

Journal

Boliviano de Ciencias



Journal

Boliviano de Ciencias

Editor en Jefe

PhD Pablo Arce Maldonado

Editor de sección: Civil

M.Sc. María Elena Sahonero Saravia

Editor de sección: Industrias

Ing. Daysi Lidia Iñiguez Calveti

Editor de sección: Electromecánica

Ing. Edson Gastón Montaña Bautista

Editor de sección: Petróleo y energías

Ing. Mauricio Crespo Polo

Editor de sección: Electrónica y biomédica

MSc Eynar Calle Viles

Editor de sección: Alimentos

PhD Tania Araujo Burgos

Comité de revisores

Ing. Ricardo Vargas Bustillos

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

Ing. Abel Gerson Calahuana Zenteno

YPFB Corporación-Planta de Amoniaco y Urea, Bolivia

Ing. María Teresa Vargas Campos

Universidad Mayor de San Simón, UMSS, Bolivia.

Ing. Rodrigo Quispe Maydana

Consultor independiente

Ing. Hector Antonio Uriarte Peláez

Consultor independiente

Ing. Jorge Arturo Galindo Asturizaga

Servicios Técnicos e Importaciones STI LTDA, Bolivia

MSc Carlos Alberto Torrico Borja

Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

Ing. Jaime Hamel Fonseca

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

MSc Martha Liliana Siles Camacho

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

Ing. Nahúm Gamalier Cayo Chileno

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

MSc Durval Párraga Morales

Consultor independiente

PhD German Rico Ramallo

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

MSc Oscar Contreras Carrasco

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

MSc René Fernandez Guzmán

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

MSc Ariel Quezada Castro

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

MSc Joel Huanca Chavez

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

MSc Gerber Nina Chuquimia

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

Ing. Eliana Cáceres Torrico

Hospital de Tercer nivel de Montero, S. Cruz, Bolivia

MSc Nadia Belén Gonzales Prado

Caja Nacional de Salud, Bolivia

MSc Andrés Oliver Zapata

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

Ing. Oscar Rolando Gamboa Acho

Acid Labs, Chile

Ing. Elias Choque Maydana

Universidad Privada del Valle, UNIVALLE, Bolivia

Ing. Rodrigo Martinez Severich

MBA. Ing., ITM Bolivia

MSc Wilder Orellana López

Universidad Católica Boliviana “San Pablo”, Bolivia

Autoridades Universitarias

M.Sc. Gonzalo Ruiz Ostría

Rector

Diego Villegas Zamora, Ph.D.

Vicerrector Académico

M.Sc. Sandra Ruiz Ostría

Vicerrectora de Interacción Social

Lic. Daniela Zambrana Grandy

Secretaria General

M.Sc. Franklin Néstor Rada

Vicerrector Académico Subsede La Paz

M.Sc. Antonio Carvalho Suárez

Vicerrector Académico Subsede Santa Cruz

MBA. Carlos Torricos Mérida

Vicerrector Académico Subsede Sucre

M.Sc. René Monje Morant

Vicerrector Académico Subsede Trinidad

M.Sc. Jorge Ruiz de la Quintana

Director Nacional de Investigación

Equipo técnico

Lic. Paola Andrea Antezana Pérez

Coordinadora de Publicaciones y Difusión

Científica

Lic. Luis Marco Fernández Sandoval

Coordinador de Producción Audiovisual

Depósito Legal N° 2-3-66-09
La reproducción parcial o total de los
artículos está permitida en tanto las
fuentes sean citadas.

Es parte de:



Universidad Privada del Valle
Telf: (591) 4-4318800 / Fax: (591) 4-4318886.
Campus Universitario Tiquipaya.
Calle Guillermina Martínez, s/n, Tiquipaya.
Casilla Postal 4742.
Cochabamba – Bolivia.

ÍNDICE

Páginas

Editorial

Editorial

Eynar Calle Viles.....5

Desarrollo de una plataforma de monitoreo para una red de dispositivos IOT empleando tecnología Lorawan

Development of a web monitoring platform for a network of IOT devices using Lorawan technology

Remmy Ignacio Fuentes Telleria, Edgar Roberto Ramos Silvestre,

Alexander Otolara Rodriguez.....6-25

Plataforma en la nube para la clasificación de objetos utilizando inteligencia artificial

Cloud platform for object classification using artificial intelligence

Mauricio Peredo Claros, Edgar Ramos Silvestre.....26-47

Sistema de geolocalización con alarma y monitoreo basado en IOT para personas con Alzheimer

Geolocation system with alarm and monitoring based on IOT for Alzheimer's patients

Diana Choque Choque, Joel Huanca Chávez.....48-63

Blockchain, de mineros a oráculos

Blockchain, from miners to oracles

René Enriquez Espinoza.....64-84

5G características y aplicaciones en salud

5G characteristics and applications in health

Katerin Deysi Vásquez Benito, Guillermo Franco Rengel Pilco, Abigail Zárate Ramírez.....85-93

Microbots y nanobots para el tratamiento de tumores cancerígenos

Microbots and nanobots for the treatment of cancer tumors

Camila Clavijo Cruz Luz, Camila Fernandez Rodriguez.....94-113

EDITORIAL

“La ciencia no sólo es una disciplina de la razón, sino también del romance y de la pasión” - Stephen Hawking

Estimados lectores en esta oportunidad presentamos el Volumen 18 – Numero 53 del Journal Boliviano de Ciencias, con documentos de alto nivel académico, contribuciones que aportarán en investigación de temas relacionados con Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas IoT, Blockchain entre otras.

El uso del Internet en la actualidad ha cambiado, produciendo varios cambios en la industria, por ejemplo, las empresas pueden trabajar más rápido y de manera rentable gracias a la World Wide Web y todas sus innovaciones. Hoy, Bolivia se encuentra una vez más al borde de un cambio tan drástico en las oportunidades comerciales con el Internet de las cosas (*Internet Of Things IoT*) y la Inteligencia artificial.

La evolución de la informática llega a un umbral crítico a nivel global. Durante los próximos cinco años, muchos dispositivos estarán conectados a internet, la mayoría no serán computadoras, tabletas o teléfonos inteligentes, sino herramientas inventadas para monitorear, analizar, filtrar, controlar, optimizar y mejorar el cotidiano vivir.

El IoT, representa la interconectividad inteligente entre el mundo real y el digital, transformará rápidamente todos los aspectos de la forma de trabajar, monitorear y hacer negocios. Objetos con capacidades de procesamiento, comunicación y obtención de datos podrán realizar estas tareas y comunicarse unos a otros en una red. Estoy convencido que los temas presentados en este volumen realizarán un aporte importante a la comunidad universitaria y sociedad.

Finalmente, agradecer a los especialistas revisores por el tiempo dedicado a la revisión cuidadosa de cada uno de los artículos y a todos los autores que eligieron el Journal Boliviano de Ciencias como medio de difusión de su trabajo.



Ing. M.Sc. Eynar Calle Viles
Coordinador de Investigación Facultad Informática y Electrónica
Universidad Privada del Valle Cochabamba

Proyecto de ingeniería aplicada

Desarrollo de una plataforma de monitoreo para una red de dispositivos IOT empleando tecnología Lorawan

Development of a web monitoring platform for a network of IOT devices using Lorawan technology

Remmy Ignacio Fuentes Telleria ¹.  Edgar Roberto Ramos Silvestre ². Alexander Otolara Rodriguez³.

¹ Docente del Departamento de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. rfuentest@univalle.edu

² Director del Departamento de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. eramoss@univalle.edu

³ Estudiante de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. ora0023088@est.univalle.edu

Citar como: Ramos Silvestre, E. R., Fuentes Telleria, R. I., & Otolara Rodriguez, A. Desarrollo de una plataforma de monitoreo para una red de dispositivos IOT empleando tecnología Lorawan. Journal Boliviano de Ciencias, UNIVALLE, 18(53), 6-25 <https://doi.org/10.52428/20758944.v18i52.227>

Revisado: 08/11/2022
Aceptado: 15/11/2022
Publicado: 30/12/2022

Declaración: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Creative Commons. Licencia de atribución (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
Derechos de autor 2022 Remmy Ignacio Fuentes Telleria, Edgar Roberto Ramos Silvestre, Alexander Otolara Rodriguez.



RESUMEN

En la actualidad, la IoT o Internet de las cosas, un concepto tecnológico que ha tomado gran fuerza, permite mitigar problemas en distintos sectores económicos. Con la constante evolución de las tecnologías de comunicación inalámbrica y la creciente tendencia de conectar cualquier elemento a Internet, y también la necesidad presente de tener controlado cualquier entorno en tiempo real, el Internet de las cosas permite brindar soluciones innovadoras utilizando tecnologías y protocolos eficientes y de última generación.

LoRa, es una de las nuevas tecnologías de transmisión inalámbrica en el ámbito IoT, brinda un consumo bastante reducido de energía permitiendo obtener un gran alcance de transmisión que supera a tecnologías como WiFi y redes celulares. Estas características combinadas con la posibilidad actual que se tiene de almacenar y centralizar cantidad de datos en servidores que estén conectados a Internet, permite el desarrollo de sistemas de monitoreo eficientes y robustos. En la presente investigación se realizó el estudio de la tecnología LoRa implementada en una solución IoT de monitoreo remoto, las ventajas que presente su implementación combinada con el uso de un servidor privado virtual y el protocolo estándar para IoT, denominado MQTT.

Palabras clave: IoT, LoRa, Servidores, MQTT, Sistemas de monitoreo.

ABSTRACT

Currently, the IoT or Internet of things, a technological concept that has gained great strength, allows mitigating problems in different economic sectors. With the constant evolution of wireless communication technologies and the growing trend of connecting any element to the Internet, and also the present need to control any environment in real time, the Internet of things allows to provide innovative solutions using efficient technologies and protocols of last generation.

LoRa, is one of the new wireless transmission technologies in the IoT field, provides a fairly low power consumption, allowing a large transmission range to be obtained that exceeds technologies such as WiFi and cellular networks. These characteristics combined with the current possibility of storing and centralizing amounts of data on servers that are connected to the Internet, allows the development of efficient and robust monitoring systems. In the present investigation, the study of the LoRa technology implemented in a remote monitoring IoT solution was carried out, also advantages of its implementation combined with the use of a virtual private server and the standard protocol for IoT, called MQTT.

Keywords: IoT, LoRa, Servers, MQTT, Monitoring systems.

1. INTRODUCCIÓN

En Bolivia, un país en desarrollo tecnológico, los sistemas de monitoreo se han convertido en una herramienta crucial que permite solucionar problemas y mejorar procesos en distintos sectores como negocios, aplicaciones e incluso en la industria misma, un ejemplo de esto es (Satrifo, 2022) un *software* de monitoreo y alerta de riesgos de incendios forestales, el cual permite monitorear bosques y parques con el fin de prevenir incendios antes de que estos ocurran.

En aplicaciones donde se requiere gran cantidad de sensores desplegados en el campo de monitoreo, el uso de recursos como suministro de energía, alcance de transmisión y de red en general se vuelven un punto crucial para brindar la mayor rentabilidad y eficiencia, dado que, el monitoreo y control de magnitudes físicas de un entorno dado son y han sido tareas de suma importancia que han permitido el desarrollo de soluciones integrales a las necesidades que presentan los diferentes sectores económicos.

Tomando en cuenta el concepto IoT, el presente artículo describe la implementación de un sistema de monitoreo web para una red de sensores haciendo uso de tecnologías englobadas por este concepto, LoRa, MQTT y servicios basados en la nube como un servidor privado virtual (VPS), para este propósito es necesario cumplir con una serie de tareas:

- El análisis y diseño de la arquitectura de red que se utilizará.
- El diseño y configuración de los nodos finales.
- La configuración de dispositivos LoRa.
- La implementación del protocolo MQTT.
- La implementación y configuración de servicios en un VPS.
- El desarrollo de un aplicativo web que permita la visualización de datos.

2. ANÁLISIS DE ARQUITECTURA DE RED

En el diseño de la arquitectura de red, es necesario tomar en cuenta la arquitectura propuesta por la tecnología LoRa y el protocolo MQTT, ya que ambas llegan a ser similares en ciertos aspectos, principalmente en su topología. Por una parte, LoRa que está basada en la arquitectura de una red LPWAN, propone el uso de nodos finales, un Gateway principal, un servidor de red y aplicaciones finales, por otra

parte, la arquitectura del protocolo MQTT que utiliza un servidor principal llamado Broker MQTT que gestiona todos los datos transmitidos de cantidad de clientes MQTT o dispositivos finales, estas se describen a continuación.

2.1 LoRa

Por sus siglas del inglés Long Range, es una de las tecnologías de comunicación inalámbrica perteneciente a las redes LPWAN, que proporciona distancias de transmisión superiores a 2 kilómetros con un consumo de potencia bastante reducido.

Esta tecnología engloba dos términos los cuales son LoRa y LoRaWAN, el primero que hace referencia a la tecnología o capa física y la segunda que llega a ser el protocolo que puede ser implementada dentro de una solución LoRa.

El método de modulación empleado por LoRa llega a ser Chirp Spread Spectrum (CSS) que es una técnica de modulación de espectro ensanchado que utiliza una serie de pulsos conocidos como chirridos para codificar los datos a transmitir, estos pulsos de chirridos son una variación de la frecuencia en el tiempo y esta variación puede ser ascendentes o decrecientes a los cuales se los conoce como upchirp y downchirp respectivamente, en la comunicación de dos dispositivos, la trama LoRa que se envía está conformada de una serie de pulsos de chirrido los cuales contienen la información que se quiere compartir. En la Figura 1 se presenta la modulación CSS.

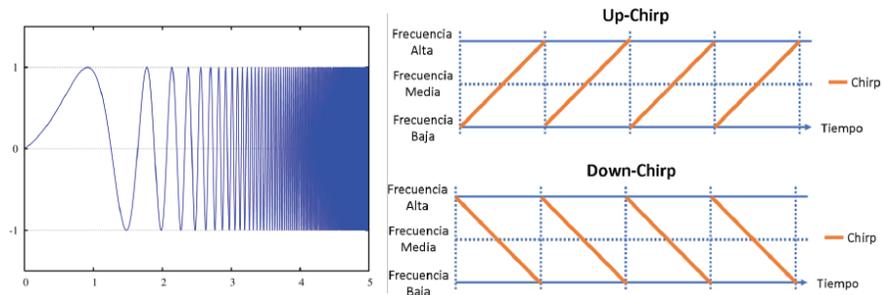


Figura 1. Modulación CSS. Fuente: Calderón, 2019.

Para una comunicación exitosa a través de esta tecnología es necesaria la configuración de ciertos parámetros como el factor de propagación, ancho de banda y velocidad de datos, los cuales se describen más adelante.

2.2. Redes LPWAN

LPWAN por sus siglas del inglés Low Power Wide Area Network, son aquellas redes de telecomunicaciones inalámbricas que permiten la transmisión de datos a largas distancias, 10 kilómetros con plano de visión con una baja tasa de transferencia de datos, 200 kbps en promedio y un consumo de energía bastante reducido que hace posible la alimentación de dispositivos mediante baterías (Campos, 2021).

Como se muestra en la Figura 2, las redes LPWAN superan notablemente en alcance de transmisión a redes inalámbricas como WiFi y redes LTE, con una tasa de *bits* relativamente baja, características que hacen de estas redes ideales para la implementación de aplicaciones IoT de baja potencia.

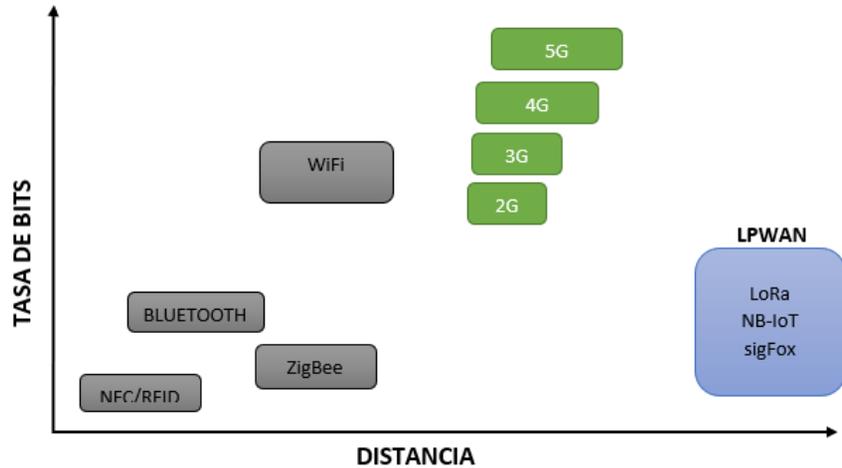


Figura 2. Tecnologías inalámbricas alcance de transmisión. Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.3 Arquitectura de red LPWAN

La arquitectura de las redes LPWAN consiste principalmente de una topología en estrella donde muchos dispositivos finales o también llamados nodos finales van conectados a un dispositivo principal central llamado Gateway encargado de direccionar y retransmitir toda la información generada por los nodos finales hasta un servidor principal en el cual se gestiona toda la información de la red para finalmente retransmitirlas a aplicaciones finales implementadas por el usuario final (Ordoñez, 2017). En la Figura 3, se presenta la arquitectura de red LPWAN y los dispositivos que la componen.

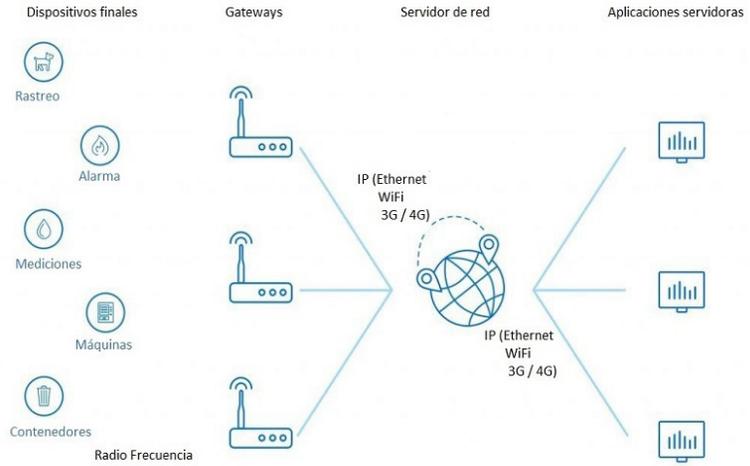


Figura 3. Arquitectura de red LPWAN. Fuente: La Rosa, 2022.

2.4 Tecnologías LPWAN

Existen varias tecnologías inalámbricas que pertenecen a las redes LPWAN y que brindan todas sus características, entre ellas LoRa. La Tabla 1, presenta una comparativa entre las tecnologías LPWAN de mayor relevancia.

Tabla 1. Comparativa entre tecnologías LPWAN

Propiedad	sigFox	LoRa	NB-IoT
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	433, 868, 915 MHz	433, 868, 915 MHz	LTE Frecuencia licenciada
Ancho de banda	200 Hz	125, 250, 500 KHz	200 kHz
Tasa de bits	100 kbps	50 kbps	200 kbps
Mensajes/ día Max	140 (UL), 4(DL)	Ilimitado	Ilimitado
Tamaño max payload	12 bytes	243 bytes	1600 bytes
Distancia	10 km (urbano) 40 km (rural)	5 km (urbano) 20 km (rural)	1 km (urbano) 10 km (rural)
Inmunidad a la interferencia	Muy alto	Muy alto	Baja
Redes privadas	No	Si	No
Tasa de bits adaptable	No	Si	No

Fuente: Meyerb, 2017.

En la Tabla 1 se puede observar que LoRa, en comparación con las demás tecnologías, posee características altamente admisibles. SigFox al igual que LoRa puede trabajar en las frecuencias no licenciadas de 433, 868 y 915 MHz, tiene un ancho de banda muy reducido, LoRa, en este sentido es la mejor, debido a que cuenta con tres rangos configurables de 125, 250, 500 KHz de ancho de banda.

En relación al alcance, LoRa no tiene la mayor distancia de alcance de transmisión, puede alcanzar hasta los 20 km en campos abiertos, el doble de NB-IoT. Además, LoRa tiene la principal ventaja de poder configurar una tasa de bit adaptables y la implementación de redes privadas, lo que permite personalizar la topología de red, el protocolo utilizado y otros aspectos, SigFox y NB-IoT en este sentido no permiten la implementación de redes privadas, lo que significa que no es posible modificar aspectos como la arquitectura de red, no permiten implementar servidores privados y limitan al usuario a utilizar necesariamente los servidores del proveedor para el almacenamiento de datos. En este sentido, LoRa es una tecnología que brinda capacidades altamente aceptables para cualquier tipo de aplicación IoT, especialmente donde se requiera la implementación de una red privada con el control total de los datos.

2.5 Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de red ligero de publicación/suscripción, orientado a la transmisión de pequeñas cantidades de información. Desarrollado en 1999 y desde el año 2014 es un estándar abierto OASIS. Es un protocolo M2M (*machine to machine*), lo que significa que está pensado para el intercambio de información entre dispositivos sin interacción humana. MQTT requiere poco ancho de banda, pensado para funcionar sobre conexiones de baja calidad y en dispositivos de bajo consumo, como sensores autónomos alimentado por baterías (Pizarro Peláez, 2019).

2.6 Arquitectura MQTT

Como se muestra en la Figura 4, MQTT utiliza un paradigma de publicación y suscripción que corre sobre el protocolo de transporte TCP donde muchos clientes MQTT interactúan a través de un agente central llamado Broker. Debido a que utiliza un modelo cliente servidor permite que cada uno de los sensores se comporten como clientes MQTT, los mensajes transmitidos en la red corresponden a datos discretos que para el servidor son invisibles, cada mensaje se comparte bajo un tópico que es una dirección en la que se comparten los datos y todos los clientes suscritos en esa dirección de tópico tienen la posibilidad de recibir los datos que se comparten en la red.

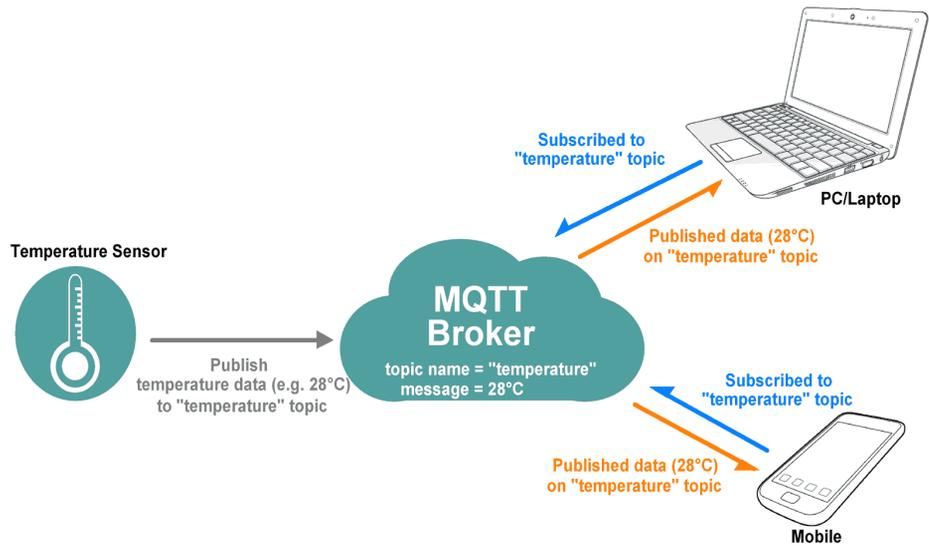


Figura 4. Arquitectura MQTT. Fuente: Firtec, 2021.

2.7 Diseño de arquitectura de red

Tomando en cuenta las arquitecturas antes descritas, en la Figura 5 se presenta un modelo de comunicación entre ambas tecnologías.

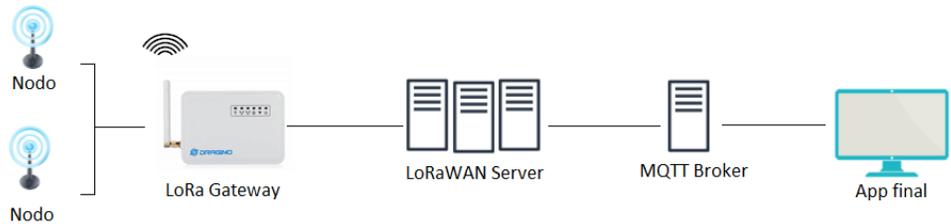


Figura 5. Modelo preliminar de Red. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Resaltando que ambas tecnologías utilizan un servidor principal para la gestión de sus datos, el servidor de red en una red LoRa y el servidor Broker para MQTT, una propuesta inicial para la comunicación de LoRa y MQTT involucra que ambos servidores principales de ambas arquitecturas tengan que comunicarse entre sí (servidor LoRa-Broker MQTT) ilustrada en la figura 5, esta comunicación da paso a la interacción de ambas tecnologías, pero ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de utilizar este tipo de integración que se propone?, y ¿Es esto recomendable para la implementación de una red donde se quiera exclusividad y privacidad en el flujo de transmisión de datos?

En primer lugar, al utilizar un servidor de red LoRa, la principal ventaja es el enrutamiento de los datos a la aplicación adecuada y la selección de la mejor puerta de enlace calculada en función a la calidad del enlace. Existen variedad de servidores de red LoRa entre los cuales resaltan TTN y ChirpStack. La primera se caracteriza por ofrecer todas las cualidades de un servidor de red LoRaWAN dentro de una red pública en la nube, ventajosa en variedad de situaciones, pero también resulta desventajosa en otras, por ejemplo, no se podría implementar una red completamente privada, ya que al ser una red abierta y pública se estaría compartiendo la disponibilidad y el uso del dispositivo Gateway con todos los usuarios pertenecientes a la comunidad de TTN. La segunda, ChirpStack al igual que TTN proporciona todas las características de un servidor de red LoRa, con la principal diferencia de que es posible instalarlo en un computador privado y este pueda ser administrado por el propietario de forma privada, pero los servidores de red juegan un papel muy importante siempre y cuando se tengan gran cantidad de dispositivos Gateways o gran cantidad de redes LoRa, ya que una de sus características principales es gestionar los datos recibidos de variedad de Gateways de distintas redes y fabricantes.

