaWAN de los diferentes subsistemas en función del tipo de dispositivo mencionado anteriormente.

Los end-devices pueden conectarse a múltiples gateways para su redundancia y el servidor de red administra paquetes duplicados [35].

En la siguiente figura se muestra el diagrama de la solución de comunicaciones:

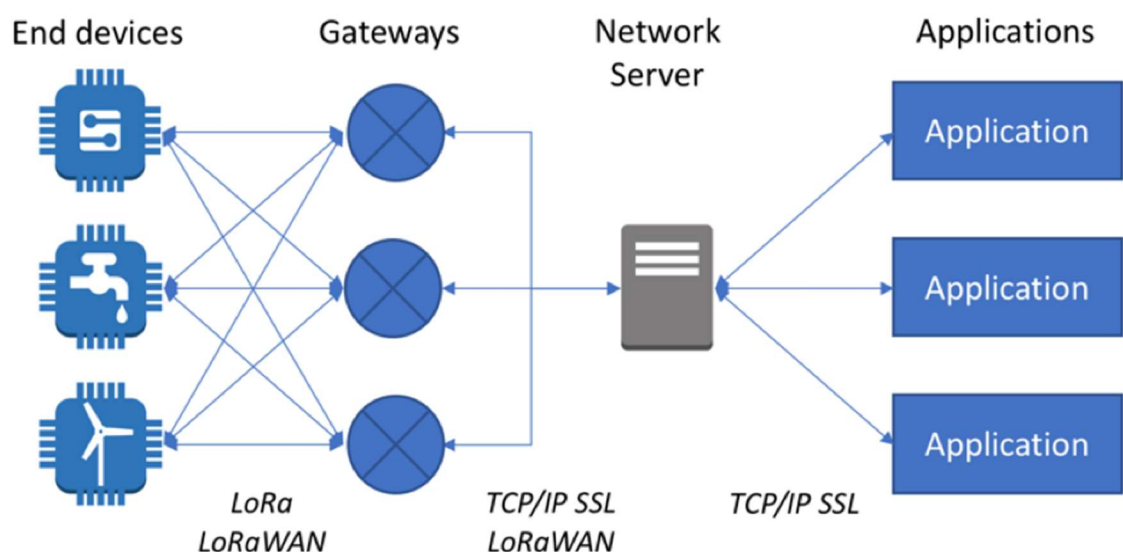


Ilustración 28: Solución de comunicaciones LoRaWAN

En el apartado 3.5 se amplía la información sobre la arquitectura lógica de la red de la Smart Beach de este proyecto.

3.3 Solución de almacenamiento y gestión de los datos

Actualmente en el mercado existen varias plataformas IoT. A continuación, se analizan las más relevantes para elegir cual es la más idónea para el sistema Smart Beach.

3.3.1 Amazon Web Services IoT

AWS es una plataforma cloud que ofrece herramientas para el desarrollo de soluciones, la comunicación con dispositivos, la representación y el análisis de los datos.

Está basado en un modelo de suscripción PaaS que integra el sistema operativo para microcontroladores hasta la plataforma de gestión y análisis de los datos [35].

Incorpora la integración completa con redes LoRaWAN a través de servicios como The Things Network (TTN).

TTN es una red global LoRaWAN que proporciona una serie de herramientas a bajo coste. Forma parte de la LoRa Alliance y ofrece una solución compatible con numerosos objetivos. Se ofrece como SaaS, PaaS o en una infraestructura on-site propia, con distintas alternativas y tarifas [36].

3.3.2 Microsoft Azure IoT

Microsoft Azure es una plataforma cloud especializada en IoT, que dispone de herramientas para administrar los dispositivos, balancear cargas de trabajo e incluso para replicar espacios físicos reales [37]

La integración de LoRaWAN se hace también a cargo de TTN y está basado en un modelo de suscripción PaaS.

3.3.3 Google Cloud

Una de las plataformas más relevantes es la de Google cloud, basada en suscripción PaaS, enfocada en servicios de mantenimiento, seguimiento de recursos en tiempo real y logística [38].

Su integración con dispositivos LoRaWAN se hace a través de LoRa Server.

LoRa Server ofrece componentes de código abierto para redes LoRaWAN que forman una solución preparada para utilizar con APIs disponibles para integrarlo en otras soluciones. Se trata de una solución modular que abarca desde componentes de servidor hasta soluciones para los dispositivos [39].

3.3.4 Fiware

Por otro lado, Fiware es una iniciativa de código abierto que define un conjunto de estándares para la gestión de datos. Está enfocada en el desarrollo de soluciones Smart (city, beaches, building...) y pensado para ser desplegado sobre una infraestructura propia [40].

Su componente central es Orion Context Broker, el encargado de crear contexto y gestionar la información [41]. También existen una serie de complementos con diferentes funciones:

- **IoT Agent:** es un componente disponible para LoRaWAN que interactúa con los diferentes dispositivos o sistemas.
- **Seguridad:** hay disponibilidad de un identity manager como Fiware IDM Keyrock y de un proxy como Wilma a través del que acceder al sistema para hacerlo más seguro.
- **Desarrollo interfaz:** permite crear dashboards web con Wirecloud.
- **STH Comet:** permite almacenar históricos de valores de los dispositivos y no solo el más reciente.

La integración por tanto con LoRaWAN puede hacerse tanto a través de LoRa Server como de TTN. Y además ofrece un servicio cloud para el despliegue de soluciones con pago previo.

3.3.5 Conclusiones

Tras analizar las diferentes opciones de almacenamiento se llega a la conclusión de que cualquiera de las cuatro plataformas de gestión es válida para la aplicación de Smart Beach.

En este caso se propone el uso de AWS IoT ya que es una infraestructura robusta que funciona para redes propias y utiliza el servicio TTN.

Hay que destacar que la suscripción a los servicios de Google, Amazon y Microsoft tiene un coste más elevado frente a Fiware, lo que para algún proyecto de aplicación específica con coste reducido, este coste puede ser relevante para la elección de la plataforma de datos.

A priori se descartan las soluciones de Microsoft y Google frente a la de AWS debido a que la infraestructura de Amazon parece estar más preparada para integrar soluciones con cargas de datos provenientes de diversos sistemas como son las que se integran en nuestra Smart Beach.

Fiware es una solución de código abierto y por tanto sin coste de suscripción, pero conlleva un coste de desarrollo on-site para las diferentes instituciones que quieran desplegar una Smart beach, a no ser que una misma institución con una API ya desarrollada quiera desplegar un proyecto similar en otra localización. Con Amazon se reduce este problema ya que, con la suscripción a la plataforma, cualquier institución turística puede desarrollar las APIs de los subsistemas de una manera muy estándar para las diversas playas inteligentes que nos podemos encontrar.

