

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



”Desarrollo de un modelo IoT para la vigilancia en ambientes exteriores naturales”

Tesis

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de maestría en Ingeniería

MAESTRA EN INGENIERÍA

Presenta

Ana Elena Soto Fernández

Directora:

Dra. Mabel Vázquez Briseño

Ensenada, Baja California, Agosto del 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA**

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

**Desarrollo de un modelo IoT para la vigilancia en
ambientes exteriores naturales**

Tesis

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener
el grado de maestría en Ingeniería

MAESTRA EN INGENIERÍA

Presenta

Ana Elena Soto Fernández

Aprobada por:


Dr. Marcel Vázquez Briseño
Director de tesis


Dr. Juan Iván Nieto Hipólito
Miembro del comité


Dr. Christian Xavier Navarro Cota
Miembro del comité

Resumen de la tesis de Ana Elena Soto Fernández, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC. Ensenada Baja California, México, Agosto del 2021.

“Desarrollo de un modelo IoT para la vigilancia en ambientes exteriores naturales”

Resumen Aprobado por:


Dra. Mabel Vazquez Briseño

Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se ha ido integrando a un paso acelerado en diversos tipos de aplicaciones, tales como industria, hogar, salud, por mencionar algunos ejemplos, con la promesa de aportar gran valor en la ejecución de tareas, recolección de datos y mejora de procesos a un bajo costo. El futuro de Internet involucra a un sin número de objetos que utilizarán arquitecturas de comunicaciones estándar para brindar servicios a los usuarios finales [34]. Una de las áreas que se ha beneficiado con aplicaciones tecnológicas es el trabajo en exteriores naturales. Dichos ambientes representan un reto en cuanto a uso eficiente de energía, interpretación del entorno y resistencia a exteriores, así como la oportunidad de reducción de costos de operación, monitoreo continuo, escalabilidad, siendo estas algunas de las bondades que los sistemas basados en IoT puedan aportar. En el presente trabajo se expondrán los retos en la implementación de IoT en procesos de monitoreo en ambientes exteriores que se basa en un caso de estudio para el monitoreo de un ave costera como objeto de conservación en un entorno costero, midiendo el disturbio a través de herramientas y componentes IoT. El caso de estudio permite monitorear la perturbación de la zona, donde se realizan actividades socioeconómicas y de esparcimiento en áreas de anidación de una especie vulnerable. La propuesta es generar un modelo IoT para el monitoreo que facilite la integración y análisis de éste tipo de sistemas en ambientes exteriores naturales.

Abstract

Internet of Things (IoT) has been integrating at a rapid pace in various types of applications such as industry, home, health, to among others, with the promise of providing great value in the execution of tasks, data collection and process improvement at a low cost. The future internet will involve large number of objects that use standard communications architectures to provide services to end users cite fundatiosofmodernnetworking. One of the areas that has benefited from technological applications is is the work on natural areas. These environments represent a challenge in terms of efficient use of energy, interpretation of the environment and outdoor resistance, as well as the opportunity to reduce operating costs, continuous monitoring, scalability, these being some of the benefits that IoT-based systems can contribute. In this work, the challenges in the implementation of IoT in monitoring processes in outdoor environments will be exposed, which is based on a case study for the monitoring of a coastal bird as a conservation object in a coastal environment, measuring the disturbance through IoT tools and components. The case study allows monitoring the disturbance of the area, where socio-economic and recreational activities are carried out in nesting areas of a vulnerable species. The proposal is to generate an IoT model for monitoring that facilitates the integration and analysis of this type of systems in natural outdoor environments.

Dedicatoria.

A todos los niños, a todos los que son aventureros.

A todos los que fueron niños, a todos los que viven la aventura.

A todos los que, en la aventura entregaron la vida a cambio.

A todos los niños que vienen, que están, que entienden, respetan, conectan, gozan y aman, siempre en armonía.

Agradecimientos.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado para el desarrollo de trabajos tecnológicos y científico en el país.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) quien me otorgó las bases necesarias para el desarrollo de mi trabajo de investigación, tanto en personal, en equipo y como en infraestructura.

Gracias a mi directora de tesis la Dra. Mabel Vázquez Briseño por confiar en la visión del proyecto de investigación, darle la claridad necesaria y enseñarme el camino de la investigación.

Al comité, el Dr. Juan Iván y al Dr. Christian, por todo su trabajo y esfuerzo durante la realización de la investigación desde al primer día hasta la culminación del trabajo, aportando su experiencia y conocimiento.

Agradecer a toda a la comunidad de maestros y doctores que me apoyaron a entender la ruptura epistemológica que conlleva la realización de un posgrado. Me inspiraron, me alentaron y me dieron esperanza.

Agradezco a todas las organizaciones aquí mencionadas, Terra Peninsular A.C., Pronatura Noroeste A.C., Vermillion Sea Institute y algunas otras, que me permitieron exponer mi tema, que participaron, que cuestionaron y generaron una semilla de esperanza para sus proyectos.

Agradezco a mi familia, amigos y seres, quienes me escucharon con aturdimiento hablar una y otra vez sobre mi tema de tesis.

Por último y no menos importante a la naturaleza, que paciente espera una conciliación entre las ambiciones del desarrollo humano y la conservación, esperero que la tecnología se incline a ser una aliada, yo siempre lo seré.

Índice

1. Capítulo 1. Introducción.	9
1.1. Planteamiento del problema.	11
1.2. Justificación.	13
1.3. Marco teórico.	15
1.3.1. Arquitectura de IoT	16
1.3.2. Funciones de IoT	17
1.3.3. Elementos de IoT.	18
1.4. Preguntas de investigación.	19
1.5. Objetivos de investigación.	19
1.5.1. Objetivos específicos.	20
1.6. Metodología	20
2. Análisis de IoT para Ambientes Exteriores	23
2.1. Dinámica del entorno en las que IoT trabaja.	23
2.1.1. Descripción de un ambiente costero para el modelo IoT.	26
3. Diseño del Modelo IoT para Ambientes Exteriores	26
3.1. Paradigma del monitoreo del ecosistema	26
3.2. Variables en entornos naturales	27
3.2.1. División de las tareas de variables por grupos.	28
3.3. Abstracción del objeto.	30
3.4. Definición de componentes.	30
3.4.1. Establecimiento de criterios.	31
3.5. Definición de variables.	32
4. Desarrollo del la implementación del Modelo IoT para ambientes naturales exteriores	34
4.1. Características del medio.	35
4.2. Conectividad de las Cosas (Things).	36
4.3. Servicios	39
4.4. Aplicación	41
5. Implementación del Prototipo	42
5.1. Definición del caso de estudio	45
5.2. Definición de variables del caso de estudio	45
5.3. Diseño de las funciones para el caso de estudio	48
6. Evaluación y Resultados.	54
6.1. Prueba técnica.	55
6.2. Prueba de usabilidad.	58
7. Conclusiones y trabajo futuro.	61

Índice de figuras

1.	Aplicaciones de IoT.	10
2.	Nueva dimensión introducida en IoT [34].	10
3.	IoT como la convergencia de diferentes visiones [6]	16
4.	Tareas de una solución IoT.	17
5.	Ciclo de la metodología.	20
6.	Metodología implementado por la ONG para el monitoreo de Chorlo Nevado.	21
7.	Estrés ejercido por variables externas al sistema IoT.	24
8.	Objetos de conservación en un ambiente costero.	26
9.	Elementos del sistema IoT en el ambiente costero.	28
10.	Aves costeras por su tamaño y peso [9].	30
11.	Búsqueda tecnológica de sensores para aves en los rangos de peso y tamaño.	32
12.	Modelo para IoT en cuatro capas para el objeto de conservación (aves playeras de tamaño pequeña-mediana.	35
13.	Modelo IoT capa de características del medio.	36
14.	Modelo IoT capa de conectividad de las cosas.	37
15.	Esquema de red para el monitoreo y envío de los datos de campo a coordinadores, servidores y estaciones de trabajo.	39
16.	Modelo IoT capa de servicios.	40
17.	Modelo IoT capa de aplicación.	41
18.	Capas del modelo con el prototipo.	42
19.	Implementación del modelo en la capa de características.	43
20.	Implementación del modelo en la capa de conectividad.	43
21.	Implementación del modelo en la capa de servicios.	44
22.	Implementación del modelo en la capa de aplicación.	44
23.	Análisis de cobertura para la capa características del medio.	46
24.	Diseño de materiales y forma para el prototipo.	47
25.	Funcion general.	48
26.	Circuito del sensor PIR con el arduino.	50
27.	Diagrama de flujo y de conexiones para la capa de características del medio y conectividad de las cosas.	51
28.	Diagrama de flujo de la rutina de alarmas para perturbaciones.	52
29.	Función de tiempo de ejecución.	53
30.	Flujo de datos en Red Node.	54
31.	Diagrama de tipo de pruebas.	55
32.	Resultados de prueba de laboratorio.	57
33.	Resultados de prueba caja negra.	57
34.	Pantalla inicial y sección de noticias.	59
35.	Resultados de preguntas clave.	60
36.	Resultados de todas las preguntas.	61

Índice de tablas

1.	Estado del arte sobre IoT en ambientes exteriores.	15
2.	Elementos de IoT	19
3.	VARIABLES detectadas y su división por grupo. En sitio.	29
4.	VARIABLES detectadas y su división por grupo. En servidor.	29
5.	VARIABLES detectadas y su división por grupo. En la aplicación.	29
6.	Categoría de las aves por su tamaño y peso.	31
7.	Ejemplo de parámetros en la capa de conectividad del sensor portado por el objeto de conservación	38
8.	Preguntas de enfoque	60

1. Capítulo 1. Introducción.

Internet de las Cosas o IoT (por sus siglas en inglés, Internet of Things) es un paradigma de las comunicaciones y el cómputo donde objetos comunes son conectados a internet. La conectividad de dispositivos con etiquetas, actuadores y sensores, posibilitan la obtención de información a través de sistemas inteligentes sobre el mundo real o físico. Fue Kevin Ashton quien utilizó dicho término “Internet de las Cosas” por primera vez para aplicaciones que se basaban en tecnologías RFID [18]. Hoy, además de etiquetas RFID; que siguen siendo la base de muchas soluciones IoT, se extiende sus integraciones en hardware y software haciendo que el entorno en el que se involucran se vuelva más inteligente. La idea central fue identificar de manera única a cada objeto, donde el objeto tuviera la capacidad de comunicarse con máquinas, usuario o entre sí. Actualmente, IoT es considerado un tema relevante para investigadores, consumidores, y proveedores de servicios ya que, la evolución de IoT ha llegado a soluciones que son conscientes del contexto, que predicen, almacenan y/o generan información en tiempo real, por mencionar algunas posibilidades. Estas tareas las llevan a cabo trabajando en conjunto con un objetivo en común bajo distintos protocolos, sin que sea perceptible por el usuario final. IoT pasó de ser una red de objetos dotados de tecnología que les habilita su conexión a Internet para ser también una plataforma integrada por hardware, software, servicios en la nube capaz de monitorear, manejar y/o controlar diversos puntos de acceso, usualmente proveyendo de capacidades de operación a negocios [14].

La alta penetración del IoT en actividades cotidianas, ha tomado diversos rumbos y enfoques en cuanto a su aplicación y arquitectura [7, 3] . Son muchas las soluciones basadas en IoT que están disponibles para consumo personal a bajo costo o trabajando en la industria; una de ellas es la vigilancia y el monitoreo, en la figura 1 se ejemplifican estas divisiones por su aplicación, destacando la de vigilancia y monitoreo como foco central del trabajo.



Figura 1: Aplicaciones de IoT.

Las soluciones desarrolladas para IoT están pensadas no solamente con el fin de recopilar información a través de sensores, sino que sus capacidades se extienden a procesar datos en las fronteras y tomar acciones específicas, convirtiéndose en una plataforma donde cada dispositivo se dota de múltiples capacidades, cada día el procesamiento es más inteligente y la comunicación más informativa [29]. El entorno en el que se encuentra IoT se expande, abriendo una tercera dimensión en la recopilación de datos, ejecución de tareas y monitoreo. IoT abre la dimensión donde el trabajo ocurre a cualquier hora, en cualquier lugar, conectado a cualquier cosa (ver Figura 2) [34].

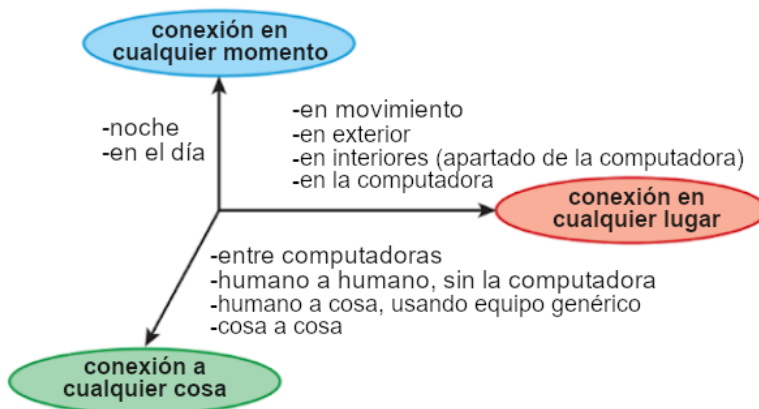


Figura 2: Nueva dimensión introducida en IoT [34].

En consecuencia, es de esperarse que IoT se haya integrado a un paso acelerado desde su concepción a la fecha en diversos tipos de aplicaciones (industria, ho-

gar, salud, entretenimiento, entre otros), con la promesa de aportar gran valor en la ejecución de tareas, recolección de datos y mejora de procesos a un bajo costo. Se describe entonces como la convergencia de diversas tecnologías que proveen servicios basados en internet y aplicaciones que permiten agregar dispositivos electrónicos y objetos físicos para adquirir y controlar procesos, donde la obtención de dichos datos es el recurso más importante en el desarrollo de sistemas basados en IoT.

Por otro lado, México tiene como compromisos nacionales e internacionales el desarrollo de programas de protección a objetos de conservación y las áreas naturales, tanto marinas como terrestres. Dichos compromisos crean vínculos con autoridades federales, estatales y locales que, en conjunto con organizaciones y centros de estudios e investigación generan conciencia comunitaria y trabajo para un mejor entendimiento de las necesidades de las áreas naturales y así asegurar su preservación. El trabajo a realizar consiste en el monitoreo y vigilancia periódica, generación de reportes sobre el estado de la zona y acciones in situ. El proceso requiere de grandes inversiones de tiempo y capital humano para ser capacitado y trabajar en estas extensiones territoriales remotas en condiciones extremas; ante estos retos la tecnología puede ser una aliada. Aunado a lo anterior, el desarrollo de herramientas que brindan soluciones a problemas como recolección de datos in situ, reducción de costos de operación de campo, automatización de proceso y respuestas oportunas a situaciones de amenaza para los objetos de conservación, es un esfuerzo en implementaciones tecnológicas importante que no todas las organizaciones pueden solventar económicamente o con personal especializado. Por ello, el objetivo principal de este trabajo es facilitar implementaciones IoT, a través de un modelo donde se entienda la convergencia de tecnologías, que derive a sistemas más eficientes e integrados. Entramos así a un paradigma del monitoreo del ecosistema basado en el IoT [23].

1.1. Planteamiento del problema.

Las aplicaciones de IoT en ambientes exteriores no son algo nuevo, se ha desarrollado mucho en el sector agrícola con la aparición de la llamada industria 4.0. Plantíos monitoreados por redes de sensores que son administradas a través de aplicaciones de usuario, análisis de la química de suelos, alertas para el control de plagas y secuencias de cultivos. Con este tipo de ejemplos queda claro que IoT se encuentra en continuo desarrollo, generando una oportunidad y reto para nuevos modelos de negocios para aquellas organizaciones que buscan la conversión tecnológica que les permita una mejora en la productividad, mejora en el uso de recursos y la automatización de procesos [?].

Sin embargo un área a explorar es el trabajo en exteriores naturales, en las periferias de las ciudades o lugares remotos, donde los ambientes no son diseñados, no están estructurados o controlados por el ser humano [14]. Al entrar en áreas naturales con variables particulares implica que se deberá conocer el hábitat del objeto que se está observando y sus ciclos naturales; ya sea que se hable de

monitorear un ser vivo, el ambiente mismo o variables del ambiente. En éste sentido es importante reconocer y predecir el comportamiento y efecto de la tecnología en corto, para saber si la aplicación será viable para el proyecto en tiempo y forma.

Los objetos de conservación en áreas naturales son aquellos que tienen un grado de protección alto debido a su relevancia ecológica o el aporte ecológico al sistema en el que están inmersos. Ejemplos de ellos son los ríos, cuencas, vegetación, animales y organismos, formaciones como dunas, entre otros. Para ejemplificar un escenario de monitoreo y protección de ambientes exteriores con un objeto de conservación, se puede mencionar a las zonas costeras que son áreas naturales de gran importancia ecológica, en ellas objetos de conservación, como son las aves playeras, se reproducen, anidan y descansan durante su migración. El propósito principal de las organizaciones e instituciones dedicadas a esta actividad consiste en la conservación de dichas áreas, recabar información sobre sus hábitos y divulgar conocimiento a través de estrategias como lo son las campañas informativas y de prevención. Son, por lo tanto, un área de oportunidad aquellos espacios de esparcimiento, como las playas turísticas, donde los visitantes conviven con especies vulnerables a su presencia y las actividades socioeconómicas.

En este escenario, IoT puede ser un intermediario entre tres actores involucrados: organización (aquellos con el propósito de proteger a los objetos de conservación y su hábitat), especie (objeto de conservación, normalmente bajo un estatus de protección) y visitantes (dinámica socioeconómica que se desarrolla en la zona); generar con ello una oportunidad de recolecta de datos para los tomadores de decisiones, reducción de costos de operación y esfuerzos en sitio, concientizar e informar a los visitantes y, lo primordial, asegurar una convivencia que favorezca las condiciones para preservar a especies vulnerables en temporadas sensibles como es la temporada de anidación.

El trabajo que se realiza para el monitoreo y recolección de información en áreas naturales ha ido evolucionando gracias al uso de las nuevas tecnologías de la información y desarrollo tecnológico. Desde la llegada de los dispositivos celulares, procesos que se realizaban en la computadora o a mano, fueron replicados para su ejecución en dispositivos móviles. La portabilidad de la mismas, ayuda a la recolección de datos insitu. Su uso facilita la tarea de los usuarios al tener herramientas como formularios digitales, GPS de alta precisión, y cámaras digitales capaces de vincularse para transmitir a través de conexiones WiFi, Bluetooth y NFC, integradas en una sola herramienta. Sin embargo, pese al avance tecnológico la información generada depende en muchos de los casos de la capacidad, uso correcto del equipo y el seguimiento de protocolos que el técnico tenga en los recorridos de monitoreo y levantamiento de datos; así como el nivel de atención que puede otorgarle a múltiples tareas en condiciones climáticas extremas.