Implementar un servidor de red LoRaWAN involucra primero, realizar la configuración de la conexión del Gateway con el servidor de red y segundo la comunicación del servidor de red con el servidor Broker MQTT para finalmente conectar con la plataforma de monitoreo web (Aplicación web final), esto se vuelve redundante debido a que la información que se transmite de los nodos finales estaría atravesando por distintos servidores y conexiones para ser visualizados en la plataforma web, generando riesgo de que la información llegue con pérdida o alteración de datos.

La solución ideal y recomendable para tener una red exclusiva y privada donde se tenga el control total de los datos sin depender de terceros es comunicar el Gateway LoRa directamente con el servidor Broker MQTT, debido a que este último es posible instalarlo en un servidor privado virtual, de esta manera, se logra obtener una red totalmente privada y segura donde la transmisión de datos hacia la plataforma WEB, sea lo más directa posible.

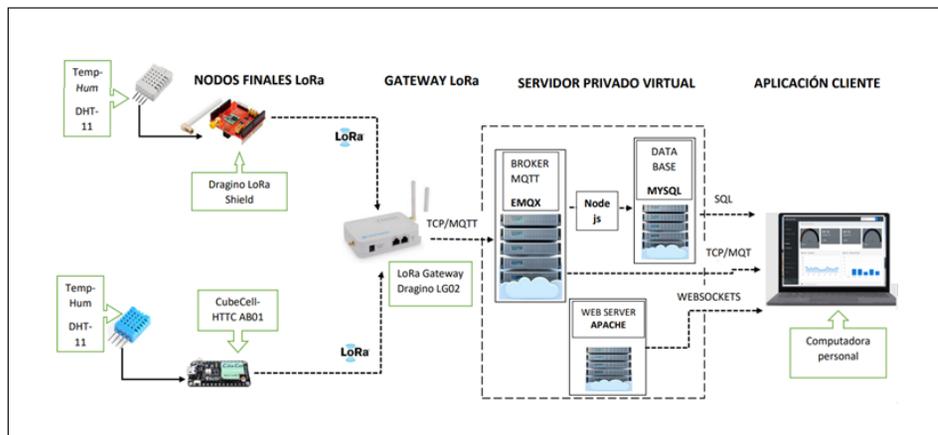


Figura 6. Arquitectura de Red. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6 muestra la arquitectura empleada que permite comunicar exitosamente la red de nodos finales con un Broker MQTT, donde el Gateway LoRa es el dispositivo principal que permite efectuar dicha comunicación. Para el prototipo desarrollado solo se implementó tres nodos y dos usuarios, sin embargo, la arquitectura de red propuesta permite la conexión de más de 100 dispositivos y múltiples usuarios.

1.1. Diseño e implementación de nodos finales

Los nodos finales llegan a ser los principales componentes encargados de la adquisición de datos del entorno real, se conforman de la configuración de un microcontrolador, un sensor, un módulo de transmisión inalámbrica LoRa y unas baterías para su alimentación.

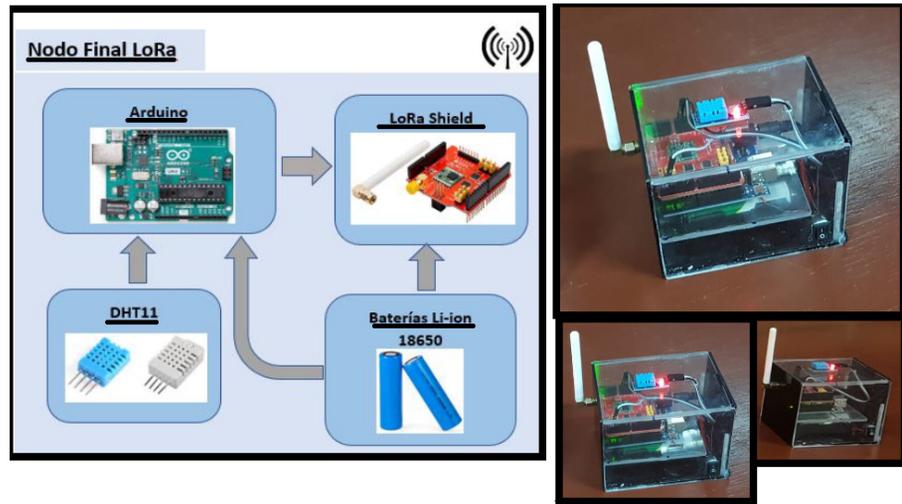
LoRa es la tecnología utilizada para la transmisión inalámbrica de datos en la red de nodos finales. si bien es posible implementar soluciones alternas con tecnologías como WiFi o redes celulares para este mismo propósito, LoRa brinda conectividad a larga distancia en escenarios precarios donde el acceso a la red es bastante limitado, esto con un consumo de energía relativamente bajo. Una de las principales limitantes que puede encontrarse con la tecnología WiFi para comunicar directamente sensores a la red, es el alcance de la señal inalámbrica y el alto consumo de recursos de energía y red que tiene. En los últimos años los avances en velocidad son impactantes, las distancias de transmisión que alcanzan se han mantenido estáticas, con un alcance que ronda los 50 metros en interiores y 100 metros sin obstáculos, por lo tanto, sus distancias de transmisión no han evolucionado lo suficiente.

En escenarios donde se tiene que cubrir grandes distancias de transmisión con una gran cantidad de sensores desplegados en el campo de monitoreo, es posible utilizar redes celulares que brindan un gran alcance de transmisión, pero su implementación para una red de sensores llegaría a ser bastante costosa, ya que tendría que proporcionarse a cada sensor módems celulares y servicio de datos y además se estaría haciendo un mal uso de esta tecnología, ya que las velocidades que posee son sumamente excesivas para propósitos en los que solo se quiere transmitir una pequeña cantidad de *bits* de datos unas pocas veces por hora o en algunos casos por día. LoRa en este sentido llega a ser ideal, ya que permite la transmisión de pequeñas cantidades de datos a distancias que rondan los kilómetros de alcance de transmisión.

En la Figura 7 se presenta el diseño de un nodo final compuesto de los siguientes componentes:

- Arduino UNO: una de las placas de desarrollo más empleadas en la electrónica, cuenta con un microcontrolador ATmega328, con un oscilador de cristal de 16 MHz, conversor analógico digital con una resolución de 10 *bits*
- Sensor de Temperatura y Humedad DHT11: cuenta con un rango de medición en el caso de humedad de 20 – 90%RH y de temperatura de 0 - 50 °C, con un rango de precisión de 5%RH y 2 °C respectivamente.
- Shield Dragino LoRa: Es una placa de transmisión inalámbrica LoRa de código abierto, totalmente compatible con Arduino. Está basada en un chip SX1276 pudiendo funcionar en las frecuencias 433, 868 y 915 MHz.
- Baterías Li-ion 18650: altamente portables y manipulables, proporcionan el suministro de voltaje a 3.7 V y 26000 mAh.

Figura 7. Nodo final



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para el correcto funcionamiento y transmisión de datos por parte de un nodo final, es importante la configuración de los siguientes parámetros LoRa:

- **FACTOR DE PROPAGACIÓN (SF):** El factor de propagación o Spread Factor es un parámetro configurable que permite ajustar aspectos como la duración de la señal de chirrido en el aire y la cantidad de *bits* codificados dentro de una señal de chirrido, puede ser configurado con valores que van de 7 a 12, un mayor valor de SF representa una mayor codificación de *bits* que se traduce en mayor tiempo que los datos permanecen en el aire.
- **ANCHO DE BANDA (BW):** LoRa utiliza tres anchos de banda configurables los cuales se muestran en la tabla 1, estos son 125 kHz, 250 kHz y 500 kHz. Todas las señales de chirrido transmitidas en una comunicación LoRa utilizan todo el ancho de banda para realizar la variación de la frecuencia en el tiempo.
- **VELOCIDAD DE DATOS (DR):** Es el parámetro que define la velocidad de transmisión de los datos, este depende directamente del ancho de banda utilizado y el factor de propagación definido.
- **TASA DE CÓDIGO (CR):** La tasa de código o coding rate del inglés, tiene efecto directo sobre las interferencias que la señal LoRa puede sufrir a lo largo del trayecto de transmisión, este valor se ajusta de acuerdo con las condiciones del canal, si este es propenso a la pérdida de datos se recomienda utilizar un valor elevado de CR.

La configuración de los parámetros LoRa se realiza a través de la programación del microcontrolador del nodo final, el cual contiene el firmware que permite la adquisición, la conversión analógico digital de los datos captados por los sensores y contiene un identificador único para cada nodo final, la Tabla 2 presenta la configuración de parámetros LoRa necesarios.

Tabla 2. Parametros LoRa configurables

Parámetro	Valor	Descripción
Frequency (Hz)	433000000	Banda de Frecuencia para la transmisión de datos a través de LoRa
Spreading Factor	SF7	Factor de expansión que permite controlar la velocidad de transmisión de datos
Preable Length	8	Longitud de preámbulo de una trama
RF-Power (dBm)	17	Potencia de la señal de salida
RF-Bandwidth (Hz)	125 KHz	Ancho de banda utilizado
Coding Rate	4/5	Tasa de código
LoRa Syc Word	52	Valor de un byte utilizado para identificar las redes lora que utilizan la misma frecuencia

Fuente: Elaboracion propia, 2022

Con los dispositivos empleados y la configuración realizada, los nodos finales son capaces de consumir un promedio de 130 mA al momento de realizar una transmisión de datos. En un escenario real donde la transmisión de datos se realiza una vez por hora utilizando una batería de 2600 mAh es posible obtener una autonomía de funcionamiento de hasta 186 días sin la necesidad de una recarga de las baterías.

1.2. Gateway LoRa

El Gateway es el principal dispositivo que permite centralizar toda la información proveniente de los nodos finales y de retransmitir dicha información hasta un servidor principal utilizando el protocolo MQTT, este posibilita la comunicación con un Broker MQTT el cual se ejecuta como un programa informático en un servidor virtual que está a escuchando todas las publicaciones que se realicen.

Lograr la comunicación del Gateway con el servidor Broker MQTT depende directamente de las capacidades del dispositivo Gateway empleado, este debe contar con funcionalidades que le permitan conectar con servidores privados. En la Figura 8, se presenta el Gateway Lora utilizado en el proyecto.

El Gateway LoRa utilizado cuenta con las siguientes características:

- Modelo: Dragino LG02
- Sistema operativo: Linux
- Procesador: AR9331 – 400 MHz
- RAM: 64 MB – 16 MB (flash)
- Transceptor LoRa: SX1276/SX1278
- Frecuencias de operación: 433/868/915 MHz
- Conexión a Internet vía: LAN, WiFi, 3G/4G



Figura 8. Gateway LoRa. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para que la comunicación con los nodos finales se efectúe correctamente y el Gateway pueda retransmitir los datos utilizando el protocolo MQTT es necesario configurar los parámetros LoRa descritos en la Tabla 2 en el Gateway y también el modo de funcionamiento para la utilización del protocolo MQTT, la Tabla 3 muestra los principales parámetros que deben ser configurados para la comunicación vía MQTT.

Tabla 3. Configuración de parámetros MQTT en Gateway LoRa

Nº	Campo de configuración	Descripción
1	MQTT service profile	Servicio MQTT
2	Broker Address (h)	Dirección IP del bróker MQTT al que se quiere conectar
3	Broker port (p)	Puerto de utilizado para la transmisión por MQTT
4	Client ID (i)	Identificador del Gateway LoRa
5	Topic format (-t)	Macro de tópico
6	Data format (-m)	Tipo de macro de mensaje, data o meta

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Esta configuración permite al Gateway LoRa funcionar como un cliente MQTT que está conectado al Broker, de esta manera el Gateway al momento de retransmitir un dato, realiza una publicación del mismo dato en el Broker, este proceso también requiere de la configuración de un mapeo de canales en el Gateway, el cual consta de un identificador de nodo final asociado a un canal remoto, el canal remoto llega a ser el nombre de tópico en el que el Gateway realiza la publicación del dato.

El mapeo de canales de la Tabla 4 permite verificar al Gateway que el identificador de un nodo final esté asociado a un canal remoto para realizar la publicación en el Broker MQTT.

Tabla 4. Mapeo de canales – Gateway LoRa

Nº	Id nodo final	Canal Local	Canal Remoto
1	Id_nodo_1	Id_nodo_1	Canal remoto1
2	Id_nodo_2	Id_nodo_2	Canal remoto 2

Fuente: Elaboración propia, 2022.

La Figura 9 muestra el proceso utilizado.

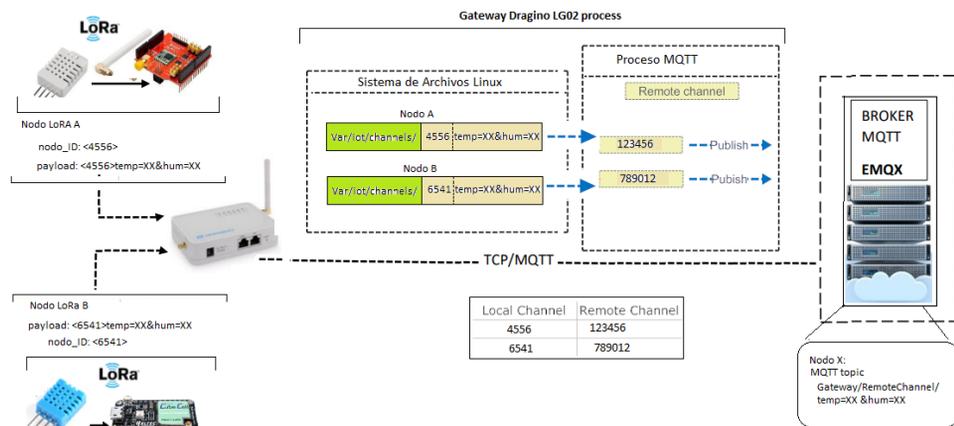


Figura 9. Proceso de transferencia de datos Gateway – Broker MQTT. Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.10 Servidor principal

La implementación de un servidor principal es necesaria ya que este permite configurar e instalar una serie de programas informáticos para la gestión de todos los datos transmitidos en la red. Un servidor privado virtual (VPS) llega a ser más ventajoso ya que está alojada en la nube y aspectos como el mantenimiento y la seguridad de los datos recae directamente sobre la empresa proveedora del servicio de alojamiento.

El servidor empleado consta de una máquina virtual en la nube, en el cual es posible realizar instalaciones y configuraciones de servicios informáticos que permitan el correcto flujo de datos. En la Tabla 5 se muestra las características de un servidor privado virtual y una serie de servicios que permiten administrar y gestionar los datos provenientes de los nodos finales.

Tabla 5. características y servicios VPS

N°	Descripción	Nombre
0	Instancia	T2 micro
1	Sistema operativo	Linux Ubuntu 18
2	Tecnología de virtualización	HVM
3	Tipo de almacenamiento	HDD
4	Arquitectura	64 bits (x86)
5	Servicio WEB	Apache
6	Servicio BDD	MySQL
7	Lenguajes de lado del servidor	PHP, JavaScript
8	Panel de administración de hosting	Vesta Control Panel
9	JavaScript capa de servidor	Node Js
10	Nombre de dominio	GoDaddy
11	Broker MQTT	EMQ x

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Uno de los principales servicios empleados llega a ser EMQx, que es un Broker MQTT el cual permite la comunicación con el Gateway LoRa a través del protocolo MQTT, también gestiona todos los datos provenientes del Gateway para ser visualizados en la aplicación correcta. En la Figura 10 se muestra los distintos servicios implementados que conforman el VPS.

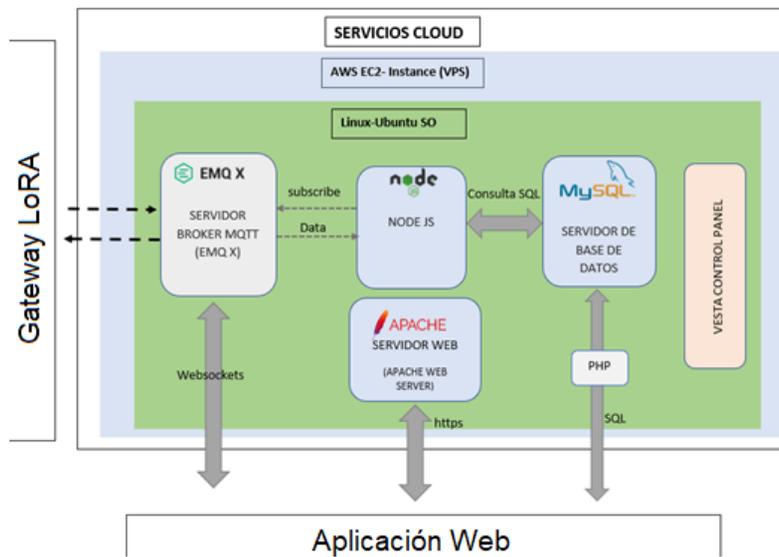


Figura 10. Servidor principal. Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.11 APLICACIÓN WEB FINAL

Para el acceso y la visualización de los datos que se captan y comparten desde los nodos finales, es necesario desarrollar una página web la cual pueda ser accedida mediante cualquier navegador web. La Figura 11 muestra la aplicación web desarrollada con tecnología Bootstrap y lenguajes de programación como PHP y JavaScript permite visualizar dinámicamente a través de gráficos y registros todos los datos captados por los nodos sensores.

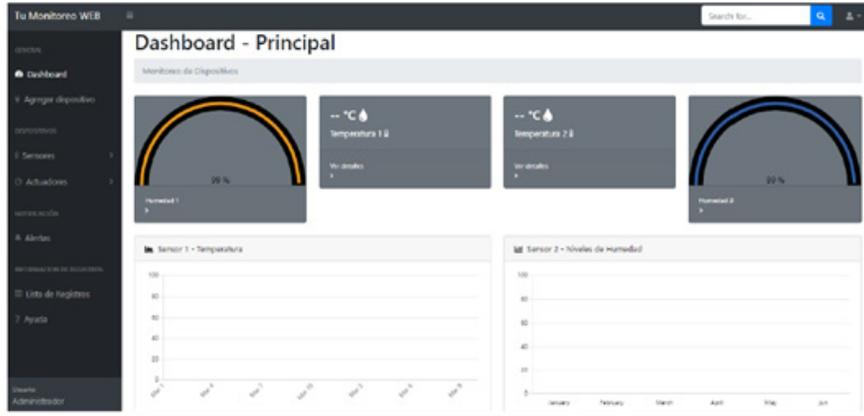


Figura 11. Aplicación web final. Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.12 Flujo de datos en la red

Los nodos finales se comunican con el Gateway LoRa utilizando modulación de radiofrecuencia LoRa, cada trama enviada por los nodos finales contiene el identificador único de cada nodo final y los datos captados del entorno real, una vez que el Gateway LoRa recibe los datos provenientes de un nodo final, este verifica que el identificador del nodo final este registrado en el Gateway para así realizar la retransmisión del dato al servidor virtual, esta retransmisión de datos llega a ser una publicación mediante el protocolo MQTT que el Gateway realiza en el Broker MQTT, el cual se ejecuta como un programa informático en el servidor virtual. La página web y la base de datos fueron configuradas como clientes MQTT, este proceso se llevó a cabo utilizando la librería MQTT.js que permitió realizar esta configuración, de esta manera tanto la página web como la base de datos pueden estar suscritas a todos los tópicos en los cuales el Gateway realiza la publicación de los datos que los nodos finales captan del entorno real, y así poder visualizar dichos datos en tiempo real mediante gráficos y registros en la página web.

3. RESULTADOS

Con el fin corroborar el correcto funcionamiento de las tecnologías, protocolos y servicios implementados, del sistema de monitoreo en general, se realizaron distintos tipos de pruebas los cuales se describen a continuación.

3.1 Prueba de alcance de transmisión

La prueba consistió en la transmisión de datos por parte de un nodo final al Gateway, verificando el alcance entre estos y su presentación en la página web en escenarios de prueba con línea y sin línea de visión entre el nodo transmisor y el Gateway receptor.

3.2 Transmisión sin línea de visión

En un escenario de prueba sin línea de visión, donde se resalta la existencia de residencias, árboles y otros objetos que interfieren el plano de visión, el alcance máximo obtenido sin plano de visión fue de 350 m. En la Figura 12, se presenta los detalles de la prueba de alcance de transmisión sin plano de visión.

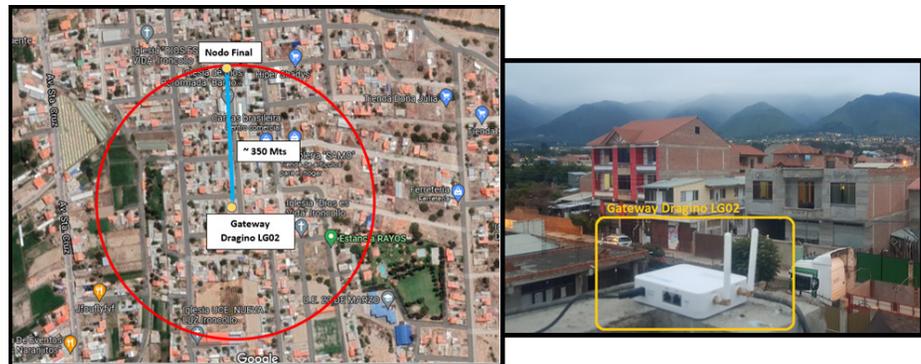


Figura 12. Prueba de alcance de transmisión sin plano de visión. Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3 Transmisión con línea de visión

En un escenario de prueba con línea de visión, para el caso el escenario utilizado fue una carretera con un trayecto recto que permitía la visibilidad entre el nodo final transmisor y el Gateway LoRa receptor, el alcance de transmisión obtenido fue de 700 m aproximadamente llegando en ocasiones a una longitud mayor, pero con un menor número de datos recibidos por parte del Gateway. En la Figura 13, se presenta los detalles de la prueba de alcance con plano de visión.

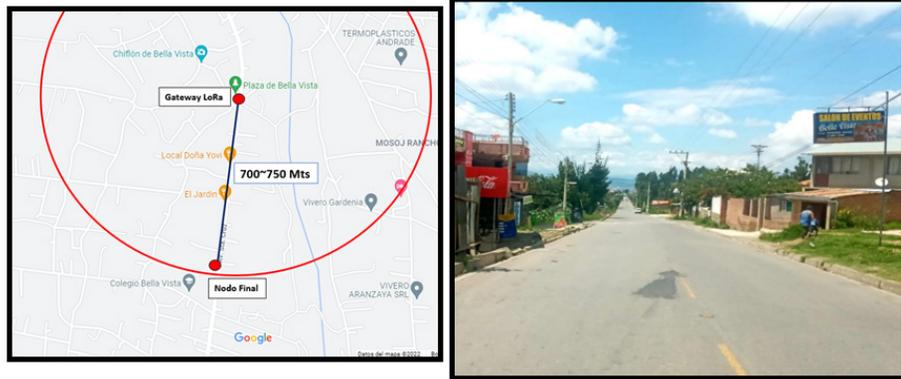


Figura 13. Prueba de alcance de transmisión con plano de visión. Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4 Prueba de transmisión simultánea de datos

La prueba involucró la transmisión de datos simultáneamente de tres nodos finales al Gateway para su posterior visualización en la página web. En la Figura 14, se presenta la prueba de transmisión de datos de los dispositivos a la aplicación web.



Figura 14. Prueba de transmisión simultanea de datos. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Bajo este mismo escenario se pudo verificar la carga del servidor virtual utilizando la herramienta VestaCP, donde se obtuvo valores del 18 % del uso de la CPU con una utilización de memoria RAM del 50%. Se debe tomar en cuenta que el servidor privado virtual da cabida a varios servicios incluyendo la base de datos y el Broker MQTT entre los principales.

4. DISCUSIÓN

Con la implementación de este proyecto se ha conseguido una evaluación en campo, de la aplicabilidad de una tecnología, que se transporta sobre capa física inalámbrica, denominada LoRa, y su protocolo de comunicación de capa de red, LoRaWAN. De forma análoga a una red de computadoras TCP/IP, se podría decir que LoRa son los cables Ethernet que conectan los dispositivos de red y LoRaWAN, es la interconexión a nivel de direcciones MAC e identificadores únicos de red o direcciones IP.

Al ser LoRaWAN un protocolo abierto, permite que multitud de fabricantes y desarrolladores puedan ofrecer dispositivos compatibles, abaratando los costes de implementación de redes IoT en diversos escenarios, desde ciudades inteligentes, hasta monitoreo industrial, agro, comercio, gobierno, hogar, etc. Lo que indudablemente facilitará su empleo en un mayor número de aplicaciones en los próximos años.

El uso de esta tecnología y su particular tipo de modulación permite una mejor tolerancia al ruido y de esta forma alcanzar largas distancias con un consumo muy bajo de energía, si bien el estándar especifica que se puede llegar a varios kilómetros, en la implementación del proyecto con un equipo convencional con una sensibilidad de -142.5 dbm se llegaron a distancias superiores a los 700 metros en LoS.

El bajo consumo de energía, junto al protocolo MQTT, permiten que los dispositivos IoT puedan operar en periodos muy largos de tiempo, por cuanto se podrían utilizar bancos de energía solar en aplicaciones a cielo abierto.