Tras investigar sobre las plataformas de almacenamiento y gestión de los datos en profundidad, he podido observar que desde hace años la administración pública española y muchas ciudades y destinos inteligentes están apostando por implantar las “Plataformas de ciudad inteligente”.

Estas plataformas son cuadros de mando de la ciudad, con infraestructura IoT/Big Data, cuyo objetivo principal es precisamente unificar los datos de

los múltiples sistemas inteligentes implantados para facilitar la toma de decisiones en la ciudad.

Existen dos normativas españolas específicas, la UNE 178104:2017 y la UNE 178501:2018, las cuales se describen a continuación.

- **UNE 178104 [41.1]:** esta norma tiene por objeto,
 - Identificar las capacidades que debe tener una plataforma de ciudad/playa.
 - Estructurar estas funcionalidades/capacidades en un Modelo de Capas congruente.
 - Identificar los componentes y módulos necesarios para dotar de las funcionalidades requeridas a la ciudad/playa y situarlos en el Modelo de Capas.
 - Definir los requisitos que deben cubrir estos componentes, a nivel de interoperabilidad, seguridad, rendimiento, disponibilidad, etc.

Cabe destacar que no es objeto de esta normativa definir los protocolos concretos de comunicación, los tipos de bases de datos, las soluciones técnicas concretas de los componentes de la plataforma, ni la semántica asociada al intercambio de información, si bien se dan algunas indicaciones para permitir la compatibilidad de aplicaciones y permitir la operación y desarrollo de los servicios ciudadanos por entidades diferentes de los desarrolladores de las plataformas.

- **UNE 178501 [41.2]:** esta norma especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de un Destino Turístico Inteligente que considere adecuadamente la gobernanza, la innovación, el uso de tecnologías, la accesibilidad universal y la sostenibilidad en dicho destino. Es aplicable a todo tipo de destinos turísticos, independientemente de su concepción, tamaño y naturaleza de su Ente Gestor.

Hay grandes esfuerzos desde la administración pública española para implantar estas normativas sobre las plataformas de gestión en las ciudades/playas inteligentes o DTI, como en el Plan Nacional de Ciudades y Territorios Inteligentes donde se destinan muchos millones de euros para implantar este tipo de plataformas de ciudad inteligente.

Estas plataformas son una buena alternativa a nuestra plataforma de datos AWS IoT de nuestra Smart Beach a nivel nacional, ya que cumpliría con su propósito, pero se opta por la opción AWS para generalizar la solución de Smart Beach a nivel mundial y no acotarlo a nivel nacional, ya que se puede dar el caso de monitorizar una playa fronteriza entre dos países como podría ser España y Portugal donde podrían aparecer discrepancias de normativa que con una plataforma de datos de suscripción a la nube común a los dos países como es Amazon se soluciona.

3.4 Arquitectura física de la solución

La arquitectura física de este sistema es sencilla en comparación con otras infraestructuras más complejas ya que debido al diseño elegido se van a utilizar comunicaciones inalámbricas con una red LoRAWAN a lo largo de toda la playa.

Las comunicaciones inalámbricas simplifican la capa física de comunicaciones, no teniendo que hacer grandes despliegues de cableado UTP o fibra óptica.

Las soluciones de sensorización propuestas integrarán un microcontrolador que será capaz de comunicarse en este protocolo y por tanto estar integrado dentro de la red Smart Beach como hemos visto anteriormente.

Los dispositivos actuadores y las cámaras de videovigilancia por su parte se conectarán a gateway o switch de interconexión que es el que estará integrado dentro de la red LoRaWan y tendrá acceso a los servidores de los diferentes sistemas.

Una vez vista la parte de comunicaciones físicas, nos centramos en la alimentación eléctrica de los end-devices del sistema.

Los sensores autónomos se alimentan con la energía captada del entorno, mediante la red LowPowerWAN, una red de bajo consumo como hemos visto anteriormente en el presente trabajo, lo que nos permite reducir el tamaño de las baterías y los mantenimientos recurrentes se producen cada mucho más tiempo del orden de 5 a 10 años. Por lo que, en cuanto a la alimentación, la autonomía del sistema aumenta considerablemente utilizando esta red de bajo consumo LoRaWAN. [42].

Para las cámaras y actuadores debido al gran consumo de energía de los diferentes dispositivos como las pantallas, las balizas inteligentes, etc; se ha decidido incluir una conexión UTP PoE hacia el Switch PoE de la red LPWAN, lo que proporcionará la alimentación necesaria a estos dispositivos, en torno a 30W por end-device.

A continuación, se muestra el modelo de switch IoT LoRaWAN incluido en el sistema Smat Beach [43]:



Ilustración 29: Switch PoE wireless routing LPWAN

Debido a su número de puertos, con el despliegue de 3 switches en posiciones estratégicas, a lo largo de la playa teórica, podremos aglutinar todas las soluciones hardware propuestas necesarias.

La red LoRaWAN recoge todos los datos de los microcontroladores de los sensores y los dispositivos que necesitan alimentación PoE serán cableados hasta los switches que a su vez aguas arriba tendrán conexión con el servidor.

A menudo, las conexiones alámbricas conllevan grandes implicaciones de obra civil y adecuaciones, sobre todo en este entorno turístico, pero hay que destacar que la gran mayoría de soluciones propuestas se pueden gestionar de manera inalámbrica.

En el caso de las cámaras y los actuadores también es adecuado utilizar TCP/IP para cumplir con un bitrate adecuado de los datos, ya que la tecnología LoRAWAN no es suficiente debido a sus limitaciones de velocidad para grandes tasas de datos aglutinados.

A continuación, se muestra la arquitectura física de la Smart Beach incluyendo los dispositivos y protocolos específicos utilizados:

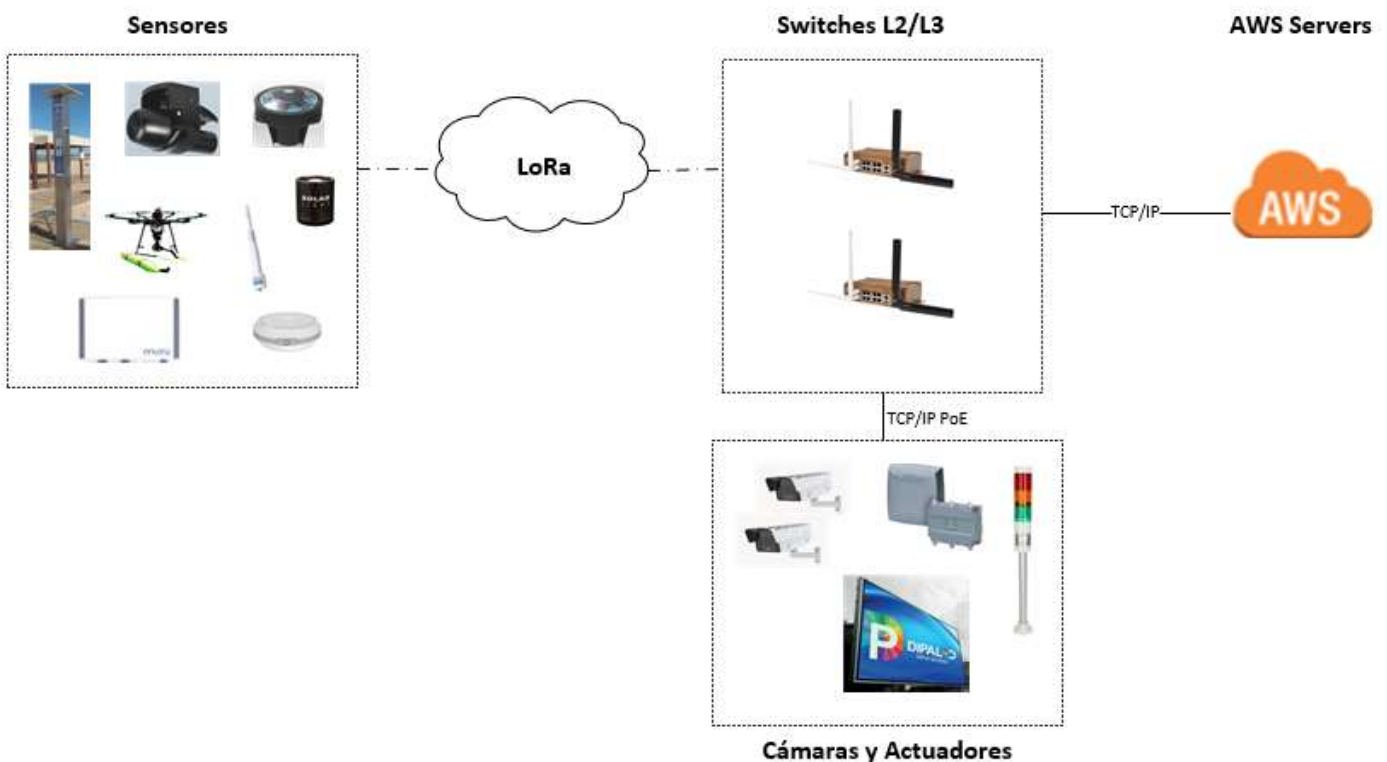


Ilustración 30: Arquitectura física de la Smart Beach

3.5 Arquitectura lógica de la solución

Desde el punto de vista lógico se crea una arquitectura para conectar los dispositivos o end-devices con el AWS IoT Core usando el protocolo de red LoRaWAN.

Con el Amazon Web Service IoT Core para LoRaWAN, podemos configurar una red LoRaWAN privada conectando sus dispositivos Smart

Beach y gateways LoRaWAN a la nube de AWS, sin desarrollar ni operar un servidor de red para LoRaWAN.

Para el caso de uso de IoT Smart Beach, los sensores solo necesitan transmitir datos poco frecuentes y de baja tasa de bits. Estos sensores pueden comunicarse a grandes distancias y la vida útil de la batería autónoma se extiende por años, lo que significa que se reemplazan con poca frecuencia. Las redes LoRaWAN son una buena opción para este caso de uso y son una excelente manera de recopilar datos de sensores.

Los end-devices tienen una interfaz LoRa que se comunica directamente con los gateway mediante radiofrecuencia. Por lo tanto, el acceso seguro a la red y la identificación son administrados por la red LoRaWAN y no por AWS IoT.

Por ello, los dispositivos LoRaWAN no tienen instalado el SDK de AWS IoT. Para que los datos del dispositivo fluyan desde una red LoRaWAN a AWS IoT, el servidor de red está integrado con el servicio AWS IoT. Algunos de los proveedores de redes LoRaWAN ahora están integrando AWS IoT en sus productos, pero no podemos tenerlo en cuenta para el presente trabajo ya que no es una característica generalizada.

La integración de AWS IoT LoRaWAN se muestran en el siguiente diagrama:

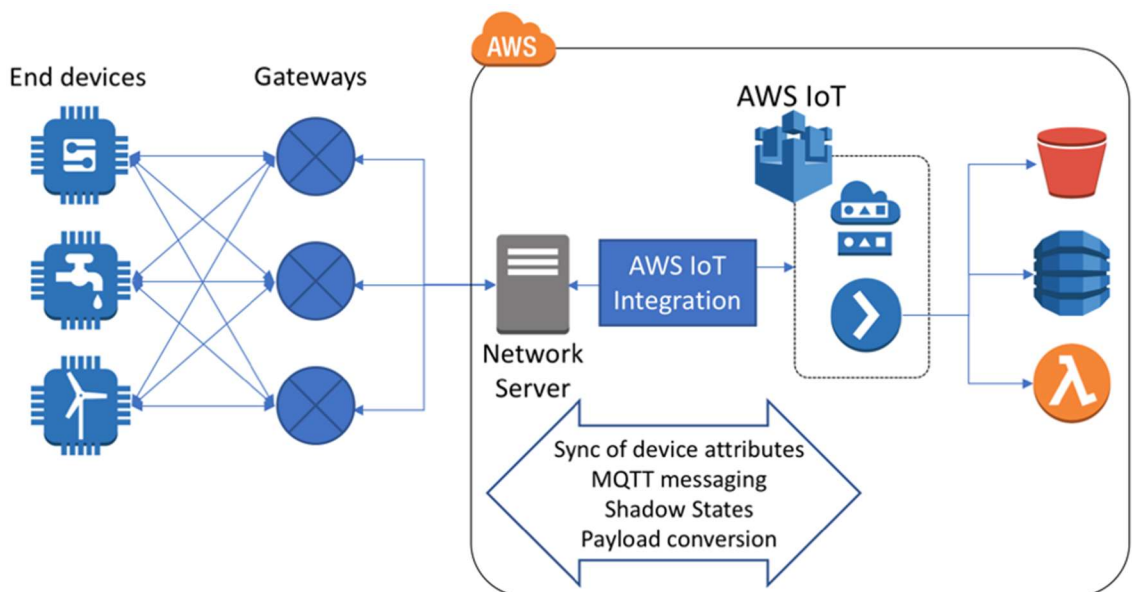


Ilustración 31: Integración de red LoRaWAN en AWS

Las principales funciones para realizar esta integración son:

- Sincronizar la información y los atributos de los dispositivos entre el servicio de administración de dispositivos de AWS IoT y el servidor de red LoRaWAN. Si se cambia un atributo en uno, debería propagarse al otro.
- Admitir la comunicación bidireccional para que pueda ingerir datos del sensor y también enviar datos de control. LoRaWAN admite comunicaciones bidireccionales en varias clases de comunicación.