Cabe mencionar que jornadas llevadas a cabo, se realizan en áreas de gran ex-

tensión con dificultad de referencias geográficas visuales, como lo es el desierto, costa o zonas en constante cambio. IoT puede beneficiar a este sector, dotando a los sistemas actuales dedicados al estudio de objetos de conservación, de escalabilidad, reducción de costos, recolección de datos operando sensores ininterrumpidamente, aprendizaje, etc. Lo que representa un reto al integrar una solución IoT para ambientes exteriores naturales, el trabajo en zonas periféricas a las ciudades o remotas, ya que se deben resolver temas de uso eficiente de energía, interpretación adecuada del entorno, costos de operación, logística y resistencia a exteriores de los materiales, por mencionar solamente algunos. Así como el diseño de los objetos y sus capacidades; se pueden tener objetos que necesiten de equiparse de conexión a internet o agregar software para la realización de tareas de recolección de datos.

Por último IoT puede ser utilizado para proveer de aplicaciones al usuario que estén diseñadas con los perfiles, en las que pueda interactuar con dichos objetos a través de servicios, pensando en las ventajas de la contextualización de los datos para la toma oportuna de decisiones e interpretación.

1.2. Justificación.

Con lo anterior queda claro que, la visión de un modelo IoT para el monitoreo puede solucionar un caso de estudio, pero el trabajo se extiende a atender entender a través del análisis las funciones, tecnología, servicios y aplicaciones que brinden una mejora en las prácticas de diversos tipos de monitoreos. Por ello como resultado del trabajo se desea desarrollar un modelo que simule dichos sistemas u objetos de conservación. Para modelar el entorno se deben estudiar entonces, las variables involucradas sujetas a manipulaciones, las cuales serían complejas de realizar, demasiado costosas o imprácticas en su aplicación real. Con ello las partes que componen al modelo pueden estudiarse y entender cada una de las propiedades, comportamientos, costos, mejoras, por mencionar algunas, del sistema real. El modelo debe ser capaz de establecer parámetros que faciliten integrar la solución IoT derivada de su aplicación al escenario fijado, siendo ésta una solución apta, rentable y eficiente. Es aquí donde el panorama de análisis, diseño, integración y arquitectura de IoT se vuelve complejo, tratando de analizar los escenarios y proveer de la mejor oferta de componentes que funcionen adecuadamente con la amplia variedad de servicios y aplicaciones abocadas a IoT.

Lo planteado en la sección anterior da pie para abordar los retos en la creación de un Modelo IoT que opere en ambientes exteriores naturales en la tercer dimensión (ver Figura 2), teniendo como meta ayudar al monitoreo de objetos de conservación. En el caso particular del estudio, se basará el desarrollo del modelo en una implementación para el monitoreo de un ave playera como objeto de conservación en un entorno costero y podrá extenderse a otros escenarios. En el caso se emplean herramientas y componentes IoT, que serán generadas por el modelo. Integrar soluciones IoT al trabajo de diversos grupos como: centros de

investigación, organizaciones de protección ambiental, gubernamental, tomadores de decisiones, guardaparques y personas que trabajan recabando información de objetos de conservación, apoya al trabajo de protección en áreas naturales de gran importancia ecológica. Lo anterior puede ser una ventaja y área de oportunidad ante adversidades económicas o políticas, ofreciendo el trabajo multidisciplinario y transdisciplinario que converjan en las prioridades políticas, sociales y económicas del país, lo que permite tener bajo la misma solución una mejora, automatización y capacidad de eficientizar procesos de vigilancia y monitoreo de los ecosistemas; cumpliendo así con acuerdos nacionales e internacionales de preservación de especies prioritarias y su ecosistema.

Entre los desafíos para lograr el monitoreo de un ambiente costero a través de IoT está el de integrar redes de sensores conectados a Internet basados en protocolos de comunicación estándar [26], permitiendo que los dispositivos inteligentes participen en el sistema. Se requiere de una administración remota de diferentes módulos y distintos dispositivos inteligentes, la escalabilidad de las redes y la prevención de escenarios que provoquen pérdida de información debido a fallas para garantizar una comunicación confiable. Habrá diferentes vendedores y marcas en competencia. Por esta razón, existen iniciativas de estandarizaciones como IPSO Alliance, AllSee Alliance, OneM2M, Openconnectivity, Fiware, OpenFog, OpenDaylight, y muchas otras. El problema con los estándares es que, la historia ha demostrado que diferentes regiones adoptan estándares por diversos factores que van desde precio, complejidad de implementación o inclusive razones políticas [12]. Otro de los desafíos es el conjunto de datos de monitoreo y su almacenamiento o cómputo. Al escalar la red, se multiplican las tareas y la información para procesar, generando un volumen considerable y variado que será almacenado, transportado, analizado y visualizado por el usuario final. Existen sistemas con sensores embebidos y capacidad de almacenamiento temporal a bajo costo especializados en variables ambientales. El objetivo general es integrar estos sistemas incluyendo bases de datos, proceso de análisis y gestión de acciones a través de aplicaciones de usuario. En un panorama a largo plazo un IoT monitoreando un ecosistema en cada estación del año, daría un escenario del cambio climático reflejado en los cambios del entorno, revelando variables que ayuden al entendimiento de los efectos a nivel global con estaciones de monitoreo, siendo esta red de gran valor para la comunidad científica.

Aquí se hace una división importante de IoT (virtual y físico), entre los elementos involucrados en la solución y las funciones que contempla, con ello la relevancia de un análisis y entendimiento del caso de estudio al que se aplicará la solución. El diseño de las funciones dependerá de las entradas del sistema, es decir, si se plantea el panorama de monitorear un objeto de conservación como lo son las aves, en un ambiente costero, el rol de una solución IoT dependerá de factores como tipo de playa, hábitos y taxonomía de la especie, así como la existencia de actividades económicas y sociales cercanas (mundo físico). Crear o modelar el escenario, conlleva no solamente a la mejor solución, si no a la integración de la solución en un escenario que es dinámico.

1.3. Marco teórico.

Se realizó una investigación de artículos y aplicaciones tecnológicas que dan solución al monitoreo en/de ambientes exteriores. El estado del arte que se muestra en la Tabla 1, incluye los trabajos más relevantes, en los cuales se aplican soluciones IoT en ambientes exteriores, en aves, tecnologías aplicadas a IoT y manejo eficiente de energía, tratando de considerar ambientes similares o condiciones con las que el modelo a diseñar trabajará en el mundo físico. Existen algunos artículos de revisión de gran importancia en los modelos IoT; en los que se muestran la tendencia de las aplicaciones y los temas que aún siguen en desarrollo e investigación [33, 24, 23]; mientras que en [6, 21, 27] se describen los tipos de conexiones que requieren de bajo consumo de energía y fácil administración. Los artículos que han dedicado a implementar IoT en plantas y animales [13, 23, 19, 22]; modifican elementos del sistema para adecuarlos al objeto o a la variable que se desea monitorear.

Objetivo	referencia	descripción
Conocer tipo de aplicaciones en ambientes exteriores o controlados	[10] [13] [14] [15] [23]	Tipo de ambiente (externo/interno), tipo de control y tipo de conexión. Tipo de uso. Monitoreo de datos ambientales y del objeto de observación.
Especificaciones técnicas para conexiones	[2] [3] [6] [33]	Requerimientos de energía para operar, baterías, tiempos muertos, conexiones, estándares, IEEE 802.15.4 IPV6 y WiFi.
Interacción entre capas, tecnología y modelos	[2] [3] [6] [24] [33]	Proveedores, Sistemas operativos, fuentes abiertas y licencias
Sensores	[6] [19] [21] [27] [31]	Tipos por tamaño, alcance, GPS, puertos para conexión, uso eficiente de energía, conexión en radio, elementos de hardware (antenas, repetidores, sincronización)

Tabla 1: Estado del arte sobre IoT en ambientes exteriores.

El estado del arte ayuda a tener una imagen sobre los escenarios y avances de IoT en diversas aplicaciones [33]. En el caso de ambientes exteriores se han encontrado artículos que dirigen sus esfuerzos a resolver un problema en concreto, solucionar brechas en la tecnología y detectar oportunidades en temas abiertos en IoT [2]. En el caso de esta investigación, es posible partir de que el modelo de IoT debe de considerar en cada capa el propósito o problema para el cual fue diseñado y el contexto con el que trabajará; dando respuesta a conexiones limitadas, objetos en movimiento, confiabilidad, seguridad y calidad de experiencia.

1.3.1. Arquitectura de IoT

En ingeniería y ciencias de la computación, una arquitectura describe la organización general de un sistema, sin ahondar en cómo lo hace [11]. El propósito es entender y describir el comportamiento del sistema. En el caso de IoT, no es solamente sobre una tecnología, es sobre un grupo de tecnologías que han ido evolucionando y desarrollándose lo suficiente para ser implementadas en conjunto en una visión más eficiente. Se ha mencionado la convergencia de tecnologías que faciliten la cercanía de recolecta de datos en lugares remotos a través de internet, de interacciones en cualquier lugar en cualquier momento, acceso a contenido proveniente de diversos servicios, capacidad de manejar procesos/operaciones de negocios entre humanos a dispositivos o de dispositivo a dispositivo, entre muchas otras. La unión Internacional de Comunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés), describe a IoT como un mapeo virtual del mundo, donde todo en el entorno físico tiene su propia identidad en un cyberspacio virtual, estableciendo entonces comunicación e interacción entre personas y cosas (ITU, 2005) [1]. Estas cosas pueden pertenecer al mundo real (mundo físico) seres vivos u objetos inanimados, o al mundo virtual (cosas virtuales) que solamente existen en un ambiente simulado [12]. Se debe comprender que dicha convergencia es resultado de visiones orientadas a objetos, orientadas a internet y visiones orientadas a semántica [33]. En la figura 3 se presenta dicha convergencia.

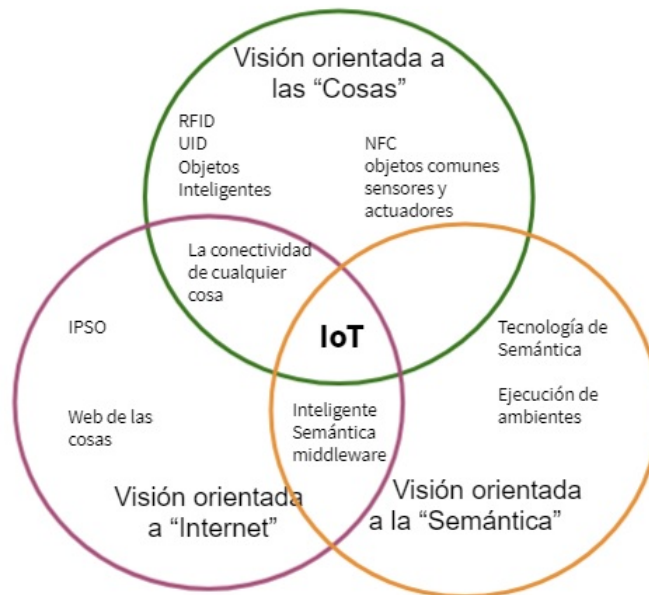


Figura 3: IoT como la convergencia de diferentes visiones [6]

En las visiones más recientes, el rol de las cosas como generadores de datos, con plataformas mundiales de procesamiento de información y aprendizaje, donde

los objetos se comunican, dialogan y coordinan ha provocado el interés en el campo de los datos y servicios, produciendo y consumiendo información. Esto va más allá de una manera de recibir y enviar contenido, representa la evolución del consumo de internet actual hacia una red interconectada de objetos, capaces de extraer información del ambiente, interactuar con el mundo y generar análisis predictivos bajo diferentes protocolos de comunicación.

1.3.2. Funciones de IoT

Para que el objeto pueda pertenecer a un sistema IoT debe cumplir funciones de tareas básicas como: monitoreo, control, optimización y automatización [20]. Cada función debe sobrepasar la necesidad de una interacción humana a lo largo de todo el modelo IoT. La figura 4 muestra las funciones básicas para una solución IoT.

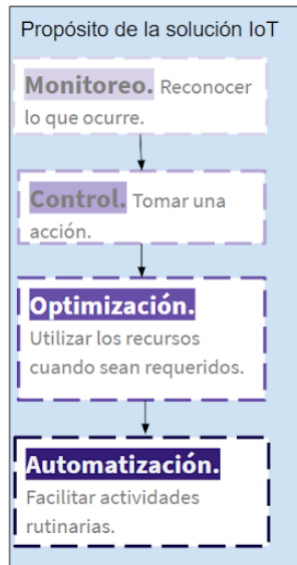


Figura 4: Tareas de una solución IoT.

Una solución IoT se puede ver como una cadena de funciones donde la realización de una tarea da paso a la siguiente. La primera función de IoT es el Monitoreo, éste comprende a los objetos escuchando su medio, es decir, los cambios ocurridos en el entorno en el que se encuentran. Desde la visión de “orientado a objeto” (figura 3), el monitoreo deja de ser un sensor común para cumplir estándares y especificaciones que le permitan atender y reconocer lo que ocurre para interactuar [3].

Una vez detectado un evento por dicho sensor, entra la función de control, su propósito será generar una acción en consecuencia; entre las acciones comunes podemos contemplar una captura de imagen, alertas de aumento de variables

climatológicas, notificaciones por correo a usuarios/dispositivos, entre muchas otras. Optimización se refiere al uso adecuado de los recursos con los que el objeto cuenta; un ejemplo de ello es ver a un objeto como algo que requieren energía para operar o estar alerta [27], se debe ser consciente del gasto energético que representa cada acción, así como la utilización de recursos para peticiones o envío de datos a través de canales de comunicación. El uso eficiente de recursos es un tema en el que se ha puesto particular atención, con la nombrada "Green IoT", que busca reducir el consumo de energía que surge por el intercambio masivo de información[4]. IoT "verde"habla desde el uso de fuentes de bajo consumo de recursos, de servicio, de energía, pero también en un punto de vista más ecológico en la instalación física (antenas, etiquetas, entre otros) amigables para el medio ambiente y los seres vivos. Estrategias de bajo impacto para un IoT más verde es congruente con la protección de ambientes naturales y objetos de conservación. En éste tema se desea abrir camino con este tipo de modelos.

Como una última función, IoT debe de atender a la automatización de tareas cotidianas de manera sencilla y eficiente, generando una mejora en la recolección de datos y realización de eventos evitando al máximo la intervención innecesaria del usuario [20].

El beneficio de tener "cosas" conectadas a internet interpretando el medio físico logra que diversos mercados estén interesados en su aplicación con la visión de satisfacer necesidades del contexto y mundo con el que tendrá contacto. Aplicaciones en: ambientes inteligentes, transporte y logística, salud y personal y social [33] [7] [3], han aumentado en interés y desarrollo. Tesla en una entrevista en 1927 , mencionó lo que algunos investigadores creen que es el concepto teórico de lo que desea alcanzar IoT, "cuando la red inalámbrica esté perfectamente aplicada al planeta éste se convertirá en un gran cerebro, que en realidad es, [...] y los instrumentos a través de los cuales haremos esto serán sorprendentemente sencillos comparados con un teléfono actual" [13].

Una vez detectadas las necesidades que cubrirán las funciones vistas en la figura 4 como una primera etapa, se deben elegir las partes del sistema que van a interactuar con el medio o entre sí, atenderlas nos lleva a plantearnos un abanico de posibilidades. Hoy en día existen diversos caminos para resolver una implementación IoT, con una variedad de protocolos, dispositivos inteligentes, sensores, lenguajes, esquemas de comunicación [29]-[6] tan basta, que diseñar la solución apresuradamente puede llevar a problemas de intercambio de información, fallo en comunicaciones y mal funcionamiento general. Esta segunda etapa debe anticipar qué elementos están involucrados, antes de considerar la elección de un proveedor o fabricante.

1.3.3. Elementos de IoT.

Para que las cosas pertenezcan a IoT deben entonces tener por lo menos una de las siguientes capacidades: capacidad de identificación, capacidad de ubicación,

capacidad de adquisición, capacidad de actuar o realizar tareas y capacidad de procesamiento. Dichas capacidades darán mayor robustez a los datos. La identificación se refiere a la capacidad del objeto para ser identificado de manera única y distintiva. La localización se refiere a conocer la ubicación geográfica. El adquisición es el equipo electrónico utilizado para obtener datos sin hacer uso de servicios en la nube. Actuar y realizar tareas es la capacidad que tiene la cosa para modificar de manera remota el ambiente en el que se encuentra. Por último, el procesado es la capacidad de las cosas de realizar procesamiento por sí misma o recibida de internet, basado en proceso programados. La Tabla 2, muestra por bloques a los elementos de IoT dependiendo de sus capacidades. Cada elemento tiene una tarea específica siendo atendido por los diferentes niveles de un modelo IoT, un caso claro es el hardware y el servicio.

Elemento IoT	Ejemplo
Identificación	Nombrado: EPC, uCode
Adquisición	Etiquetas RFID, sensores embebidos, dispositivos, etc.
Comunicación	RFID, NFC, Bluetooth, BLE, IEEE 802.15.4, Z-Wave, WiFi, LTE-A

Tabla 2: Elementos de IoT

1.4. Preguntas de investigación.

¿Cuáles son variables que el sistema IoT debe detectar y atender basadas en los procesos del caso de estudio que logren representar una mejora en la experiencia actual?

¿Qué protocolos cumplen con las necesidades del monitoreo en flexibilidad, bajo consumo y costo de operación?

¿Cuáles son los componentes adecuados para cada capa del sistema de monitoreo en el entorno?

¿Cómo desarrollamos el prototipo basado en el modelo para su implementación en el caso de estudio?

¿Cómo medimos los resultados del prototipo en su implementación en las etapas de captura de información, vigilancia y análisis de información?

1.5. Objetivos de investigación.

Diseñar un modelo basado en IoT para la vigilancia y protección de aves playeras como objetos de conservación y sus patrones de movimientos como indicadores de bienestar, en ambientes exteriores.

1.5.1. Objetivos específicos.

- Identificar las variables que el sistema IoT debe detectar y atender para la vigilancia de un objeto de conservación en un entorno natural. - Determinar los parámetros con los que trabajará el sistema IoT.
- Determinar los protocolos que cumplen con las necesidades del monitoreo del entorno, con menor pérdida de paquetes, resistencia a exteriores, consumo bajo de energía, flexibilidad de protocolos de comunicación y tipo de seguridad.
- Identificar los componentes adecuados para cada capa del modelo para el monitoreo en el entorno.
- Desarrollar un modelo IoT para implementar el caso de estudio propuesto para la vigilancia de un objeto de conservación en un entorno natural.
- Evaluar la implementación del prototipo en integridad de la información entregada al usuario para el uso de información.