La arquitectura Network Server en la nube, brinda la ventaja de independizar los servidores de datos de los Gateways de acceso para dispositivos IoT, esta arquitectura permite la comunicación de miles de dispositivos a través de uno o varios Gateways, garantizando una alta escalabilidad de la red LoRaWAN, además de simplificar los procesos de configuración, los mismos se pueden realizar de forma encadenada o por lotes de dispositivos, prestando servicios a múltiples aplicaciones de forma centralizada y transparente para los usuarios finales. La desventaja de este modelo es el incremento en los costos del proyecto, que deben ser analizados y solventados de acuerdo al escenario de aplicación.

Desde el punto de vista del proyecto, no se analizaron los detalles de seguridad de la red, si bien el protocolo ofrece un nivel alto de seguridad entre dispositivos, desde los nodos hasta el servidor de aplicaciones, existe un hueco de seguridad que debe ser subsanado de acuerdo a recomendaciones y políticas de seguridad de la información, como podrían ser firewalls perimetrales o listas de acceso en los nodos de transporte.

Dependiendo de la ubicación geográfica de los escenarios de aplicación de un proyecto IoT Lora, las bandas de frecuencia utilizadas pueden variar de país a país, en Bolivia la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transporte ATT, de acuerdo a Resolución Administrativa Regulatoria ATT-DJ-RAR-TL LP 3234/2020 del 29 de septiembre de 2020, con base al informe técnico INF-TEC 417/2020 y a través del informe jurídico INF-JUR 286/2020, aprobaron el instructivo técnico para la utilización de las bandas de uso libre para el Internet de las Cosas, considerando parámetros mínimos para garantizar la coexistencia de tecnologías que operan en la banda de 915 a 928 MHz.

Después de la implementación y pruebas del proyecto, cuando evaluamos LoRa y LoRaWAN, vemos que podemos utilizar LoRa sin implementar LoRaWAN, esto para proyectos simples, mientras que para proyectos más complejos y con una cantidad de nodos considerable, recomendamos implementar una red LoRaWAN, junto a una arquitectura Server Network para garantizar escalabilidad, seguridad y gestión.

5. CONCLUSIONES

Mediante la investigación de tecnologías como LoRa, MQTT, servidores privados virtuales y servicios web, y su implementación en un proyecto de Internet de las cosas, se pudo verificar el funcionamiento, las ventajas y desventajas que dichas tecnologías presentan en una aplicación de monitorización remota, las cuales se presentan a continuación:

- Las redes de bajo consumo de potencia y grandes distancias de transmisión (LPWAN) están en un punto de transición pasando de ser tecnologías de investigación a tecnologías potencialmente utilizables para la solución a problemáticas reales existentes en la actualidad, especialmente en aplicaciones IoT como sistemas de monitoreo remoto.
- LoRa es una tecnología en desarrollo con gran potencial en aplicaciones de transmisión inalámbrica de datos utilizando un bajo consumo de potencia y donde tecnologías como WiFi se ven limitadas tanto en alcance de cobertura como uso de ancho de banda.
- El alcance de transmisión de la tecnología LoRa como cualquier otra tecnología inalámbrica está sujeta a factores tales como, el escenario donde se realice la transmisión, la visibilidad entre los puntos de transmisión, la calidad de los dispositivos utilizados, si estos están fabricados para aplicaciones de uso profesional o solo de desarrollo. Un dispositivo LoRa de mayor calidad y alcance de transmisión también representa un costo de adquisición más elevado, esto se pudo ver reflejado en las pruebas de alcance de transmisión realizadas, donde se utilizó dispositivos LoRa genéricos, logrando un alcance de transmisión en el mejor de los casos de aproximadamente de 350 metros sin plano de visión y 750 metros con plano de visión entre los puntos de transmisión.
- Emplear un servidor privado virtual (VPS) es altamente beneficioso en términos de rapidez, disponibilidad tanto para la implementación de servicios como el alojamiento de una página web, principalmente en casos donde se requiere de exclusividad y privacidad.
- Utilizar el protocolo MQTT para la comunicación de datos, ayuda a reducir el consumo de ancho de banda, el protocolo permite una comunicación rápida, liviana y una compatibilidad con variedad de dispositivos como el Gateway LoRa Dragino LG02 utilizado en el proyecto, también optimiza el uso de recursos como CPU y RAM ideal para aplicaciones referidas a la IoT.

Agradecimientos

Agradecimientos a la Dirección Nacional de Investigación de la Universidad Privada del Valle por apoyar el proyecto con el financiamiento para la compra de los dispositivos Lora.

REFERENCIAS

SATRIFO, S. (2015). *Sistema de monitoreo y alerta temprana de riesgos de incendios forestales*. Recuperado de <https://incendios.fan-bo.org/Satrifo/>

Campos, F. (2021). *LPWAN: qué son y para qué se utilizan*. *Industrial M2M*. Recuperado de <https://www.m2mlogitek.com/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/>.

Ordóñez, I. (2017). “*Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa*,”. Recuperado de. <http://hdl.handle.net/10609/64365>.

La Rosa, A. (2022). *LPWAN como base de comunicaciones para IoT*. Recuperado de <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-lpwan/>.

Mekkia K, Bajica E, Chaxela F, Meyerb F. (2017). *A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment*. *ICT Express* 5(1): 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005>

Calderón Porras, A. P. (2019). *Implementación de una Red LPWAN de Sensores para el Monitoreo de Condiciones Ambientales*. Santander, Colombia: Corporación centro de desarrollo Tecnológico de gas.

Pizarro Peláez, J. (2019). *Internet de las cosas (IoT) con Arduino Manual Práctico*. Madrid: Ediciones Paraninfo.

FirTec, (2021). *Electrónica y Programación para Microcontroladores*. Recuperado de <https://www.firtec.com.ar/cms/53-que-es-mqtt>.

Plataforma en la nube para la clasificación de objetos utilizando inteligencia artificial

Cloud platform for object classification using artificial intelligence

 Mauricio Marcelo Peredo Claros¹,  Edgar Ramos Silvestre²

¹ Director del Departamento Académico de Biomédica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. mperedoc@univalle.edu

² Director del Departamento Académico de Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. eramoss@univalle.edu

RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) es una de las áreas que más interés atrae en el ámbito de las Ciencias de la Computación, tanto desde el punto de vista científico-académico como del de sus múltiples aplicaciones en distintos sectores de actividad. A lo largo de la historia de la Inteligencia Artificial han surgido desarrollos y aplicaciones que la han convertido en un área de conocimiento consolidada e interés económico y social. Sin embargo, durante los últimos años, la IA ha experimentado un desarrollo excepcional, motivado por la aparición de tecnologías que han supuesto un gran avance en la disciplina y por la disponibilidad de recursos en hardware que han hecho viable su aplicación en distintos dominios.

El interés de la sociedad en la Inteligencia Artificial ha crecido de forma proporcional a este desarrollo tecnológico. Prueba de ello es que gobiernos y administraciones en todos los niveles del Estado en diferentes países alrededor del mundo han promovido multitud de programas para financiar actividades de investigación, desarrollo e innovación en IA. Además, son muchas las empresas que han decidido llevar a cabo inversiones en IA para aplicar esta tecnología en distintos puntos de su cadena de valor.

Aunque no existe una definición oficial y única de la Inteligencia Artificial todas ellas concuerdan en señalar que se trata de un campo de las Ciencias de la Computación que persigue desarrollar sistemas informáticos que exhiban características intelectuales similares a los humanos tales como la capacidad de razonar, aprender, generalizar, solucionar problemas, percibir y utilizar lenguaje natural, en resumen “imitar a los humanos”

Este artículo está centrado en explicar el desarrollo de una plataforma en la nube para la clasificación de objetos utilizando Inteligencia Artificial, su principal aplicación será la de incrementar el conocimiento referente a este campo y coadyuvar en diferentes soluciones que se puedan plantear durante el uso de esta.

Palabras clave: Inteligencia Artificial. Plataforma en la nube. Ciencias de la computación.

Citar como: Peredo Claros, M. M., & Ramos Silvestre, E. Plataforma en la nube para la clasificación de objetos utilizando inteligencia artificial. Journal Boliviano de Ciencias, UNIVALLE, 18(53), 26-47. <https://doi.org/10.52428/20758944.v18i53.253>

Revisado: 28/11/2022

Aceptado: 01/12/2022

Publicado: 30/12/2022

Declaración: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.

Fuentes de financiamiento: No hubo fuentes de financiamiento.

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Creative Commons. Licencia de atribución (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Derechos de autor 2022
Mauricio Peredo, Edgar Ramos.



ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is one of the areas that attracts the most interest in the field of Computer Science, both from the scientific-academic point of view and from its applications in multiple sectors of activity. Throughout the history of Artificial Intelligence, developments and applications have emerged that have made it a consolidated area of knowledge and of proven economic and social interest. However, in recent years, AI has undergone exceptional development, motivated by the appearance of technologies that have represented a great advance in the discipline and by the availability of hardware resources that have made its application viable in different domains.

Society's interest in Artificial Intelligence has grown proportionally to this technological development. Proof of this is that governments and administrations at all levels of the State in different countries around the world have promoted a multitude of programs to finance research, development and innovation activities in AI. In addition, many companies have decided to invest in AI to apply this technology at different points in their value chain.

Although there is no official and unique definition of Artificial Intelligence, all of them agree that it is a field of Computer Science that seeks to develop computer systems that exhibit intellectual characteristics similar to humans, such as the ability to reason, learn, generalize, solve problems, perceive and use natural language.

This project is focused on proposing a cloud platform for classifying objects using Artificial Intelligence, its main application will be to increase knowledge regarding this field and contribute to different solutions that may arise during its use.

Keywords: Artificial Intelligence. Cloud platform. Computer's Science.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto Inteligencia Artificial fue creado en la década de 1950 por varios investigadores, sin embargo, el término en sí fue acuñado por John McCarthy en 1956 durante el desarrollo de la conferencia de Dartmouth, y lo definió como "la ciencia e ingenio de hacer máquinas inteligentes, especialmente programas de cómputo inteligentes". Fueron necesarios 5 años de trabajo previo durante los cuales se habían propuesto definiciones distintas que en ningún caso lograron ser aceptadas en su totalidad por la comunidad investigadora. Finalmente, el término fue propuesto en dicha conferencia por John McCarthy, Marvin Minsky y Claude Shannon. También Alan Turing, considerado uno de los padres de la Inteligencia Artificial, escribió en 1950, su ensayo "Computing Machinery and Intelligence" años antes de esta conferencia y cuando todavía no existía el término "Inteligencia Artificial", este trabajo fue considerado un trabajo seminal en el campo. En él, se puede leer "Propongo que se considere la siguiente pregunta, '¿Pueden pensar las máquinas?'". Turing menciona también que, a finales del siglo XX, una máquina debería ser capaz de pasar una prueba de inteligencia estándar, conocida como el "test de Turing" (Universidad Da Coruña *et al.*, 2021).

De igual manera, (Iglesias *et al.*, 2020) que menciona “La inteligencia artificial es un término que engloba aquellos sistemas informáticos capaces de detectar su entorno, pensar, aprender y tomar decisiones en función de las entradas que reciben y sus objetivos.”

La inteligencia artificial se transformó en un término muy usado en las aplicaciones y tareas muy complejas para el ser humano. Con frecuencia se usa el termino como sus diferentes subdivisiones, de igual manera esto se ve reflejado en una nota del 2019 de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en donde cita:

“Los países latinoamericanos tienen la capacidad para aprovechar todo el potencial de la IA, sin embargo, debido a las limitaciones sociales y económicas, se ha realizado poca inversión en el gobierno, la industria y la investigación para avanzar en IA. Esto es una desventaja, ya que la IA es una tecnología importante y fundamental en la cuarta revolución industrial, y dada su naturaleza multipropósito, poder exponencial y capacidad predictiva podría ser una herramienta importante para abordar diversos desafíos que afectan el desarrollo de la región.” (CEPAL, 2019).

Por lo tanto, el Machine Learning forma parte de la inteligencia artificial, engloba un conjunto de técnicas para el aprendizaje automático, ya sea en organización de datos, reconocimiento de patrones o simplemente en el aprendizaje autónomo de las máquinas. Algunos ejemplos de aplicación pueden ser la clasificación, clustering, regresión y detección de anomalías (Manzanares González, 2018).

El aprendizaje profundo o Deep Learning intentará comprender los conceptos con mayor precisión, analizando los datos a un alto nivel de abstracción. A través de la comprensión no lineal. Su funcionamiento es similar al del cerebro, En una red neuronal, se combinan capas sucesivas de datos para aprender los conceptos (Oracle, 2022).

“Las redes neuronales artificiales son un paradigma de programación inspirado en el funcionamiento de las neuronas y conexiones del cerebro que sirve para procesar información. Con una cierta estructura, estas son capaces de computar cualquier función real” (Nielsen, 2019).

De igual manera, como se menciona en el siguiente párrafo extraído de un proyecto de investigación, se puede establecer que:

"Los modelos matemáticos de las redes neuronales biológicas fueron introducidos por primera vez en 1943 por Warren S. McCulloch y Walter Pitts. Posteriormente, la primera y más básica de las neuronas artificiales fue el perceptrón que conceptualmente se trata de un algoritmo de clasificación binario en el que una función lineal produce una salida binaria (0 o 1) en función del producto de unos pesos por los valores de entrada. Estos fueron los puntos de partida que dieron paso a un posterior desarrollo de

algoritmos relacionados con las redes neuronales, aunque los nuevos retos de la tecnología y la mejora en la capacidad de computación en la última década han provocado un avance más acelerado en esta materia.

En muchos de los problemas complejos de reconocimiento de patrones con redes neuronales, la cantidad de parámetros que se han de ajustar es muy grande, por lo que el tiempo de computación era demasiado elevado en la mayoría de los casos en el pasado. La mejora de las computadoras y el uso de las tarjetas gráficas para hacer cálculos en paralelo han permitido superar esa barrera en tiempo de computación, haciendo que las redes neuronales sirvan de gran utilidad para muchas tareas" (Arriola, 2018).

En el ámbito de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la inteligencia artificial es una disciplina que permite resolver problemas para los cuales no existe una solución algorítmica factible o la misma es ineficiente o inaplicable. En la actualidad, las soluciones tecnológicas y los proyectos que aprovechan los conocimientos y las técnicas de la inteligencia artificial para resolver problemas de diversa naturaleza son numerosas y arrojan resultados muy alentadores.

Este artículo está centrado en explicar el desarrollo de una plataforma en la nube para la clasificación de objetos utilizando Inteligencia Artificial, su principal aplicación será la de incrementar el conocimiento referente a este campo y coadyuvar en diferentes soluciones que se puedan plantear durante el uso de esta.

2. METODOLOGÍA

Durante el proceso de investigación para realizar una clasificación de objetos de forma precisa y obteniendo métricas de rendimiento aceptables para dicho proceso, es necesario establecer la metodología para el diseño de la red neuronal artificial que será la encargada de realizar el proceso de aprendizaje y por ende aprender las características de cada objeto para poder clasificarlo de forma correcta.

Para este cometido es preciso conocer la evolución y generalización del perceptrón, siendo esta una neurona artificial que permite obtener como salida valores no solamente binarios. Las neuronas constan de los siguientes componentes según explica su publicación (Kriesel, 2007):

- Variables de entrada, debe constar al menos de una. Se representan comúnmente en forma de vector de la siguiente manera,

$$x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_N].$$

- Un peso por variable de entrada que determinará la importancia de cada conexión. El vector de pesos se representará utilizando la notación .

$$w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_N].$$

- Un parámetro llamado sesgo "b". El sesgo indicará la facilidad que tiene la neurona de activarse. Este proceso está basado en las neuronas biológicas, las cuales envían un impulso eléctrico solo si a su entrada (constan de un único axón) hay un potencial eléctrico mayor a un potencial umbral. El sesgo sería la inversa a ese potencial umbral. En el ámbito de reconocer patrones, las salidas de las neuronas indican ciertas características de la muestra con la que se trabaja, en este caso los pesos determinan como está relacionada las características con cada entrada, y el sesgo cómo de fácil de detectar es esa característica.

- Una función de propagación que actúa sobre los pesos y el sesgo antes de acceder a la función de activación, $y = f(x_1, \dots, x_N, w_1, \dots, w_N, b)$. En el caso del perceptrón, la función de propagación es lineal y tiene la siguiente forma matemática representada en la ecuación (1):

$$y = \sum_{i=1}^N w_i x_i + b \quad (1)$$

- Aunque esta es la función de propagación más comúnmente utilizada, de manera general las funciones implementadas en cada neurona pueden ser no lineales.

- Una función de activación que determinara si se activa la salida de la neurona en función del valor resultante de la función de propagación $z = f_{act}(y)$. Entre las funciones de activación más comúnmente utilizadas se encuentran la tangente hiperbólica, la cual ofrece una salida acotada entre -1 y 1, la función sigmoide, una versión escalada de la tangente hiperbólica que ofrece una salida acotada entre 0 y 1 o la unidad lineal rectificadora (ReLU), la cual lleva a cabo la siguiente operación: $f(y) = \max(0, y)$.

En la Figura N° 1, se muestra de manera gráfica el esquema de la estructura interna de una neurona artificial.

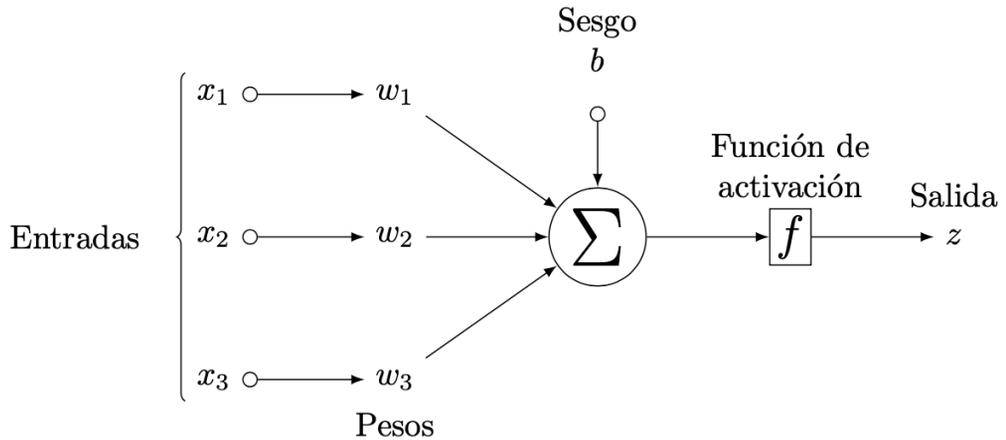


Figura N° 1 Representación gráfica de una neurona artificial
Fuente: Arriola, 2018

Por lo tanto, la salida de una neurona cuya entrada es un vector $x = [x_1, \dots, x_N]$ está representado por la ecuación (2)

$$z = f_{act} \left(\sum_{i=1}^N w_i x_i + b \right) \quad (2)$$

En este proceso es importante conocer el proceso de convolución en las redes neuronales, o lo que se conoce como redes neuronales convolucionales, se considera a la convolución en el bloque principal para la construcción de una red neuronal convolucional, este término hace referencia a la combinación matemática de dos funciones para poder introducir una tercera, es decir, se encarga de fusionar dos conjuntos de información (Ecuación 3). En el caso particular de estudio (imágenes), se cuenta con las características propias de una imagen como ser el alto y el ancho de esta y de igual manera la cantidad de canales que representan el color (rojo, verde y azul).

$$(I * K)_{i,j} = \sum_{m=0}^{k_1-1} \sum_{n=0}^{k_2-1} \sum_{p=0}^C K_{m,n,p} * I_{i+m,j+n,c} + b \quad (3)$$

Los modelos de redes neuronales convolucionales tienen ciertas ventajas que sobresalen a las otras arquitecturas de redes neuronales, según menciona (Liu et al., 2020) estas pueden ser:

- Una estructura jerárquica para aprender representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción.
- La capacidad de aprender funciones muy complejas.
- Aprender representaciones de características directas en forma automática a partir de datos con un conocimiento mínimo del dominio.

Las redes neuronales convolucionales están compuestas por diferentes filtros o kernels, los cuales se constituyen en un conjunto de parámetros entrenables y que resultan útiles para detectar características como bordes y formas. Un número alto de filtros esencialmente puede llegar a inferir características espaciales de la imagen a analizar en función a los pesos aprendidos en la propagación hacia atrás. Las demás capas convolucionales se pueden usar para la detección de formas aún más complejas a partir de las características aprendidas en otros niveles. Por lo tanto, pueden reducir una imagen en una representación altamente abstracta que es fácil de predecir.

"Las arquitecturas CNNs (Convolutional Neural Network) se pueden encontrar con diversas variantes, sin embargo, en general se componen de capas convolucionales y de submuestreo que se encuentran agrupadas en módulos o bloques convolucionales. Otro elemento de este tipo de modelos son las capas completamente conectadas (densas), tal y como se conocen en las redes neuronales de retroalimentación hacia adelante, colocadas después de los módulos que agrupan varias operaciones de las CNNs. Cuando estos módulos son apilados uno sobre otro da origen a lo que se conoce como un modelo profundo". (Rawat & Wang, 2017)

En la Figura N° 2 se muestra la arquitectura típica de una red neuronal convolucional para la tarea de clasificación de imágenes, en la cual se aprecian los bloques que la conforman.

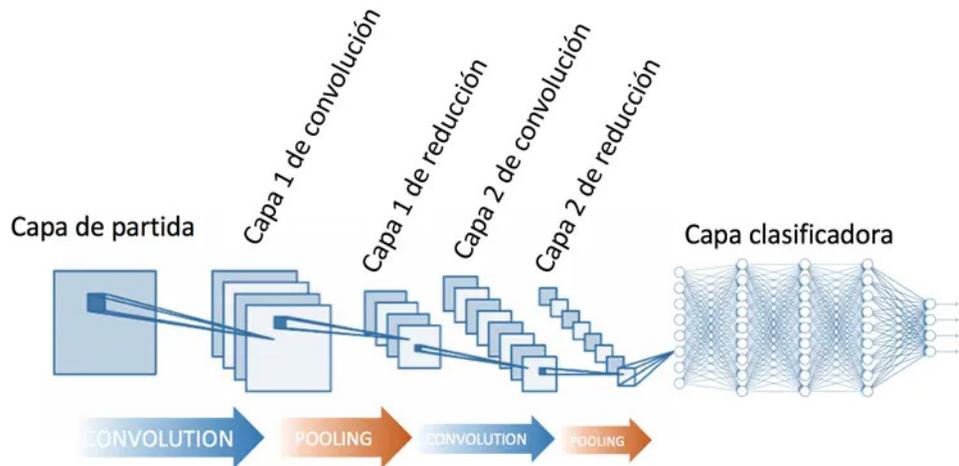


Figura N° 2. Arquitectura típica de una red neuronal en la clasificación de objetos
Fuente:Clavo, 2017

"La práctica común en la mayoría de los desarrollos recientes de redes profundas es implementar modelos más grandes y profundos para lograr un mejor rendimiento. A medida que el modelo se hace más grande y profundo, los parámetros de la red se incrementan dramáticamente. Como resultado, el modelo se vuelve más complejo de entrenar y en consecuencia es más costoso computacionalmente. Por lo tanto, es muy importante diseñar una arquitectura que proporcione un mejor rendimiento utilizando un número razonablemente menor de parámetros de la red principalmente si este será utilizado en una aplicación que requiere respuestas en tiempo real o se pretende implementar en algún sistema embebido" (García Villanueva & Romero Muñoz, 2020).

Recolección de datos

Para este trabajo se han recopilado diferentes "set de datos" con diferentes imágenes de objetos bajo diferentes características de posición e iluminación, puesto que en la actualidad la adquisición de imágenes resulta una tarea sencilla de realizar, como se resalta en el siguiente párrafo.

"Los conjuntos de datos han jugado un rol clave a través de la historia en la investigación de reconocimiento de objetos, no solamente como una base común para medir y comparar el desempeño de algoritmos, también empujando a esta área de investigación hacia problemas cada vez más complejos y desafiantes. El acceso a una gran cantidad de imágenes en internet permite construir conjuntos de datos completos para capturar una gran riqueza y diversidad de los elementos que componen una escena, lo que permite un rendimiento sin precedentes en el reconocimiento de objetos" (Liu et al., 2020).

Sin embargo, a pesar de que como se menciona anteriormente se tiene gran facilidad para la obtención de imágenes de diferentes objetos mediante el uso de internet, es primordial prestar atención a la construcción del set de datos a utilizar o bien al set de datos que se pueda encontrar, esto principalmente por la diversidad de formas de los objetos, la posición en la que se encuentran en la imagen, el fondo de la imagen, el ruido, etc. Se deben considerar e identificar en los diferentes escenarios para la aplicación en cuestión, para este trabajo de investigación se tomó en cuenta 3 set de datos para los procesos de entrenamiento y validación, el primero obtenido del repositorio del framework a utilizar, el cual contiene imágenes de perros y gatos (Figura N° 3), el segundo resulta en un set de datos de elaboración propia que cuenta con imágenes de plantas medicinales y por último el tercer set de datos que resulta un compendio de imágenes adquiridas de internet que contiene imágenes de personas con barbijo.



Figura N° 3. Visualización del dataset de perros y gatos. Fuente: Elaboración propia en base a TensorFlow, 2022.

Estos objetos son visibles para el ojo humano y pueden detectarse automáticamente mediante algoritmos apropiados de procesamiento digital de imágenes, en este proyecto se busca estudiar modelos de redes neuronales para la clasificación automática de objetos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, dichas redes han logrado un rendimiento de detección impresionante en varias áreas como la medicina y la industria, y en particular aplicados a la clasificación de objetos como se estudia a lo largo de este trabajo.