- Ser capaz de abstraer AWS IoT Shadow Service para que pueda obtener y establecer en todo momento el estado de cosas de AWS IoT a través de la red LoRaWAN al dispositivo habilitado para LoRa.
- Ser capaz de convertir datos LoRaWAN, que normalmente se componen de byte, para minimizar la sobrecarga, a un documento JSON que se espera del servicio AWS IoT.
- Ser confiable, escalable y apto para su propósito. Es decir, asegúrese de probar y validar que su red LoRaWAN sea adecuada para su caso de uso.

Todos estos componentes pueden ejecutarse en una cuenta de AWS de un solo cliente, pero es más común ver el servidor de red ejecutándose en la cuenta de AWS del proveedor de la red LoRaWAN y los componentes de la aplicación de End-user y AWS IoT ejecutándose en la cuenta de AWS de un cliente.

En resumen, la tecnología LoRaWAN ofrece a los clientes de la Smart Beach, en este caso los ayuntamientos, instituciones o empresas privadas; una excelente manera de construir redes IoT que admitan tasas de bits bajas, bajo uso de energía y una vida útil prolongada del dispositivo en grandes áreas geográficas como la extensión de nuestra playa teórica.

Además, con la integración de AWS IoT, los clientes pueden aprovechar lo mejor de ambos mundos al llevar el poder de la nube a sus datos de IoT.

Desde el punto de vista lógico de la solución de comunicaciones, cabe destacar que el 4G también es una opción sencilla y suficiente para ciertos casos, siempre haya cobertura suficiente en la playa que se quiere cubrir, lo que hoy en día en España sí es factible. Además, todos los dispositivos ya vienen preparados para ello.

Para el presente proyecto, como se ha mencionado anteriormente, se opta por la red LoRA local entre otras cosas por la no idoneidad de las redes de generación 4G en cuanto al consumo energético, pero actualmente la red 4G y en el futuro la red 5G son las mejores alternativas a la red LoRaWAN propuesta para este proyecto.

4 Análisis Técnico-económico de la solución

En este apartado se realiza un análisis económico de las soluciones implementadas en la playa teórica a lo largo de este trabajo.

Con ello se puede obtener el coste estimado de implementación de este sistema Smart Beach al completo para una playa teórica standard que disponga de bandera azul.

Este análisis será de utilidad para la estimación de futuros costes en aplicaciones de playas reales.

En primer lugar, se presenta la siguiente tabla resumen de cantidades de dispositivos implementados en la Smart Beach teórica, con un coste asociado estimado como la media de diferentes fuentes, lo que significa que no se trata del coste de una solución con una marca concreta pero sí con unas características comunes, las cuales han sido descritas a lo largo del presente trabajo.

Descripción	Cantidad	Coste Unitario	Coste Total
Sensor de sustrato	100	15 €	1.500 €
Dron autónomo de vigilancia y salvamento con base de carga inalámbrica	3	7.000 €	21.000 €
Cámara de videovigilancia y control de aforos	6	2.000 €	12.000 €
Batimetría inteligente	5	40.000 €	200.000 €
Boya inteligente	5	3.000 €	15.000 €
Sensor UVA	2	200 €	400 €
Sensor de temperatura	4	80 €	320 €
Sensor de humedad	4	30 €	120 €
Sensor de calidad del aire	3	400 €	1.200 €
Ducha inteligente	6	500 €	3.000 €
Bandera inteligente	3	250 €	750 €
Pantalla de información al turista	5	1.800 €	9.000 €
Atril de información táctil	3	1.600 €	4.800 €
Puntos de acceso WiFi	10	450 €	4.500 €
iBeacon	6	40 €	240 €
Coste total de sensores y actuadores			273.830 €

Tabla 3: Coste sensores y actuadores de la Smart Beach

Tras este primer análisis destaca el coste de las batimetrías inteligentes que al ser un dispositivo que requiere mucha resolución y precisión en el agua, para definir el fondo marino y la detección de animales u objetos no deseados, su coste se dispara por lo que en este caso teórico representa en torno al 70% del coste de todos los sensores y actuadores de la playa teórica.

Existen programas de financiación pública que pueden contribuir en la inversión inicial de estos proyectos de digitalización Smart beach, con la intención de fomentar entre las empresas la implantación de proyectos de esta magnitud.

En este estudio de costes no están contemplados los costes software, algunos dispositivos incluyen su propio software de gestión, pero otros no y el coste puede ser elevado según la solución específica elegida. Tampoco está contemplado la integración de las comunicaciones entre los sistemas, para que se hablen entre sí, aunque a continuación en este apartado aparecen los costes de configuración de la red LoRA de comunicaciones.

Los costes de integración junto con la instalación física de cableado, infraestructuras y dispositivos son factores que afectan al cómputo total del coste del proyecto de manera considerable y deberán ser tenidos en cuenta en cuenta en un caso de aplicación real.

En resumen, el alcance de este análisis técnico-económico de costes se centra en el coste de los dispositivos, el coste de la red de comunicaciones y el coste del almacenamiento en la nube de los datos, pero no entra al detalle de otros elementos como el software propio de cada dispositivo, la instalación o la integración del sistema.

Por este estudio de costes, se observa que de los tres elementos principales que se quieren monitorizar agua, arena y aire, se obtienen los siguientes resultados, donde los dispositivos de monitoreo de zonas acuáticas tienen un coste mayor:

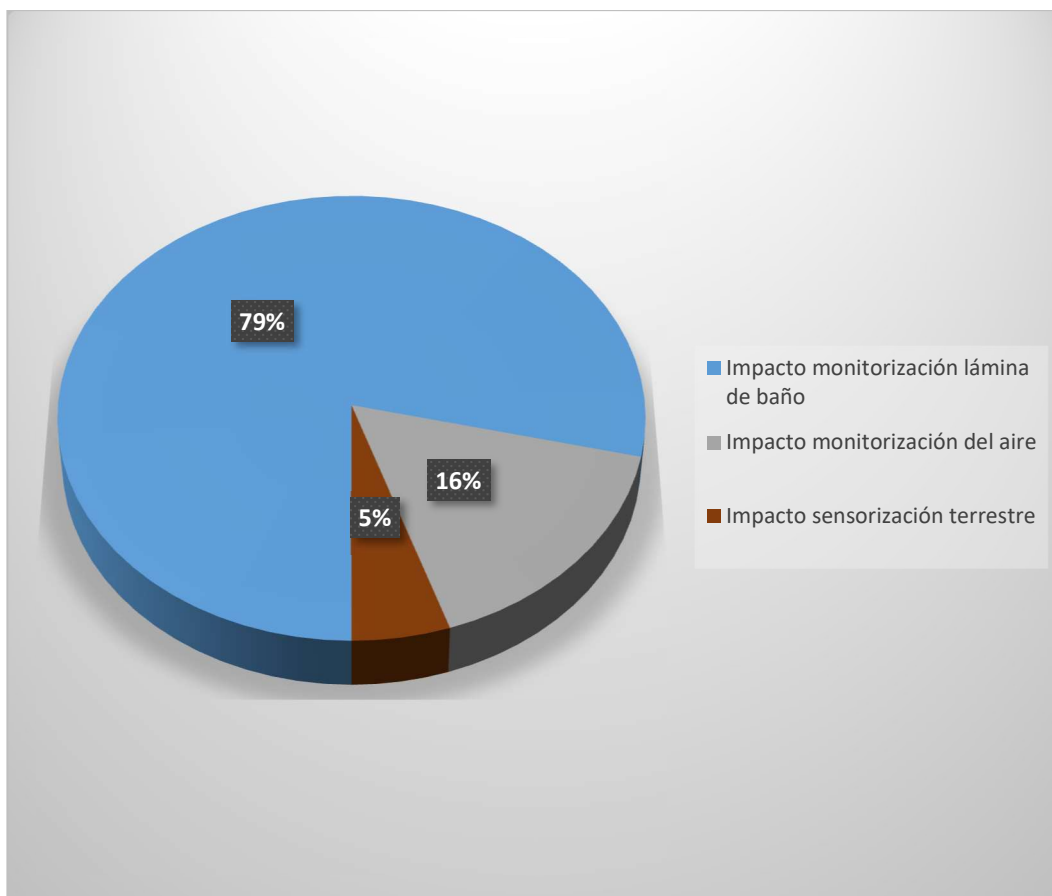


Ilustración 32: Gráfico costes por entorno monitorizado de Smart Beach

Esto es debido a dos cosas principalmente, la gran extensión de lámina de agua de baño que hay que cubrir generalmente en las playas y el propio coste de la tecnología que debe ser rugerizado y hermético para soportar las inclemencias del tiempo y que los dispositivos y sensores no se vean dañados.

Por otro lado, analizando el impacto de cada una de las tres principales áreas de interés que se quieren cubrir con este trabajo: la seguridad, la accesibilidad y la sostenibilidad; se puede observar en el siguiente gráfico los resultados obtenidos aglutinando cada sensor y dispositivo en relación con el sector que cubren sus funcionalidades, como ya hemos visto anteriormente en este trabajo:

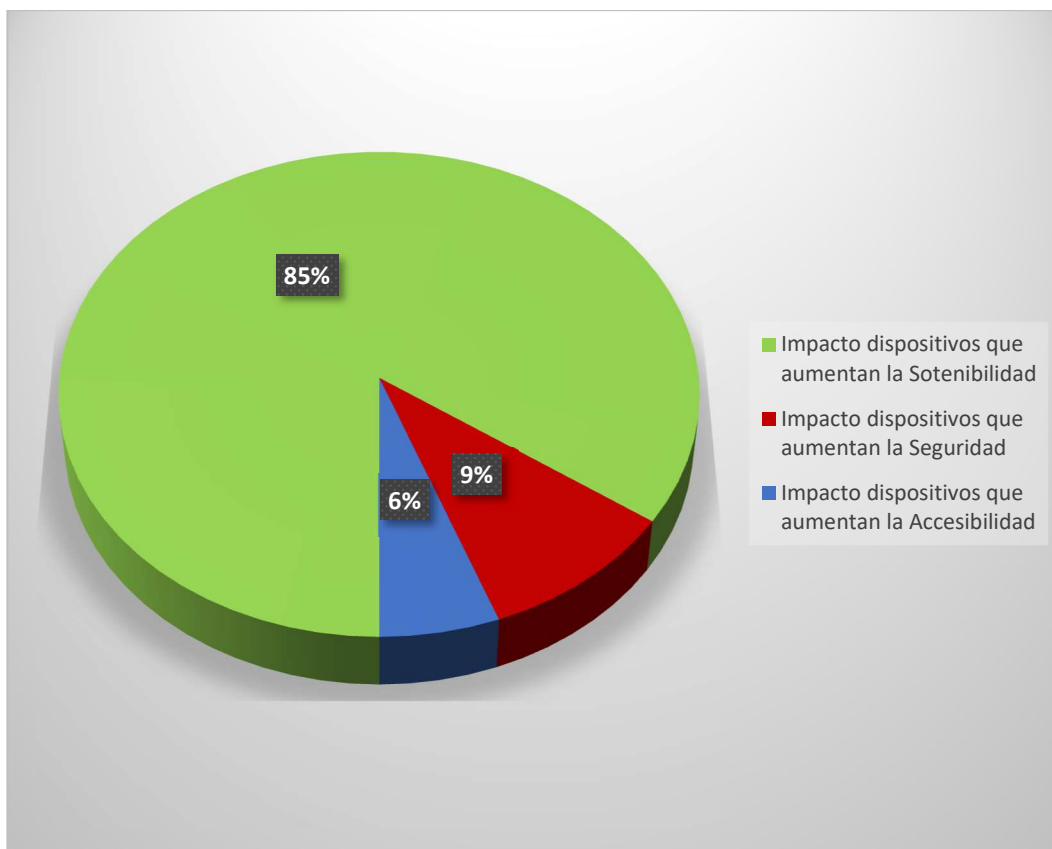


Ilustración 33: Gráfico costes por funcionalidades aportadas a Smart Beach

En este caso la inversión más alta se obtiene en sostenibilidad ya que al igual que en los casos anteriores, el monitoreo del fondo marino, con la detección de fauna, flora o residuos, es una de las tecnologías con más coste y muy necesaria para poder disfrutar del mejor entorno posible en la Smart Beach.

Hay que remarcar que el coste mostrado se corresponde únicamente al coste de los materiales de los dispositivos y no incluye en ningún caso la instalación lo que quedaría fuera del alcance de diseño y del presente trabajo.

Una vez analizada la solución de end-devices, a continuación, se presenta la siguiente tabla resumen con los equipos y materiales de la solución de comunicaciones.

Descripción	Cantidad	Coste Unitario	Coste Total
Router L2/L3 LoRaWAN PoE	3	1.500 €	4.500 €
Cableado UTP PoE (Metros)	300	0,70 €	210 €
Configuración de la red LoRA	1	4.800 €	4.800 €
Coste total de red de comunicaciones			9.510 €

Tabla 4: Coste red de comunicaciones de la Smart Beach

Para la configuración de la red LoRA se estiman 80 horas de trabajo de un ingeniero de redes para integrar los 165 dispositivos de la playa teórica y sus flujos de tráfico.