1.6. Metodología

Durante el desarrollo de la investigación se aplicó el método científico mixto ya que recolecta la experiencia de las personas que trabajan en monitoreo, así como los modelos de monitoreo particulares. En específico se realizó un acercamiento a una organización con experiencia en el monitoreo de aves en la costa de Ensenada Baja California, México, llamada Terra Peninsular. En la figura 5 se muestra el ciclo de la metodología de la investigación.



Figura 5: Ciclo de la metodología.

El planteamiento del problema surge de la experiencia previa laboral en organizaciones locales y observaciones de trabajos de conservación nacionales, en conjunto con sucesos políticos y económicos del país. Las hipótesis fueron planteadas al extraer datos de las entrevistas realizadas a Terra Peninsular, así como las revisiones literarias a las bases de datos científicas y tecnológicas (figura 5 elemento 1). Dicha organización permitió que se le entrevistara y compartió datos biológicos, geográficos y estadísticos sobre su programa de conservación de aves playeras (figura 5 elemento 1). Para el proceso de diseño del modelo (figura 5 elemento 2), se revisaron las entrevistas donde se describe paso a paso el protocolo de operación durante el proceso de recolección de información en campo, los métodos y periodicidad con la que la información es recolectada para el monitoreo del Chorlo Nevado (*Charadius Nivosus*) en la zona de playa de Ensenada Baja California, trazando polígonos de anidación que intersecan con actividades humanas recreativas y sociales. Se obtuvo la oportunidad de realizar dos visitas de acompañamiento a ejercicios de monitoreo y vigilancia para conocer el proceso de toma de fotografías, búsqueda de especímenes, levantamiento de datos climatológicos, recolección de datos de población, censo de nidos y prevención a los visitantes de la playa. En la primer visita se realizaron tres prevenciones y procesos de alerta a los transeúntes para informarles sobre las áreas de anidación y las precauciones a tomar; durante el acompañamiento se realizaron dos denuncias a la autoridad competente encargada de la zona con el fin de evitar el tránsito de cuatrimotos en las dunas donde están polígonos de anidación por temporadas. De la experiencia adquirida se repasó el ciclo completo de un proceso de vigilancia. A continuación se presenta en la figura 6 un diagrama construido que ejemplifica el proceso de la metodología actual.

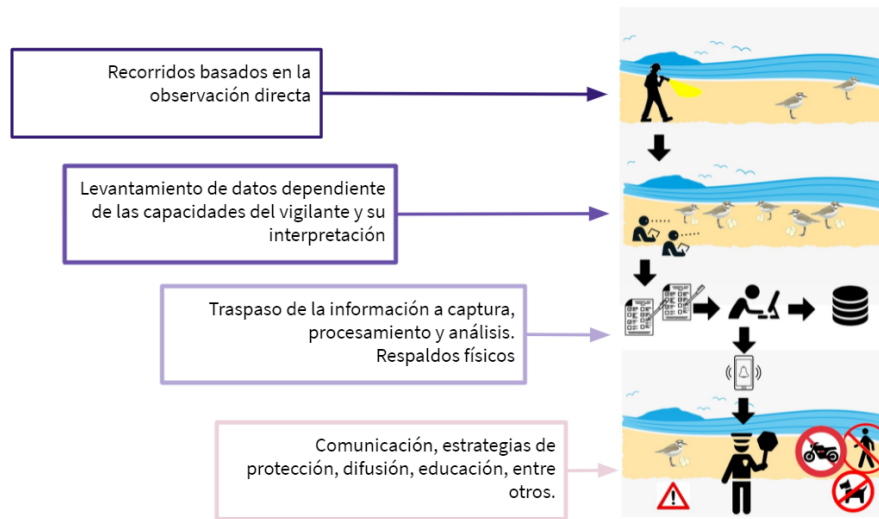


Figura 6: Metodología implementado por la ONG para el monitoreo de Chorlo Nevado.

Para la definición de cada capa del modelo se realizaron revisiones tecnológicas y literarias en temas o casos similares al de la investigación para conocer métodos y estrategias en implementaciones IoT para ambientes exteriores o seres vivos. Se realizaron cruces de tecnología en cada una de las capas con el fin de desarrollar una implementación (figura 5 elemento 3). Los datos históricos de la organización ayudaron a generar un panorama e información suficiente para el entendimiento de los requerimientos físicos, del comportamiento del objeto de conservación en rasgos generales y variables relevantes en el proceso de monitoreo. También se consultaron aplicaciones de usuarios como eBird (desarrollada por The Cornell Lab of Ornithology) [28] o data Poin Blue (desarrollada por California Avian Data Center) [8], que están dedicadas a recolectar información de listas de aves, archivarlas, y compartir datos de forma gratuita con el fin de tener herramientas digitales enfocadas a la recopilación de datos para la ciencia, la conservación y la educación. Con ello el análisis y diseño para aves playeras en su abstracción deberá permitir modelos de datos similares para el caso de las aplicaciones de usuario y así definir la muestra inicial de datos y variables para el prototipo (figura 5 elemento 4).

Las especificaciones de equipo de monitoreo para aves, grupos de aves y tamaños, fueron revisadas en conjunto con un experto y grupos que realizan monitoreos de zonas naturales así como fuentes de identificación de aves oficiales (Birds Caribbean Org), con el fin de no interferir ni comprometer el comportamiento o calidad de vida del objeto de conservación. Tomando el concepto de IoT "verde" donde se desea generar el menor impacto posible en la zona, es necesario tener conocimiento de hábitos, puntos vulnerables y restricciones en la manipulación de seres vivos protegidos por normas de conservación [16]. Partiendo de eso, se realizaron las construcciones de dos prototipos que fueron implementados en tres escenarios. El primer escenario de prueba fue controlado en laboratorio para la realización de ajustes. El segundo escenario fue en laboratorio sin supervisión, pero con salidas de control. El tercer escenario fue en exterior con y sin supervisión, con secuencias de datos inducidas y secuencias de datos reales a la misma hora. En cada prueba se realizaron modificaciones al código y a los servicios.

Las pruebas fueron diseñadas para el caso de estudio y su entorno (figura 5 elemento 6). Se extrajeron los datos generados en el momento con mensajes de control en consola y desde los repositorios generados por el prototipo (figura 5 elemento 7). Se generaron límites y rangos para cubrir las especificaciones del escenario. Se graficaron las funciones de entrada y se contrastaron con los datos crudos de salida, para ver el comportamiento ideal y el caso real (figura 5 elemento 8), pensando en información que pueda aportar al caso de estudio particular y otras posibles aplicaciones.

2. Análisis de IoT para Ambientes Exteriores

El monitoreo de los ecosistemas requiere de una tecnología capaz de sensar, recolectar datos y actuar en un entorno dinámico, en condiciones variables y con bajo suministro de batería. En estas condiciones, debe tener la información disponible para su consulta y tomar las acciones necesarias cuando lo requiera. De la misma manera, el conocimiento del contexto debe guiar a los usuarios a tomar acciones, por lo que IoT en este caso posee un rol clave, implicando que los componentes y el modelo en el que trabajarán se suponen confiables y seguros, así como el desarrollo, mantenimiento y configuración se espera represente una mejora de los costos y beneficios. Requisitos de detección de fallas, gestión de redes, escalabilidad, consumo eficiente de energía son necesarios para la calidad de los datos recolectados ya que el sistema debe ser altamente adaptativo y resistente al espacio físico, al desarrollo económico del entorno y al objeto de conservación (cosa) con el que convive.

2.1. Dinámica del entorno en las que IoT trabaja.

Analizar el entorno contesta a la pregunta de qué tan bueno será el sistema IoT al adaptarse al contexto con el que interactúa. Incontables veces, soluciones tecnológicas han fallado al toparse con una mala interpretación del exterior y las actividades a realizar, así como variables externas ocasionales, obligando a los diseñadores a replantear elementos no previstos al momento de analizar la solución. Diseñar una solución IoT modelo sin considerar los factores externos conlleva a una mala integración de la solución en el ambiente al que desea monitorear, ya que IoT está ideado para trabajar con la mínima intervención humana.

El contexto, para este tipo de tecnología es primordial, de este se puede elegir el tipo de elemento IoT (tabla 2 de la página 19) que mejor se adapte en tamaño-forma, resistencia, compatibilidad de protocolos, costo, seguridad, por mencionar algunas cualidades. Para ello se definirá un modelo como la toma de los comportamientos característicos del entorno, elección de las variables del mundo físico a medir, representándolas en abstracciones que sean posibles de computar. A través de este modelo se comprenden las variables en las que el objeto interactúa dentro del sistema y cada uno de los elementos internos y externos que influyen o contribuyen al comportamiento. El modelo se enfocará en estos elementos específicos para medir, como es el caso de estudio, la movilidad del objeto y el tamaño, con el fin de poder definir la arquitectura del sistema. En términos generales, cualquier sistema IoT que opere en el exterior está expuesto a factores de estrés. Este estrés representa factores físicos, biológicos, químicos para el caso del ambiente, pero también existe estrés del entorno donde se consideran los desarrollos urbanos aledaños a la zona y actividades socioeconómicas (figura 7). Por lo tanto, la arquitectura tiene una alta dependencia del análisis de dichos factores ya que representan posibles interrupciones en toma de datos, errores de lectura, malas interpretaciones de los datos, entre

otras. Considerándolos se podrán proponer elementos de IoT (figura 2) aplicando la tecnología adecuada y prever los recursos de cómputo necesarios para el buen funcionamiento del sistema IoT. En la figura 7 se ejemplifican dichos factores de estrés.

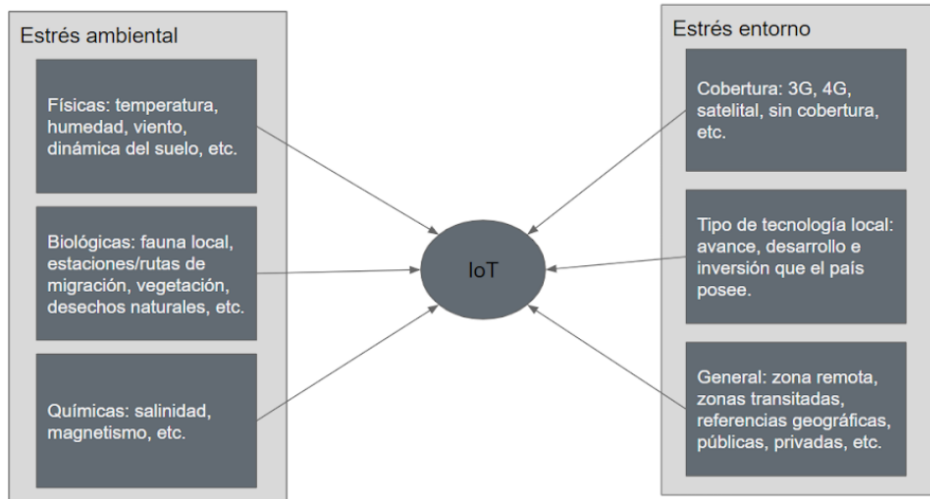


Figura 7: Estrés ejercido por variables externas al sistema IoT.

Conociendo este análisis, la arquitectura se puede extender a monitorear otros objetos de conservación bajo la misma estructura, agregando elementos a la configuración y así proponer variantes, en datos y cosas, para distintas categorías dentro de los objetos de conservación. Por ejemplificar ésto, un estrés ambiental puede estar representado en un ecosistema boscoso por el tránsito de fauna de gran tamaño como un venado, inclusive el flujo de un río en temporadas de lluvia; por otro lado, el estrés del entorno derivado del desarrollo sería una carretera que fraccione el hábitad; el estrés general se podría representar por temporadas de campamentos de índole industrial o recreativa en la zona; la lista de posibilidades puede ser muy amplia y variada, todos estos factores intervienen de alguna manera la dinámica natural, por lo tanto con el sistema IoT, posiblemente atentando con la recolección continua y correcta de los datos planificada. Si se desea realizar un monitoreo de la zona, el análisis de la arquitectura, podría dar cabida a monitorear el clima, un ser vivo y se debería considerar al elemento IoT dependiendo del tipo de conectividad en la zona. De otra manera, la configuración de sensores con protocolos no compatibles o sensibles a los cambios atmosféricos pone en riesgo la inversión.

Los ambientes naturales tienen por lo tanto variables que no siempre son perceptibles en un primer acercamiento, por lo que correcciones o ciertas adecuaciones, a lo largo de las temporadas serán necesarias para ajustarse a los cambios (ríos crecientes, movimiento de dunas, deshielo, nuevos desarrollos urbanos, etc.). La importancia de crear un modelo se debe a que muchas de las prácticas actuales representan un reto, ya que están basada en observaciones directas, análisis de comportamientos de aves a través de visitas periódicas, levantamiento de datos a través de bitácoras de ocurrencia de hechos, por lo tanto requiere la presencia física y seguimiento de los datos. Algunos monitoreos han incorporado Tecnologías de la Información a su trabajo, sin embargo, aunque esto representa una mejora, enlazar datos desde su captura hasta el usuario final siempre representa un esfuerzo humano y técnico, ya que requiere de una persona responsable de estandarizar y dar formato a los datos entre aplicaciones, depurar contenido, programar, mantener servidores, el trabajo es vertical, IoT tiene como objetivo tener un flujo de tareas horizontal, imperceptible al usuario, sin que éste constantemente tenga que hacer dicho trabajo.

Es por ello que la inversión en sistemas IoT, dá la posibilidad de tener un monitoreo continuo, representar una reducción de actividad del personal y un incremento en las tareas de cómputo. Al disminuir la supervisión en cada paso de humanos y dejarlo a las cosas, la recopilación y procesamiento de la información automatizada debe ser confiable, la abstracción de cada elemento será crucial para que el modelo opere con las variables involucradas correctas durante los procesos. Un modelo que logre hacer una buena simulación del entorno y proceso a ejecutar puede extender su aplicación a diversos escenarios u objetos de conservación, tantos como ecosistemas y especies habiten el planeta.

2.1.1. Descripción de un ambiente costero para el modelo IoT.

Para el trabajo que se presenta en la tesis se ha seleccionado un ambiente específico, un ambiente costero de playa arenosa. Los ambientes costeros son entornos con mucha dinámica durante el día, ya que la morfología de la playa depende de las mareas y el viento [30]. Las variables físicas, químicas y biológicas cambian rápidamente en un día. La línea de costa se reduce o se amplía con el cambio de la marea, existe desplazamiento de dunas causado por el depósito de arena a través del viento, cambios de velocidad del viento por tormentas, la vegetación puede cambiar su lugar esparciéndose a través de la marea, es una zona altamente salina, con cambios de humedad. Aunado a ello existen actividades de la fauna local y actividades sociales de esparcimiento y económicas. En la figura 8, se muestra un escenario con algunos de los objetos y variables que se pueden medir y observar en un ambiente costero con playa y dunas, se presenta la figura con el fin de ejemplificar la complejidad y dinámica del entorno con el que se trabajará el modelo.

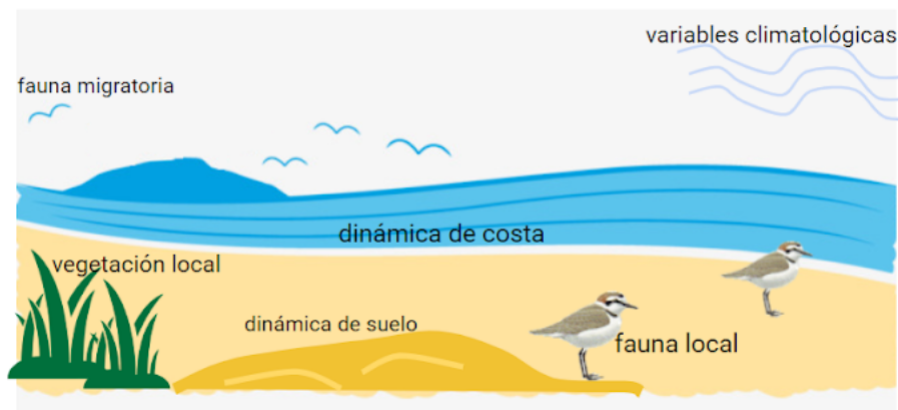


Figura 8: Objetos de conservación en un ambiente costero.

3. Diseño del Modelo IoT para Ambientes Exteriores

3.1. Paradigma del monitoreo del ecosistema

La revisión de artículos, el estado del arte, el conocimiento generado a través de entrevistas, ejercicios de monitoreo, experiencias laborales previas y revisiones de proyectos dedicados a la conservación mediante el uso de tecnología; hizo posible la caracterización de las variables usadas en el trabajo. De esta manera el modelo se puede diseñar desde las necesidades de la solución en el ambiente hasta su aplicación final. El fin del modelo es el de atender necesidades particulares de proyectos, donde varía el ecosistema, el objeto observado y los objetivos a

alcanzar particulares del proyecto. Es por ello que se deben estudiar a detalle cada una de las variables involucradas y definirlas.

3.2. Variables en entornos naturales

En este objetivo se consideran los campos que definen un entorno costero y al objeto de conservación. En este trabajo se desarrolla una implementación para las aves playeras, agrupándolas por categorías en tres rangos de tamaño y peso. Los datos se extrajeron de las entrevistas con los expertos y las tablas de identificación de aves [28, 8] y referencias de artículos. El objetivo es poder utilizar el modelo dependiendo de las características físicas que se deseen vigilar. De la misma manera, la especie tiene temporadas de reproducción, anidación y migración, al ser un entorno dinámico las variables ambientales cambian tanto por estación (temperatura, velocidad del viento, humedad, etc.), por la dinámica de entorno (dinámica del suelo, dinámica de fluidos, etc.) y dinámicas de la flora y fauna (anidación, paso migratorio, dispersión de vegetación, etc.). Las soluciones IoT que se planean en este contexto deben de tener en cuenta esta dinámica, como un factor de estrés externo 7. Todo sistema que no esté preparado para dichas eventualidades representa una falla latente en la solución o mala interpretación de los datos recolectados. Un ejemplo de ello sería la obstrucción de la señal al momento de quedar enterrado o sumergido, impidiéndole completar el ciclo, como ya se mencionó en el documento (ver sección 1.3.2).

Basados en las entrevistas realizadas, entendemos que existen redes de monitoreo dedicadas a recabar y distribuir información para la investigación, protección y evaluación de los ecosistemas. Además de estas fuentes, para los tomadores de decisiones es de gran valor poder sensar estos factores químicos, físicos y biológicos de una manera confiable. Ávidos de nuevas soluciones, estos grupos implementan diferentes técnicas de recolección de datos, es aquí donde un modelo IoT basado en el contexto puede representar una ventaja para este sector aunadas a las prácticas actuales.