Los sets de datos para el desarrollo y pruebas de la plataforma están estructurados de diferentes maneras, sin embargo, se tomó en cuenta el 70% del total de imágenes como set de datos de entrenamiento, el 30% restante se constituye en el set de datos de validación y de igual manera se eligen 30 imágenes obtenidas mediante fotografías o imágenes de internet para un proceso de pruebas. Cada clase según el set de datos tiene diferentes cantidades de imágenes, sin embargo, el porcentaje

utilizado en el entrenamiento y validación es el mismo, de igual manera con las imágenes de prueba. El detalle de la cantidad de imágenes y clases con las que cuenta cada dataset se describen a continuación en la Tabla 1.

Tabla N° 1 Cantidad de imágenes y clases de los dataset

DATASET	CLASES	CANTIDAD DE IMÁGENES			TOTAL
		ENTRENAMIENTO	VALIDACION	PRUEBA	
Animales	Perro	8750	3750	100	12600
	Gato	8750	3750	100	12600
Plantas	Manzanilla	351	150	30	531
	Romero	356	152	30	538
	Valeriana	354	152	30	536
Personas	Barbijo	194	83	30	307
	Sin Barbijo	186	80	30	296
	Barbijo incorrecto	160	69	30	259

Fuente: Elaboración propia.

Según la cantidad de imágenes recolectadas para el proceso de entrenamiento se considera necesario un proceso de aumento de datos, este concepto radica en incrementar la cantidad de imágenes ya que al tener mayor cantidad de imágenes el resultado se ve afectado de forma positiva, mejorando considerablemente el resultado de la predicción, con este cometido se utilizan herramientas y librerías del lenguaje de programación Python, con las cuales de forma aleatoria y automática se pueden realizar transformación sobre las imágenes ya presentes en el set de datos y aumentar esas imágenes modificadas como nuevas para incrementar la cantidad total de imágenes, como ejemplo en la Figura N° 4 se puede visualizar los diferentes cambios propuestos.



Figura N° 4. Imágenes con aumento de datos. Fuente: Elaboración propia en base a TensorFlow, 2022

Como se aprecia en la imagen se cuenta con 7 transformaciones diferentes para complementar los sets de datos con pocas imágenes, este procedimiento se realiza con frecuencia cuando la cantidad de imágenes para el entrenamiento no son las suficientes para contemplar un resultado óptimo esperado, por tal motivo en el presente proyecto se incluye esta opción para el desarrollo y uso de futuros set de datos.

Con el conocimiento referente a los sets de datos, en el siguiente apartado se realizará un análisis para poder visualizar las diferentes clases y tomar en cuenta los parámetros y características propias que tienen las imágenes a utilizar.

Para el desarrollo de una red neuronal para la clasificación se realiza un proceso de verificación de diferentes estructuras posibles y toma en cuenta como punto inicial las redes neuronales pre entrenadas como AlexNet, VGG16 y VGG19, con base a la arquitectura de estas redes, la cual se representa de forma gráfica en la Figura N° 5, se busca establecer una arquitectura de características similares considerando los componentes generales de las redes neuronales de clasificación.

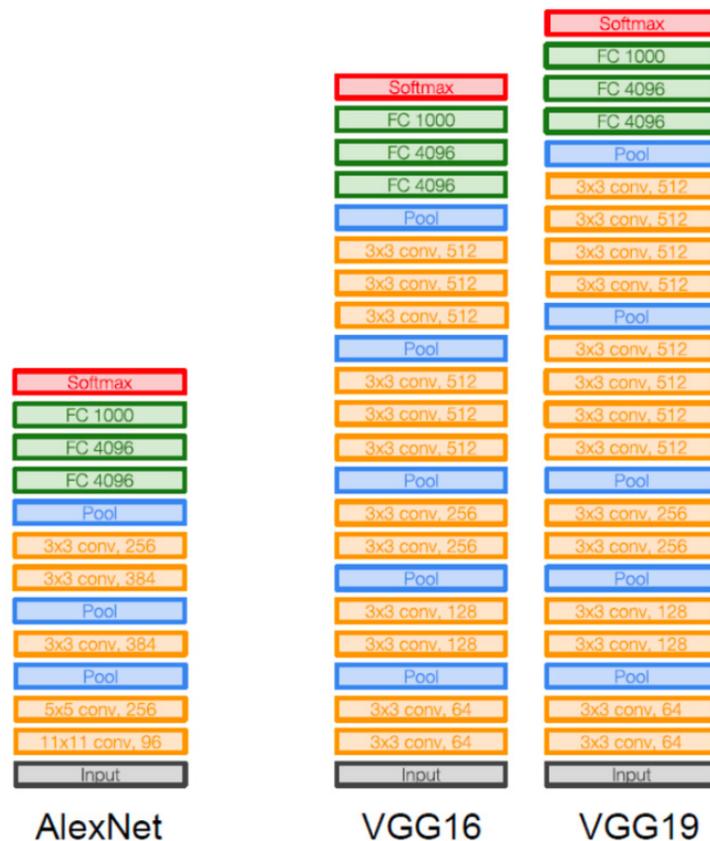


Figura N° 5. Redes Neuronales pre entrenadas. Fuente: (Enciclopedia de visión artificial de aprendizaje profundo, 2021)

Con base a los mejores resultados obtenidos para las etapas generales de la red neuronal se determinará las mejores características para la red neuronal propuesta para la plataforma de clasificación.

Se tiene múltiples opciones para poder realizar una red neuronal de clasificación que logre un desempeño óptimo para el objetivo que se quiere alcanzar, como punto de partida se tomara en cuenta el modelo VGG, principalmente por su versatilidad y la facilidad de implementación, esta arquitectura como se muestra en la Figura N° 5 consta de una serie de capas convolucionales y culmina con una serie de capas densas.

Para comenzar con el proceso de análisis de las imágenes se inicia realizado pruebas con redes neuronales con capas convolucionales, para posteriormente evaluar los modelos generados en el proceso de entrenamiento, para este cometido se realizará tres tipos de análisis para completar una arquitectura. Para llegar a la arquitectura adecuada, se estimará el rendimiento de los modelos empleados con base a métricas de precisión (E) del inglés “Accuracy”, definida por la ecuación (4):

$$E = \frac{P_c}{N_T} = \frac{Vp + Vn}{Vp + Vn + Fp + Fn} \quad (4)$$

Donde P_c es la cantidad de predicciones correctas del modelo y el número total de predicciones, Vp es la cantidad de verdaderos positivos, Vn es la cantidad de verdaderos negativos, Fp es la cantidad de falsos positivos y Fn la cantidad de falsos negativos.

3. RESULTADOS

Análisis de capas convolucionales

En el proceso de este análisis se considera la capa de entrada de 150 x 150 (imágenes de 150 x 150 píxeles), mediante el empleo de una serie de capas convolucionales se procedió a realizar el entrenamiento y verificar el desempeño de los mejores modelos obtenidos para todas las arquitecturas propuestas. Según la información revisada se considera que, al realizar un incremento en la cantidad de capas de un modelo, se espera también un incremento de la precisión del mismo.

Durante todo este proceso de evaluación se procedió al entrenamiento de los modelos con los tres set de datos planteados para la validación de la plataforma, para tal cometido se obtuvieron modelos para arquitecturas con dos, tres, cuatro y cinco capas convoluciones y dos capas densas al final con diferentes cantidades de neuronas.

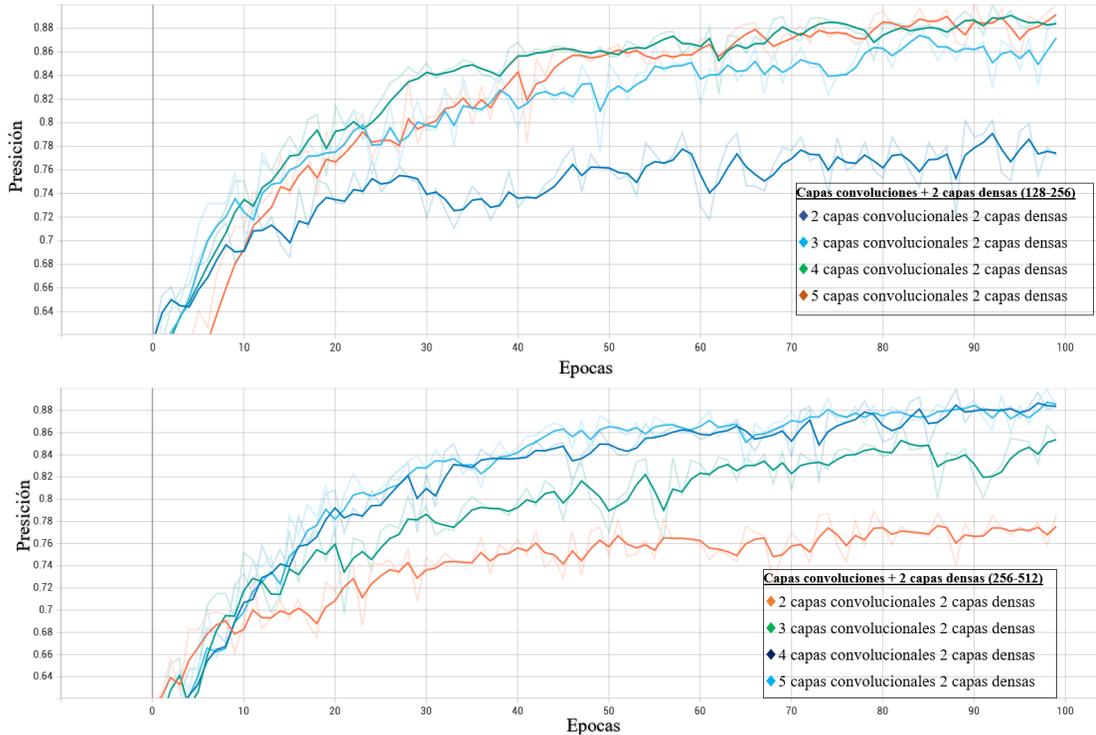


Figura N° 6. Resultados de clasificar los datos de prueba con los mejores modelos obtenidos durante el proceso de entrenamiento y al incrementar la cantidad de capas convolucionales en la arquitectura. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en las gráficas anteriores (Figura N° 6), luego de realizar pruebas con los mejores modelos obtenidos en el proceso de entrenamiento, se aprecia que se obtienen los mejores resultados con la arquitectura de 4 capas convolucionales tanto en los modelos que poseen capas densas de 128-256 y 256-512, con base a los resultados obtenidos se tomó en cuenta el modelo con 4 capas convolucionales como parte del modelado final.

Análisis de capas densas

Para este análisis correspondiente a las capas densas a emplear se consideran una y dos capas densas con diferentes cantidades de neuronas, para el proceso de pruebas se utilizó cantidades de 64, 128, 256, 512 y 1024 neuronas para los modelos con una sola capa densa, mientras que para los modelos con dos capas densas se establecieron cantidades de 64 -128, 128 - 256, 256 - 512, 512 - 1024 correspondientes a la primera y segunda capa densa respectivamente.

Las cantidades de neuronas en las capas densas pueden tener cualquier valor, incluso es posible realizar el incremento de uno en uno, esto repercute en el proceso de desarrollo e implementación y se convierte en un proceso poco práctico, debido a la familiaridad de los valores aplicables a potencias de 2, en la presente investigación se establece dicho proceso como patrón para poder determinar la cantidad y la relación de las neuronas de capas densas para el proceso de entrenamiento.

En la Figuras 7 y 8 se presentan los resultados obtenidos para modelos con una capa densa y para modelos con dos capas densas.

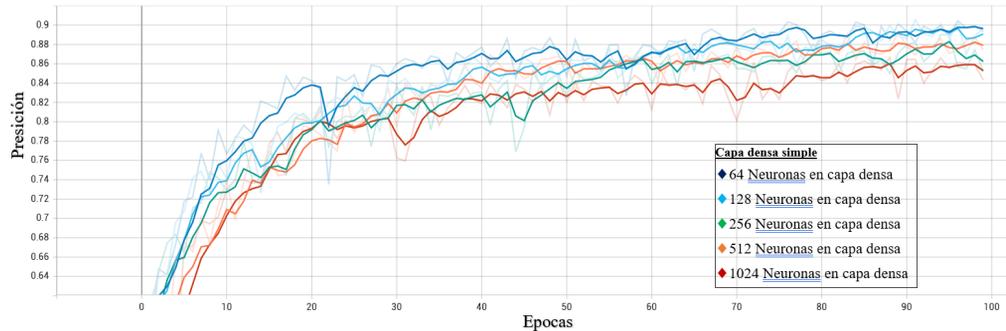


Figura N° 7. Desempeño utilizando los mejores modelos obtenidos a diferentes cantidades de neuronas en la arquitectura con una capa densa. Fuente: Elaboración propia.

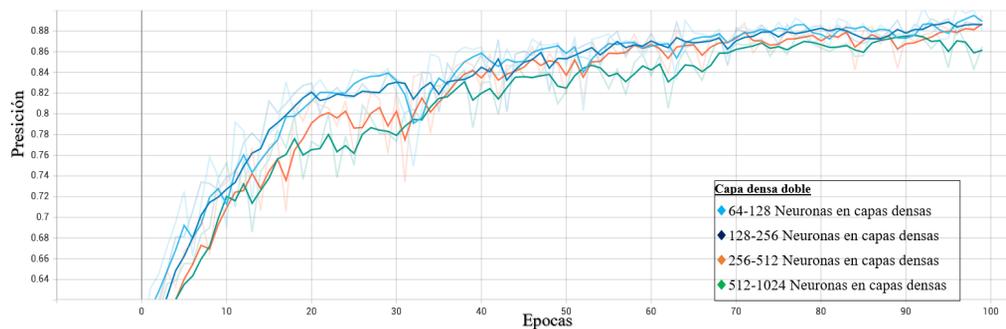


Figura N° 8. Desempeño utilizando los mejores modelos obtenidos a diferentes cantidades de neuronas en la arquitectura con dos capas densas. Fuente: Elaboración propia.

En función a las métricas obtenidas en la figuras 6 y 7, se concluye que los mejores modelos obtenidos en primera instancia como capa densa inicial son los modelos de 128 neuronas en la primera capa densa, al realizar pruebas con dos capas densas de salida se toma en cuenta como parte del modelo final el par de 128-256 neuronas en las capas densas respectivamente, ya que demostraron ser el modelo más estable durante las pruebas realizadas.

Análisis de la capa de entrada

Para determinar el tamaño de la capa de entrada del modelo es necesario realizar un análisis del tamaño en píxeles de las imágenes sujetas al entrenamiento, esto ya que se debe considerar la multiplicación de la altura por el ancho de la imagen para tener como cantidad de neuronas de entrada el resultado de dicha multiplicación, dicha cantidad de neuronas de entrada tiene repercusión sobre el rendimiento de la red neuronal.

En esta investigación se tomó en cuenta tamaños de imagen de 100 x 100 a 225 x 225 píxeles, para verificar el modelo con mejor rendimiento según el tamaño de la capa de entrada, se consideran estas dimensiones de imágenes puesto que para tamaños superiores a los propuestos se debe tomar en cuenta que se pueden presentar los siguientes inconvenientes:

- Mayor tiempo de entrenamiento del modelo.
- Mayor espacio de memoria ocupado por el modelo entrenado.
- Mayor tiempo de procesamiento al momento de aplicar el modelo en la plataforma.

Por otra parte, tamaños menores a los propuestos pueden producir una pérdida de información en las imágenes y de igual manera no permite incrementar el tamaño de las capas convolucionales debido a la reducción producida por las operaciones inherentes a las redes neuronales convolucionales.

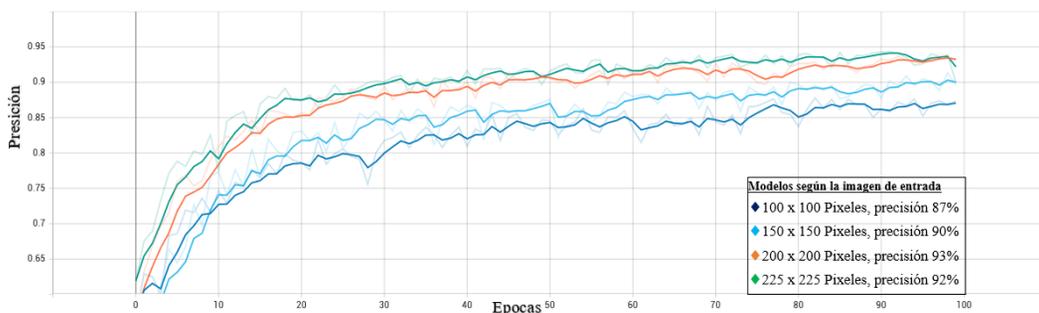


Figura N° 9. Evaluación de los mejores modelos en función a la imagen de entrada. Fuente: Elaboración propia.

La Figura N° 9 se muestra el resultado obtenido realizando las pruebas de funcionamiento de la arquitectura propuesta con diferentes tamaños de imágenes comenzando en 100 píxeles llegando a 225 píxeles, se puede apreciar que para

imágenes de 200 pixeles se tienen mejores resultados, sin embargo durante el proceso de entrenamiento existen diferencias considerables en cuanto al tiempo de entrenamiento que requiere cada modelo, este aspecto será considerado en apartados posteriores, sin embargo como arquitectura propuesta se tomará en cuenta una capa de entrada de 200 x 200, considerando los resultados obtenidos.

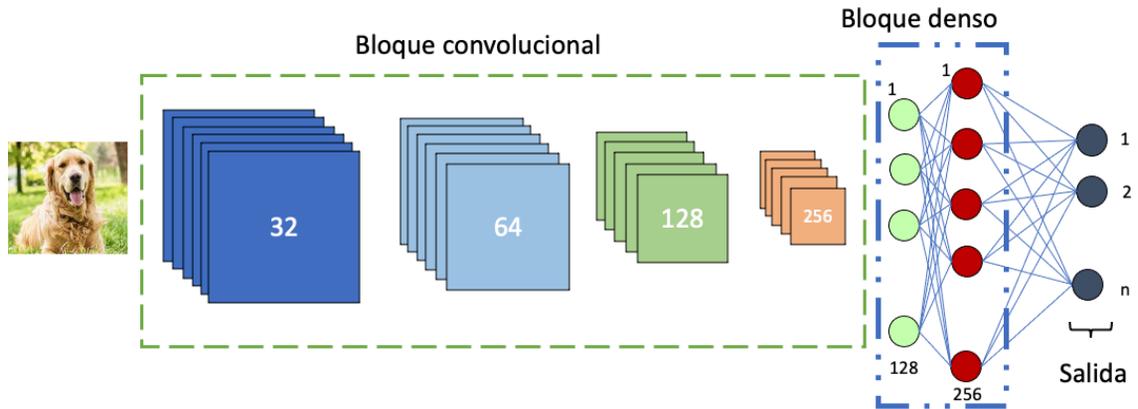


Figura N° 10. Arquitectura propuesta de la red neuronal de clasificación.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 10 se muestra en forma gráfica el detalle de la arquitectura propuesta que obtuvo los mejores resultados y se observan 4 bloques convolucionales que consisten en una capa convolucional y una capa de máximo muestreo (Max-Pool) e indicando la cantidad de filtros en cada bloque, una capa flatten que servirá para el paso de las capas convolucionales a las capas densas, a continuación se toma en cuenta una capa densa de 128 y otra de 256 neuronas, para concluir con la capa de salida con una activación softmax y completar la clasificación esperada, es importante denotar que la cantidad de neuronas de salida será definida según la cantidad de clases a clasificar.

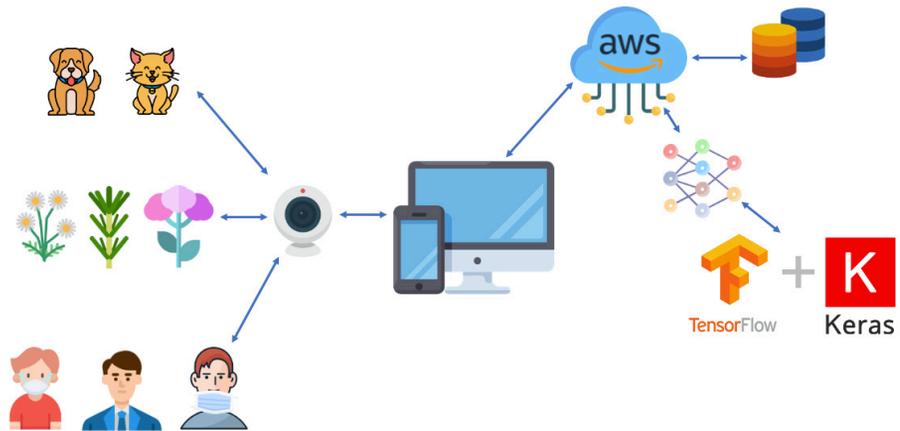


Figura N° 11. Diagrama de Bloques de la Plataforma. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 11 se observa el diagrama de bloques de la plataforma desarrollada, la cual cuenta con un inicio de sesión donde se podrá realizar la vinculación de usuarios nuevos y poder iniciar sesión para poder realizar pruebas, todo el diseño de la plataforma basado en el modelo MVC (modelo, vista, controlador), que es el modelo que se usa con frecuencia para este tipo de proyectos, de igual manera la plataforma se encuentra alojada y puesta en producción en AWS (Amazon Web Services), como el objetivo principal es la sencillez de la plataforma solo contara con botones para poder redireccionar a las páginas de prueba ya establecidas según a la pruebas de validación realizadas, de igual manera tendrá un enlace a Google Colaboratory para tener acceso a un código de ejemplo para poder realizar entrenamientos propios en base a set de datos que se deseen analizar. Por último, se tendrá la opción de poder realizar pruebas de funcionamiento de los algoritmos pre entrenados y poder ser visualizados de igual manera como los ejemplos preestablecidos.

4. DISCUSIÓN, DESARROLLO Y ANÁLISIS

En este apartado se evaluará el modelo propuesto para la clasificación de objetos, comparando los resultados obtenidos durante todo el proceso de entrenamiento y validación de los modelos propuestos, a partir de los cuales se determinó una arquitectura básica para la clasificación, para todo este proceso se tomaron en cuenta el 70% de los datos contenidos en los tres dataset planteados para la validación del modelo y para una evaluación de resultados se usó el 30%, para realizar pruebas con los diferentes modelos se determinó 100 épocas para el entrenamiento y se realizaron las validaciones de los modelos propuestos, al igual que se mencionó en el apartado anterior, estos coadyuvaron a la elección y determinación de las características del modelo final.

Se debe tomar en cuenta, que las redes evaluadas en este proceso fueron entrenadas en Google Colaboratory partiendo desde cero en primera instancia sin aumento de datos y posteriormente con aumento de datos, debido a que el entrenamiento sin aumento de datos género resultados ineficientes para la plataforma este proceso fue desestimado y únicamente se cuenta con los resultados del proceso con aumento de datos, de igual manera es importante aclarar que previo al entrenamiento se realizar un procesamiento digital de imágenes para poder estandarizar el tamaño de las imágenes (ancho por alto) según la capa de entrada propuesta.

Durante el proceso de investigación y pruebas realizadas a los modelos se determinó realizar un "Upgrade" a la suscripción de Google Colaboratory, esto con la finalidad de tener mejores prestaciones al momento de evaluar y entrenar los modelos planteados. Luego de realizar el "Upgrade", en la Tabla N° 2 se realiza una comparación de las mejoras obtenidas en cuanto a tiempo de entrenamiento se refiere.

Tabla N° 2. Comparación del tiempo de entrenamiento con Colab y Colab pro

ARQUITECTURA	TIEMPO DE ENTRENAMIENTO (MIN)	
	COLAB	COLAB PRO
2 CCN -2 CD	63	29
3 CCN -2 CD	69	30
4 CCN -2 CD	70	30
5 CCN -2 CD	77	35

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 2 el tiempo se reduce aproximadamente en un 50%, esto se debe principalmente a las mejores prestaciones de hardware brindadas en Colab pro, sin embargo esto puede ser variable según la disponibilidad que exista durante la ejecución del código, tal cual como se explica en los términos de uso proporcionados por Google, sin embargo durante todo el desarrollo de la investigación se puede apreciar que los tiempos antes mencionados se mantuvieron estables y sin variaciones considerables al momento del proceso de entrenamiento.

De igual manera, como se mencionó anteriormente durante el proceso de pruebas realizadas a los modelos en función al tamaño de imágenes de entrada se logró evidenciar un incremento en el tiempo de entrenamiento a medida que la imagen aumenta, teniendo una relación directamente proporcional. En la Tabla N° 3 siguiente se muestran los datos obtenidos durante el proceso de entramiento evaluando los diferentes modelos y el tamaño de imágenes.

Tabla N° 3. Proceso de entrenamiento de los modelos propuestos

ARQUITECTURA PROPUESTA	DIMENSIONES			
	100 X 100	150 X150	200 X 200	225 X 225
(4CCN - 1 CD 256)	28	55	83	123
(3CCN - 1 CD 256)	28	55	84	122
(4CCN - 1 CD 256)	29	56	85	124
(5CCN - 1 CD 256)	30	57	88	125
(2CCN - 2 CD 512)	28	59	89	125
(3CCN - 2 CD 512)	29	60	90	127
(4CCN - 2 CD 512)	32	65	90	128
(5CCN - 2 CD 512)	35	66	92	130

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa según se incrementa el tamaño de imagen se incrementa también el tiempo necesario para el entrenamiento del modelo, para poder determinar el modelo y el tamaño de imagen adecuado, se pone en consideración la precisión del modelo obtenido, para este cometido se puede apreciar la Tabla N° 4, en la cual se muestra el mejor porcentaje de precisión según el tiempo planteado, todo esto para la arquitectura escogida en función a estos resultados.