Para completar el análisis económico en base a las características técnicas definidas en la Smart Beach se muestra en la siguiente tabla la solución de almacenamiento y gestión de los datos [44]:

Descripción	Cantidad	Coste Unitario	Coste Total
AWS IoT Core (coste mensual)	12	250€	3.000€
Network Server TTN	1	1.220€	1.220€
Coste total de solución de almacenamiento y gestión de los datos			4.220 €

Tabla 5: Coste solución almacenamiento y gestión de datos Smart Beach

Queda fuera del alcance de este trabajo el conexionado físico de los gateway de la red LoRAWAN con el servidor ya que habría que analizar la situación particular de cada playa o ciudad inteligente.

El coste de la suscripción a AWS es anual y recurrente, pero representa un 1% del coste total del proyecto por lo que es asumible para la operadora de servicios de la Smart Beach.

Para representar de manera gráfica la implicación económica del despliegue de cada parte de la estructura de la solución Smart Beach, se presenta el siguiente gráfico en el que cada capa del sistema representa un porcentaje:

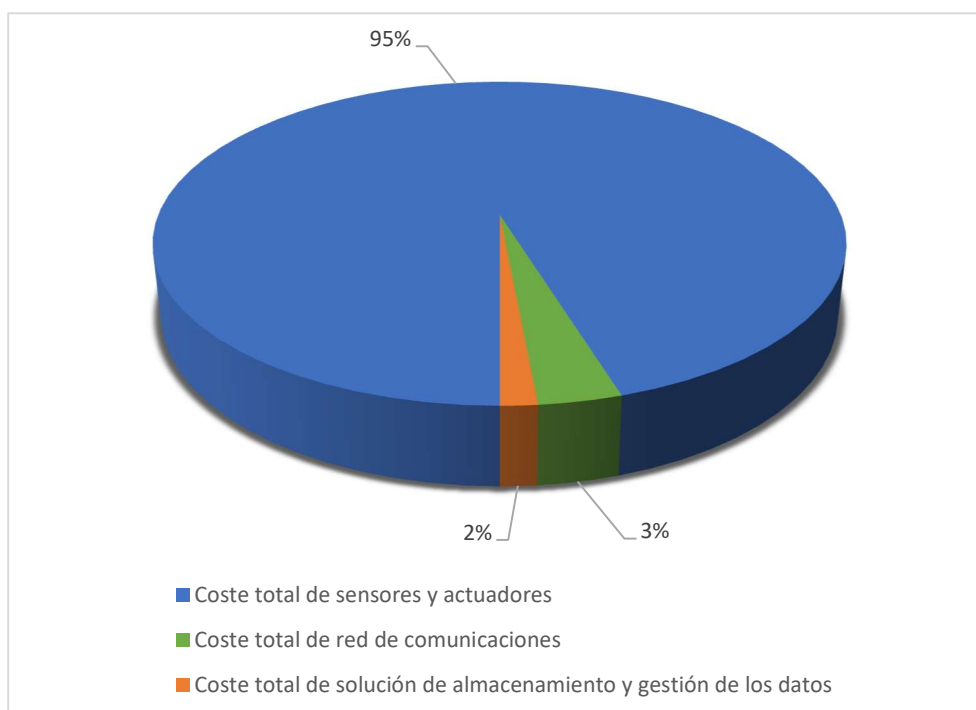


Ilustración 34: Gráfico de porcentaje de costes de la Smart Beach

El coste total de materiales y configuración de red de la smart beach teórica de este trabajo es **287.560€**, dejando fuera los posibles esfuerzos de instalación e integración de las soluciones ya aplicables en un entorno real de la solución integral.

Analizando el gráfico anterior vemos que el 95% del coste del despliegue técnico de la solución está en los sensores y dispositivos, frente a la solución de red y gestión de los datos que pueden aglutinar una gran cantidad de tráfico e información.

El foco tecnológico de la Smart Beach debe ir orientado a una buena elección de dispositivos resistentes y con una autonomía alta para aumentar la fiabilidad, sostenibilidad, accesibilidad y seguridad en las zonas costeras de baño inteligentes.

5 Conclusiones

5.1 Lecciones aprendidas con el Trabajo

Cuando propuse el tema de una solución integral de Smart Beach del presente Trabajo Final de Master, resultaba un tema muy interesante y a la vez retador. En ocasiones este tema queda relegado en importancia frente a las Smart Cities, pero la idea de implementar una solución integral de Smart Beach es ambiciosa, ya que la tendencia actualmente es digitalizar o incluir pequeños sistemas en las playas, pero no presentar una solución completa e integral con la cual monitorear todos los entornos.

Durante el presente trabajo se ha investigado sobre las diferentes tecnologías hardware que existen o están por desarrollar para cumplir con las funcionalidades que se fijaron como objetivo.

También se ha analizado las diferentes redes de comunicaciones posibles, con las dificultades que se pueden presentar actualmente y con las ventajas que nos aportan unas redes frente a otras. En algunas asignaturas de este máster ya se trata sobre algunas de estas tecnologías por lo que se ha podido plasmar los conocimientos aprendidos, además de ampliarlos.

Otra de las grandes lecciones de este trabajo es sobre la solución de almacenamiento y gestión de los datos, algo que en un primer momento no estaba contemplado dentro de los objetivos pero que finalmente según ha avanzado el transcurso del trabajo, se ha convertido en una parte fundamental para el sistema, ya que le aporta una escalabilidad muy importante.

Finalmente proponer una arquitectura integral a nivel físico y lógico ha sido un reto que se ha conseguido satisfactoriamente gracias a la base sólida del Trabajo Final de Master y las asignaturas previas cursadas en él.

5.2 Objetivos obtenidos

Analizando los objetivos predefinidos para este trabajo, se concluye que han sido superados satisfactoriamente por lo siguiente:

- **Análisis municipios costeros:** Se han presentado referencias de proyectos en curso en fase de diseño y de instalación de playas inteligentes con soluciones integrales similares a las del presente trabajo. Estos proyectos se están integrando dentro de la red de Destino Turísticos Inteligentes de España.

Las soluciones de estos proyectos de municipios españoles no cubren las mismas necesidades que las del presente trabajo, tienen un alcance más reducido, aunque comparten puntos en común. Por lo que se concluye que no hay unas necesidades claras de los usuarios finales hacia las Smart Beaches, es necesaria más información sobre el entorno para que la playa sea más accesible, sostenible y segura; pero se puede enfocar de diferentes maneras, tantas como diferentes soluciones hay en el mercado.

- **Búsqueda de soluciones hardware:** se han estudiado diferentes tipos de sensores, dispositivos y tecnología de estos para cubrir las necesidades de los diferentes entornos de la Smart Beach.