Para encontrar las variables del entorno y poder cubrir el objetivo 1, se debe definir al entorno en su tipo, es decir, especificar qué factores externos se involucran en el sistema. Haciendo recorridos y analizando el ambiente por polígonos, podemos describir a un ambiente costero por sus factores.

Para establecer elementos del monitoreo en un ambiente costero, se establece un grupo de elementos/acciones con los que el IoT debería trabajar. Al estar en un ambiente exterior se debe de contar con dispositivos para recolectar los datos físicos a medir. En la figura 9 se ejemplifican las características ambientales. Se muestran elementos básicos para la vigilancia y recolección de un ave playera monitoreada a través de la lectura de su identificador (etiqueta RFID), una antena y una conexión WiFi para entablar la comunicación a internet.

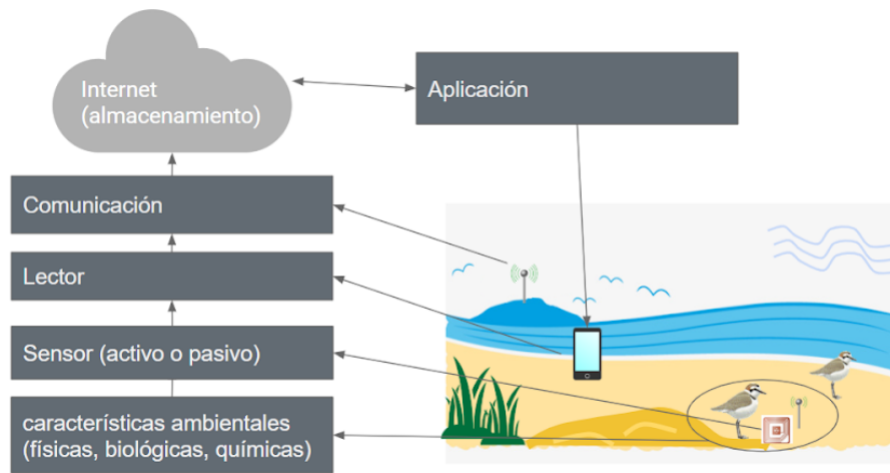


Figura 9: Elementos del sistema IoT en el ambiente costero.

3.2.1. División de las tareas de variables por grupos.

Debido a que se generará un modelo, se integra primero la información base, información generada en sitio e información que se genera en el intercambio de datos. Extrayendo de las entrevistas y de los formularios los datos claves a recolectar del caso de estudio, de monitoreo de aves playeras, se definen las divisiones del monitoreo por grupos, variables y descripciones. Del flujo actual mostrado en la figura 6, se sustituyen actividades que puedan ser automatizadas y ser optimizadas, donde, por citar un ejemplo, el levantamiento a través de formulario queda reemplazado por sensores. En el ambiente costero se pueden tener diversas variables a medir (temperatura, humedad, velocidad del viento, entre otras). Para la aplicación se planteó medir el disturbio en zonas de anidación a través de un sensor infrarrojo de movimiento, con la finalidad de entender el grado de perturbación por zona, con ello el análisis de los datos recolectados podría determinar las zonas en las que se deben realizar esfuerzos de concientización y prevención acotados a los días y horas que resulten fructíferos para el programa. La información entonces estructurada por grupo, variable y descripción, queda como se muestra en la Tablas 3, 4 y 5 (sitio, servidor y aplicación, respectivamente):

Grupo	Variable	descripción
En sitio	identificador perturbación	Identificador único del dispositivo Cuando el objeto se mueve fuera o dentro del perímetro con tolerancia de 7 metros. Alta perturbación son más de 12 movimientos en el lapso de una hora
	hora y fecha	El timestamp del evento de movimiento
	ubicación	Punto geográfico en UTM donde está situado el sensor

Tabla 3: Variables detectadas y su división por grupo. En sitio.

Grupo	Variable	descripción
En servidor	llave de datos	Identificador del grupo de datos
	token sensor	Identificador del sensor
	información sensor	Grupo de datos recopilados al día del sensor
	polígono	unidad en polígono geo referido al que pertenece el sensor
	rol usuario	rol del usuario para permisos de lectura y escritura
datos biológicos	Nombre de la especie común y científico, estatus de conservación, descripción general: hábitos, temporalidad y distribución	

Tabla 4: Variables detectadas y su división por grupo. En servidor.

Grupo	Variable	descripción
En la aplicación	Identificador	Identificador del usuario
	hora y fecha	el timestamp de sesión.
	información sensor	Grupo de datos recopilados al día del sensor

Tabla 5: Variables detectadas y su división por grupo. En la aplicación.

Cabe mencionar que la adecuada agrupación de variables evitará el acarreo innecesario de variables nativas entre las capas, funciones y tareas. También se llevará mejor control de duplicidad y llaves de seguridad entre cada una de las capas.

3.3. Abstracción del objeto.

Un modelo debe ser capaz de adaptarse a diversos escenarios sustituyendo o cambiando las variables con las que trabajará. Al momento de abstraer al objeto se debe considerar sus hábitos y temporalidad, entendiendo el comportamiento. Si se busca diseñar para un ave no se pueden tener las mismas consideraciones físicas, de movilidad y comportamiento de un Ágila con un ave de granja. En uno de este ejemplo, el tamaño y la alimentación repercute en la capacidad que tendrá el sensor para monitorear o el rango de vigilancia. También es necesario entender las características de la especie, aunque sean de la misma familia o grupo, un águila pescadora se diferencia del águila real, por lo tanto el dispositivo deberá tener capacidad de resistencia al agua.

3.4. Definición de componentes.

Las soluciones de IoT se basan en múltiples componentes tecnológicos para intercambiar datos y actuar en consecuencia. Estos incluyen sensores, dispositivos, software integrado, protocolos de conectividad, servicios en la nube y aplicaciones, repercutiendo en el gasto de energía [5]. IoT tiene la posibilidad de escalar, por eso es esencial que la arquitectura del sistema se planifique y se elija una plataforma tecnológica teniendo en cuenta la carga de trabajo de la solución IoT actual y anticipada (es decir, la cantidad de usuarios y dispositivos conectados). Considerando las variables evaluadas durante el análisis del entorno, se realiza un análisis de los objetos de conservación agrupándolos en tamaño y peso, esto para identificar a los objetos de conservación en cada categoría y de ahí trabajar el modelo que se pueda aplicar cumpliendo las características de la categoría. Los grupos de aves que participan en el caso de estudio son las aves playeras de California mostradas en la figura 10 extraídas de Birdscaribbean.org [9], de las bases históricas y biológicas, supervisadas por el especialista.

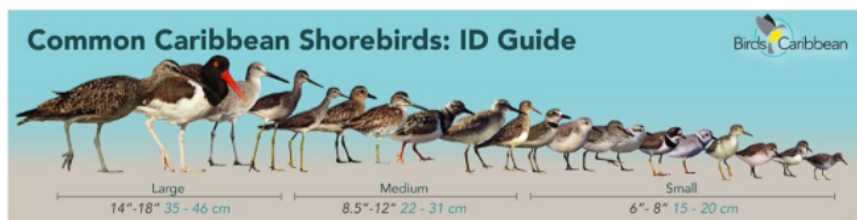


Figura 10: Aves costeras por su tamaño y peso [9].

La Tabla 6 muestra el cruce de la relación tamaño y peso, de los candidatos seleccionados por la organización para la zona de Ensenada Baja California, México clasificadas en: grandes, medianas y pequeñas.

Nombre común y científico	Tipo	Peso gr	Tamaño cm
Chorlo nevado (Charadrius nivosus)	pequeña	34-58	15-17
Playero Rojizo (Calidris canutus)	pequeña - mediana	95-217	23-25
Chorlo Gris (Pluvialis squatarola)	mediana	105-320	27-30
Ostrero Americano (Haematopus palliatus)	grande	400-700	40-44
Zarapito Pico Largo (Numenius americanus)	grande	445-792	50-65

Tabla 6: Categoría de las aves por su tamaño y peso.

Dichas categorías son una guía para poder generar un modelo flexible que nos ayude a pasar de un grupo a otro con el elemento de IoT adecuando para recolectar los datos, y con ello el tipo de tecnología IoT disponible en el mercado para su implementación. Estos rangos se relacionan con la arquitectura, lo cual se explicará más adelante en el trabajo.

3.4.1. Establecimiento de criterios.

Como el prototipo está pensado para interactuar con un ser vivo en un entorno dinámico, existen consideraciones externas que pueden alterar el buen funcionamiento, de ellas hablamos en el análisis del entorno y los factores (ver sección 2.1).

El prototipo tiene como prioridad minimizar la influencia en el entorno y en el objeto de conservación sin comprometer sus hábitos o alterar su medio, para ello hicimos búsqueda de mercado y seleccionamos las etiquetas con menor masa y tamaño; evitaremos sonidos o luces emitidos desde el lector para no alterar al ave. Malas prácticas pueden comprometer la calidad de vida del ave derivando en el fallecimiento, pueden ser lesiones en el momento de la instalación de dispositivos o durante el uso del dispositivo en los hábitos naturales. Existen estudios y reportes de lesiones en anillos [16] que no previenen las capacidades o características de la especie. Otro elemento que debe contemplar el prototipo, es la capacidad de minimizar las pérdidas de datos, se debe considerar el número de etiquetas por dispositivo lector, evitar la saturación del canal y pérdida de eventos por lector. Se medirán los rangos de alcance por etiquetas y los rangos necesarios de lectura. Para ello se sacará el promedio de separación entre nidos, que dará un aproximado de etiquetas que puede leer el sistema, trabajando en un modelo tipo estrella.

El modelo a diseñar consiste en la conversión del protocolo (figura 6) al escenario (figura 9) y a la división de tareas a realizar.

3.5. Definición de variables.

Para definir las variables se hizo una búsqueda de mercado, búsqueda de protocolos, costos, uso de energía y resistencia al medio con las características costeras. A su vez, dicha selección fue cotejada con los especialistas, junto con las especificaciones y materiales para la resistencia, donde cada dispositivo para identificar aves corresponde a cada categoría planteada, debido a reportes y artículos que señalan el mal funcionamiento [16]. Así podemos asegurar el funcionamiento bajo los términos que deseamos en este objetivo. A continuación mostramos en la figura 11, la recolección de variables completa.

	variable	Sensor	Anillo	Alambre	Etiqueta	Tira strap
1	Peso gr	10	0.7	0.43	0.14	0.2
2	Tamaño	3x3x5 cm	2.84 mm	165mm x 1.5mm	18 x 18 mm	53.5mm x 30mm x 3.1mm
3	Material sensor	plástico y metal	goma	Polyolefin thermoplastic	PET	plástico rígido PP
4	Tipo sensor	Infrarojo	anillo	alambre RFID pasivo CC-71	HF NFC RFID Inlay HN1515N	tira anillo
5	protocolo	NA	EPCGlobal Class1 Gen2 ISO 18000-6C	EPCGlobal Class1 Gen2 / ISO/IEC 18000-6C	ISO14443A ISO18092	EPCGlobal Class1 Gen2 ISO/IEC 18000-6C
6	frecuencia	300 gigahertz	860MHZ a 960MHZ	UHF (865-869 MHz (EU), 902-928 MHz (US))	13.56MHz	915MHz
7	memoria	No	512 bit	128 240 bits, 512 extendida	144 bytes, 504 bytes, 888 bytes	X
8	rango	8m	≥1M	1-2m	1 – 5 cm	3-4m
9	temperatura	infrarojo	-25°C to 75°C	-50 C and +80 C	40°C to +85°C	-30 °C to 85 °C
10	Antena	no	45.5X8.3mm(±0.2)	IP69K	15 x 15 mm	lector
11	Lectura escritura	W	R/W	R	R	R
12	Chip	No	Impinj Monza 4QT(Monza 4D/4E optional)		NXP NTAG213, NTAG215, NTAG216	G2XM (Other UHF chips customizable)
13	Costo Unitario	2	0.5		6	4

Figura 11: Búsqueda tecnológica de sensores para aves en los rangos de peso y tamaño.

Cada objeto está dividido por grupos dependiendo del rango de peso y tamaño al que pertenece (ver Tabla 6). Dónde el peso y tamaño no debe pasar al 1% del promedio de peso del grupo y el costo debe considerarse como un factor relevante debido a que buscamos un modelo escalable.

La propuesta de un modelo IoT aplicado a exteriores naturales tiene como propósito ayudar a entender la dinámica del medio físico y seleccionar la tecnología adecuada, capaz de sensar y recolectar datos del medio, aportando una mejora al sistema de monitoreo actual mostrado en la figura 6. Existen diversos tipos de estándares para IoT como lo son NB-IoT, LORA, WiFi HaLow (802.11ah) usados para redes de baja potencia y cobertura amplia (LPWAN), y que son utilizados para aplicaciones que requieren cubrir la comunicación en una mayor extensión [25]. El modelo propuesto se basa en la arquitectura de red celular; por lo tanto se debe considerar que el incremento de dispositivos trabajando en el sistema genera un rendimiento diferente, de igual manera con-

sideramos al ave playera en el rango de talla-peso grande (véase Tabla 6: Aves por su peso y tamaño) como el objeto de conservación al que se dotará de componentes electrónicos para el monitoreo, considerando la movilidad del mismo.

Los requerimientos del modelo se relacionan, además de la movilidad y la relación tamaño-peso del objeto de conservación, con la conectividad y la comunicación en exteriores, la gestión y el control de dispositivos resistente a las características del medio; y en un proceso paralelo a la recopilación agregada de información y el análisis de datos recolectados, tanto en la zona, como de bases de datos históricas, oficiales e internacionales. Estos requerimientos le dan un contexto a los datos para distintas aplicaciones posteriores. Por ello se realizó una búsqueda de protocolos para IoT que satisficieran el tipo de datos y las condiciones de envío. Se encontró como las mejores opciones para este caso de estudio MQTT, XMPP y CoAP [26] [12].

- MQTT (MQ Telemetry Transport) es un protocolo PubSub de Message Service que actúa sobre TCP. Destaca por ser ligero, sencillo de implementar. Resulta apropiado para dispositivos de baja potencia como los que frecuentemente tenemos en IoT. Está optimizado para el routing activo de un gran número de clientes conectados de forma simultánea. Ligero, open-source y protocolo accesible con facilidad, para dispositivos de bajo consumo y un número cada vez mayor de sensores y dispositivos conectados. Control de persistencia en envío de datos.
- CoAP (Constrained Application Protocol) es un protocolo pensado para emplearse en dispositivos de IoT de baja capacidad. Emplea el modelo REST de HTTP con cabeceras reducidas, añadiendo soporte UDP, multicast, y mecanismos de seguridad adicionales. Ligero, open-source hasta cierto número de datos, protocolo accesible con facilidad de integración de diferentes aplicaciones, acceso a complementos programables en cadena, flexibilidad de datos, funciones extendidas.
- XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) es un protocolo abierto basado en XML diseñado para aplicaciones de mensajería instantánea. Ligero, programable por grupos y usuarios, control de mensajes y suscripciones, automatizaciones para el usuario final.

La seguridad del sistema dependerá de cómo y dónde se capturan los datos convertidos en información, así como el tipo de servicio seleccionado. La seguridad en IoT es un tema que aún requiere desarrollarse debido a la complejidad de escenarios, sin embargo existen requerimientos como: seguridad en la comunicación, seguridad en el manejo de los datos, autenticación y autorización mutua (entre cosas, máquinas y/o humanos), entre otras [34]. En términos de seguridad, los datos se encuentran protegidos por un sistema de acceso basado en roles para los usuarios (en la aplicación), autenticación y autorización mutua (servicios y base de datos) y seguridad en el dispositivo (en el coordinador de red).

4. Desarrollo de la implementación del Modelo IoT para ambientes naturales exteriores

El término modelo se utiliza en muchos dominios diferentes, campos de aplicación y en diversas formas con diferentes significados. Según Stachowiak [17], un modelo es siempre una abstracción generalizada de la realidad. Es una simulación de un sistema o de un organismo (para este caso un objeto de conservación), siendo el modelo una representación del sistema real. Este está sujeto a diversas manipulaciones, las cuales serían complejas de realizar, demasiado costosas o imprácticas en su aplicación real. La operación de un modelo puede estudiarse y con ello conocer las propiedades concernientes al comportamiento del sistema o subsistema real y costos [17].

En el caso de estudio se deben realizar todas las tareas que el modelo de monitoreo de aves playeras actual lleva a cabo, realizar una mejora y asegurar el funcionamiento en cada capa del modelo, desde la generación de información hasta la entrega con los usuarios finales. Sin embargo se desea que el modelo atienda otros casos de estudio y se adapte a otros escenarios. Partiendo de lo analizado se plantea el diseño del modelo en cuatro capas: características del medio (entorno físico, generación de datos), conectividad de las cosas (frontera de los datos y conexiones), servicios (almacenamiento) y aplicación (uso de los datos). La figura 12 muestra el modelo con el caso de estudio.

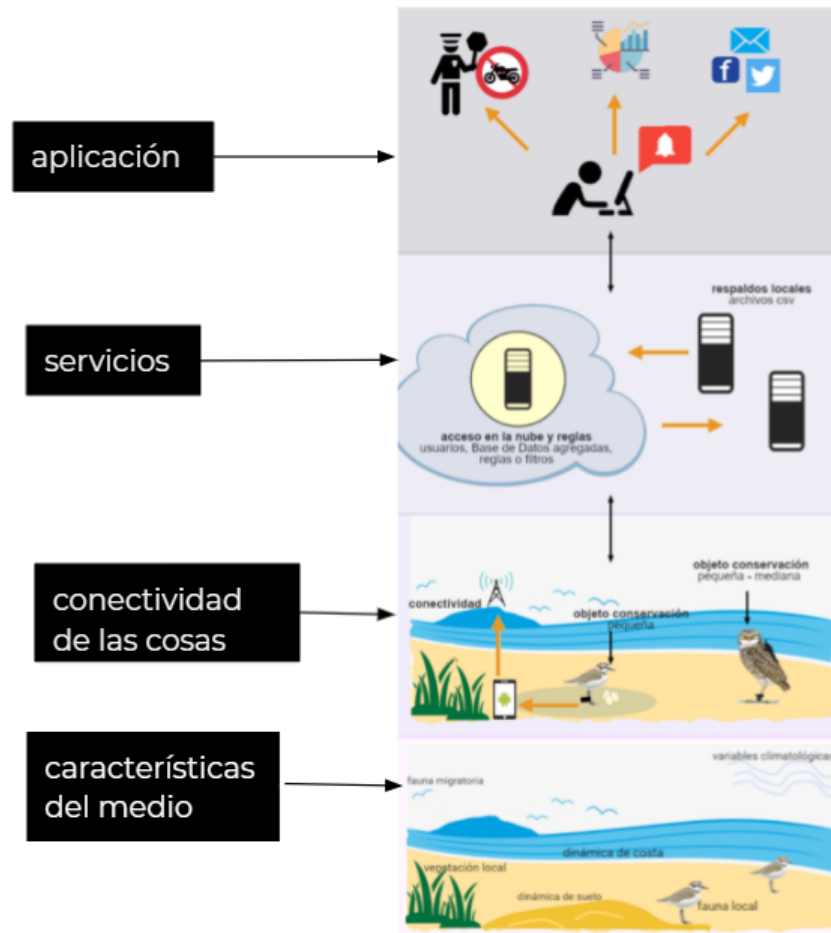


Figura 12: Modelo para IoT en cuatro capas para el objeto de conservación (aves playeras de tamaño pequeña-mediana).