Tabla N° 4. Relación de tiempo y precisión según la imagen de entrada

ARQUITECTURA	TIEMPO (MIN)	% ENTRENAMIENTO	%VALIDACION
(4CCN - 2 CD -100)	35	84,3	87,06
(4CCN - 2 CD - 150)	65	87,5	90,02
(4CCN - 2 CD - 200)	91	90,6	93,27
(4CCN - 2 CD - 225)	126	91,93	92,18

Fuente: Elaboración propia.

Por último, para tener en cuentas las ventajas obtenidas gracias a la suscripción de Google Colabratory Pro se tiene en cuenta la Tabla N° 5 comparativa del tiempo requerido por cada época para el entrenamiento en función al tamaño de imagen.

Tabla N° 5. Relación de tiempo por época con Colab y Colab Pro y precisión según la imagen de entrada

ARQUITECTURA	TIEMPO x EPOCA (SEG)		%VALIDACION	
	COLAB	COLAB PRO	COLAB	COLAB PRO
(4CCN - 2 CD - 100)	67	18	86,9	87,06
(4CCN - 2 CD - 150)	150	39	90,05	90,02
(4CCN - 2 CD - 200)	215	56	93,24	93,27
(4CCN - 2 CD - 225)	296	77	92,19	92,18

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en los datos obtenidos se tiene una reducción de aproximadamente un 70% del tiempo utilizado para el entrenamiento por época teniendo una suscripción a Colab Pro, esto se debe principalmente a que con la suscripción se tiene acceso a más memoria RAM y un GPU con mejores prestaciones que en la versión regular, sin embargo, los resultados obtenidos en cuando a precisión son muy similares.

5. CONCLUSIONES

En primer lugar, se estudió las redes neuronales desde los aspectos más básicos hasta la manera de clasificar objetos en imágenes. Se explicó tanto su estructura, como los algoritmos utilizados para el entrenamiento y los parámetros que interactúan en el mismo.

En segundo lugar, se ha generado un set de datos de imágenes con diferencias entre clases, con el objetivo de aprender diferentes modelos de clasificación que sean generales y robustos al momento de realizar una predicción y pueda ayudar al desarrollo de nuevas aplicaciones e interfaces que sean de ayuda a futuros proyectos de investigación.

En tercer lugar, se pudo evaluar tres redes neuronales diferentes para la clasificación de imágenes, para poder obtener un modelo básico y de comprensión sencilla para la implementación de nuevos procesos de clasificación.

En cuanto a la clasificación de objetos, como trabajo futuro, se podría realizar una actualización de la plataforma actual para la clasificación y detección de objetos, de igual manera se podría plantear como opción el contar con un proceso

de entrenamiento completo y un proceso de transfer learning con base a redes neuronales pre entrenadas, ya sea congelando los parámetros ya entrenados y únicamente realizando únicamente el entrenamiento de capas específicas para el proyecto en específico

En cuando al clasificador utilizado, aumentar el set de datos podría derivar y ayudar considerablemente a mejorar las ratios de clasificación y la capacidad de generalización de modelos. Cuanto mayor variedad de escenarios se tenga en el conjunto de datos con el cual se entrene el modelo, más probable será que el sistema adquiera el conocimiento necesario para poder clasificar y diferenciar entre un objeto y otro.

Se pudo documentar todo el proceso tanto de entrenamiento como de validación de las redes neuronales propuestas, esto con la finalidad de que en futuros trabajos sean punto de partida para mejorar los mismos para el desarrollo de nuevos proyectos con base a los objetivos planteados en el actual proyecto de investigación.

REFERENCIAS

Arriola, I. (2018). *Detección de objetos basada en Deep Learning y aplicada a vehículos autónomos*. <https://addi.chu.es/handle/10810/28983?show=full>

CEPAL. (2019, September 3). *Cumbre de Inteligencia Artificial en América Latina*. Comisión Económica Para América Latina y El Caribe. <https://www.cepal.org/es/notas/cumbre-inteligencia-artificial-america-latina>

Clavo, D. (2017, July 13). *Clasificación de redes neuronales artificiales*. <https://www.diegocalvo.es/clasificacion-de-redes-neuronales-artificiales/>

Enciclopedia de visión artificial de aprendizaje profundo. (2021, October 10). *VGG, GoogLeNet*. https://wikidocs-net.translate.google/137251?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=wapp

García Villanueva, M., & Romero Muñoz, L. (2020). Diseño de una arquitectura de Red Neuronal Convolutiva para la clasificación de objetos. *Ciencia Nicolaita*.

Iglesias, E., Garcia, A., Puig, P., & Benzaqué, I. (2020). *Inteligencia artificial: Gran oportunidad del siglo XXI: Documento de reflexión y propuesta de actuación*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Inteligencia-artificial-Gran-oportunidad-del-siglo-XXI-Documento-de-reflexion-y-propuesta-de-actuacion.pdf>

Kriesel, D. (2007). *A brief Introduction on Neural Networks* (Citeser, Ed.). <https://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.135.6774&rep=rep1&type=pdf>

Liu, L., Ouyang, W., Wang, X., Fieguth, P., Chen, J., Liu, X., & Pietikäinen, M. (2020). Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey. *International Journal of Computer Vision*, 128(2), 261–318. <https://doi.org/10.1007/S11263-019-01247-4/FIGURES/21>

Manzanares González, A. (2018). *Detector de baches con Deep Learning*. Universidad Pompeu Fabra.

Nielsen, M. (2019, December). *Neural networks and deep learning*. <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/about.html>

Oracle. (2022). *Inteligencia Artificial, Machine Learning, Deep Learning: una historia de muñecas rusas*. <https://www.oracle.com/es/database/cloud/algoritmos-machine-learning.html>

Rawat, W., & Wang, Z. (2017). Deep Convolutional Neural Networks for Image Classification: A Comprehensive Review. *Neural Computation*, 29(9), 2352–2449. https://doi.org/10.1162/NECO_A_00990

TensorFlow. (2022, October 18). *TensorFlow Datasets*. 2022. https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/cats_vs_dogs?hl=en

Universidade da Coruña, Universidade de Santiago de Compostela, & Universidade de Vigo. (2021). máster universitario en Inteligencia Artificial / Master in Artificial Intelligence. https://www.uvigo.gal/sites/uvigo.gal/files/contents/paragraph-file/2021-09/MemoriaVerificacionMIA_SUG.pdf

Proyecto de ingeniería aplicada

Sistema de geolocalización con alarma y monitoreo basado en IOT para personas con Alzheimer

Geolocation system with alarm and monitoring based on IOT for Alzheimer's patients

Diana Choque Choque ¹. Joel Huanca Chavez ².

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Privada del Valle, La Paz, Bolivia. ccdina2@gmail.com

² Docente de Ingeniería Electrónica, Universidad Privada del Valle, La Paz, Bolivia. jhuancac@univalle.edu

RESUMEN

El presente proyecto propone el diseño de un sistema de geolocalización con alarma y monitoreo basado en internet de las cosas para personas con Alzheimer, el sistema incluye una tarjeta TTGO T- Call ESP32 con SIM800L capaz de conectarse a Internet vía WiFi o GSM y transmitir las coordenadas geográficas capturadas por el módulo GPS Neo 6M, hacia la base de datos Firebase, donde son alojados y gestionados para ser visualizados en una aplicación móvil (GeoLin Maps) que junto a las APIs de Google Maps, generan un mapa y marcadores que indican la ubicación actual, tanto del cuidador como de la persona con Alzheimer.

El sistema está diseñado de tal manera que el rango de proximidad entre la persona cuidadora y la persona con Alzheimer sea configurable, con un mínimo de 10 metros; cuando este rango es sobrepasado, una notificación de alerta es activada y las coordenadas de posicionamiento de la persona con Alzheimer se comienzan a enviar y registrar en tiempo real tanto en la aplicación instalada en el móvil del cuidador como en la base de datos.

Palabras clave: Geolocalización. Alzheimer. IOT. GPS.

ABSTRACT

This project proposes the design of a geolocation system with alarm and monitoring based on the internet of things for people with Alzheimer's, the system includes a TTGO T-Call ESP32 card with SIM800L capable of connecting to the internet via Wi-Fi or GSM and transmitting the geographic coordinates captured by the Neo 6M GPS module, to the Firebase database, where they are hosted and managed to be displayed in a mobile application (GeoLin Maps) that with the Google Maps APIs, generate a map and markers that indicate the current location of both the caregiver and the person with Alzheimer's.

The system is designed so that the range of proximity between the caregiver and the person with Alzheimer's is configurable, with a minimum of 10 meters; when this range is exceeded, an alert notification is activated, and the patient's

Citar como: Huanca Chavez, J., & Choque Choque, D. Sistema de geolocalización con alarma y monitoreo basado en IOT para personas con Alzheimer. *Journal Boliviano de Ciencias*, UNIVALLE, 18(53), 48-63. <https://doi.org/10.52428/20758944.v18i53.373>

Revisado: 28/11/2022
Aceptado: 30/11/2022
Publicado: 30/12/2022

Declaración: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.

Fuentes de financiamiento:
No hubo fuentes de financiamiento.

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Creative Commons. Licencia de atribución (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Derechos de autor 2022 Diana Choque Choque, Joel Huanca Chavez.



positioning coordinates start to be sent and recorded in real time in the database and in the caregiver's mobile application

Keywords: Geolocation. Alzheimer's. IOT. GPS.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) el Alzheimer es una enfermedad neurodegenerativa progresiva que implica el deterioro de la memoria, la orientación, el intelecto y la capacidad para realizar actividades de la vida diaria (Organización Mundial de la Salud, 2020). En las primeras etapas de la enfermedad, deambular y perderse es común en las personas que padecen de Alzheimer, se estima que por lo menos el 60% de pacientes deambularán en algún momento y hasta el 50% de ellos serán encontrados accidentados o fallecidos si no son encontrados en un lapso de 24 horas (Brett Parnes, 2008). Según los últimos datos de OMS publicados de 2020 las muertes causadas por Alzheimer/Demencia en Bolivia han llegado a 2.479 (3,29% de todas las muertes). La tasa de mortalidad por edad es de 19,86 por 100,000 de población. Esta enfermedad está dentro del Top 10 de causas de muerte en Bolivia y, en el mundo, el país ocupa el lugar número 51 en el mundo (World Health Organization, 2020).

La enfermedad de Alzheimer, no solo afecta al paciente, también lo hace con el cuidador principal del enfermo, tarea que normalmente recae en un familiar, por los vínculos emocionales que los unen. El cuidador de pacientes con Alzheimer se ve afectado física y emocionalmente, con niveles de tensión elevados, que provocan el llamado “síndrome del cuidador” (Curto, 2017).

Desde el ámbito tecnológico se desarrollaron diferentes soluciones que permiten la geolocalización de personas con Alzheimer (Alvarez, Jenifer, & Zuleta, 2018), (Pimentel, 2018), (MousaviLou, 2020). El presente proyecto, propone una solución que además colabore con la persona “cuidadora” del paciente, mediante el diseño de un sistema de geolocalización con alarma y monitoreo basado en Internet de las cosas.

2. METODOLOGÍA

La estructura básica de un sistema IoT (Internet of Things) contiene: sensores y actuadores, conectividad, análisis y gestión en la nube, dispositivos e interfaz de interacción (Hattingh, 2022). Es así, que con el fin de estructurar de mejor manera la investigación, el desarrollo del prototipo experimental fue dividido en tres etapas, como se ve en la figura 1:

- Obtención y transmisión de coordenadas.
- Recolección y visualización de datos.
- Notificación y alerta.

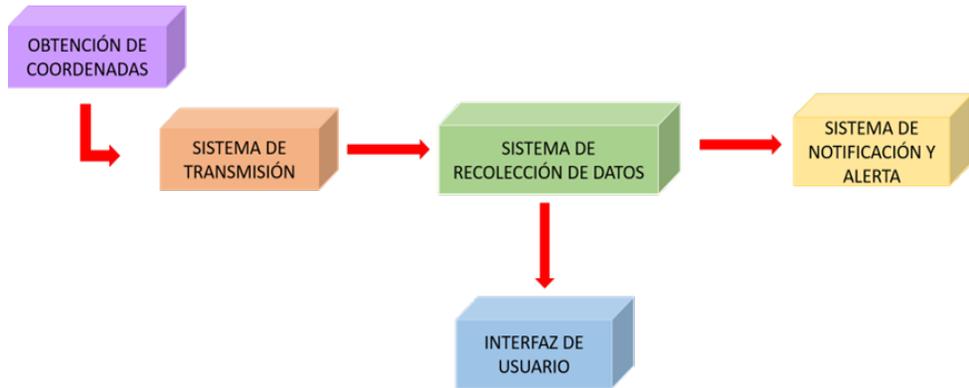


Figura N°1. Diagrama de Bloques del Sistema de Geolocalización. Fuente: Elaboración Propia, 2022.

A continuación, se describen las características y requerimientos en componentes y herramientas que permitieron la construcción del prototipo.

2.1 Requerimientos del sistema

2.1.1 Obtención y transmisión de datos

Para la etapa de obtención de datos se realizó un estudio comparativo de las tres alternativas de geolocalización existentes:

- Geolocalización por GSM (Asesoría Tecnológica, 2020).
- Geolocalización por WiFi (Creativa, 2021).
- Geolocalización por GPS (Space-Based Positioning Navigation Timming, 2021).

De las cuales, la que posee mayor robustez y garantiza una mayor y mejor cobertura es la geolocalización a través de GPS, este sistema de administración estadounidense cuenta con una constelación de 24 satélites que permiten tener una cobertura global basada en triangulación que proporciona coordenadas de latitud, longitud, altitud en tiempo real, además de ser de acceso libre a quien posea un dispositivo receptor (Space-Based Positioning Navigation Timming, 2021).

El dispositivo que fue utilizado para obtener los datos GPS es el GPS NEO 6M por sus características de sensibilidad de recepción (-165dBm), frecuencia de actualización (5Hz), incorpora además memoria EEPROM, indicador de recepción mediante led, conectores Vcc, Rx, Tx, y Gnd por el cual se conectó un microcontrolador mediante interfaz serial. Este dispositivo cuenta (nominalmente) con una precisión de 3m (Dualtronica, 2021), sin embargo, las pruebas realizadas dan un margen de posicionamiento mayor en entornos urbanos (8 a 9 m), por este motivo el margen mínimo de configuración en distancia de separación entre el dispositivo GPS y el del usuario monitor (Cuidador del paciente con Alzheimer) debe ser de 10m.

Para la etapa de transmisión de datos, fue necesario considerar la conectividad inalámbrica y permanente que deben tener los dispositivos de monitoreo y de envío de datos. Se realizó un estudio entre las tecnologías de comunicación de datos usualmente usadas en este tipo de soluciones: Bluetooth, WiFi, GSM. De los cuales GSM - GPRS cumple con los requisitos de cobertura en Bolivia y otros países (30Km por celda aproximadamente) y conectividad (80% de ciudades capitales y ciudades intermedias) (Nperf, 2022). La Tabla 1 muestra cuatro dispositivos que fueron evaluados de acuerdo con las características requeridas por el sistema, siendo el TTGO T-Call V1.3 ESP32 con SIM800L el elegido por cumplir con los requisitos técnicos y económicos del dispositivo, al ser una tarjeta de desarrollo orientada a soluciones IoT, con interfaz de comunicación serial UART y controlado por comandos AT (UnitElectronics, 2021).

Tabla N°1. Tabla comparativa de características

Especificaciones	ESP8266 	ESP32 	TTGO T-Call V1.3 ESP32 con SIM800L 	TTGO T-SIM7000G ESP32 4Mb WiFi/Bluetooth/GSM/GPS/LTE global 
UART	Si	Si	Si	Si
Compatible con IDE de Arduino	Si	Si	Si	Si
Conexión a Internet por medio de Plan de Datos	No	No	Si	Si
Soporte para la librerías de Arduino	TinyGPS++	TinyGPS++	TinyGPS++/TINY_GSM_MOD EM_SIM800	Arduino_TinyGSM/AllFunctions.ino
Wifi	No	Si	Si	Si
GSM	No	No	Si	Si
GPRS	No	No	Si	Si
COSTO (Bs)	50	80	215	540

Fuente: Elaboración Propia, 2022

2.1.2 Recolección y visualización de Datos

Debido a las características de los datos (posicionamiento) que se tienen que procesar y almacenar se utilizó la plataforma Firebase de Google, la cual tiene características de ser multiplataforma, desarrollo gratuito de aplicaciones, proporciona almacenamiento en tiempo real (hasta 1GB gratuito) y autenticación de usuarios entre otras (hasta 10000 gratuitos por mes) (Firebase, 2022).

El desarrollo de la aplicación se la realizó en Android Studio, por su robustez de funcionalidades y herramientas en la creación de aplicaciones profesionales.

2.2 Funcionamiento del prototipo

Como se mencionó anteriormente el sistema comprende de tres etapas, mismas que se muestran en el diagrama de flujo de la figura 2, explicando el funcionamiento del prototipo:

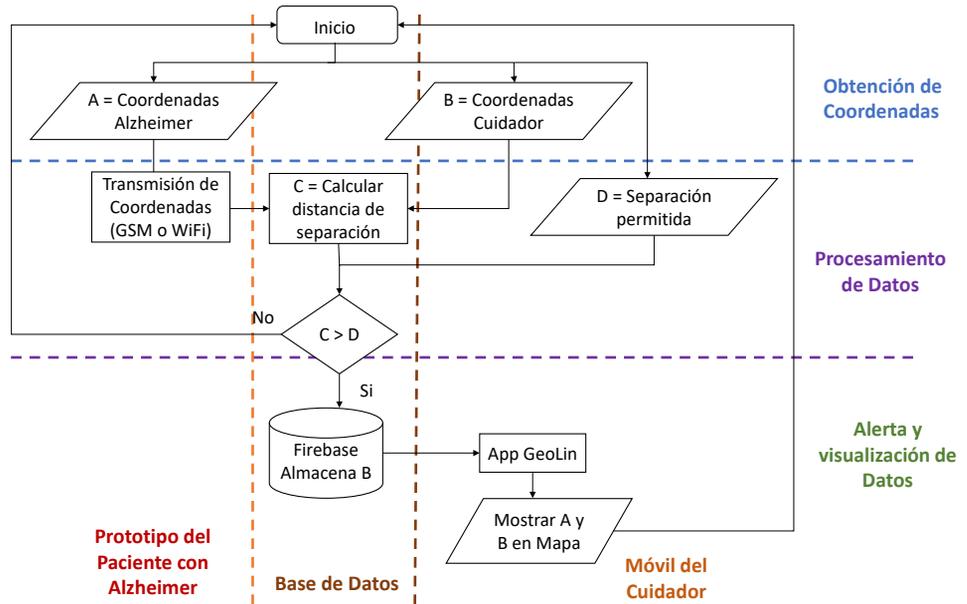


Figura N°2. Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Sistema de Geolocalización. Fuente: Elaboración Propia, 2022

El funcionamiento del sistema de geolocalización consiste en la obtención de coordenadas mediante el módulo GPS del dispositivo que se encuentra con el paciente con Alzheimer y el módulo de localización del móvil del cuidador, la primera es transmitida mediante el ESP32-SIM8000L hacia Firebase, la segunda se transmite a la base de datos mediante la conexión a la nube con que el móvil cuenta. Ambas posiciones son comparadas con la distancia de separación máxima que se configura previamente en la aplicación (distancia mínima 10 m). Una notificación y alerta es enviada al móvil del cuidador, solo cuando la distancia de separación supera la distancia preconfigurada. Además de la notificación, la base de datos comienza a almacenar el movimiento del paciente con Alzheimer (posiciones) y las muestra en el mapa georreferenciado que tiene la aplicación.

2.3 Desarrollo e implementación del prototipo

En la figura 3 se puede observar las conexiones realizadas para la implementación del sistema de geolocalización. Para que el funcionamiento sea el esperado, fue necesario realizar la programación en el IDE de Arduino, con ayuda de las siguientes librerías:

- TinyGPS++: Analiza flujos de datos NMEA provenientes del módulo GPS.
- TinyGsmClient: Para la comunicación con el SIM800L.
- Wire: Permite comunicarse con dispositivos I2C / TWI.
- FirebaseESP32: Permite conectarse a la base de datos Firebase Realtime para leer, almacenar, actualizar, eliminar, respaldar y restaurar datos.
- ArduinoHttpClient: Para facilitar la interacción con los servidores web de Arduino.

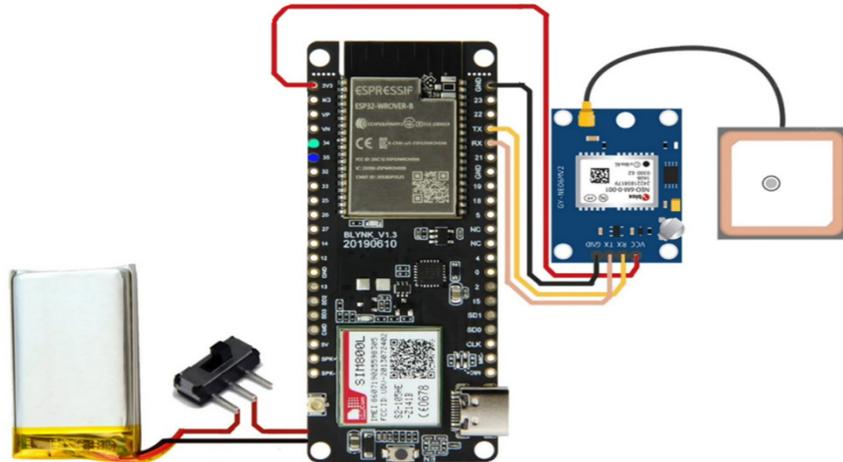


Figura 3. Layout del circuito. Fuente: Elaboración Propia

Con estas librerías se configuraron los puertos de transmisión y recepción para la comunicación con el módulo GPS y la configuración del modem 2G para el ESP32-SIM800L, mediante la declaración del APN de la compañía telefónica. Para el almacenamiento y recepción de las coordenadas transmitidas por el dispositivo, se creó una base de datos en tiempo real en Firebase de Google, para lo cual se procedió a crear un registro con host y autenticación, mismos que se configuraron en el ESP32-SIM800L para una correcta comunicación. Para la visualización de las coordenadas en un mapa georreferenciado se desarrolló una aplicación móvil en Android Studio cuyo nombre es “GeoLinMaps”, donde se definieron parámetros como el nombre del paquete (com.example.geolin), mínimo SDK (versión más baja de Android), conexión con Firebase del tipo RealTime Database.

Para el desarrollo de la interfaz de usuario visible en pantalla, se aprovechó que Android Studio permite reducir la complejidad del diseño al declarar la estructura en un simple archivo .xml definido con elementos muy intuitivos, de tal manera de tener las opciones: Manual de Usuario (Para acceder a un documento en formato .PDF que explica cómo se debe utilizar el prototipo), Menú Principal (a su vez redirige un submenú con las opciones menú principal, Lugares Recorridos, Información sobre el Alzheimer), Cerrar Sesión, como se observa en la figura 4:

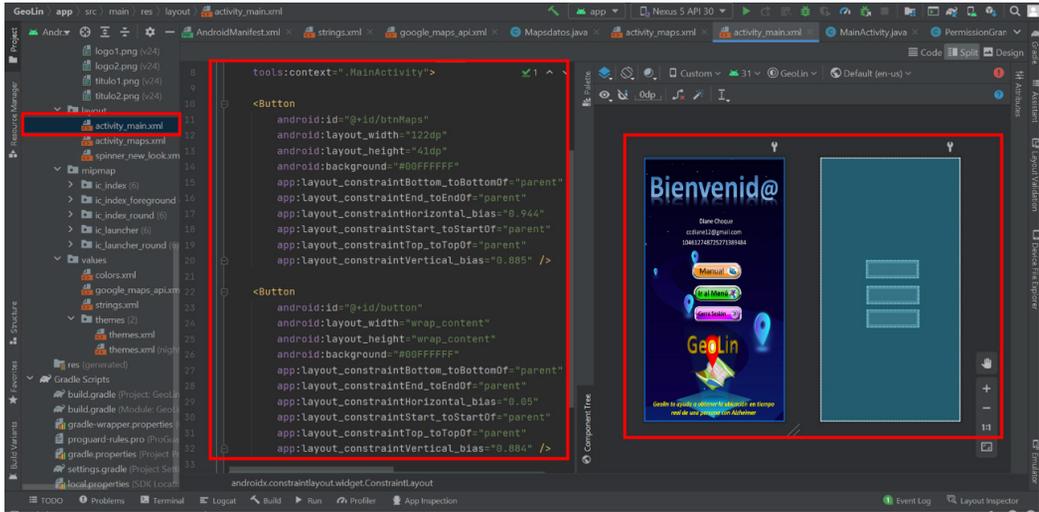


Figura 4. Desarrollo de la interfaz de la pantalla de inicio. Fuente: Elaboración Propia

El submenú *Mapa Principal* es fundamental para la aplicación ya que permite la visualización, en un mapa, de la ubicación actual de la persona con Alzheimer y del cuidador. Para esto se necesita obtener y habilitar el API Key de GoogleMaps, para posteriormente insertarlas en “google_maps_api.xml” de Android Studio para generar de manera automática un mapa en la clase de “MapsActivity”. El método `setMyLocationEnabled(true)` permite conocer la posición actual del cuidador y para la mostrar la ubicación de la persona con Alzheimer, se realiza la lectura de los datos de coordenadas almacenadas en Firebase. Esta sección también permite insertar al usuario la distancia mínima en metros entre la persona con Alzheimer y el cuidador y visualizar la distancia entre ambos. El código de desarrollo es mostrado en la figura 5.

```

mMap = googleMap;

if (ActivityCompat.checkSelfPermission( context: this, Manifest.permission.ACCESS_FINE_LOCATION)
    != PackageManager.PERMISSION_GRANTED &&
    ActivityCompat.checkSelfPermission( context: this, Manifest.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION)
    != PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {
    return;
}
// MOSTRAR COORDENADAS DEL AUBICACION ACTUAL DEL FAMILIAR

mMap.setMyLocationEnabled(true);
LatLng we = new LatLng( latitude: -16.5, longitud: -68.15);
mMap.moveCamera(CameraUpdateFactory.newLatLngZoom(we, zoom: 15));

// OBTENER LAS COORDENADAS DE FIREBASE
mDatabase.child("usuarios").addValueEventListener(new ValueEventListener() {
    @Override
    public void onDataChange(@NonNull DataSnapshot datasnapshot) {
        for (Marker marke: realTimeMarkers) // Elimincaion de datos en la 2da lista
        {
            marke.remove();
        }
        for(DataSnapshot snapshot: datasnapshot.getChildren()){
            Mapsdatos mp = snapshot.getValue(Mapsdatos.class);
            Double latitud = mp.getLatitude(); // Obtener latitud
            Double longitud = mp.getLongitude(); // Obtener longitud
            MarkerOptions markerOptions = new MarkerOptions();
            markerOptions.position(new LatLng(latitud, longitud));
            tmpRealTimeMarkers.add(mMap.addMarker(markerOptions)); // Muestra ubicación en el mapa de la persona con Alzheimer
            latitudDest = latitud;
            longitudDest = longitud;

            mCoor.setText(latitud+ " "+longitud); // Mostrar latitud y longitud
            Distanciass();
        }
        realTimeMarkers.clear();
        realTimeMarkers.addAll(tmpRealTimeMarkers); // traslado de datos de la 1ra lista a la 2da lista de marcadores
    }
}

```

Figura 5. Código para obtener la ubicación actual del familiar y para obtener la ubicación actual de la persona con Alzheimer. Fuente: Elaboración propia.