Dicha búsqueda ha servido para conocer y comparar las posibilidades tecnológicas que hay actualmente en el mercado.

- **Selección de soluciones propuesta:** se han seleccionado sensores y dispositivos específicos para el diseño del proyecto de la Smart Beach teórica con protocolos de comunicación adecuados para que la comunicación sea óptima.
- **Análisis y selección tecnología de comunicaciones:** se ha seleccionado un tipo de tecnología de comunicaciones después de analizar las diferentes opciones del mercado. Se ha elegido la opción que se considera más beneficiosa para el sistema y de menor coste.
- **Análisis y selección de gestión de datos:** se han analizado las diferentes opciones de almacenamiento y gestión cloud de los datos y se ha seleccionado la plataforma software que más encaje tiene en el mercado por sus características particulares.
- **Análisis económico del sistema:** se ha realizado un análisis de impacto en costes, en función de los requerimientos técnicos de las soluciones propuestas para la Smart Beach teórica. Con este análisis se puede conocer la viabilidad financiera de inversión de un proyecto de solución integral Smart Beach de la envergadura de la playa teórica.

Se concluye que aun teniendo que analizar los costes de integración e instalación, para una empresa con cierto volumen de facturación afrontar un proyecto Smart Beach como el definido en esta playa teórica es asumible, estando además financiado en una inversión inicial por políticas españolas y europeas.

El retorno económico para la empresa que implante el proyecto puede venir por múltiples vías como la publicidad, además de ofrecer un servicio que estará muy valorado por los usuarios ya que se encontrarán en un entorno más seguro, sostenible y accesible.

5.3 Planificación y metodología adoptada

La planificación inicial del Trabajo Final de Master ha coincidido con la transcurrida en la realidad, sin haber experimentado grandes desviaciones temporales.

Los grandes bloques incluidos en la planificación, que coinciden con las entregas de las PEC, se han cumplido en los plazos establecidos.

La metodología Canvas, prevista inicialmente, ha sido empleada con éxito. Dicha metodología ha sido adecuada y ha propiciado así la consecución de los objetivos marcados para el presente trabajo.

5.4 Líneas de trabajo futuras

Este trabajo deja abiertas varias líneas de mejora futuras muy interesantes para investigar:

- **Integración en redes 5G:** Una vez la cobertura 5G cubra la mayor parte de la extensión de terreno y no solo las grandes ciudades, será una gran opción migrar este sistema integral Smart Beach de la red LoRa Local a la red 5G o incluso mantener la red local si ya estuviera implantada como backup de comunicaciones en caso de fallo.
- **Realización de prototipo sistema integral:** Debido a las limitaciones físicas evidentes y de presupuesto, no se ha podido realizar un prototipo real integrando todas estas soluciones en la red. Es muy interesante probar y configurar una maqueta de esta playa inteligente teórica que luego se pueda adecuar a infinidad de proyectos y localizaciones del litoral.
- **Aplicación móvil para los usuarios:** Con el objetivo de fomentar el uso y la consulta de la información proporcionada por las infraestructuras Smart Beach, se propone desarrollar una aplicación que esté integrada con una API con los servidores de datos del sistema, en la cual se pueda consultar la información de uno o varios sistemas Smart Beach de interés. Esta aplicación mostrará una información similar a la de las pantallas de información al turista, pero con la comodidad de tener acceso personal a la información pública.
- **Realización de predicciones:** A través de la información recopilada por los sensores, el Big Data y la Inteligencia Artificial, el sistema tendría capacidad de crear predicciones ambientales, de seguridad y crear avisos para los usuarios más allá de la información inmediata recogida en el momento. Existen modelos analíticos para analizar los cluster de datos de información almacenada por los sistemas Smart Beach y obtener patrones válidos para generar estas predicciones.
- **Completar análisis económico:** Hay elementos que por el carácter teórico del trabajo no están contemplados en el estudio de costes, como bien son la integración y la instalación, por lo que quedan pendientes de estudio para un caso de Smart Beach real donde se conciba la ejecución de un proyecto completo.

6 Glosario

Abreviatura	Definición
IoT	Internet of Things (Internet de las cosas)
Smart Beach	Playa inteligente
TFM	Trabajo Final de Master
AWS	Amazon Web Services
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
TTN	The Things Network
DTI	Destino Turístico Inteligente
BLE	Bluetooth Low Energy
ISM	Industrial Science Medicine
PoE	Power over Ethernet
APP	Aplicación móvil
IA	Inteligencia Artificial

Tabla 6: Abreviaturas

7 Bibliografía

- [1] Diseño de playas inteligentes – 09/03/2022:
<http://www.delatorreconsulting.com/disenio-de-playas-xcid>
- [1.1] Características playas inteligentes – 29/03/2022:
<https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/smart-beaches-como-son-y-que-ventajas-tienen-las-playas-inteligentes/>
<https://empresas.blogthinkbig.com/playas-inteligentes-la-tecnologia-como-herramienta-de-marketing-turistico/>
- [1.2] Destino Turístico Inteligente – 30/03/2022:
<https://www.destinosinteligentes.es/destinos-inteligentes/>
<https://www.segittur.es/destinos-turisticos-inteligentes/proyectos-destinos/red-dti/>
- [2] Implantación Smart Beach – 09/03/2022:
<https://www.nobbot.com/tecnologia/existen-ya-las-smart-beaches/>
- [3] Sensores Playas inteligentes – 05/03/2022:
<https://empresas.blogthinkbig.com/https-empresas-blogthinkbig-com-10-sensores-para-crear-playas-inteligentes/>
- [4.0] Tipos de sensores de sustrato – 30/03/2022:
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/sensores-de-contenido-volumetrico-de-agua/>
- [5] Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre – Regulación utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-15721>
- [5.1] Drones autónomos – 11/03/2022:
http://www.new-r-drone.com/wp-content/uploads/sites/145/2019/11/CARACTERISTIQUES-TECHNIQUES_GB.pdf
- [6] Cámaras de videovigilancia – 11/03/2022:
<https://www.axis.com/es-es/products/fixed-box-cameras>
- [7] Sonar batimétrico – 11/03/2022:
<https://pdf.nauticexpo.es/pdf-en/norbit-subsea/norbit-high-end-turnkey-multibeam-iwbmsh/40046-97311.html#open497424>
- [8] Boyas inteligentes – 11/03/2022:
<https://www.satlink.es/boyas-inteligentes/satlink-boya-eco/>
- [9] Sensores UVA – 11/03/2022:
<https://solarlight.com/product/uva-sensor-pma1110/>