4.1. Características del medio.

Es la capa con variables físicas particulares del ambiente exterior en las que se encuentra el objeto de conservación y que el modelo va a censar como dato del ecosistema. En el caso de la playa pueden ser consideradas en el modelo la velocidad del viento y temperatura.

Intervienen implícitamente hábitos, movilidad y elementos que forman parte del ciclo de vida natural del objeto de conservación, por lo que se incluyen en el análisis del comportamiento esperado del prototipo. Considerarlo incrementa la posibilidad de obtener el mejor rendimiento y durabilidad, lo que repercute directamente en el costo. El dispositivo deberá responder adecuadamente a los

cambios del entorno que hemos mencionado antes como factores de estrés en el capítulo 2.1 (humedad, precipitaciones, temperatura, polvo, etc.) sin que se vea afectada la recolección de datos. La figura 13 muestra el escenario y algunas de las variables.



Figura 13: Modelo IoT capa de características del medio.

4.2. Conectividad de las Cosas (Things).

Es la capa encargada de conectar al objeto de conservación al lector e internet, garantizando la transferencia de los datos recopilados y generados en el sitio. En ella el tamaño del objeto de conservación determina el tipo de lector/tecnología y la robustez de los datos. Se conoce en la capa anterior el ambiente físico y su dinámica natural, por lo que el entorno puede ser monitoreado esperando ciertos resultados, a su vez se comprenden los hábitos del objeto de conservación, donde queda involucrada la percepción e interacción de dicho objeto, con su entorno. En el caso de las aves se considera que, al tener la capacidad de desplazarse, se deben contemplar temas de alcance y fronteras. En el caso de que el objeto observado salga del rango establecido existe una desconexión, esto para el modelo puede representar inactividad, fallo del equipo, migración, falta de batería, etc. Ante ello el modelo no es capaz de distinguir entre una o la otra, es por eso que el estudio del comportamiento del objeto y las definiciones le darán pauta a entender la ausencia del objeto e interpretar el evento en el tiempo y contexto. Dicho esto, es el nivel donde la conectividad se especificará en rangos de distancia y temporalidad, considerando que las aves playeras son migratorias. Los rangos definidos asegurarán la transmisión de datos en cuestiones de calidad y experiencia del usuario final. Los sensores van a recolectar datos tomados por cosas conviviendo en un polígono definido y presenciadas o generadas por el objeto de conservación. En la figura 14 se muestra a dos objetos de conservación de diferentes grupos (tabla 6) y algunos posibles elementos.

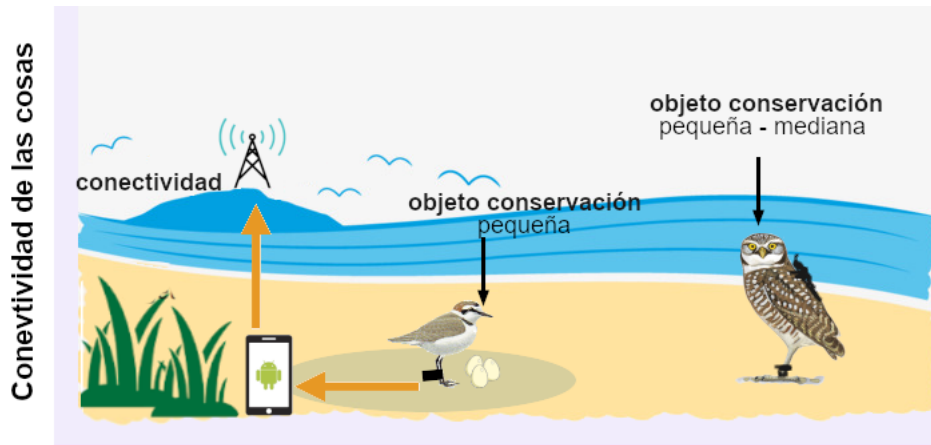


Figura 14: Modelo IoT capa de conectividad de las cosas.

Dada la complejidad de IoT y su capacidad de escalar el número de conexiones, es esencial que la arquitectura del sistema se planifique y se elija una plataforma tecnológica teniendo en cuenta la carga de trabajo de la solución IoT actual y anticipada (es decir, la cantidad de usuarios y dispositivos conectados a la vez). Esto ayudará a especificar a los elementos principales involucrados y su interrelación.

En la base del modelo se encuentra la percepción del mundo físico a través de las cosas, en este caso un objeto de conservación con movilidad, ave playera, pero se podría trasladar el caso a vegetación y/o fauna terrestre o marina. Los sensores van a recolectar información tomada del medio y presenciada por el objeto de conservación, así como datos de hábitos y comportamientos del objeto, ayudando a la lectura de datos y predicción de eventos basados en comportamientos, es de esta manera en la que el modelo será capaz de catalogar y realizar acciones acertivas. En el caso de aves playeras en Ensenada Baja California, se contemplan más de 10 especímenes diferentes, de los cuales se crearon segmentos en peso y tamaño. Existe una gran variedad de dispositivos, por su uso, pero los considerados con respecto al IoT tienen la característica de responder a un tipo de comunicación (directa o indirecta) que lo vincula a Internet. El parámetro que se desea conocer es el movimiento, por lo que los sensores de movimiento como anillos RFID y mochilas, son los que podrían participar para el ambiente. Un ejemplo de los parámetros se representa en la Tabla 7.

Parámetro	Descripción
Tamaño	2.84 mm
Peso gr	0.7gr
Resistencia de materiales	Salinidad
Tecnología	NFC
Conexión	WiFi

Tabla 7: Ejemplo de parámetros en la capa de conectividad del sensor portado por el objeto de conservación

Así el modelo se adapta a las características del objeto y varía su costo y capacidad de recolección, donde un objeto pequeño requerirá de equipo externo de apoyo como lo puede ser un dispositivo inteligente y antenas, en cambio un objeto de mayor tamaño y peso podrá portar equipo de mayor integración. Dos ejemplos de ello son un polluelo capaz de portar un anillo RFID y un ave adulta capaz de portar una mochila con gps y antena, o bien tener un sensor detectando ocurrencia de disturbio derivada en perturbación de la zona. En el primer caso, será necesario adaptar el modelo con un dispositivo inteligente escuchando e interpretando la interacción del RFID a través de un lector NFC; en el segundo caso se necesita recolectar directamente del objeto de conservación o dotar de la capacidad de transferencia de datos con una antena, en el caso del sensor de movimiento se debe establecer rangos y los máximos para considerar un grado de perturbación.

La capa de red es responsable de conectar dispositivos inteligentes entre sí o con dispositivos de red. Es importante evaluar los estándares en cobertura, número de dispositivos a conectar, costo y consumo de energía. Un ejemplo es WiFi HaLow con el estándar IEEE 802.11ah, donde el estimado de cobertura es de 1km, tiene un costo de 1000 USD por estación y puede tener alrededor de 8191 dispositivos asociados con un punto de acceso y transmitir datos de entre 150 kbps - 347 Mbps pero que opera en bandas de frecuencia sin licencia y a mayor número de dispositivos su desempeño cae de manera exponencial [25]. Protocolo publish/subscribe Push, para el envío de datos. Los protocolos MQTT, XMPP y CoAP son parte de los servicios de mensajes utilizados para IoT debido al uso de ancho de banda eficiente. El sistema de comunicación de mensajes, en particular MQTT, se ha utilizado como parte de muchos dispositivos de IoT y sistemas de entrega de mensajes instantáneos porque estaba destinado a funcionar en máquinas de bajo consumo como un protocolo ligero a un costo bajo.

Se configura el modelo tomando en cuenta el modelo referencia ITU-T [34] y agregando las necesidades particulares del monitoreo. Se propone una topología mesh, estrella, un Arduino o dispositivo celular como coordinador y un sensor. La configuración dependerá, como ya se ha mencionado, de las posibilidades del entorno y el análisis de características del medio. En la figura 15 se muestran las posibilidades de la red.

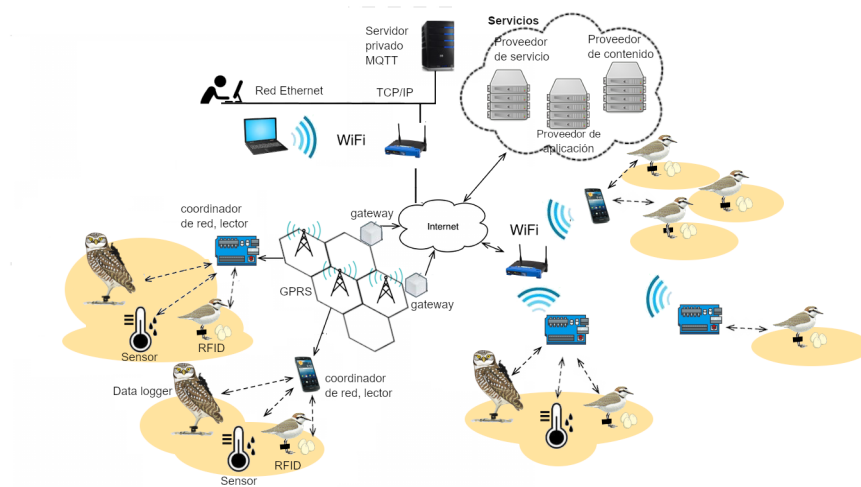


Figura 15: Esquema de red para el monitoreo y envío de los datos de campo a coordinadores, servidores y estaciones de trabajo.

Como se aprecia en la arquitectura, existe una intercomunicación entre sensores y coordinadores, aquí pueden realizarse procesos de datos y contextualizaciones previas a su conexión a internet. El mundo físico se interconecta, tiene puertos de salida y puede ser controlado a través de aplicaciones de usuarios.

En las restricciones para esta capa está que la conectividad no debe interferir en los hábitos y comportamientos del objeto de conservación o comprometer su vida, por ello las variables predominantes son el tamaño y peso, donde aves de la misma especie puede necesitar un cambio de sensor y por lo tanto cambiar de modelo. Aplicar un sensor demasiado pesado para el ave provocará un desgaste excesivo y aplicar materiales corrosivos o conductores de electricidad puede lastimarlo. Tampoco debe contener elementos que perturben o modifiquen el hábitat del objeto de conservación.

Es importante recalcar, que, aún cuando el grupo tres, mencionado en la tabla 11, tiene mayor flexibilidad, el costo incrementa, por lo que la escalabilidad irá en razón a la inversión económica que se desee implementar en el modelo aplicado. De la misma manera, en un mismo grupo de aves de la misma especie, en diferentes etapas puede cambiar de sensor, por lo que se debe asegurar trabaje bajo los mismo protocolos y debemos integrar un modelo mixto.

4.3. Servicios

La capa de servicios se encargará de proveer seguridad a través de acceso mediante un registro de usuario y contraseña, estructurar la información en formato, respaldar los datos en la nube y almacenamiento local.

Servicios y enlace de información. En los niveles anteriores ya se interpretó el ambiente, se resolvió el qué y cómo recolectar datos del medio, así como la conectividad dependiendo de las capacidades del objeto de conservación. En esta capa se utilizan servicios que faciliten el almacenamiento de los datos, la seguridad, llaves, tratamiento de datos y filtros para convertirlos en información. Se contempla la creación de respaldos, conexiones a las bases de datos locales o en la nube para agregar información. Es aquí donde se debe mitigar la pérdida de datos en el momento de aplicar un formato o manejar recolecciones incompletas producto del mal funcionamiento de niveles anteriores. Esta parte incluye la frontera de los datos, donde los dispositivos pueden interactuar entre sí de una manera flexible, eficiente, robusta y segura a través de servicios. Para establecer conexiones a servicios a través de protocolos usados en IoT y conectar a los dispositivos entre sí o con otros de red. En la figura 16 se muestran algunas opciones de servicios.

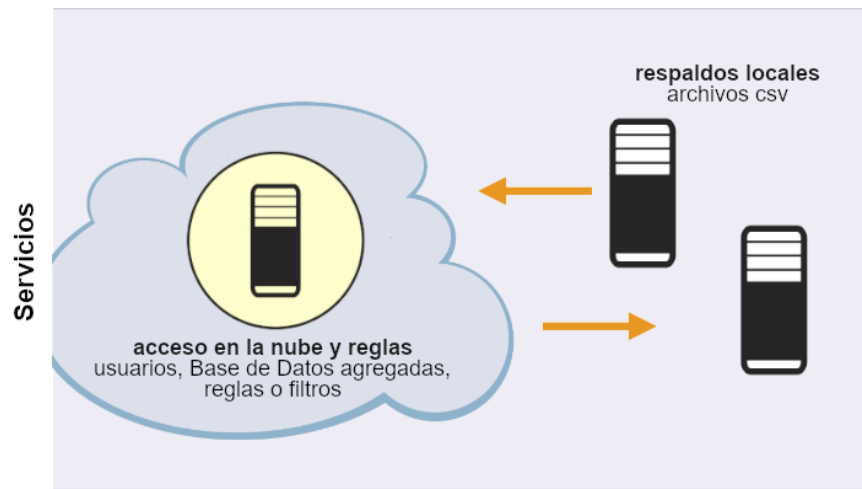


Figura 16: Modelo IoT capa de servicios.

El sistema de comunicación de mensajes MQTT se ha utilizado como parte de muchos dispositivos de IoT y sistemas de entrega de mensajes instantáneos porque estaba, en su concepción, destinado a funcionar en máquinas de bajo consumo como un protocolo ligero a un costo bajo [26].

Con el principio de suscripción y publicación, los usuarios destino interesados en consumir cierto tipo de datos se registran para la categoría. Este primer filtrado de la información facilita el transporte de los datos y seguridad entregando contenido únicamente al destino interesado. Por lo que el flujo será distribuido en niveles de suscripción, pudiendo también controlar de esta manera la visualización de contenido.

4.4. Aplicación

Se representan en esta capa los datos como información mediante un servicio web para reportes, análisis y visualización. Así mismo, elementos para publicaciones científicas, redes sociales y programas sociales.

Se responde a la pregunta ¿cómo serán utilizados los datos? Por lo que asegurar en la capa de servicios la integridad de la información, filtrado adecuado y semántica consistente serán cruciales para el valor de los datos recolectados ya que, solamente así, podrán ser agregados a bases de datos con estructuras oficiales robusteciendo el contenido, creando contexto y temporalidad. En el nivel se desea mostrar al usuario a través de interfaces que sean sencillas de interpretar el contenido recolectado en el entorno. En ellas se debe mantener el nivel de seguridad de acceso a la información dependiendo del perfil de usuario. El buen manejo de la información es resultado de los filtros y selección aplicados en la capa de abstracción, que conlleva tener consistencia semántica. Si se llega a una buena contextualización de los datos, aplicar la información en diversas colaboraciones y procesos como análisis, estadísticas poblacionales, confirmación de hipótesis o análisis de variaciones en hábitos, o cualquier análisis relacionado al objeto de conservación que se estudia, tendrá un gran valor agregado. Llevando el estudio de los datos a la acción y toma de decisiones en campañas de conservación, material educativo, publicaciones científicas y colaboraciones con autoridades locales para su protección. Contribuyendo a bases de datos nacionales e internacionales, colaboraciones con acciones civiles y de gobierno. La figura 17 ejemplifica alguna de las aplicaciones.



Figura 17: Modelo IoT capa de aplicación.

5. Implementación del Prototipo

Como el prototipo está pensado para interactuar con un ser vivo en un entorno dinámico, existen consideraciones externas que pueden alterar el buen funcionamiento, mencionadas en el análisis del entorno y los factores. Se eligieron las temporadas de anidación para su operación. Las temporadas de anidación son una estrategia de conservación en la que el objeto de conservación acude a la zona de playa para su reproducción, misma que coincide con las temporadas vacacionales. Las áreas en donde anida intersectan dichas actividades humanas, las estrategias tomadas por organizaciones locales son el monitoreo, las campañas in situ y el acordonamiento de secciones con alta población del objeto. Estas medidas se realizan periódicamente con la finalidad de recabar información anual, realizar estrategias de educación, campañas digitales y sociales, así como dar seguimiento a los datos generando un histórico. En la figura 18 se muestra el prototipo en pasos desde la generación del dato basado en el evento, pasando por cada una de las capas hasta el usuario final.

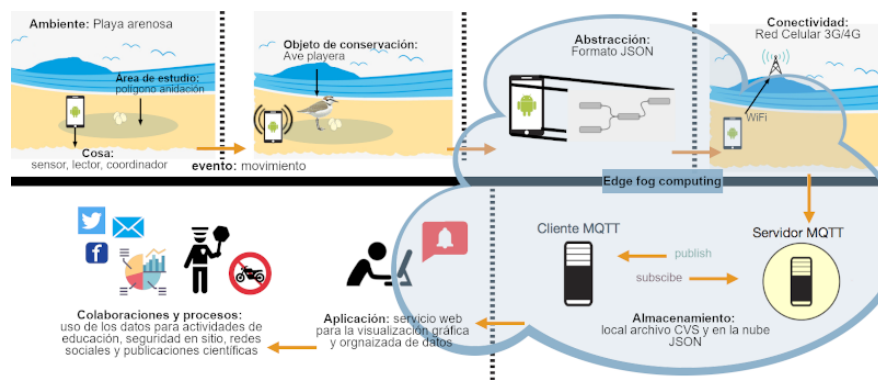


Figura 18: Capas del modelo con el prototipo.

El prototipo, por lo tanto, tiene como prioridad minimizar la influencia en el entorno y en el objeto de conservación sin comprometer sus hábitos o alterar su medio. Para ello se realizó una búsqueda de mercado seleccionando las etiquetas con menor masa y tamaño (ver tabla 6) y evitaremos sonidos o luces emitidos desde el lector para no alterar al ave.