El submenú *Lugares Recorridos* muestra en el mapa con marcadores todos los lugares por los que ha recorrido la persona con Alzheimer, además de almacenarlos en la base de datos para realizar consultas futuras, esta clase es activada cuando el rango de distancia de separación, entre origen y destino, es superado; adicionalmente se envía una notificación a la persona cuidadora alertando de este evento.

El submenú *Información sobre el Alzheimer* contiene información resumida sobre la enfermedad del Alzheimer como ser: ¿Qué es el Alzheimer?, Síntomas del Alzheimer, Fases del Alzheimer.

Finalmente se diseñó la estructura del prototipo, haciendo uso de la herramienta de TINKERCAD, para posteriormente ser montado en un práctico cinturón, como se observa en la figura 6:

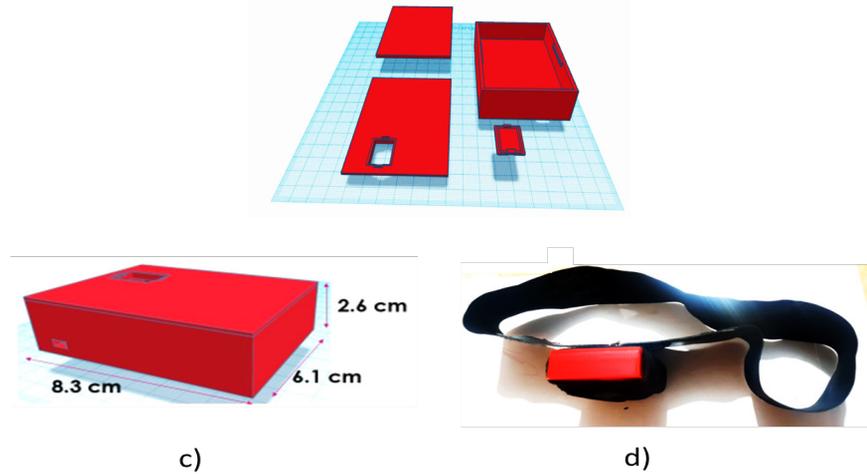


Figura 6. Diseño de la estructura del prototipo y su implementación.
Fuente: Elaboración Propia.

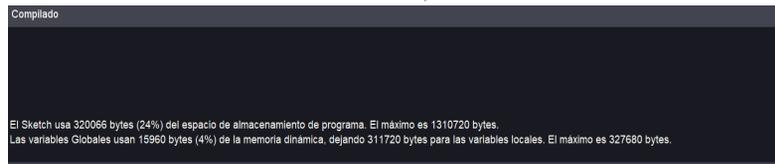
3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de las etapas de diseño e implementación del sistema de geolocalización:

- Los resultados de conexión, armado, pruebas de comunicación e implementación de los componentes descritos en la sección anterior pueden observarse en la figura 7.



a)



b)



c)

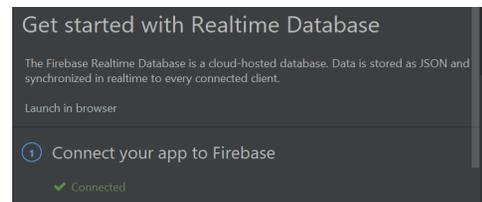


Figura 7. a) Vista superior interna e inferior interna del prototipo implementado. b) Compilación del programa en Andriod Studio. c) Grabado de código al TTGO L-Call ESP32-SIM800L. d) Prueba de conexión con la base de datos. Fuente: Elaboración Propia.

- Los resultados del desarrollo de la aplicación móvil GeoLinMaps son mostrados en la figura 8:



Figura 8. Vista de las diferentes pantallas de la interfaz de usuario GeoLinMaps. Fuente: Elaboración Propia.

- Pruebas realizadas de la interfaz y del dispositivo localizador, muestran una precisión de aproximadamente 10 m en la localización en la figura 9, por tal motivo la mínima distancia configurable de separación es de 10 m:



Figura 9. Pruebas de la interfaz y del funcionamiento del sistema. Fuente: Elaboración propia.

- Pruebas de notificación de alerta cuando la persona con Alzheimer se distancia más de lo permitido de la persona cuidadora, se muestran en la figura 10:

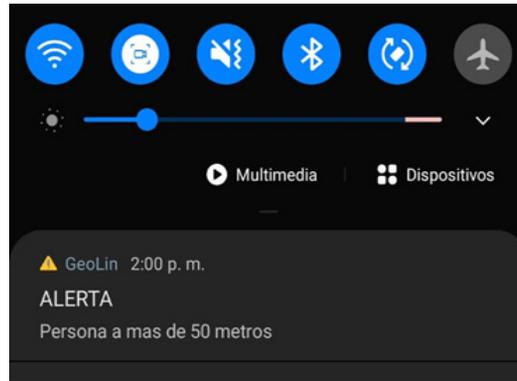


Figura 10. Envío de notificación de alerta de separación entre cuidador y paciente.

Fuente: Elaboración propia.

- En la figura 11 se observan las pruebas de transmisión de coordenadas a la base de datos cuando se supera la distancia de separación preconfigurada y visualización en el mapa de los lugares recorridos por la persona con Alzheimer.

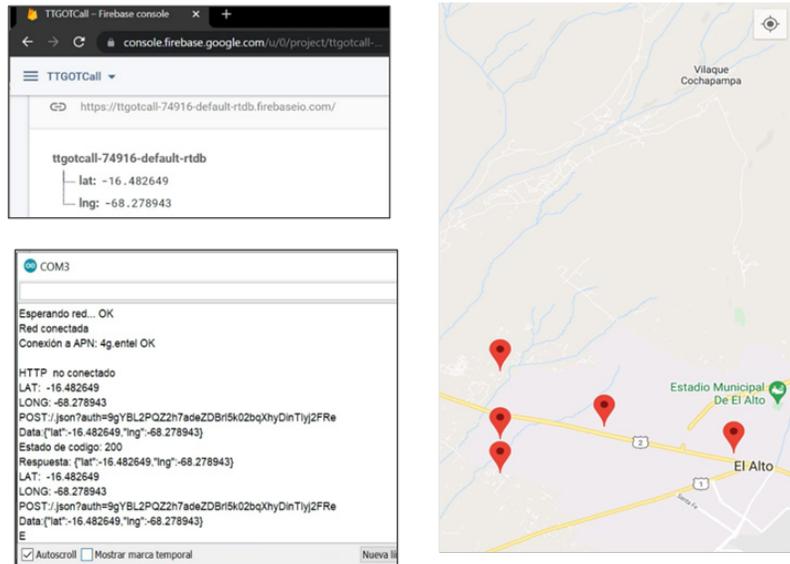


Figura 11. Resultados de las pruebas de transmisión de coordenadas y visualización de los lugares recorridos por la persona con Alzheimer. Fuente: Elaboración propia.

- Pruebas de precisión en la geolocalización del dispositivo, en campo abierto, en un entorno urbano (ciudad) y en lugares cerrados donde no se tenía pérdida de la señal de localización, se observan en la figura 12.

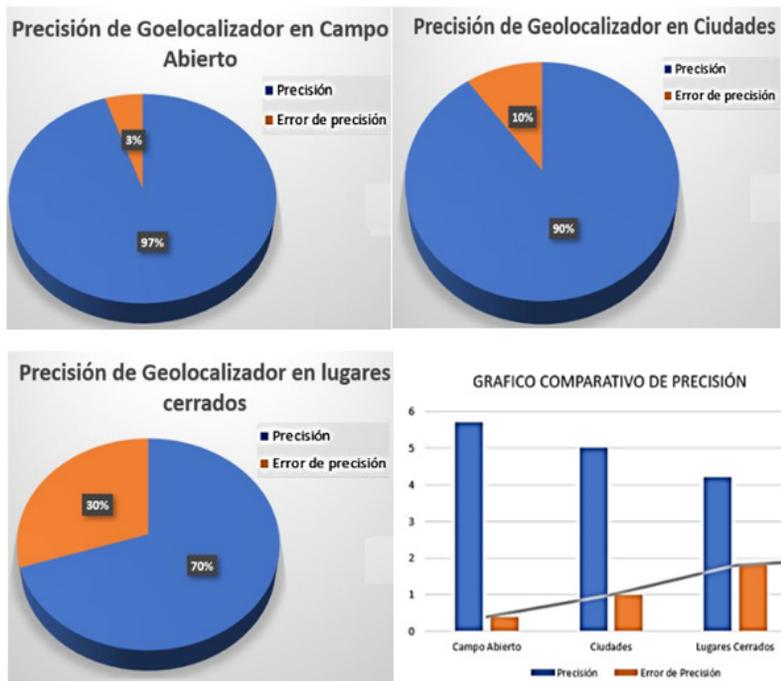


Figura N° 12. Resultados de precisión del dispositivo geolocalizador.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta en la tabla 2 una comparativa en precios respecto a soluciones que cumplen funciones de localización encontradas en el mercado:

Tabla N° 2. Comparación de precios en dispositivos similares

Nombre	Dispositivo	Precio USD
Spy Spot Nuevo 2021		89,95
GPS Localizador rastreo		93,39
Cinturon localizador GPS Neki		158,09
GPS Dokodemo Shoes		285,00
Geolocalizador para personas con Alzheimer		70,00

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Una vez concluido el proyecto de investigación aplicada se concluye:

- Se cumplió de manera correcta con el objetivo planteado, pues se diseñó e implementó un sistema de geolocalización con alarma y monitoreo como solución a uno de los problemas que trae consigo el Alzheimer, como lo

es la deambulaci3n y la p3rdida de orientaci3n de personas que sufren esta enfermedad, pues se comprob3 que el sistema ayuda a la persona “cuidadora” a ubicar de manera oportuna al paciente.

- El sistema est3 basado en internet de las cosas, pues incluye los elementos que esta tecnolog3a exige: un sensor (GPS), almacenamiento de datos (Firebase) e interfaz de usuario (GeoLinMaps) adem3s de comunicaci3n en tiempo real de los eventos.
- El an3lisis de requerimientos realizado fue corroborado posteriormente con el correcto funcionamiento del prototipo tanto en la conexi3n de componentes, comunicaci3n entre ellos y visualizaci3n en una interfaz m3vil. Pudiendo evidenciar la precisi3n del dispositivo en diferentes entornos donde el paciente podr3a llegar a estar, con un 3% de precisi3n en campo abierto, 10% de precisi3n en entorno urbano y 30% de precisi3n en ambientes cerrados.
- Las pruebas realizadas del funcionamiento del dispositivo mostraron una precisi3n de 10 m en las coordenadas de localizaci3n en entornos urbanos, es por eso que, la configuraci3n de separaci3n m3nima debe ser de 10 m. As3 mismo, las pruebas comprobaron el correcto funcionamiento de la notificaci3n de alerta de separaci3n del paciente, adem3s del registro de ubicaci3n de lugares recorrido por el paciente tanto en base de datos como en el mapa de la aplicaci3n GeoLinMaps.
- Si bien el funcionamiento general del prototipo cumple funciones de geolocalizaci3n, destacar que est3 dirigido a personas con Alzheimer, pues la implementaci3n en forma de un cintur3n hace que la persona no pueda manipularlo y no sea una molestia para ella, por otro lado, el dispositivo no cuenta con un bot3n de emergencia a raz3n de que la persona con Alzheimer tiende a perder la memoria, a diferencia de localizadores para ni3os donde es necesario que el dispositivo cuente con alg3n bot3n de emergencia para alertar a sus padres o para localizar a animales donde el tama3o del dispositivo es una limitante.

REFERENCIAS

Alvarez, A., Jenifer, P., & Zuleta, F. (2018). *Tecnologías vestibles zapato infantil con geolocalización*. Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11912/4829>

Asesoría Tecnológica. (27 de 04 de 2020). e-Rueca Centro Social Virtual . Obtenido de <https://e-rueca.org/tipos-de-geolocalizacion-y-geoposicionamiento-en-el-telefono-movil/>

Brett Parnes, R. (10 de 06 de 2008). *Women's Health & Wellness*. Recuperado el 4 de 20 de 2022, de <https://www.empowher.com/media/reference/tecnologia-gps-y-enfermedad-de-alzheimer-un-nuevo-uso-para-una-tecnologia-existente>

CMS, T. (21 de Septiembre de 2013). *HelpAge International*. Obtenido de HelpAge International: <https://www.helpagela.org/noticias/bolivia-no-me-olvides-en-el-dia-internacional-del-alzheimer/#:~:text=Hoy%2021%20de%20septiembre%20se,de%20personas%20con%20esta%20dolencia.>

Creativa, T. (04 de 2021). *Tecrea*. Obtenido de <https://tecra.com.co/diferencias-entre-geolocalizacion-gps-y-geolocalizacion-WiFi/>

Curto, D. (14 de 06 de 2017). *Muy Saludable*. Obtenido de <https://muysaludable.sanitas.es/mente-sana/trastornos-que-sufre-el-cuidador-de-un-enfermo-de-alzheimer/#:~:text=Desde%20CEAFA%2C%20hablan%20de%20alarmas,de%20humor%2C%20abandono%20del%20cuidado>

Dualtronica. (06 de 2021). *Dualtronica*. Obtenido de <https://dualtronica.com/modulos/86-modulo-gps-neo-6m.html>

Firestore. (30 de 09 de 2022). *Firestore*. Obtenido de <https://firebase.google.com/pricing?hl=es>

Hattingh, D. (14 de 01 de 2022). *AdaptitTech*. Obtenido de <https://telecoms.adaptit.tech/es/blog/what-is-an-iot-ecosystem/>

MousaviLou, O. B. (2020). *IoT-Based Healthcare Support System for Alzheimer's Patients*. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 15. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/8822598>

Nperf. (17 de 05 de 2022). *Nperf*. Obtenido de <https://www.nperf.com/es/map/BO/-/167642.Entel-Mobile/signal/?ll=-17.518344187852207&lg=-65.63232421875001&zoom=7>

Organización Mundial de la Salud. (21 de 09 de 2020). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 25 de 07 de 2022, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dementia#:~:text=Datos%20y%20cifras,actividades%20de%20la%20vida%20diaria.&text=La%20enfermedad%20de%20Alzheimer%2C%20que,un%2070%25%20de%20los%20casos.>

Perez, J., Morales, E., Gilbon, A., & Pacheco, J. (2015). *Sistema de localización para personas con Alzheimer*. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 1(2), 121.

Pimentel, J. (07 de 2018). Portal Explora. Recuperado el 10 de 02 de 2022, de <https://portalexplora.com/idea-innovadora-en-japon-zapatos-con-gps-para-localizar-a-adultos-con-demencia/>

Space-Based Positioning Navigation Timming. (04 de 2021). GPS.GOV. Obtenido de <https://www.gps.gov/spanish.php>

Unit

Electronics. (05 de 2021). *UnitElectronics*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/tgo-t-call-v1-3-esp32-con-sim800l-240mhz/>

World Health Organization. (2020). <https://www.worldlifeexpectancy.com/>. Obtenido de <https://www.worldlifeexpectancy.com/es/bolivia-alzheimers-dementia#:~:text=Bolivia%3A%20Alzheimer%2FDemencia&text=Seg%C3%BAAn%20los%20%C3%BAltimos%20datos%20de.n%C3%BAmero%2051%20en%20el%20mundo.>

Blockchain, de mineros a oráculos

Blockchain, from miners to oracles

 René Enriquez Espinoza ¹.

¹ Docente de Ingeniería Industrial, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. renriqueze@univalle.edu

RESUMEN

El presente documento es una revisión bibliográfica sobre plataformas BlockChain y sus aplicaciones. Primero abarca fundamentos de la tecnología, empezando por la explicación de la función hash, el contenido de un bloque, los métodos de consenso, el trilema de la escalabilidad y la clasificación de las cadenas de bloques según el acceso, privilegios otorgados y capa de desarrollo. Posteriormente se explican los contratos inteligentes y oráculos, antes de desarrollar diferentes plataformas de desarrollo y los diferentes lenguajes de programación utilizados. Finalmente se detallan las aplicaciones de BlockChain en diferentes sectores de la economía y los emprendimientos que surgieron en Bolivia.

Palabras Clave: Blockchain. Ethereum. Bitcoin Hyperleger. Lacchain.

ABSTRACT

This document is a literature review on BlockChain platforms and their applications. It first covers fundamentals of the technology, starting with the explanation of the hash function, the content of a block, consensus methods, the scalability trilemma and the classification of blockchains according to access, granted privileges and development layer. Afterwards, smart contracts and oracles are explained, before developing different development platforms and the different programming languages used. Finally, the applications of BlockChain in different sectors of the economy and the ventures that emerged in Bolivia are detailed.

Keywords: Blockchain. Ethereum. Bitcoin Hyperleger. Lacchain.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de la cadena de bloques nace con el surgimiento del Bitcoin en 2009, constituyéndose en la primera solución basada en esta tecnología. El Bitcoin fue creado por una persona o grupo de personas que se ocultan bajo el seudónimo de Satoshi Nakamoto, quien publicó su algoritmo en un foro de internet. La nueva plataforma se encontraba en etapa inicial y Satoshi se mantuvo activo en los foros por alrededor de dos años, para luego desaparecer sin dejar rastro (Nakamoto & Champagne, 2014).

Citar como: Enriquez Espinoza, R. Blockchain, de mineros a oráculos. Journal Boliviano de Ciencias, UNIVALLE, 18(52), 64-84. Recuperado a partir de <https://revistas.univalle.edu/index.php/ciencias/article/view/38>

Revisado: 25/10/2022
Aceptado: 28/11/2022
Publicado: 30/12/2022

Declaración: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.

Fuentes de financiamiento: No hubo fuentes de financiamiento.

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Creative Commons. Licencia de atribución (CC BY)(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Derechos de autor 2022 Rene Enriquez.



En los últimos años, la tecnología BlockChain ha mostrado el potencial de aplicación en casi todas partes, gracias a la evolución de las cadenas con soporte para contratos inteligentes. Actualmente existen aplicaciones en la trazabilidad de la cadena de suministro, identidad digital, votaciones electrónicas, emisión de certificados, firmas digitales, registros de propiedad, transferencia de activos, registros médicos, etc. En este artículo consistirá en una explicación de los fundamentos de la tecnología, explorando distintas plataformas y sus respectivas aplicaciones.

2. ¿QUÉ ES BLOCKCHAIN?

Blockchain o Cadena de Bloques es una tecnología de base de datos descentralizada, en la cual la información es almacenada y validada por una red distribuida de nodos, constituyéndose en una herramienta fundamental para garantizar la transparencia e inmutabilidad de los datos, eliminando las posibilidades de falsificación y fraude.

Los datos se estructuran en paquetes o bloques identificados mediante un código único e irrepetible llamado hash. Este código es generado por una operación criptográfica que convierte cualquier cadena de texto en un código con la misma cantidad de caracteres. En el caso del Bitcoin, utiliza la función hash SHA-256, que crea códigos de 64 caracteres como se puede ver en la Figura 1.



Figura 1: Función Hash. Fuente: Elaboración propia a partir del generador de hash online.

El hash es creado en base a la información almacenada en la cabecera del bloque, que según el protocolo Bitcoin, tiene seis datos:

Versión: Conjunto de reglas que debe seguir el bloque para ser válido. Son parte del protocolo que se va actualizando con cada nueva versión.

- Hash del anterior bloque: Esto encadena los bloques incrementando la seguridad del sistema, ya que la información no puede ser modificada sin la necesidad de modificar todos los bloques previos.
- Raíz de Merkle: Es una técnica eficiente para verificar datos, que se obtiene de los hashes de todas las transacciones que son almacenadas en el bloque. Esto se traduce en seguridad para la red, haciendo imposible modificar una transacción sin tener que modificar todos los hashes comprometidos en el bloque.

- Marca de tiempo: Son los segundos transcurridos desde enero de 1970 hasta el momento de creación del bloque.
- La dificultad o hash objetivo: Rango en la que el hash del bloque debe ser igual o menor. Esto sirve para ajustar la dificultad del minado del bloque.
- Nonce: Es el número que los mineros tienen que encontrar por fuerza bruta, para lograr tener el privilegio de crear el nuevo bloque y recibir su recompensa.

La representación gráfica de la estructura de un bloque de la BlockChain Bitcoin se puede ver en la figura 2.



Figura 2. Estructura de bloque Bitcoin. Fuente: Elaboración propia basado en Nakamoto, 2008

Además de la cabecera, un bloque también contiene un número de identificación, el tamaño del bloque, un contador de transacciones y el conjunto de transacciones que serán aseguradas en la red, pudiendo llegar a miles de transacciones en un solo bloque.

Cada vez que un bloque es creado, toda la información contenida en los bloques es verificada comparando los hashes contenidos en nodos de la red. Si existe algún participante con información alterada, automáticamente la información será corregida según el registro que contenga la mayoría de los nodos de validación.

De esta manera se logra un registro descentralizado, seguro y no modificable de la información almacenada en la red (Nakamoto, 2008).

3. MÉTODOS DE CONSENSO

Un gran problema que surge al tener un sistema distribuido es cómo poder llegar a ciertos consensos entre los usuarios. Un dilema común en la cadena de bloques es determinar qué nodo podrá agregar un nuevo bloque a la red. Actualmente existen muchos métodos de consenso, cada uno con sus ventajas y desventajas.

Prueba de Trabajo o Proof of Work (PoW): Es el método más conocido y usado por las primeras cadenas de bloques que salieron al mercado, como ser Bitcoin, Ethereum, Litecoin etc. En este método unos participantes de la red, llamados mineros, compiten entre ellos usando su poder computacional para encontrar el nonce, de manera que el minero que lo consiga podrá agregar un nuevo bloque a la cadena y ser recompensado con un pago. Esta competencia criptográfica permite eliminar la posibilidad que dos mineros logren crear un nuevo bloque simultáneamente.

Si bien este método otorga una excelente descentralización y seguridad, el problema surge en la escalabilidad y el consumo exagerado de energía.

Prueba de Participación o Proof of Stake (PoS): Este método utiliza a los mayores tenedores de la criptomoneda para añadir un nuevo bloque a la red y verificar la integridad de la misma. Cuantas más monedas tenga un participante, es más probable que agregue un nuevo bloque de la transacción a la cadena de bloques, pero en este caso no tendrá una recompensa, sino simplemente cobrará una comisión por la transacción.

El consumo de energía de este método es mucho menor que el PoW y le permite tener mucha más escalabilidad, pero puede poner en riesgo la descentralización y su misma seguridad.

Ethereum sufrió un proceso de migración de PoW a PoS denominado The Merge (La Fusión), que lleva seis años en proceso y muchos lo consideran un hito en la historia de las criptomonedas. En realidad, The Merge es un proceso de dos pasos, que se denominaron actualizaciones Bellatrix y Paris. Bellatrix fue lo que oficialmente dio el puntapié inicial a The Merge, que tuvo lugar el 6 de septiembre del 2022 (Coinbase, 2022) y se dio inicio el 6 de septiembre del 2022.

Existen muchas derivaciones de este algoritmo, las más importantes se muestran en la figura 3.

La Prueba de Participación Delegada (DPOS): Todos los participantes de la red eligen por votación una serie de “delegados”. Estos definen una rotación de líderes. Esto significa que cada delegado tiene un turno dentro de la rotación para producir un bloque. Dicho delegado puede generar un bloque y cobrar una recompensa por ello. Si el delegado no está disponible cuando llega su turno, tendrá que esperar un nuevo turno. El poder de voto de cada participante de la red es proporcional a su participación en la misma.

También pueden someter a votación decisiones relacionadas con su funcionamiento, funciones como las recompensas, la cantidad de delegados, el comportamiento ante bifurcaciones de la red y otras. Además, se permite penalizar a los delegados con un comportamiento no adecuado (Skh Saad & Raja Mohd Radzi, 2020).