- [10] Sensores de Temperatura y Humedad – 05/03/2022:
https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Sondas%20de%20T-H12_tcm30-82944.pdf
- [11] Sensores de gases contaminantes – 11/03/2022:
<https://enviraiot.es/nanoenvi-eq/>
- [12] Duchas inteligentes – 12/03/2022:
https://www.lavozdelsur.es/ediciones/provincia-cadiz/valdelagrana-primera-playa-espana-con-duchas-inteligentes-se-activan-con-sensores_262471_102.html
- [13] Señalización e iluminación – 12/03/2022:
https://www.automation24.es/baliza-de-senalizacion-patlite-lr4-302pjinw-ryg?previewPriceListId=1&refID=adwords_shopping_ES&qclid=CjwKCAiAprGRBhBgEiwANJEY7NZ4w97xMfuucNY6FzY2onANPEf-Y3N6MIIX2UtB4Ki4m5t3dXSUoBoCyGEQAvD_BwE
- [14] Pantallas LED informativas – 12/03/2022:
<https://visualled.com/pantallas-led-informativas-smartcity/>
- [15] Punto de acceso WiFi – 12/03/2022:
https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/industrial-wireless-lan/scalance-w780-access-point-scalance-w740-client-module.html?qclid=CjwKCAiAprGRBhBgEiwANJEY7EwpFcaEgGPWeH pDNmCClqCci8PEgLCegRr3LaG7UjbjdP91jmA6gRoC4NgQAvD_BwE
- [16] Zimmerman, H. T., Land, S. M., Maggiore, C., Ashley, R. W., & Millet, C. (2016). Designing Outdoor Learning Spaces With iBeacons: Combining Place-Based Learning With the Internet of Learning Things In Looi, C. K., Polman, J. L., Cress, U., and Reimann, P. (Eds.). Transforming Learning, Empowering Learners: The International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2016, Volume 2. Singapore: International Society of the Learning Sciences
<https://repository.isls.org/bitstream/1/349/1/142.pdf>
- [17] LoRaWAN – 12/03/2022:
<https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- [18] Bluetooth and WiFi – 12/03/2022:
<https://itstillworks.com/bluetooth-vs-wifi-power-consumption-17630.html>
- [19] Zigbee – 12/03/2022:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Zigbee>
- [20] Sigfox – 12/03/2022:
<https://www.sigfox.es/>

- [21] Cobertura redes celulares – 12/03/2022:
<https://www.vodafone.es/c/conocenos/es/vodafone-espana/mapa-cobertura-movil/>
- [22] Proyecto Benidorm Smart Beach – 08/03/2022:
<https://benidorm.org/es/ayuntamiento/concejalias/innovacion-y-calidad/innovacion/lab-innovacion/proyectos-smart-office/proyecto-smart-playas>
- [23] Las Canteras Smart Beach – 12/03/2022:
<https://lpavisit.com/es/noticias/mar/158-playa-de-las-canteras/3510-el-proyecto-smart-beach-moderniza-los-servicios-de-las-canteras>
- [24] Sensor de sustrato – 11/03/2022:
<https://rambal.com/temperatura-humedad/929-sensor-de-humedad.html>
- [25] Dron autónomo de rescate acuático – 04/04/2022:
<https://dronehibrido.com/es/>
- [26] Normativa de socorristas acuáticos marítimos – 04/04/2022:
<https://www.iberomed.es/blog/2021/07/08/playas-con-bandera-azul-equipamiento-para-socorristas/#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20adecuado%20de%20socorristas,un%20n%C3%BAmero%20inferior%20a%202.>
- [27] Plataformas de carga inalámbrica – 04/04/2022:
<https://www.tecnopl.com/carga-inalambrica-para-robots-moviles-y-drones-autonomos/>
- [28] Software de control de aforos – 10/04/2022:
<https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/telefonica-disena-el-sistema-mas-avanzado-del-mercado-para-controlar-el-aforo-en-las-playas/#:~:text=99%20%25%20de%20fiabilidad-.Con%20esta%20soluci%C3%B3n%20de%20Telef%C3%B3nica%2C%20los%20ayuntamientos%20podr%C3%A1n%20controlar%2C%20de,datos%20de%20un%20potente%20software.>
- [29] Radiación UVA – 10/04/2022:
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta>
- [30] Regulación puestos de vigilancia – 10/04/2022:
<http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2003/112/001.html#:~:text=Elemento%20est%C3%A1tico%20que%20permite%20en,como%20de%20radiocomunicaciones%20y%20megafon%C3%ADa.>
- [31] Pantallas de información general – 14/04/2022:
<https://www.dipaled.com/assets/files/00.EXTERIOR-PANTALLA%20LED%20PUBLICIDAD.pdf>

- [32] Atril táctil de información – 14/04/2022:
<https://www.interactuando.es/wp-content/uploads/2019/12/DRC-Serie-T.pdf>
- [33] Proyecto Smart WiFi Palma de Mallorca – 05/04/2022:
<https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/dispositivos-conectar-wifi-24-ghz-5ghz/>
- [34] Guía detallada iBeacon – 14/04/2022:
<https://www.mokoblue.com/es/a-detailed-guide-to-ibeacon/>
- [35] Amazon Web Services and LoRaWAN – 23/03/2022:
<https://aws.amazon.com/es/blogs/iot/connect-your-devices-to-aws-iot-using-lorawan/>
- [36] The Things Network – 23/03/2022:
<https://www.thethingsnetwork.org/>
- [37] Microsoft Azure and TTN – 24/03/2022:
<https://azure.microsoft.com/es-es/overview/iot/#products>
<https://azure.microsoft.com/es-es/blog/the-things-network-and-azure-iot-connect-lorawan-devices/>
- [38] Google Cloud – 24/03/2022:
<https://cloud.google.com/solutions/iot/?hl=es>
- [39] LoRaWAN Network Server – 24/03/2022:
<https://www.chirpstack.io/>
- [40] Fiware – 24/03/2022:
<https://fiware-idm.readthedocs.io/en/latest/>
- [41] Orion Contact Broker – 24/03/2022:
<https://fiware-orion.readthedocs.io/en/master/>
- [41.1] Normativa UNE 178104:2017
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059471>
- [41.2] Normativa UNE 178501:2018
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060239>
- [42] Alimentación sensores autónomos – 18/04/2022:
https://www.researchgate.net/publication/303752711_Alimentacion_de_sensores_autonomos_Captacion_de_energia_del_entorno

[43] Switch IoT LoRaWAN – 18/04/2022:

https://www.womaster.eu/products_detail_Smart-City-%EF%BC%86-Industrial-IoT_Industrial-LTE-%7C-WLAN-%7C-PoE-Router_WR329%7CWR329P%7CWR329A%7CWR329PA.htm

[44] AWS IoT Core pricing – 19/05/2022:

<https://calculator.aws/#/createCalculator/IoTCore>