Es importante que el prototipo minimice las pérdidas de datos. Se debe considerar el número de polígonos por dispositivo lector, evitar la saturación del canal y pérdida de eventos en cada polígono a monitorear. Se medirán los rangos de alcance por polígono en los grupos de nidos y los rangos necesarios de lectura para cada polígono, estableciendo nodos. Para ello se deberá tener el promedio de separación entre nidos, que dará como resultado el número de nidos que el sistema podrá cubrir, trabajando en un modelo tipo estrella.

El modelo implementado consiste en cuatro capas: características del medio,

conectividad de las cosas, servicios y aplicación. En las características del medio, se debe de asegurar que el prototipo sea resistente a las temperaturas, humedad y salinidad, eligiendo etiquetas RFID con cubiertas plásticas y cubrir al lector para protegerlo del polvo y la humedad. También se definen todas las variables involucradas en el momento de la recolección de los datos, en el caso de estudio el detonante para el sensor es el movimiento, como indicador de perturbación delimitada por el polígono de anidación como se muestra en la Figura 19.



Figura 19: Implementación del modelo en la capa de características.

En la conectividad al medio, es necesario conocer el desarrollo en el entorno (figura 7, Estrés ejercido por las variables externas al sistema IoT.) para elegir el tipo de conexión por el cual, ésto derivará en el uso de los protocolos de comunicación adecuados para la transmisión de las capturas. También se trabaja en la frontera de los datos para el contenido y la contextualización de la información, generando plantillas, aplicando formato a los datos y generando funciones (ver figura 4. Tareas de una solución IoT) que atenderán a futuras necesidades tanto de la capa 3 como la capa 4, como se muestra en la Figura 20.

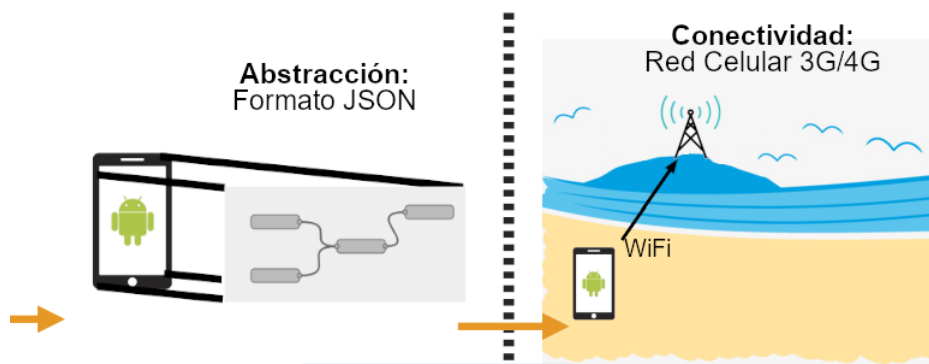


Figura 20: Implementación del modelo en la capa de conectividad.

Para la implementación en la capa 3, se envían los datos procesados a los canales deseados. Como en la frontera de los datos, se ha dado el formato de json, que es un objeto. El pretratado de los datos ayuda al manejo de la información entre diversos servicios. En el caso de la figura 16, se ha puesto como ejemplo hacer uso de MQTT para la transmisión de la información entre el sensor y los usuarios. Aquí los datos son enviados, y una vez recibido por el broker, se dirigirá al canal seleccionado para ser leído y almacenado. También se realizan respaldos de la información en la nube. En esta capa se hace uso de la flexibilidad del protocolo MQTT y los datos en forma de objeto como una ventaja en un análisis de información másiva o Big Data, como se muestra en la Figura 21.

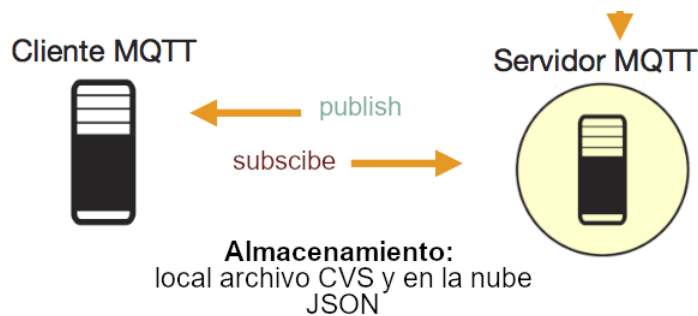


Figura 21: Implementación del modelo en la capa de servicios.

Finalmente en la capa de aplicación se cuenta con contenido procesado, es decir, que ha sido agregado a otras bases de datos, que se ha convertido a un objeto clasificado a través de filtros; contenido en su estado crudo, es decir, sin procesamiento alguno y directamente del sensor; ambos como respaldos históricos para el análisis y el uso del prototipo como se muestra en la Figura 22.

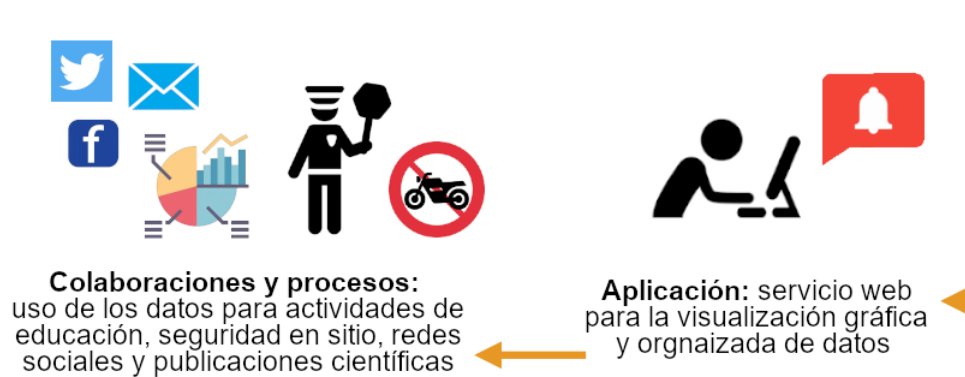


Figura 22: Implementación del modelo en la capa de aplicación.

En esta capa se pueden tener diferentes tipos de usuarios dependiendo de sus intereses, niveles de participación y las necesidades de adquirir información. Recordando a los actores involucrados en las áreas costeras (autoridades, centros de investigación y los visitantes de las playas), los niveles de comunicación irán hacia un contexto científico y analítico, un contexto socio político y un contexto social de esparcimiento. Los datos deben de poder interpretarse por cualquier tipo de usuario de manera clara y sencilla.

5.1. Definición del caso de estudio

Como el prototipo está pensado para interactuar con un ser vivo en un entorno dinámico, existen consideraciones externas que pueden alterar el buen funcionamiento. De ellas hablamos en el análisis del entorno y los factores. El entorno es una playa arenosa con actividad socioeconómica. La playa se llama Playa Hermosa, ubicada en Ensenada Baja California, México. En ella el Chorlo nevado y otras aves playeras descansan, se reproducen y anidan. La playa es un espacio en el que los habitantes suelen tener actividades de esparcimiento que varían durante el día. Por las mañanas existe gran actividad de acondicionamiento físico (caminata, surf, yoga, entre otras), por la tarde y fines de semana es un espacio donde la población va con su familia (tomar el sol, consumir alimentos y bebidas, nadar, etc.). Es una playa de alta actividad, por lo que se realizan brigadas de comunicación en temas de basura, aves playeras y prevenciones de seguridad por parte de los salvavidas y otros organismos. A pesar de que están prohibidos los vehículos en el área de las dunas, las personas suelen transitar en motonetas y carros de manera ilegal. También el acceso a la playa de perros sin correa está prohibido, sin embargo en los ejercicios de monitoreo a los que se acompañó a la organización se presentaron ambos escenarios. Las aves playeras de la zona se encuentran bajo un estrés constante por persecuciones de perros corriendo en la playa, familias que no perciben su presencia y motocicletas que aplastan a los nidos. El desgaste que produce el movimiento constante para las aves es alto, las aves por ser migratorias deben descansar el mayor tiempo posible. Es por ello que se realizan campañas de difusión y sensibilidad ante esta situación. Actualmente existen letreros informativos permanentes y zonas acordonadas en las temporadas de anidación. Este caso es uno de muchos en los que IoT puede intervenir apoyando a dichos programas e iniciativas.

5.2. Definición de variables del caso de estudio

Por lo anterior expuesto, el prototipo tiene como prioridad minimizar la influencia en el entorno y en el objeto de conservación sin comprometer sus hábitos o alterar su medio. El prototipo debe evitar el estrés en el ave y pasar desapercibido. Para ello se hizo una búsqueda de mercado y seleccionaron los elementos que pueden registrar a objetos de menor masa y tamaño (ver tabla 6), así como diseños para camuflar el dispositivo. Entre las anotaciones de la entrevista se recalcó evitar la emisión de sonidos o luces en el prototipo, lo que podría provocar estrés pero también movimiento ocasionado por el prototipo en sí, generando

información errónea (registro falso de movimiento).

Para que el prototipo minimice las pérdidas de datos, se debe considerar el número de sensores por coordinador de datos, evitar la saturación del canal y pérdida de eventos por lector. Estrategias de ahorro de energía, alertas de agotamiento de la fuente y paneles solares se pueden adoptar e integrar al prototipo de ser necesario. En la construcción del prototipo se midieron los rangos de alcance por sensor y los rangos necesarios de lectura, con el fin de tener el promedio de separación entre nidos, y así conocer el número de sensores por polígono de anidación para aprovechar en su máximo el rango de cobertura. La configuración entonces del sistema estará trabajando en un modelo tipo estrella, pero la flexibilidad de IoT podría trabajarse en otros escenarios en mesh. En la figura 23 mostramos los parámetros para la colocación del sensor en el área de anidación para un objeto de conservación y para dos o más.

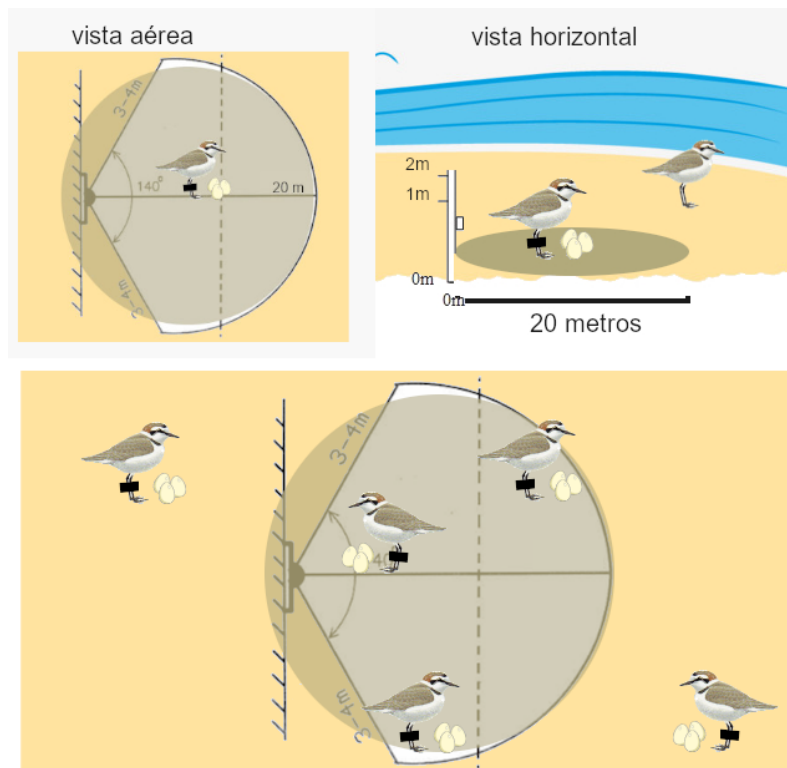


Figura 23: Análisis de cobertura para la capa característica del medio.

También se debe definir la aplicación del prototipo. Considerando los factores externos (figura 7), en la implementación se realizó un diseño básico y un modelado de aplicación del prototipo. Las variables a las que debe resistir son: temperatura, viento, partículas pequeñas como arena, humedad, salinidad y fauna en tránsito. El sensor debe estar encapsulado, para proteger al coordinador y a los circuitos, como también otorgar la capacidad de agregar elementos como paneles solares como fuente de alimentación. En la imagen se muestra un diseño y el modelado.

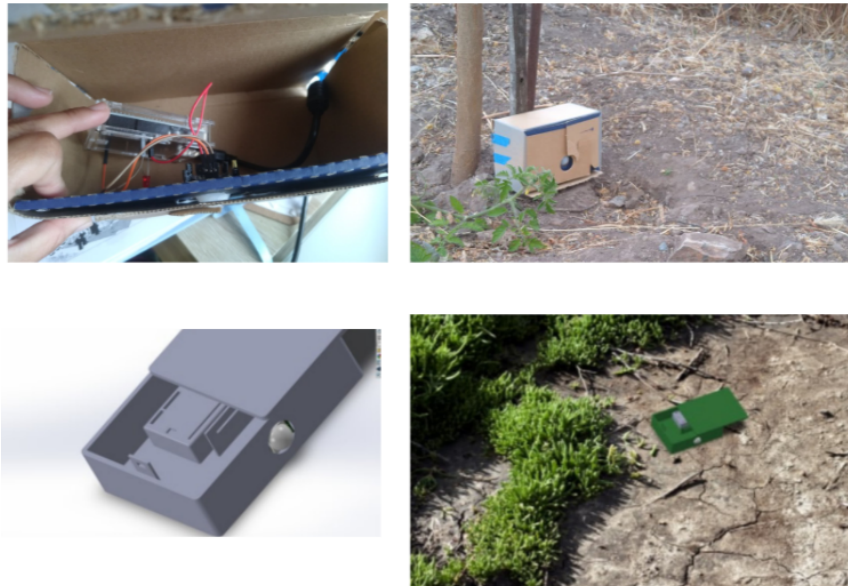


Figura 24: Diseño de materiales y forma para el prototipo.

En la figura anterior se muestra la primer versión del encapsulado para el sensor y el dispositivo coordinador (cuadros superiores izquierdo y derecho, figura 24). En esta versión el dispositivo se encuentra en posición vertical, la idea del diseño era tener mejor sistema de ventilación, sin embargo en algunas de las pruebas el viento o la fauna local volteaban el dispositivo, quedando éste con el sensor boca arriba sin posibilidad de que el sensor capturara los movimientos (ejemplo de factor de estrés externo); por lo que se optó en rediseñar el encapsulado para que el dispositivo se mantuviera horizontal con ventilación lateral (cuadros inferiores derecho e izquierdo, figura 24). La ventilación debe de estar en los costados debido a que las aves tienden a postrarse en lo que sería el techo del dispositivo, lo que dañaría si existe escurrimiento de heces o picoteo. La tapa se desliza para cerrar cualquier posible entrada de arena o polvo, el material que se desea implementar es silicón resistente a las altas temperaturas impermeable. El color verde proviene del color de la vegetación de las dunas, donde predomina la *Abronia maritima* [30]. En el interior está el espacio para fijar el dispositivo

coordinador y una fuente de poder de 5V. La tapa es plana para tener la opción de instalar paneles solares que provean de energía.

5.3. Diseño de las funciones para el caso de estudio

En el análisis se han definido las variables y se ha definido el parámetro de perturbación como indicador de bienestar. Por lo tanto, se deben realizar un modelo de datos y funciones que detecten el momento en que la perturbación ocurre dentro de los polígonos de anidación de aves. Se le llama perturbación cuando es detectado mucho movimiento en el polígono, ya sea provocado por un factor externo o por hábitos. Lo que se implementa es un dispositivo que detecte presencia/ausencia de un ser vivo dentro del área donde el objeto de conservación se encuentra anidando, con el fin de entender la dinámica por hora, estableciendo rangos de 0 a 12 movimientos como baja perturbación. Con los rangos se puede clasificar la información y tener un modelo de datos esperado. En los rangos propuestos por los analistas de datos, cualquier movimiento mayor a 12 en el lapso de una hora se considera como una perturbación en el sistema y se guarda como una bandera de evento representada en verdadero. El prototipo se mantiene en espera el resto del tiempo, trabajando durante el día y la noche. En el lapso de una hora el polígono puede presentar un máximo de cinco eventos de perturbación, es decir un movimiento por minuto que son los 60 minutos para restablecer el rango al valor de inicio, cero. Quedando una función cíclica.

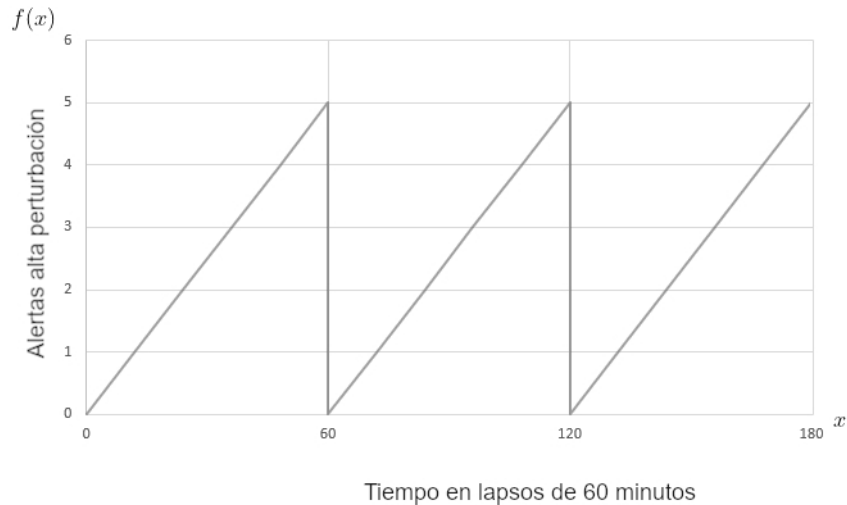
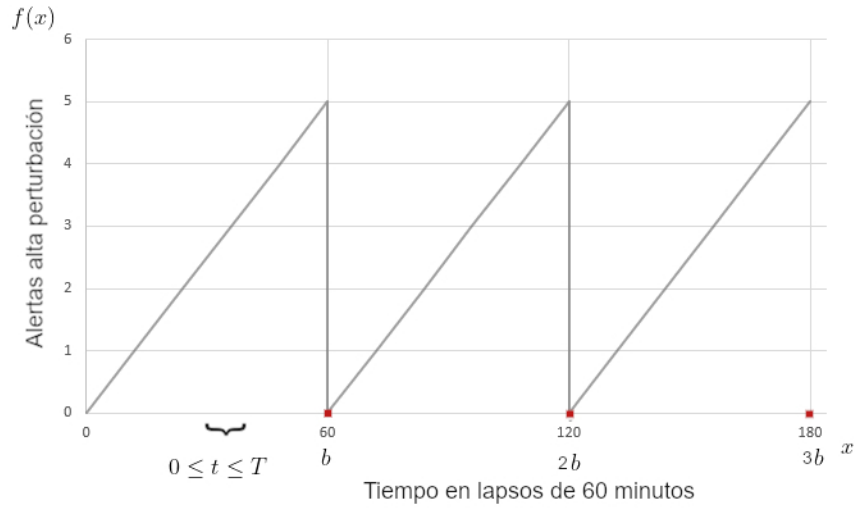


Figura 25: Funcion general.

la ecuación de pendiente ordenada en el origen la función se representa por

$$f(x) = \frac{a}{b}x$$

Sí T es el período de dicha función,



$$0 \leq t \leq T$$

$$b = T \therefore f(x) = \frac{a}{T}x$$

El máximo son 5 perturbaciones como registro de alerta, en 60 minutos, quedando 1/2 de periodo.