EOS es la precursora y máximo exponente de este método de consenso y junto con la plataforma EOSIO se proyectan como una de las redes más rápidas, eficientes, descentralizadas y flexibles disponibles (Stake-Based Voting and Reward Mechanism White Paper, 2021).

Otras plataformas importantes son: Tron, Cardano, Tezos, Lisk, Bitshares, Steem, etc. En total suman más 24 blockchains que usan este algoritmo. (Jimenez, 2019).

En la figura 4 se puede ver un resumen de otros métodos de consenso alternativos, mencionando las diferentes BlockChains que los utilizan.

Proof-of-Work (PoW)	Proof-of-Stake (PoS)	Prueba de participación delegada (DPOS)	
Bitcoin, DodgeCoin, Hyperledger Besu, Multichain*	BinanceCoin, Stellar, Dash, Cosmos, Ethereum	EOS, Tron, Cardano, Tezos, Lisk, Bitshares, Steem	
Prueba de actividad (PoA)	Prueba de quemadura (PoB)	Prueba de tiempo transcurrido (PoET)	Algoritmo de consenso del obelisco
Dcred, Espers, Hyperledger Besu	Slimcoin, TGCoin, Third Generation Coin	Hyperledger Sawtooth Hyperledger Fabric	SkyCoin
Prueba de Asignación (PoA)	Prueba de punto de control (PoC)	Proof of Formulation (PoF)	Tolerancia Bizantina a Falla (BFT)
IOTW	Burstcoin, Chia, SpaceMint.	FLEAT	Neo, Vmware, Hyperledger Besu, Quorum

Figura 3: Plataformas BlockChain según método de consenso. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Jimenez, 2019

1. EL TRILEMA DE LA ESCALABILIDAD

Vitalik Buterín (2021), el creador de Ethereum, define tres propiedades técnicas que cualquier sistema BlockChain desea tener, pero que con técnicas simples, solo se pueden lograr dos de ellas dentro de una misma cadena de bloques. Estas propiedades son: descentralización, escalabilidad y seguridad. Estas se representan gráficamente con un triángulo como se muestra en la figura 5.

- **Descentralización**

Según Buterín (2017), existen tres tipos de descentralización:

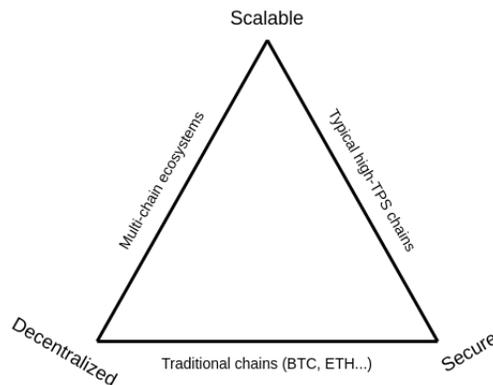


Figura 4. SEQ Figura * ARABIC : Trilema de la Escalabilidad. Fuente: Buterin 2017.

- Descentralización de la infraestructura, definida por cuántas computadoras forman la red y por cuántas de estas pueden averiarse en el mismo instante.
- Descentralización de la política, definida por la cantidad de personas u organizaciones que controlan las computadoras de la red.
- Descentralización lógica, definida por la capacidad de dividirse y mantenerse funcionando como unidades independientes.

Las BlockChain pueden lograr diferentes grados de descentralización de infraestructura y política, pero carecen de una descentralización lógica.

La descentralización es importante por tres motivos: es tolerante a fallas, resistente a ataques informáticos y presenta resistencia a la colusión.

Vitalik Buterin (2017) comenta con respecto a la resistencia a la colusión es mucho más difícil para los participantes en los sistemas descentralizados conspirar para actuar de manera que los beneficie a expensas de otros participantes, mientras que los líderes de las corporaciones y los gobiernos se confabulan de manera que se benefician a sí mismos, pero perjudican a los ciudadanos y clientes menos coordinados.

- **Escalabilidad**

Es el poder de la red para mantenerse rápida y eficiente a medida que aumentan la cantidad de transacciones en la red. Esta es la debilidad de las cadenas de bloques tradicionales como Bitcoin o Ethereum donde, según el explorador de bloques etherscan, el tamaño total del nodo completo de Ethereum llega a consumir doce terabytes de espacio a la fecha; es decir, más de veinte veces lo que puede ocupar un ordenador promedio. Esto repercute en que la tasa de transacciones por segundo (TPS) queden limitadas, en el caso de Ethereum a catorce TPS, poniendo en evidencia los problemas de escalabilidad de la red (etherscan.io, 2022).

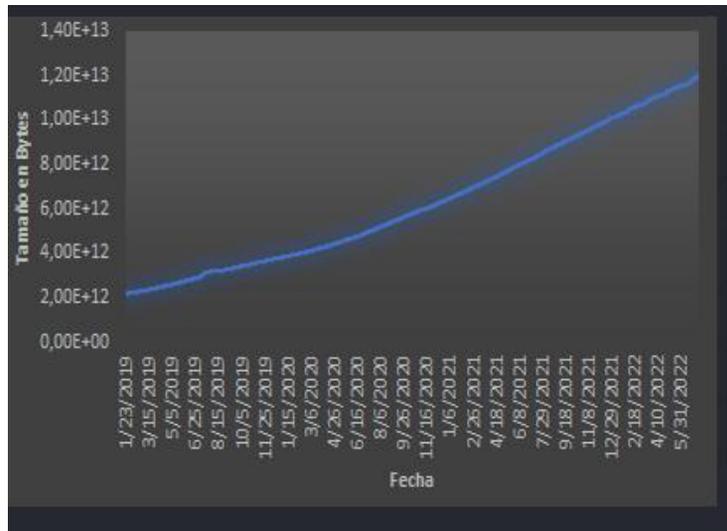


Figura 5: Crecimiento del tamaño de nodo completo Ethereum. Fuente: Elaboración propia con datos de etherscan.io y ethernode.org, 2022

- **Seguridad**

Es la capacidad de la red de afrontar ataques de un gran porcentaje de nodos participantes de la misma.

Soluciones al trilema de la escalabilidad

De acuerdo a Buterín (2021), existen tres clases de “soluciones fáciles” y una solución completa al trilema de la escalabilidad.

- Cadenas de bloques tradicionales, incluidas Bitcoin, Ethereum, Litecoin y otras cadenas similares. En estas cadenas cada participante ejecuta un nodo completo que verifica cada transacción, lo que representa alta descentralización y seguridad, pero baja escalabilidad.
- Cadenas de alto TPS, tienen entre diez y cien nodos que mantienen el consenso entre ellos. Esto es escalable y seguro, pero no está descentralizado. Una de las cadenas de bloques más destacadas de este tipo es EOSIO, una de las alternativas que ofrece mayor escalabilidad en el mercado.
- Ecosistemas multicadena, como lo dice su nombre, esto se refiere a tener diferentes aplicaciones en diferentes cadenas y usar protocolos de comunicación entre ellas. Esto es descentralizado y escalable, pero no es seguro. Un atacante solo necesita obtener una mayoría de nodos de consenso en una de las muchas cadenas para lograr un ataque exitoso.
- Cadenas fragmentadas, consiste en fragmentar grandes tablas de datos en pedazos más pequeños, para que las aplicaciones puedan escalar y ser más eficientes. Estos fragmentos se reparten entre diferentes nodos para su validación. Las cadenas fragmentadas deberían llegar a lo largo de 2023, dependiendo de los avances del proyecto tras The Merge (La Fusión) de Ethereum.

5. TIPOS DE CADENAS DE BLOQUES

Las cadenas de bloques se pueden clasificar de diferentes formas, según el acceso a la red, según los privilegios otorgados a los usuarios o por el nivel de la capa de desarrollo.

Según el acceso

De acuerdo con el acceso para participar de la red, las cadenas de bloques se pueden clasificar como públicas, privadas o de consenso.

- **Cadenas de bloques públicas.** Estas cadenas de bloques son abiertas, donde el acceso para unirse a ellas es completamente libre. Cualquier usuario puede unirse a la red para trabajar como minero o validador, como también puede usar la red para realizar transacciones, desarrollar contratos inteligentes o ejecutar lecturas de la red.

La principal característica de las redes públicas es su transparencia, son ideales para soluciones donde la información tiene que ser pública para su respectivo control por parte de cualquier tercero.

- **Cadenas de bloques privadas.** Las redes privadas no son accesibles a cualquier usuario y hay que recibir una invitación para poder ser parte de esta, ya sea para convertirse en minero, validador, operar con un bloque o hacer una simple lectura. Son cadenas de bloques controladas por una sola entidad. Por tanto, no es una red totalmente descentralizada, ya que existe una sola autoridad para controlar la red. En estas redes la transparencia no es una prioridad, pero sí lo es la privacidad de los datos. Están orientadas a soluciones empresariales, donde se tienen datos privados que no se quieren compartir públicamente.

- **Cadenas de bloques de consenso.** También pueden llamarse cadenas de bloques federadas. Al igual que las redes privadas, no cualquiera puede acceder a la red, pero mantienen un cierto grado de descentralización al no estar controladas por solo una entidad, sino por un consorcio formado por más de una organización (Ballesteros & García, 2021, p. 11).

Según los privilegios otorgados

- **Cadenas de bloques con permiso o autorizadas.** Las redes con permiso, tiene una parte autorizada que restringe los privilegios que un usuario determinado puede tener sobre uno o más nodos de la red. Estos privilegios pueden referirse desde quién puede y quién no hacer lectura de un bloque específico, hasta definir qué usuario podrá convertirse en minero o validador.
- **Cadenas de bloques sin permiso.** En una red sin permiso no existe esta autoridad que defina diferencias entre los usuarios. Todos los usuarios tienen los mismos privilegios sobre la cadena de bloques (Ballesteros & García, 2021, p. 25).
- **Cadena de bloques híbrida.** También existen redes híbridas, que combinan opciones de acceso y otorgación de privilegios para adaptarse mejor a las soluciones que lo requieran.
 - Redes públicas con permiso, donde cualquiera puede activar un nodo para unirse a una cadena, sin embargo, la información de los bloques seguirá siendo privada si uno lo quiere.
 - Redes privadas sin permiso, este es uno de los tipos de red con menos ejemplos en el mercado, el acceso a estas redes no es libre, el usuario debe esperar la invitación del creador de la red para participar de la misma, pero una vez dentro de la red, no existe una autoridad que defina los privilegios que tendrán los participantes dentro de ella (Taskinsoy, 2019).

En la figura 7 se muestran diferentes cadenas de bloques, clasificadas por cuadrantes según sean privadas, públicas, con o sin permiso.

	Sin permiso	Con permiso
Públicas		
Privadas		

Figura 7 Cadenas de Bloques públicas, Privadas, con y sin permiso.
Fuente: Elaboración propia con base a datos de Daniels, 2020.

Según la capa de desarrollo

- **Cadenas de bloques de capa 0 (L0).** Este tipo de plataformas BlockChain tienen tres funciones principales:
 - Interoperabilidad entre diferentes cadenas de bloques, una DApp (Aplicación descentralizada) que funcione en una cadena de bloques, automáticamente funcionará en otras cadenas construidas sobre la misma capa 0.
 - Rapidez y economía de transacciones entre diferentes cadenas de bloques, por ejemplo, Cosmos puede lograr el consenso PoS (Prueba de Participación) en varias cadenas de bloques, logrando el objetivo de aumentar la rapidez de transacción, al mismo tiempo que reducen los costos de esta.
 - Infraestructura para desarrolladores, varias características están preconstruidas y listas para implementarse de inmediato.
 - Además de Cosmos, existen otros ejemplos de redes en capa 0 como Polkadot Relay Chain y Avalanche.
- **Cadenas de bloques de capa 1 (L1).** Aquí encontramos a cadenas de bloques conocidas como Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Cardano, Tron, Solana, etc. las cuales procesan y finalizan transacciones en su propia cadena de bloques. En la figura 8 se muestran más ejemplos sobre plataformas BlockChain de capa 1.
- **Cadenas de bloques de capa 2 (L2).** También son conocidas cadenas laterales (SideChains). Son integraciones que se desarrollan sobre cadenas de bloques de capa 1 para mejorar la escalabilidad y las transacciones por segundo de la red original. Por ejemplo, Polygon, Optimism, Starknet, BobaNetwork, Heco son cadenas de bloques de capa 2, que nacen como una solución de escalabilidad de la red Ethereum.

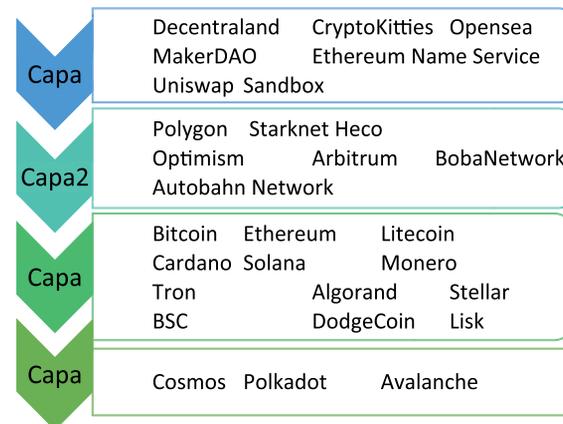


Figura 8. SEQ Figura * ARABIC : Capas BlockChain. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Montana, 2022.

- **Cadenas de bloques de capa 3 (L3).** Esta es la capa de la aplicación, donde se encuentran diferentes aplicaciones descentralizadas (DApps) con las cuales el consumidor final interactúa. Actualmente existe un sin número de DApps, entre las cuales podemos destacar Decentrland, CryptoKitties, MakerDAO, Opensea, Ethereum Name Service, Uniswap, etc (Montana, 2022).

6. CONTRATOS INTELIGENTES

Bitcoin nació como la primera solución de la tecnología de la cadena de bloques, con la función de poder intercambiar tokens entre usuarios de la red. Posteriormente, no tardaron en aparecer nuevas redes que evolucionaron para brindar mayores aplicaciones con respecto a los contratos inteligentes. A diferencia de los contratos tradicionales, las condiciones de un contrato inteligente se ejecutan a través de un código en una cadena de bloques que lo permita (Antonopoulos & PhD, 2018).

Existen en la actualidad una gran variedad de redes útiles para crear contratos inteligentes, entre ellas están: Ethereum, Tezos, Solana, Cardano, Tron, Polygon, Algorand, Avalanche, Polkadot, Cosmos, entre otras. Cada una con diferentes ventajas y desventajas para distintos tipos de soluciones y todas en constante evolución (Mohanty, 2021).

7. ORÁCULOS

Los oráculos son códigos informáticos que sirven de puente entre el mundo real y el mundo blockchain y sus contratos inteligentes.

- Oráculos de *software*, que pueden extraer información en línea como el clima, precios de productos, horarios de vuelos, entre otros.
- Oráculos de *hardware*, que son dispositivos que realizan lecturas del mundo real. Por ejemplo, la ubicación de un contenedor, la temperatura de almacenamiento de un producto, la altura de un cultivo, etc.
- Oráculos de consenso, que se basan en varias fuentes y siguiendo un protocolo de consenso, buscan asegurar una información confiable y que no pueda ser manipulada.
- Un caso de uso conocido es Augur, que es una plataforma de mercados de predicción descentralizada construida en Ethereum. Otro caso importante es ChainLink y Provable, que son oráculos de consenso, los cuales ofrecen la posibilidad de alimentar a los Smart Contracts de Ethereum, con información recolectada de diferentes fuentes (¿Qué son los oráculos blockchain?, 2022).

8. PRINCIPALES MARCOS DE DESARROLLO BLOCKCHAIN

Ethereum

Es la plataforma blockchain más utilizada y la primera en implementar contratos inteligentes. En lugar de un libro mayor distribuido, Ethereum es una máquina de estado distribuida, denominada Máquina Virtual Ethereum (EVM), la cual es mantenida por miles de computadoras conectadas que ejecutan un cliente Ethereum. En este entorno conviven todas las cuentas de Ethereum y los contratos inteligentes.

Un cliente de Ethereum es el software que permite a los nodos leer bloques y contratos inteligentes en la cadena de bloques de Ethereum. Existen varios clientes de ejecución de código abierto, desarrollados en diferentes lenguajes de programación. Esto hace que la red sea más fuerte y diversa. Geth, Hyperledger Besu y Parity son los principales clientes de Ethereum.

Los contratos inteligentes de Ethereum están escritos en un lenguaje propio llamado Solidity. Para poder programar y crear DApps en Solidity y otros lenguajes, existen varios entornos de desarrollo que facilitan el trabajo. Entre las más importantes están:

- **Remix IDE** es un entorno de desarrollo a través de una aplicación web y de escritorio de código abierto. Se usa para escribir, probar e implementar contratos inteligentes.
- **Truffle** es un entorno de desarrollo creado por Consensus, un marco de prueba y una canalización de activos para cadenas de bloques que utilizan Ethereum Virtual Machine (EVM). Tiene varias herramientas que facilitan el desarrollo de DApps, como ser una consola interactiva para la comunicación directa de contratos, administración de redes para implementar una red pública o privada, compilación y vinculación de contratos.
- **Hardhat** es un entorno de desarrollo que incluye distintos componentes para editar, compilar, depurar e implementar sus contratos inteligentes y DApps. Contiene un ejecutor de tareas que lo ayuda a administrar y automatizar las tareas recurrentes en el desarrollo de contratos inteligentes y DApps.

Hyperledger

Hyperledger es muy diferente de la mayoría de las cadenas de bloques. La intención original es desarrollar un sistema blockchain entre organizaciones. Esta plataforma no incluye una capa de incentivo ni tokens. Son varias las empresas que confían en Hyperledger, entre ellas están: Airbus, Daimler, IBM, Fujitsu, SAP, Huawei, Nokia, Intel, Samsung, American Express, JPMorgan, BBVA, etc.

Dentro de lo que es Hyperledger, existen cinco Frameworks que representan diferentes soluciones (Figura 9).

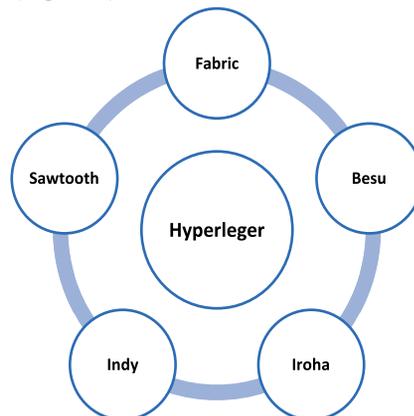


Figura 9. SEQ Figura * ARABIC : Frameworks Hyperledger.
Fuente: Elaboración propia.

- **Hyperleger Fabric.** Marco modular, configurable y versátil que sirve de base para desarrollar aplicaciones o soluciones, donde los desarrolladores experimentan la versatilidad y optimizan la plataforma para diversos casos de uso en industrias como la salud, seguros, banca, cadena de suministro y más. Tiene un enfoque único para el consenso, que le permite ser escalable, sin sacrificar la privacidad. Uno de los diferenciadores más importantes son sus protocolos de consenso conectables, que permiten una personalización más eficaz, para adaptarse a casos de uso particulares y modelos de confianza (Androulaki et al., 2018).
- **Hyperleger Besu.** es un cliente de Ethereum apto para empresas en casos de uso de redes públicas y privadas autorizadas. Incluye varios algoritmos de consenso, incluidos PoW y PoA. También se puede ejecutar en redes de prueba.
- **Hyperleger Indy.** Marco interoperable con otras cadenas de bloques que busca impulsar la descentralización de la identidad (*Proyectos de Tecnología Blockchain – Fundación Hyperledger*, s. f.).

EOSIO

EOSIO ofrece una plataforma rápida, confiable y segura para crear aplicaciones de cadena de bloques. Los contratos inteligentes están escritos en el lenguaje de programación C++ y se pueden implementar en redes existentes, como también en redes propias creadas en EOSIO.

Gracias al método de consenso de prueba de participación delegada, la red goza de una gran rapidez y eficacia, que es reflejada en su tasa de transacciones por segundo y su consumo de energía (*EOSIO Developer Portal*, 2022).

LACChain Alliance

Es un programa regional del BID Lab que nace con el propósito de acompañar y acelerar el desarrollo del ecosistema blockchain, buscando maximizar el impacto social que la tecnología tiene el potencial de ofrecer. Según LACChain Alliance (2019), el programa tiene tres objetivos:

- Establecer consorcios nacionales abiertos e incluyentes en América Latina y el Caribe, conformados por el sector público, privado y la academia para el desarrollo y adopción de la tecnología BlockChain.
- El desarrollo, promoción y adopción de estándares que permitan la interoperabilidad de redes y la escalabilidad de la tecnología y sus aplicaciones.
- El desarrollo y mantenimiento de una infraestructura de redes BlockChain gratuitas, interoperables y reguladas, sobre las que desarrollar aplicaciones con alto impacto social.

LACChain Alliance ha construido la infraestructura blockchain pública autorizada más grande del mundo, con más de 100 organismos de América Latina, el Caribe, Estados Unidos y Europa compartiendo una red común para sus proyectos blockchain. Esta infraestructura se complementa con herramientas de identidad digital, credenciales digitales, tokenización y dinero digital (*Introduction – LACNet*, 2021).

Actualmente se desarrollan proyectos BlockChain en LACChain que utilizan Hyperleger Besu, EOSIO, pero no se cierra la oportunidad de trabajar con otras plataformas (Hyperledger Foundation, 2022).

9. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Cada plataforma BlockChain trabaja con uno o más lenguajes de programación. En la tabla 2 se detalla la correspondencia entre lenguajes de programación y las distintas plataformas BlockChain.

Ethereum tiene su propio lenguaje de programación, llamado Solidity, que también es utilizado en otras cadenas laterales e independientes creadas posteriormente. Cardano es otro ejemplo de una cadena de bloques con su propio lenguaje llamado Plutus.

Tabla 2. Lenguajes de programación utilizados en BlockChain

Logo	Lenguaje de Programación	Plataformas BlockChain
	C++	Bitcoin, EOS, Ethereum, Ripple, Litecoin, Hyperledger Iroha, Stellar
	Solidity	Ethereum, Tendermint, Binance Smart Chain, Ethereum Classic, Tron, Avalanche, Hedera, Quorum, ThunderCore, Polygon, Optimism, Starknet, BobaNetwork, Heco
	Java	Ethereum, IOTA, Neo, Hyperledger Besu, Corda, Stellar, Algodand, Hedera
	JavaScript	Hyperledger Fabric, Solana, Aergo Lisk, Stellar, Algodand, MultiChain, Hedera
	Python	Ethereum, Hyperledger Sawtooth, Hyperledger Indy, Stellar, Algodand, MultiChain
	C#	Neo, IOTA, Ethereum, Stratis, Algodand, MultiChain
	Go	Ethereum, Dero, Hyperledger Fabric, GoChain, Stellar, Algodand, Hedera
	Rust	Solana, Polkadot, Near Blockchain, Hyperledger Indy Algodand

Fuente: Elaboración propia en base a los White papers de cada BlockChain.

10. APLICACIONES DE LAS CADENAS DE BLOQUES

Se pueden encontrar aplicaciones de la cadena de bloques en cualquier lugar donde la seguridad y resiliencia de los datos sea una necesidad.

a) Aplicación en la cadena de suministro

Existen varias plataformas que brindan distintas soluciones empresariales para potenciar la industria 4.0 y la cadena de suministro. Logrando un intercambio de datos confiables entre diferentes dispositivos, máquinas y organizaciones, partiendo desde las certificaciones de origen, siguiendo con la trazabilidad de la cadena de suministro hasta llegar al consumidor final (Serrano, 2019).

Como ya se vió anteriormente, una plataforma empresarial muy conocida es Hyperleger Fabric, que trabaja en soluciones desde un suministro de alimentos más seguro, más inteligente y rentable hasta cadenas de suministro que se deshacen de la burocracia y los procesos existentes, conduciendo al mundo empresarial hacia una nueva era de colaboración e innovación (Hyperledger, 2022).

Entre algunos proyectos especializados en cadena de suministro están Treum, CargoX y Morpheus Network. Todos centrados en ayudar a las empresas a generar confianza con sus clientes a través de datos confiables en BlockChain.

b) Aplicación en el Internet de las Cosas

La tecnología del internet de las cosas (IoT), junto con la tecnología de la cadena de bloques, logra que los dispositivos y máquinas sean capaces de generar y almacenar datos confiables y a lo largo de toda la cadena de suministro. Existen plataformas descentralizadas y de código abierto especializadas en el panorama de IoT. Se tienen los ejemplos de MIOTA, IOTX y IOTW, que coinciden en el objetivo de conectar dispositivos, sensores o máquinas mediante un registro distribuido de los datos.

MIOTA es el precursor de este concepto desde el año 2017. Utiliza una criptomoneda propia llamada IOTA. Este caso no es una cadena de bloques, sino que mantiene un registro mediante la tecnología DAG, ya explicada anteriormente. La red MIOTA tuvo una buena cantidad de contratiempos, además de no haber cumplido con éxito sus diferentes promesas a lo largo de los años (Geroni, 2021). No obstante, existe una DApp llamada Industry Marketplace, que es una plataforma independiente de proveedores e industrias que automatiza el comercio de bienes y servicios físicos y digitales.

Por su parte, IOTX es una nueva plataforma nacida el 2021 y su criptomoneda nativa es IoTeX. Tiene el objetivo de permitir que las personas y las máquinas interactúen con libre albedrío y confianza garantizada. Ofrecen una cámara de seguridad para el hogar, llamada Ucam, que aprovecha una clave privada de blockchain para asegurar los datos recopilados. También está disponible Pebble Tracker, un oráculo de hardware que recopila datos del mundo real mediante sensores. Cada año, se agregan miles de millones de dispositivos a la red IoT. IoTeX está en camino de convertirse en la plataforma de IoT líder en el mundo, con el objetivo de 50 mil millones de dispositivos interconectados que parecen estar cada vez más al alcance todos los días (*IoTeX Platform Overview*, 2021).