La operación del prototipo estará determinada, para su evaluación, por el monitoreo de aves playeras implementado por la organización a la cual se le realizaron entrevistas que detallan el protocolo de recopilación de datos y explican el comportamiento general del Chorlo Nevado (*Charadrius Nivosus*) en el período de anidación, así como organizaciones que tienen programas similares, con el fin de no tener un sesgo hacia las necesidades personales o de la organización y lograr una evaluación arbitraria. Por lo tanto, para la capa de características del medio se evaluaron sensores y métodos de captura que representen una mejora del sistema actual. En las revisiones realizadas por su tecnología y comparación con otros estudios se seleccionó el sensor PIR trabajando con un Arduino UNO para la captura de información basándonos en la tabla de elementos IoT (Tabla 2). En la figura 26 se muestra la configuración de sensor.

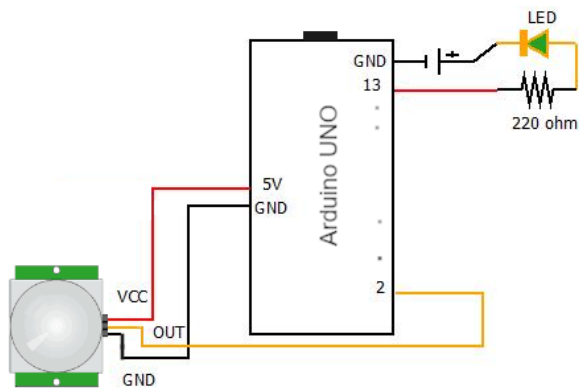


Figura 26: Circuito del sensor PIR con el arduino.

En la siguiente capa del modelo se trabaja con la conectividad de las cosas a través de un dispositivo móvil Android como coordinador y enlace de red. El objetivo del coordinador es detectar cuántas llamadas del Arduino, interpretando las entradas por polígonos, ésto nos ayudará a registrar los movimientos detectados en el polígono de anidación, a su vez provee de información agregada por el coordinador como temperatura, hora y estado de la batería como estrategia para prever bajo niveles de batería del equipo que conllevan a mal funcionamiento, ya que depende de la fuente de alimentación, en este caso el coordinador, para funcionar. A continuación se muestra el diagrama de flujo del sensor en la figura 27, el diagrama queda conectado por (A,B y C) a otras rutinas.

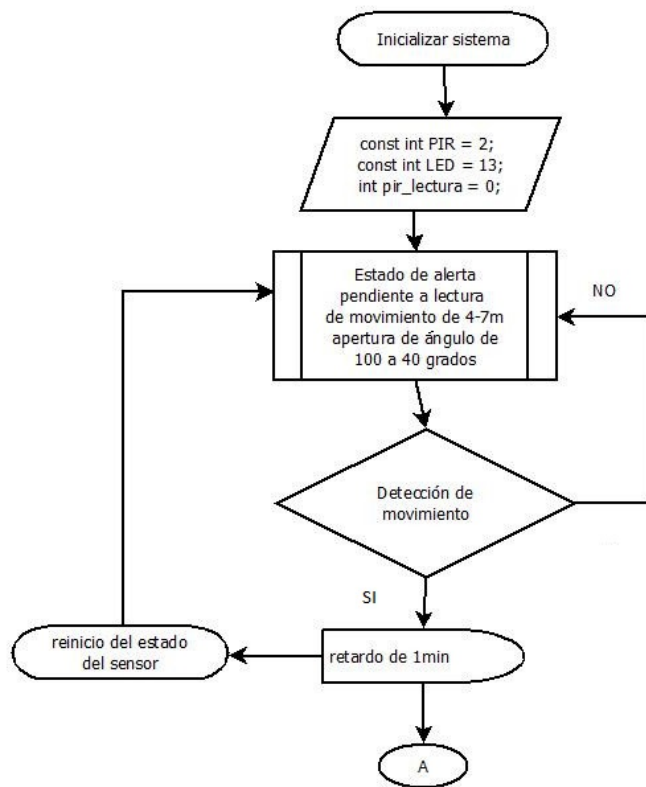


Figura 27: Diagrama de flujo y de conexiones para la capa de características del medio y conectividad de las cosas.

En la frontera de los datos se generarán las rutinas que darán el formato a los datos para su conversión a objeto y se preparan para la siguiente capa donde se enviarán a los destinos. Aquí las rutinas filtran eventos de los rangos para su registro. También se ha implementado una rutina para la generación de alertas basadas en los periodos y la frecuencia de las perturbaciones. El algoritmo realiza un conteo con un acumulador. El algoritmo tiene un tiempo constante de ejecución, y crece de manera asintótica incrementando una unidad hasta llegar al límite y reiniciar. Por lo que tenemos una función de decisión en tiempo lineal. En la figura 28 se muestra el diagrama de decisión.

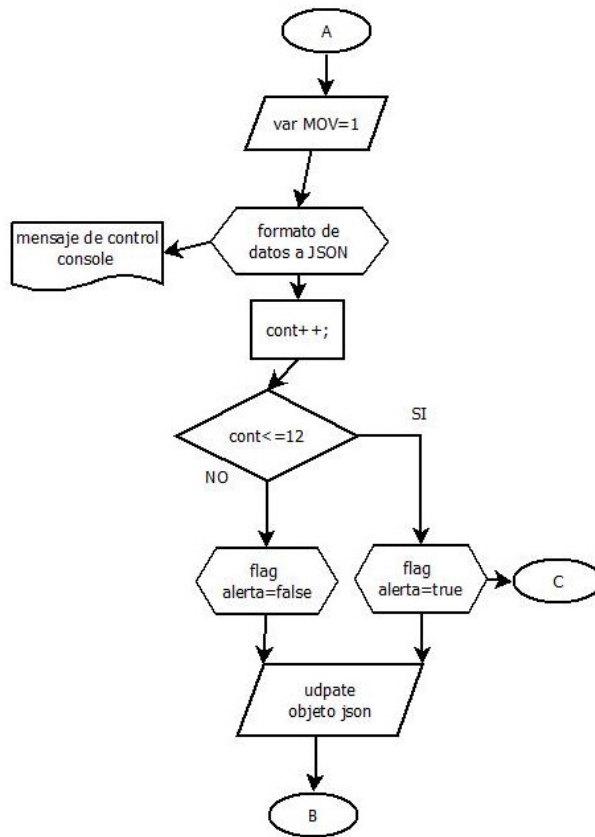


Figura 28: Diagrama de flujo de la rutina de alarmas para perturbaciones.

Para esta sección el costo del algoritmo es $O(1)$, debido a que se tiene un acumulador que puede ser ejecutado n veces, por lo que los datos reales deben ajustarse en los límites para la función. Es como se debe de comportar la recolección de datos en la implementación. En la figura 29 se muestra el comportamiento esperado de la captura de información.

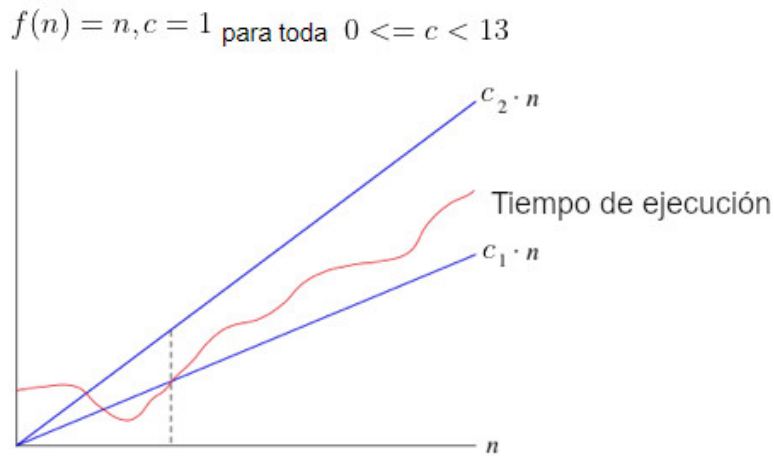


Figura 29: Función de tiempo de ejecución.

En la capa de conectividad se han implementado diversos tipos de conexiones para el almacenamiento y agregación de datos con el propósito de que la aplicación y los datos están siendo recolectados 24/7. Como una de las mejoras está representada en la reducción de costos, es importante considerar que algunos servicios tienen un costo por consumo de servicio, es decir, a medida que la aplicación escala, aumenta el volumen de datos y por consiguiente el costo de uso de almacenamiento. En el prototipo se implementó MQTT como canal principal, sin embargo se exploraron otros servicios como FireBase de Google, que tiene un servicio inicial gratuito.

El ave, como objeto de conservación, tendrá un identificador en el servidor, cuando el sensor detecte movimiento tomará los datos y los mandará al broker MQTT, a un respaldo local (logger con extensión txt), a un respaldo en la nube mediante FTTP y al servidor en tiempo real vía REST y al bot de Telegram para que el usuario suscrito al canal/chat los reciba y se tengan los datos crudos de operación locales y en la nube. Los registros del arduino pasarán a una rutina para decidir su tratado y ruta, antes de ser almacenados en la nube, en la frontera de datos. A continuación mostramos el diagrama en la figura 30 que representa el flujo de los datos para la capa de conectividad en la frontera de los datos.

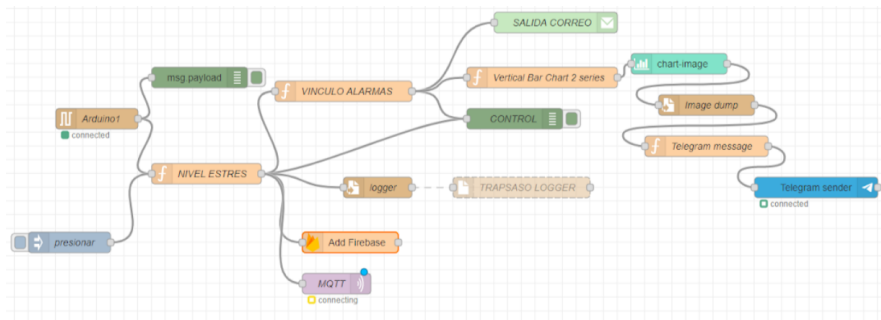


Figura 30: Flujo de datos en Red Node.

En el flujo de los datos se establecieron impresiones de consola y respaldos locales con el fin de dar seguimiento a la vida del dato desde su creación, su procesamiento, hasta la entrega. Con estas salidas de información se pudieron establecer controles de los datos y construir eventos que no fueron presenciados directamente, recordando que IoT trabaja sin la necesidad de intervención humana 24/7. Estos registros se utilizaron para las pruebas y así poder interpretar los resultados obtenidos en la implementación.

6. Evaluación y Resultados.

Debido a que esta tecnología tiene muchas posibilidades de uso, se cuestionó cómo ajustar las métricas para implementar y evaluar este modelo.

Por lo mismo se trazaron para cada capa del modelo una guía de evaluación general. Cada prueba representa una capa del modelo. La prueba de análisis representa la característica del medio; la capa de prueba arquitectura y diseño representa a la conectividad de las cosas; la prueba de código representa la frontera de los datos que existe entre la conectividad de las cosas y los servicios; la prueba del sistema contempla desde la capa de características del medio hasta el usuario; por último la prueba de usuario representa la capa de aplicación. En la figura 31 se muestra por bloques cada prueba realizada.

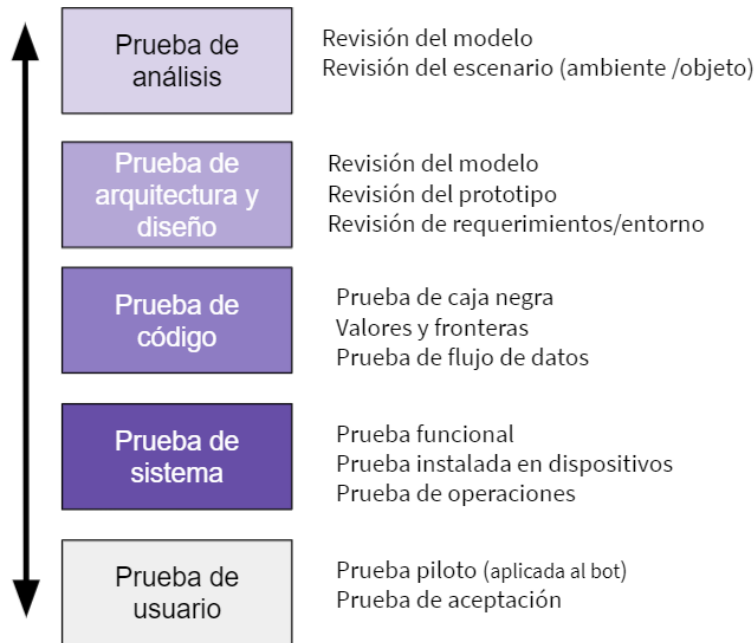


Figura 31: Diagrama de tipo de pruebas.

6.1. Prueba técnica.

En las pruebas realizadas para el análisis se tienen dos elementos: revisión del modelo y del escenario. En la revisión del modelo se debe asegurar que el prototipo tenga cada una de las capas del modelo, así como verificar para otros objetos de conservación, escenarios, servidores y aplicaciones que pudieran ser intercambiadas, por ejemplo, en la capa del conectividad de las cosas el objeto de conservación puede ser distinto, más grande; en las aplicaciones podemos tener un bot o una hoja excel; así sucesivamente en cada capa, se pueden modificar las variables o la tecnología sin tener que realizar modificaciones de las capas modelo. En la revisión del escenario, se llevaron a cabo pruebas en el exterior, dejando el prototipo en las condiciones ambientales para el caso de aplicación (humedad, temperatura, exposición solar) durante un mes.

Para las pruebas de arquitectura y diseño se elaboró un diagrama inicial como guía para las configuraciones y enlaces posibles (figura 31) con la finalidad de diseñar el prototipo para una o más entradas de datos, para transmitir los datos y para obtener servicios en la nube. El objetivo es que todos los datos que se deseen obtener en el modelo sean considerados y transmitidos a lo largo de las capas hasta el usuario final, para que puedan ser interpretados y respaldados sin tener pérdida de información cruda. Se probaron entradas de dos arduinos y de un dispositivo celular, con el fin de que la arquitectura no representara un

cambio en la estructura de los datos y su destino final. Se realizaron mensajes de consola para dar seguimiento al proceso y formato del conjunto de datos. Se evaluaron posibles pérdidas por mal funcionamiento o problemas de conexión.

La prueba del código consistió en tres técnicas, la primera es de caja negra donde se recolecta la información y se tiene el ciclo del sistema completo sin supervisión. La segunda fue poner a prueba los límites en los que el sistema debe o puede operar, y valores falsos que puedan generar errores para verificar que se cumpla cada una de las condiciones programadas. La tercera prueba consiste en seguir al dato desde su creación, su interpretación, formato y presentación, ver toda la vida del dato hasta ser integrado como información para la interpretación del usuario final.

La prueba del sistema se realizó en el siguiente orden: la prueba funcional, la prueba instalada y la prueba de operación. En la prueba funcional fue creado primero un diagrama de flujo para simular la recolección de datos y el enlace a los servicios programando las rutinas del sistema (contadores, condiciones, formatos entrada y salida, etc.). Después se realizó el circuito físico y finalmente se generaron los servicios en la nube conectados a las funciones programadas. Se instalaron en tres dispositivos móviles diferentes y dos computadoras, alternando entre los arduinos. Se dejaron operando sin interrupciones y con interrupciones. Las pruebas fueron controladas y otras en el sistema real.

Se recolectaron datos desde mayo hasta julio en horarios diferentes, la recolección de datos hizo posible ajustar los parámetros de la funciones y elementos del diseño. Con los ajustes se realizaron de laboratorio para validar que los datos se comportaran como la función general diseñada. En la siguiente gráfica se muestran los resultados de una prueba de laboratorio controlada figura 32. En ella se midieron los máximos y se cronometraron los movimientos.



Figura 32: Resultados de prueba de laboratorio.

Como se observa en la Figura 32, los datos se comportan de la manera esperada.

En la prueba de caja negra se dejó trabajando el prototipo sin intervención humana en el exterior. De los datos recolectados se extrajo un día de trabajo y se graficaron los datos para entender el comportamiento real. En la gráfica 33 se muestran los datos reales graficados por un día de trabajo continuo.

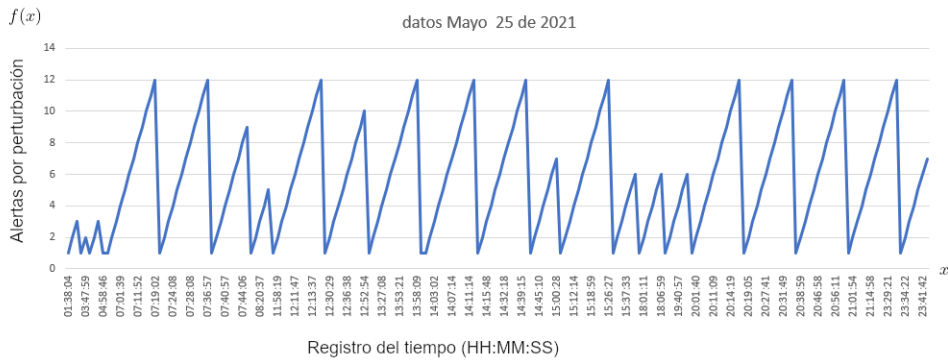


Figura 33: Resultados de prueba caja negra.

Los datos recolectados y graficados de la 33 muestran el comportamiento esperado en las horas con mayor desplazamiento del objeto de conservación. La gráfica de la Figura 33 da una imagen real de la dinámica del sitio por hora en el día seleccionado.

6.2. Prueba de usabilidad.

En el caso de las pruebas de usuario se realizó un bot en telegram con usuarios para verificar que se traspasara la información, así como un app que presenta en tiempo real los cambios en el servidor conectado al prototipo. Aquí se mostraron a los usuarios el modelo general de funcionamiento y la aplicación para evaluar el sistema. Se buscaron usuarios que estuvieran relacionados con conservación y con algo de experiencia en programas de monitoreo.

El formulario contempla preguntas sobre el uso de tecnologías en el trabajo y en la vida diaria, con el fin de entender las habilidades de los usuarios. Las edades de los usuarios están en el rango de 27 a 45 años. El 90 % de los usuarios ha utilizado sistemas de visualización de datos biológicos o de monitoreo, pero solamente el 40 % utilizan aplicaciones de interpretación de datos para su vida diaria. La media de uso de dispositivos es de tres dispositivos, de los cuales son celulares, tablets y relojes o centros de mando.

Posterior a explicar el proyecto y los objetivos, se realizó una demostración.

De las preguntas de habilidades técnicas, el 50% de los usuarios consideran que deben entender muchas cosas para poder utilizar el sistema. Los usuarios entrevistados realizaron observaciones al sistema, dichas observaciones fueron anotadas en la interacción y en un seguimiento posterior al envío de la encuesta por los usuarios.

- Pantalla inicial. En la pantalla inicial algunos usuarios expresaron que las barras divisorias en el contenido de la pantalla inicial utilizadas como encabezados generaba desconcierto, el usuario no estaba seguro de entender el bloque, si era otra página o realizaba alguna acción al seleccionarse. La observación de diseño fue eliminar la división y dejar el contenido en un solo bloque narrativo. En la Figura 34 se muestra parte de la sección (imagen izquierda).
- Uno de los usuarios resaltó que en la pantalla inicial le gustaría obtener información relevante, más allá de la introducción actual, dejando en la sección de información de la aplicación el texto introductorio. Una posible opción fue integrar la última noticia de las secciones de interés.
- Navegación. La navegación principal les resultó clara, a excepción del menú (ver Figura 34 imagen izquierda), por lo que se sugiere tenga el mismo contorno que el resto de los botones de navegación o en su defecto un ícono, una diferencia de color o línea.
- Sección de noticias. En la sección de noticias los usuarios comentaron que sería de utilidad tener un botón de cerrar el espacio y seleccionar otra noticia, dejando claro que el contenido desplegado es el resultado del filtro seleccionado (ver Figura 34 imagen derecha) . Se sugirió por parte de los

usuarios tener la posibilidad de compartir la información a través de otras aplicaciones (redes sociales y vínculos).

- Sección de registros de monitoreo. Los registros que están vinculados a los datos generados por el servidor carecen de protagonismo. Se sugiere que las estadísticas y descripciones sobre los datos se visualicen en la entrada del app. También se solicitó la opción de descargar o compartir las gráficas, con la finalidad de comunicar a otros usuarios interesados de eventos relevantes.
- Secciones de contacto y compartir. Lo usuarios expresaron que ambas son relevantes, que el contenido es similar y pudiera quedar fusionada en una sola con menos protagonismo. En el caso de compartir, podría ir directamente a una función de descarga de la aplicación compartida a través de Whatsapp, telegram o correo.
- Función de ubicación. Los usuarios no detectaron la función de ubicación. El tamaño del botón no es sencillo de activar y el usuario no entiende si está funcionando o no. La extensión de los decimales en las coordenadas desplegadas crea desconcierto y se interpreta como un error o falla. La recomendación es generar un espacio más grande para la función y evidente, es decir, clarificar el uso de las coordenadas dentro del app.

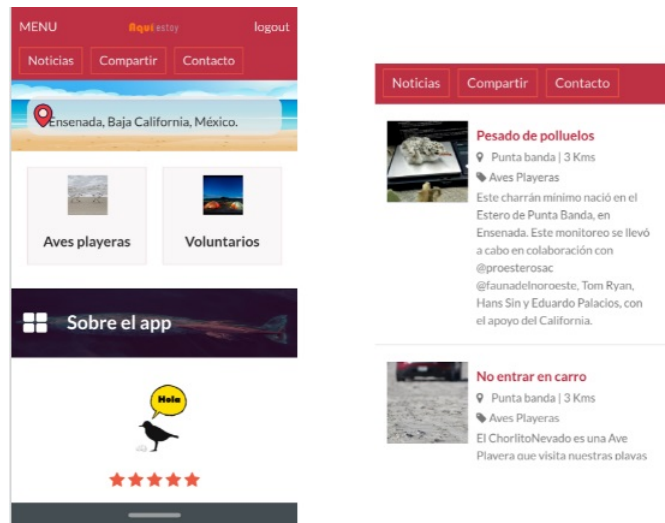


Figura 34: Pantalla inicial y sección de noticias.

Al finalizar las pruebas de la aplicación se les solicitó a los usuarios llenar un formulario basado en el Sistema de Escalas de Usabilidad (SUS) [32]. Considerando que la aplicación desea cubrir necesidades de personas que realizan monitoreo y llevan proyectos de conservación, las preguntas principales para el tipo de usuario fueron las siguientes:

Pregunta	puntuación
1. Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar este sistema.	promedio 1.7
2. Encuentro que el sistema es muy difícil de usar.	promedio 2.2
4. Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este sistema en forma muy rápida.	promedio 2.3
3. Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar este sistema.	promedio 3.9

Tabla 8: Preguntas de enfoque

La pregunta 1, 3 y 4, responden a los requerimientos futuros de capacitación de los usuarios y réplica para programas que no cuentan con personal técnico, así como el tiempo de capacitación. La pregunta 2 responde a la capacidad de interpretar y acceder a la información clave arrojada por el sistema. Las preguntas clave se muestran en la gráfica 35.

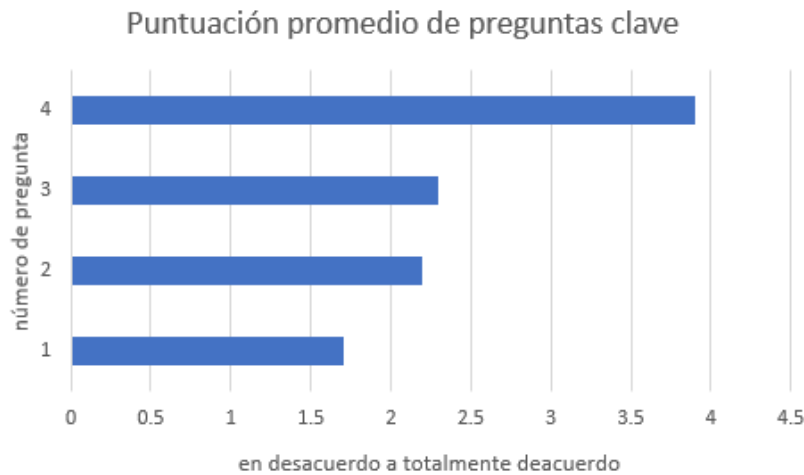


Figura 35: Resultados de preguntas clave.

De los resultados obtenidos se puede observar que la mayoría de los usuarios creen poder dominar el sistema con la capacitación adecuada, por lo que se recomendaría una capacitación previ y los usuarios no perciben al sistema como algo técnico, sino de dominio alcanzable por el común.

A continuación se presentan los resultados de las encuestas de los usuarios sobre la percepción de aspectos del sistema utilizando un Sistema de Escalas de Usabilidad (SUS) [32]. En la gráfica 36 se muestra la percepción por usuario que define el nivel de usabilidad del sitio.



Figura 36: Resultados de todas las preguntas.

La aplicación recibió el promedio de 58.5 en la escala SUS, lo que representa que la aplicación se considera bueno en el límite de los aceptable y con grado bajo de aceptación del usuario, por lo que se deben ajustar elementos de función y diseño. De los comentarios generales se expresó por parte de los usuarios confusión en el diseño al momento de navegar y acceder a la información.

7. Conclusiones y trabajo futuro.

En el trabajo se plantearon aspectos sociales, económicos y políticos con los que se relaciona la conservación de las áreas naturales y sus objetos de conservación. En el aspecto sociopolítico del trabajo se atienden las necesidades de un modelo que reduzca los costos de implementación, potencialice las capturas de datos de las zonas para su protección y estudio, y genere bajo impacto, con el fin de que la presencia humana no perturbe o modifique el entorno que desea preservar. Los mencionados son algunos de los tantos problemas desarrollados en el trabajo. En el monitoreo de los ecosistemas, como bien se ha mencionado, los compromisos y retos que afronta México, se contemplaron las necesidades de las personas que trabajan en el ejercicio del monitoreo. Los recursos guber-

namentales han decrementado este sexenio, en el transcurso del desarrollo del trabajo cerraron operaciones las estaciones de monitoreo y oficinas de gobierno dedicadas al ejercicio de la conservación, con ellas muchos proyectos se truncaron sin posibilidad de operar con la reducción de costos. Por mencionar un caso, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) sede Ensenada y Tijuana operará hasta Agosto, dejando a la oficina de Mexicali como la única representante en todo el estado.

En la sección de factores de estrés fue importante descubrir las variables que se deben considerar asociadas al ecosistema, y que pudieran no ser perceptibles por los desarrolladores de sistemas IoT. Con ello las soluciones del modelo en la capa de conectividad se desarrollan derivadas de una interpretación y abstracción del medio.

Si IoT promete mejorar la vida de las personas y sus actividades, automatizando procesos, es probable que se extiendan las aplicaciones al ecosistema para favorecer la conservación y el estudio de aquellos lugares en los que el hombre aún no ha podido acceder o en los que un monitoreo continuo puede generar y confirmar otras hipótesis en otros campos. La ventaja de esfuerzos multidisciplinarios y transdisciplinarios en zonas naturales consiste en enriquecer a las disciplinas que trabajan en proyectos de conservación con objetivos personales y grupales, por los que siempre se consideraron los aspectos biológicos, sociales en el desarrollo del trabajo.

Se estima que IoT verde es la siguiente práctica necesaria para satisfacer el acelerado crecimiento de dispositivos y cosas conectadas, así como la generación, transmisión y almacenamiento de datos en temas de conservación ambiental. Iniciativas de bajo impacto, sustentables y ecológicas serán la alternativa a los problemas del abastecimiento energético que implica el deterioro del mismo ecosistema. También bajo el mismo concepto el desarrollo urbano y las actividades de esparcimiento llegan a fraccionar y generar un impacto, el giro estratégico de las organizaciones será replicar esfuerzos y escalar modelos de IoT implementados que involucren a los actores participantes (ciudadanos, representantes de gobierno y organizaciones) con el fin de sensibilizar y unir esfuerzos. Las aplicaciones derivadas de los modelos tienen un sinnúmero de variantes para cada uno de los actores. A pesar de que no se profundizó en las aplicaciones, el siguiente paso del trabajo puede enfocarse a colaborar en programas sociales que implementen estrategias que apoyen a la protección de especies nativas. Por cuestiones de pandemia y restricciones sanitarias el prototipo trabajado se aplicó parcialmente, las pruebas se realizaron en laboratorio y el vínculo con la organización se vio mermado por cuestiones de agenda y tiempos. Queda la aplicación formal del prototipo en espera de la siguiente temporada de anidación para el monitoreo. Sin embargo, en el aspecto social, se generó interés de otras organizaciones que trabajan en monitoreos de aves playeras con personas de comunidades, quienes al saber del trabajo realizado se pusieron en contacto. Se expresó durante las entrevistas y consultas la necesidad de tener capturas estandarizadas por parte

de personas sin carrera académica afín a los monitoreos, ya que, dichos grupos podrían implementar un sistema IoT que validara y le diera solidez a las capturas por grupos no técnicos, involucrando así a la comunidad y una mejor aceptación de los proyectos de conservación en zonas comunitarias.

Los retos de comunicación y transmisión de datos sigue siendo la compatibilidad de versiones de dispositivos, restricciones de bases de datos en tiempo real para la recolección masiva de datos, la seguridad y la calidad del servicio. Proyectos de fuente abierta son una opción económica para implementaciones que buscan un bajo costo.

Como parte del trabajo se realizaron dos visitas a un área protegida en Bahía de Los Ángeles, Baja California. Durante la visita se realizó un taller de tecnología a niños de la comunidad como parte del programa de conservación del área. Durante el taller se realizaron capturas con el prototipo diseñado. Los resultados fueron publicados en el sitio del programa llamado Aventureros y sus redes sociales. La tecnología como herramienta para jóvenes de las comunidades aledañas a zonas de conservación puede marcar la línea hacia la recolección masiva de datos insitu. Proyectos que involucren a la comunidad desde temprana edad, es una oportunidad para el monitoreo con IoT en entornos ambientales, de la misma manera representa una derrama económica para los habitantes.

Referencias

- [1] I. (2005). The internet of things. international telecommunication union (itu). *Geneva, Switzerland: ITU*.
- [2] B. Afzal, M. Umair, G. Asadullah Shah, and E. Ahmed. Enabling iot platforms for social iot applications: Vision, feature mapping, and challenges. *Future Generation Computer Systems*, 92:718–731, 2019.
- [3] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(4):2347–2376, 2015.
- [4] R. Arshad, S. Zahoor, M. A. Shah, A. Wahid, and H. Yu. Green iot: An investigation on energy saving practices for 2020 and beyond. *IEEE Access*, 5:15667–15681, 2017.
- [5] R. Arshad, S. Zahoor, M. A. Shah, A. Wahid, and H. Yu. Green iot: An investigation on energy saving practices for 2020 and beyond. *IEEE Access*, 5:15667–15681, 2017.
- [6] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805, 2010.
- [7] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito. Understanding the internet of things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56:122–140, 2017.
- [8] P. Blue. Point blue conservation science.
- [9] B. Caribbean. Birdscaribbean: Quick id guide to common shorebirds of the caribbean.
- [10] A. Chan and P. A. Hodgson. Improving stakeholder and authority cooperation among coastal fishing communities using passive blast monitoring data. In *2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO)*, pages 1–9, 2018.
- [11] A. Clements. *Principles of Computer Hardware*. 4th ed. Oxford, U.K., Oxford Univ. Press, NY, 2006.
- [12] M. A. A. da Cruz, J. J. P. C. Rodrigues, J. Al-Muhtadi, V. V. Korotaev, and V. H. C. de Albuquerque. A reference model for internet of things middleware. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2):871–883, 2018.
- [13] C. I. B. S. G. I. Dave Evans. Internet de las cosas cómo la próxima evolución de internet lo cambia todo. *Geneva, Switzerland: ITU*.

- [14] R. Del-Rio-Ruiz, J.-M. Lopez-Garde, J. Ruiz-de Garibay, and J. L. Macon. Smart nests: Iot for ornithology. In *2018 Global Internet of Things Summit (GIoT)*, pages 1–6, 2018.
- [15] M. Fahmideh and D. Zowghi. An exploration of iot platform development. *Information Systems*, 87:101409, 2020.
- [16] M. Griesser, N. A. Schneider, M.-A. Collis, A. Overs, M. Guppy, S. Guppy, N. Takeuchi, P. Collins, A. Peters, and M. L. Hall. Causes of ring-related leg injuries in birds – evidence and recommendations from four field studies. *PLOS ONE*, 7(12):1–11, 12 2012.
- [17] B. M. Hick, Hannes and C. Faustmann. Definition of a system model for model-based development. *SN Applied Sciences*, 1074, 2019.
- [18] S. Huckle, R. Bhattacharya, M. White, and N. Beloff. Internet of things, blockchain and shared economy applications. *Procedia Computer Science*, 98:461–466, 2016. The 7th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks (EUSPN 2016)/The 6th International Conference on Current and Future Trends of Information and Communication Technologies in Healthcare (ICTH-2016)/Affiliated Workshops.
- [19] V. Ibarra, M. Araya-Salas, Y.-p. Tang, C. Park, A. Hyde, T. Wright, and W. Tang. An rfid based smart feeder for hummingbirds. *Sensors*, 15:31751–31761, 12 2015.
- [20] J. Ibarra Esquer, F. F. González-Navarro, J. Sánchez, B. Flores Rios, M. Astorga, and M. L. Gonzalez-Ramirez. Graphical framework for categorizing data capabilities and properties of objects in the internet of things. *IEEE Access*, 8:1–1, 01 2020.
- [21] Y. Kim, J. Nam, T. Park, S. Scott-Hayward, and S. Shin. Soda: A software-defined security framework for iot environments. *Computer Networks*, 163:106889, 2019.
- [22] H. Kurazono, H. Yamamoto, M. Yamamoto, K. Nakamura, and K. Yamazaki. Rfid and zigbee sensor network for ecology observation of seabirds. In *2013 15th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT)*, pages 211–215, 2013.
- [23] X. Li, N. Zhao, R. Jin, S. Liu, X. Sun, X. Wen, D. Wu, Y. Zhou, J. Guo, S. Chen, Z. Xu, M. Ma, T. Wang, Y. Qu, X. Wang, F. Wu, and Y. Zhou. Internet of things to network smart devices for ecosystem monitoring. *Science Bulletin*, 64(17):1234–1245, 2019.
- [24] D. K. J. Morais, Cleber M. de Sadok. An iot sensor and scenario survey for data researchers. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 25:4, 2019.

- [25] F. Muteba, K. Djouani, and T. Olwal. A comparative survey study on lpwa iot technologies: Design, considerations, challenges and solutions. *Procedia Computer Science*, 155:636–641, 2019. The 16th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC 2019),The 14th International Conference on Future Networks and Communications (FNC-2019),The 9th International Conference on Sustainable Energy Information Technology.
- [26] N. Naik. Choice of effective messaging protocols for iot systems: Mqtt, coap, amqp and http. In *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, pages 1–7, 2017.
- [27] R. Nourjou and M. Hashemipour. Smart energy utilities based on real-time gis web services and internet of things. *Procedia Computer Science*, 110:8–15, 2017. 14th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC 2017) / 12th International Conference on Future Networks and Communications (FNC 2017) / Affiliated Workshops.
- [28] T. C. L. of Ornithology. ebird.
- [29] P. Ray. A survey on internet of things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(3):291–319, 2018.
- [30] N. Rodríguez-Revelo, I. Espejel, O. Jiménez-Orocio, M. Martínez, D. Mata, and R. Ibarra. *Dunas Costeras de la Península de Baja California*, pages 146–169. 01 2014.
- [31] M. Sun, Z. Zhou, J. Wang, C. Du, and W. Gaaloul. Energy-efficient iot service composition for concurrent timed applications. *Future Generation Computer Systems*, 100:1017–1030, 2019.
- [32] SUS. System usability scale (sus), usability.gov.
- [33] A. D. X. L. Whitmore, Andrew Agarwal. The internet of things—a survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17:274, 2015.
- [34] B. S. B. S. J. A. P. U. o. M. T. William Stallings, With contributions by: Florence Agboma. *Foundations of Modern Networking SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. Pearson Education, Inc., 800 East 96th Street, Indianapolis, Indiana 46240 USA, 2016.