Por último, IOTW es un sistema unificador de Big Data creado en el 2020, es una cadena de bloques que utiliza el protocolo de prueba de asignación (PoA), hace que el acceso a datos de una sección transversal de dispositivos y aplicaciones de IoT sea simple y eficiente (Leung et al., 2020).

c) Aplicación en el área de salud

Un campo donde la tecnología blockchain tiene un enorme potencial es el de la atención médica, debido a la necesidad de un enfoque más centrado en el paciente y para conectar sistemas dispares y aumentar la precisión de los registros electrónicos de atención médica (Hölbl et al., 2018).

d) Aplicación en el gobierno y democracia

Últimamente existe una crisis mundial de legitimidad en muchos gobiernos alrededor del mundo. Una desconfianza de la población, que parte desde el sistema electoral y se generaliza en todas las instituciones del estado. Es por eso que BlockChain tiene una infinidad de aplicaciones en el ámbito gubernamental, como ser la ciudadanía digital, firmas digitales, votaciones electrónicas, registro de propiedad de activos, registro de la propiedad, actas notariales; eventos de vida (nacimientos, matrimonios, actas de defunción), conducta policial; resultados de casos judiciales; licencias de conducir y eventos de E-Democracia entre otras (Eyzaguirre, 2020).

Algunos gobiernos de países avanzados en tecnologías digitales como Estonia, la República de Corea y Singapur, están utilizando herramientas para el análisis de datos, plataformas digitales y tecnología BlockChain para la formulación de políticas. Pero el asunto es más complicado en nuestra región, donde el índice de Desarrollo de Gobierno Electrónico (EGDI por sus siglas en inglés) muestra una gran diferencia con relación a los países desarrollados. En la figura 10 se puede ver la comparación del nivel de EGDI en diferentes regiones del mundo y en tres diferentes años (Naciones Unidas, 2020).

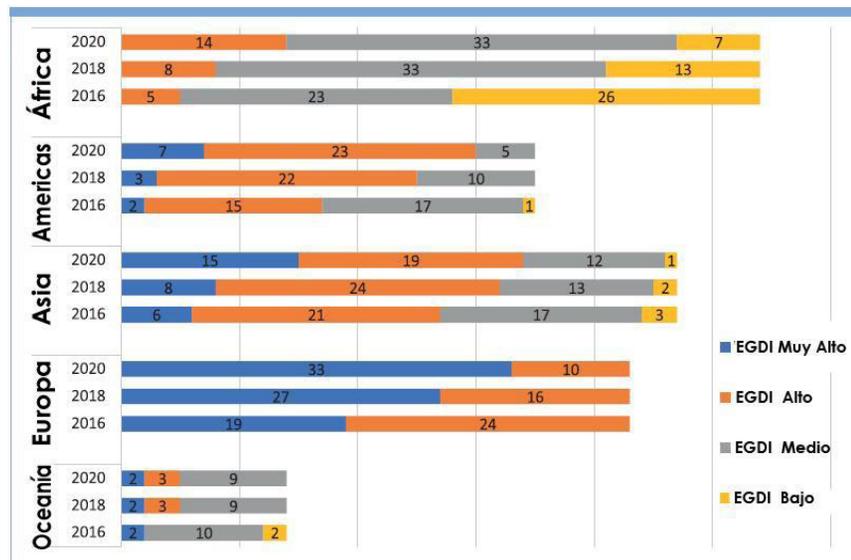


Figura 10. Distribución Regional de Países según el nivel de EGDI.
Fuente: 2016, 2018 and 2020 United Nations E-Government Surveys.

e) Aplicaciones en la educación

La Cadena de Bloques presenta tres grandes soluciones dentro de lo que es la educación: identidad digital auto soberana, la emisión de certificados y las firmas digitales.

La tecnología BlockChain hace realidad el concepto de identidad digital auto soberana, mediante el cual un usuario almacena su propia información de identificación personal en un teléfono inteligente, y solo la comparte con terceros según sea necesario. Por ejemplo, un estudiante puede identificarse como becario para recibir ciertos beneficios, sin la necesidad de compartir todos sus datos personales (Gonzalvo, 2019).

Con respecto a los certificados, existen cuatro usos posibles en la educación. La primera, es la emisión y validación de certificados de reconocimiento de logros académicos, desde un curso corto para desarrollar una habilidad, hasta el título de profesional una vez acabada una carrera. La segunda, es la acreditación de programas educativos, docentes y la misma institución educativa. Otra aplicación es la certificación para el seguimiento de la propiedad intelectual, las revistas de investigación certifican que una investigación es nueva, las empresas de datos certifican el número de veces que se ha utilizado una investigación y las oficinas de patentes certifican al primer inventor de una invención. Por último, se encuentra el uso en asuntos financieros, como ser recibos de pago, otorgación de becas o créditos a los estudiantes (European Commission. Joint Research Centre., 2017, p. 28).

Finalmente, todas las soluciones de certificación digital utilizan un sistema de firmas digitales para la emisión de certificados. De este modo, se consigue coadyuvar al proceso de transformación digital de una manera segura y confiable. Cualquier docente, director o autoridad en la institución, mediante su identidad digital puede firmar certificados, actas, permisos, formularios, contratos, etc. Para lograrlo, el firmante debe otorgar un número de identidad (una clave pública) y una contraseña vinculada (una clave privada) al momento de firmar, con esto se marca el documento con un sello único del firmante y el documento queda inalterable resguardado por la cadena de bloques. La contraseña o clave privada, puede estar asociada a un dispositivo de control biométrico, como lo puede ser un dispositivo móvil, con esto una persona puede firmar un documento desde cualquier lugar, de una manera segura, confiable y prácticamente imposible de alterar posteriormente (European Commission. Joint Research Centre., 2017, p. 44).

f) Aplicación en energía y cambio climático

El cambio climático es un problema que amenaza la sostenibilidad del planeta. Existen varios proyectos, denominados ClimaTech, que utilizan la cadena de bloques para dar confianza y seguridad en los datos de los Sistemas de Comercio de Emisiones (SCE). Entre las principales aplicaciones que desarrollaron aplicaciones BlockChain en Ethereum están: CarbonX, Wien Energie y Energy Web (Tapscott, 2022).

Los sistemas de comercio de emisiones son una herramienta de mercado creada para reducir emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Consiste en establecer un tope máximo sobre las emisiones que uno o más sectores pueden emitir cada año. Un crédito de carbono equivale al derecho de emitir una tonelada de CO₂. Una empresa puede comprar o vender sus créditos a otras compañías del sistema

(Borrás, 2018). Existen proyectos como Carbon Utility Token (CUT), AirCarbon, TarraPass o Moss que tokenizan los créditos de carbono para facilitar el comercio e incentivar a las empresas a reducir sus emisiones (Tapscott, 2022).

g) Aplicación de NFT y creatividades digitales

Es indudable que los Tokens No Fungibles o NFT por sus siglas en inglés, se popularizaron en los últimos años y su aplicación nació con el registro de propiedad en el criptoarte. En la figura 11 se encuentra un ejemplo de la fiebre de los NFTs con la venta de Cryptokittys, específicamente este es denominado como el Cryptokitty dragon, que en la actualidad es ofrecido por 600 ETH (más de un millón de dólares).

Actualmente se utilizan los NFT para registrar la propiedad de diferentes piezas artísticas, como pinturas digitales, música, videos, deportes, video juegos, coleccionables y como también piezas de arte físicas. Existen aplicaciones BlockChain para crear y comercializar con NFTs como: Opensea, Mintable, Nifty Gateway, Rarible, Mintbase, etc.

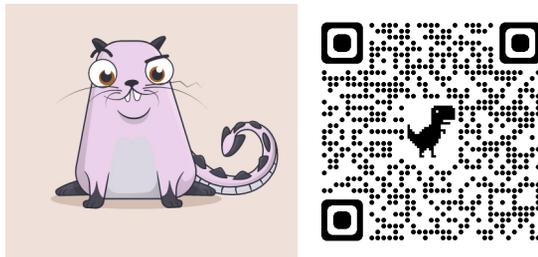


Figura 11. Cryptokitty dragon. Fuente: cryptokittys.co

h) Aplicación en Finanzas

Las Finanzas Descentralizadas (DeFi) permiten utilizar servicios financieros como préstamos, exchange descentralizadas (equiparables a casas de cambio), mercados predictivos, criptomonedas estables (stablecoins) e incluso acciones tokenizadas. Todo esto sin la necesidad de depender o confiar en entidades centralizadas (Borrega, 2014).

Las DeFi son las aplicaciones más numerosas y diversas dentro las tecnologías BlockChain. Su origen se remonta a la creación de Bitcoin y a finales del 2021 llegaron a tener una valorización de más de 96 000 millones de dólares, como se puede ver en la figura 12.



Figura 12. Valor total bloqueado en DeFi (2022).

Fuente: <https://defipulse.com/>

11. EMPRENDIMIENTOS BLOCKCHAIN EN BOLIVIA

En el año 2014, el gobierno promulgó la “Resolución de Directorio No 044/2014, Prohibición del uso de monedas y denominaciones monetarias no reguladas en el ámbito del Sistema de Pagos Nacional”, en la cual prohíbe el uso de monedas no emitidas o reguladas por estados, países o zonas económicas. No obstante, esta normativa no prohíbe la tecnología detrás de las criptomonedas, la Cadena de Bloques (BCB, 2014).

A pesar de la prohibición de utilizar criptomonedas, según Yuri Da Silva, entrevistado por el periódico Opinión (2022), comunica que “cada día crece más el número de bolivianos que hace sus inversiones en las exchange a nivel mundial. Una de las más utilizadas es la Binance, es la más conocida y famosa del mundo”.

En el mismo sentido, según datos recopilados por BoliviaTv (2022), en el artículo “bolivianos crean dos criptomonedas que funcionan en el mercado financiero del Blockchain”, señala que “entre junio del 2020 y julio del 2021 en Bolivia se tranzaron \$us 11 millones en criptos solo en plataformas persona a persona, es decir cinco veces más que en El Salvador, donde estas operaciones sí son permitidas”. En el mismo artículo también señalan que ya se crearon dos criptomonedas por desarrolladores bolivianos, Finka Token y Rolaz Gold Token, las cuales fueron registradas en Suiza y Estonia.

Barja, Chávez, Padilla y Montellano (2019), en su publicación “Ecosistema Del Emprendedor Paceño” señalan que el 11% de las empresas bolivianas de base tecnológica elaboran soluciones en la Cadena Bloque, aunque cabe señalar que el 90% de toda la producción de software en Bolivia es para clientes en el exterior, especialmente Estados Unidos.

Con respecto a los avances dentro de las universidades, Koller, Lucuy y Galaburda (2019) desarrollaron y validaron un sistema de votación electrónica en la cadena de bloques en la Universidad Católica de Cochabamba. También se encuentra la tesis con el mismo tema en la Universidad Politécnica del Alto, donde Churata (2020) desarrolla un sistema creando una BlockChain utilizando el lenguaje de programación Python y Flask como framework. Otro sistema desarrollado para una defensa de grado en la Universidad Católica es un gestor de historias clínicas, que podría asegurar la integridad de los datos del historial clínico de los pacientes con la aplicación de contratos inteligentes en la cadena de bloques (Jóvenes usan el “blockchain” para votación y salud, 2017).

Otra aplicación importante, en la que se está trabajando, es la emisión de certificados y títulos profesionales. La Universidad Mayor de San Andres en La Paz desarrolló un modelo Blockchain para el aseguramiento de la Información en Certificados de Notas, donde concluye que la plataforma Hyperleger Fabric es la indicada para realizar el registro de los metadatos del Certificado de Notas (Fernández, 2021).

12. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Sin lugar a duda las tecnologías BlockChain son el presente y futuro para crear una sociedad con más confianza y seguridad en sus datos. La necesidad de eliminar el intermediario de todas las transacciones donde tradicionalmente son requeridos, es cada vez más importante y al mismo tiempo más accesible gracias a BlockChain.

Queda claro que Ethereum es la plataforma con mayor cantidad de aplicaciones, soluciones de escalabilidad y capitalización de mercado. A pesar de la dificultad que

representa aprender un lenguaje de programación exclusivo, como lo es Solidity, desarrollar sobre Ethereum es una necesidad, más aún con el cambio de protocolo de consenso a PoS y el desarrollo de aplicaciones de capa 2.

Otra plataforma que merece mucho la atención es Hyperleger, especialmente sus módulos Hyperleger Fabric y Hyperledger Besu. El primero por sus grandes funcionalidades para la empresa y la gestión de la cadena de suministro. El segundo por su integración con Ethereum, logrando una herramienta híbrida de cadena pública autorizada de gran potencial.

Si bien desarrollar soluciones *BlockChain* es cada vez más económico, por el desarrollo de mejoras en la escalabilidad de diferentes plataformas, los costos actualmente siguen siendo significativos para ciertas soluciones. Es por esto que contar con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, mediante su red LACChain se convierten en una necesidad.

No se pueden olvidar plataformas de bajo costo como EOSIO, que a pesar de los posibles cuestionamientos acerca de su centralización, es una herramienta que se debe tomar en cuenta, sobre todo por las experiencias de desarrollos en EOSIO apoyados por LACChain.

A pesar de los cuestionamientos por el alto consumo de energía que involucra el algoritmo de consenso de prueba de trabajo, las perspectivas futuras de asumir nuevos protocolos y herramientas para la fragmentación de los datos para lograr mayor escalabilidad con menor consumo de energía, representan un panorama alentador para seguir profundizando sobre estas tecnologías y su aplicación.

REFERENCIAS

Alliance, Lacc. (2019, mayo 21). ¿Qué es y en qué consiste la alianza global LACChain? *Medium*. <https://lacchain.medium.com/qu%C3%A9-es-y-en-qu%C3%A9-consiste-la-alianza-global-lacchain-4d37f35d9746>

Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., Eneart, D., Ferris, C., Laventman, G., Manevich, Y., Muralidharan, S., Murthy, C., Nguyen, B., Sethi, M., Singh, G., Smith, K., Sorniotti, A., Stathakopoulou, C., Vukolić, M., ... Yellick, J. (2018). Hyperledger fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, 1-15. <https://doi.org/10.1145/3190508.3190538>

Antonopoulos, A. M., & Ph.D, G. W. (2018). *Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps*. O'Reilly Media, Inc.

Ballesteros, A., & García, V. (2021). *Análisis de los distintos tipos de cadenas de bloques*. 50.

Bolivianos crean dos criptomonedas que funcionan en el mercado financiero del Blockchain. (2022, agosto 11). boliviavt. <https://www.boliviavt.bo/principal/nota.php?noticia=50ea1f7a09f0ca27e8545c608df6879f>

Borrás, C. (2018, febrero 15). *Créditos de carbono—Cómo funciona y que es*. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/creditos-de-carbono-122.html>

- Borrega, R. (2014). Finanzas Descentralizadas. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3293>
- Buterin, V. (2017, febrero 6). *The Meaning of Decentralization*. Medium. <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>
- Buterin, V. (2021, abril 7). *Why sharding is great: Demystifying the technical properties*. <https://vitalik.ca/general/2021/04/07/sharding.html>
- Coinbase. (2022). *The Merge de Ethereum (ETH) finalmente llegó. ¿Ahora qué sigue?* <https://www.coinbase.com/es-LA/ethereum-merge>
- Daniels, A. (2020, enero 23). The rise of private permissionless blockchains—Part 1. *LTO Network*. <https://medium.com/ltonetwork/the-rise-of-private-permissionless-blockchains-part-1-4c39bea2e2be>
- EOSIO Developer Portal. (2022). <https://developers.eos.io/welcome/latest/manuals/index>
- etherscan.io. (s. f.). *Ethereum (ETH) Blockchain Explorer*. Ethereum (ETH) Blockchain Explorer. Recuperado 7 de julio de 2022, de <http://etherscan.io/>
- European Commission. Joint Research Centre. (2017). *Blockchain in education*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/60649>
- Eyzaguirre, L. B. (2020). *Gobierno Abierto. Transformaciones políticas con tecnología blockchain*. 31.
- Fernández, C. J. M. (2021). *Modelo Blockchain para el aseguramiento de la Información en Certificados de Notas SSA-UMSA (Sistema de Seguimiento Académico—UMSA)*. 6.
- Geroni, D. (2021, diciembre 23). IOT Blockchain Rumble For Dominance: IOTA vs IoTeX. *101 Blockchains*. <https://101blockchains.com/iota-vs-iotex/>
- Gonzalvo, F. (2019). *Gestión soberana de identidades descentralizadas con Blockchain*. 88.
- Hölbl, M., Kompara, M., Kamišalić, A., & Nemeč Zlatolas, L. (2018). A Systematic Review of the Use of Blockchain in Healthcare. *Symmetry*, 10(10), 470. <https://doi.org/10.3390/sym10100470>
- Hyperledger. (2022). *Una plataforma Blockchain para la empresa*. <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/>
- Hyperledger Foundation (Director). (2022, junio 29). *LACChain y LACNET: La propuesta de red público permitida para Latinoamérica*. <https://www.youtube.com/watch?v=x3mDLMxObvo>
- Introduction – LACNet. (2021). <https://lacnet.lacchain.net/documentation/>
- IoTeX Platform Overview. (2021). <https://onboard.iotex.io/platform/platform-overview>
- Jimenez, D. (2019, septiembre 23). *¿Cuántos algoritmos de consenso existen para las Blockchain?* Cointelegraph. <https://es.cointelegraph.com/news/cuantos-algoritmos-de-consenso-existen-para-las-blockchain>

- Jóvenes usan el “blockchain” para votación y salud. (2017, octubre 12). Los Tiempos. <https://www.lostiempos.com/tendencias/tecnologia/20171012/jovenes-usan-blockchain-votacion-salud>
- Leung, F., Chan, T., Mehrotra, K. rtik, & Chan, P. (2020). *IOTW Whitepaper*.
- Lucuy, G. A., Vargas, S. A. K., & Galaburda, Y. (2019). *Modelo y sistema de votación electrónica aplicando la tecnología de cadena de bloques*. 9, 21.
- Mohanty, D. (2021). *Blockchain From Concept to Execution: With 10 Blockchains, 3 DLTs, 182 MCQs, 70 Diagrams & Many Sample Codes (English Edition)*. BPB Publications.
- Montana, N. (2022, 03). *Blockchain layers (L0, L1, L2, L3) in a Diagram* | by Nicky Montana | Medium. Medium. <https://medium.com/@nick.5montana/blockchain-layers-l0-l1-l2-l3-in-a-diagram-569162398db>
- Naciones Unidas. (2020). *Digital government in the decade of action for sustainable development*. United Nations.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. 9.
- Nakamoto, S., & Champagne, P. C. (2014). *The book of Satoshi: The collected writings of Bitcoin creator Satoshi Nakamoto*.
- Opinión, B. (2022, marzo 13). *Identifican «gran cantidad» de bolivianos que usa criptomonedas*. Opinión Bolivia. <https://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/identifican-gran-cantidad-bolivianos-que-usa-criptomonedas/20220312200843858596.html>
- Proyectos de Tecnología Blockchain – Fundación Hyperledger. (s. f.). Recuperado 13 de julio de 2022, de <https://www.hyperledger.org/use/distributed-ledgers>
- ¿Qué son los oráculos blockchain? (2022). bit2me Academy. <https://academy.bit2me.com/que-es-oraculos-blockchain/>
- Serrano, O. L. (2019). *Blockchain: Aplicaciones en la industria alimentaria*. 6.
- Skh Saad, S. M., & Raja Mohd Radzi, R. Z. (2020). Comparative Review of the Blockchain Consensus Algorithm Between Proof of Stake (POS) and Delegated Proof of Stake (DPOS). *International Journal of Innovative Computing*, 10(2). <https://doi.org/10.11113/ijic.v10n2.272>
- Stake-Based Voting and Reward Mechanism White Paper*. (2021). <https://eos.io/wp-content/uploads/2021/04/Block.one-Stake-Based-Voting-and-Rewards-Mechanism-March-2021.pdf>
- Tapscott, D. (2022, julio 28). *EEA Ethereum 7th Anniversary Special*. <https://entethalliance.org/eea-ethereum-7th-anniversary-special/>
- Taskinsoy, J. (2019). *Blockchain: A Misunderstood Digital Revolution. Things You Need to Know about Blockchain*.

Artículo de revisión bibliográfica

5G: Características y aplicaciones en salud

5G: Characteristics and applications in health

Katerin Deysi Vásquez Benito ¹. Guillermo Franco Rengel Pilco ². Abigail Zarate Ramírez³

¹ Estudiante de Ingeniería Biomédica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. vbk2018762@est.univalle.edu

² Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. rpg2019168@est.univalle.edu

³ Estudiante de Ingeniería Telecomunicaciones. Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. zra2019014@est.univalle.edu

Citar como: Vasquez Benito, K. D., Rengel Pilco, G. F., & Zarate Ramirez, A. 5G características y aplicaciones en salud. Journal Boliviano de Ciencias, UNIVALLE, 18(53), 85-93. <https://doi.org/10.52428/20758944.v18i53.372>

Revisado: 24/11/2022

Aceptado: 06/12/2022

Publicado: 30/12/2022

Declaración: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.

Fuentes de financiamiento: No hubo fuentes de financiamiento.

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Creative Commons. Licencia de atribución (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Derechos de autor 2022
Katerin Deysi Vásquez Benito,
Guillermo Franco Rengel Pilco,
Abigail Zarate Ramirez.



RESUMEN

El 5G es una tecnología llamada a revolucionar el mundo. Después de años de desarrollo, el 5G comenzó a eclosionar comercialmente, y coincidiendo con este despegue su presencia se ha multiplicado. Se consideran dos factores importantes: la saturación de su antecesor 4G y la demanda de los consumidores por mayor velocidad en el servicio, generando problemas de latencia y la caída repetida el servicio con un retraso de tiempo en las descargas y rendimiento general.

Para resolver este problema, la tecnología 5G aprovecha varias innovaciones diferentes que funcionan en conjunto: las ondas de radio de mayor frecuencia, la conformación de haces y la segmentación de la red. Asimismo, aumentara la velocidad de descarga hasta diez veces más rápida que la de la tecnología 4G y reducir la latencia a tan solo un milisegundo. Por otro lado, se pueden destinar segmentos de las redes 5G a los servicios más importantes, lo cual implica un aumento de la confiabilidad.

Palabras clave: 5G, tecnología, salud, campo electromagnético, velocidad.

ABSTRACT

5G is a technology called to revolutionize the world. After years of development, 5G began to blossom commercially, and coinciding with this takeoff, its presence has multiplied. Two important factors are considered: the saturation of its 4G predecessor and the demand of consumers for greater speed in the service, generating latency problems and the repeated drop of the service with a time delay in downloads and general performance.

To solve this problem, 5G technology takes advantage of several different innovations that work together: higher frequency radio waves, beamforming, and network slicing. Likewise, it will increase download speeds up to ten times

faster than 4G technology and reduce latency to just one millisecond. On the other hand, segments of 5G networks can be allocated to the most important services, which implies an increase in reliability.

Keywords: 5G, technology, health, electromagnetic field, speed.

1. INTRODUCCIÓN

El término 5G se refiere a la quinta generación de redes móviles, que representa mejoras en el ancho de banda y latencia, lo que permitirá prestar mejores servicios comparado con las versiones anteriores de redes con las cuales no se podía. El diseño de la tecnología de 5G busca ampliar las redes de telefonía celular 4G LTE o llegar a reemplazarla por completo. (RedHat, 2021). Quedó atrás la antigua red de 1G, aquellos primeros teléfonos móviles que solo permitían hablar. La tecnología 2G introduce los SMS, y poco a poco nuestro ‘smartphone’ se convierte en una herramienta de comunicación cada vez más amplia. Primero se incorpora la conexión a Internet (3G) y después llega la banda ancha (4G), lo que trajo consigo la reproducción de vídeos en tiempo real (streaming) o la realidad aumentada (Flores, 2022).

Existen diversas características que definen a cada generación, como la tecnología que se utiliza, el tiempo que llega a transcurrir entre el envío y la recepción de una señal que sería la latencia y la velocidad de transmisión de los datos que van a través de una red hacia los dispositivos conectados. Las redes 5G prometen velocidades de transmisión de datos que puede llegar hasta 10 Gbps, esto también lo afirma Pighin (2020) y Benites (2021) que indica que es el aspecto más conocido y espectacular de la tecnología 5G (velocidad), superando el límite del Gigabit por segundo (Gbps). Además, Pighin (2020), afirma que la tecnología 5G es conocida como “la conexión del futuro”.

5G es una evolución de los estándares de telecomunicaciones. Para un mejor rendimiento, se extenderá a frecuencias mucho más altas alcanzando a 3,5 GHz y unas pocas decenas de GHz. Las frecuencias más altas son nuevas para las redes celulares, pero son usadas comúnmente en otras aplicaciones, como la radio inalámbrica, escáneres punto a punto y corporales para control de seguridad.

En estas frecuencias más altas, las redes 5G usaran más estaciones base y objetos conectados, también utilizara antenas de formación de haces para enfocar de manera más eficiente la señal en el dispositivo utilizado, en lugar de difundir la señal en una dirección amplia como ocurre con las antenas de las estaciones base actuales. Cuando se utilizan varios haces de antena 5G, la exposición puede variar aún más según la ubicación y el uso del usuario. Dado que la tecnología 5G se encuentra actualmente en las primeras etapas de implementación, la magnitud de los cambios en la exposición al campo de RF aún está bajo investigación (Q&A, 2020).

En cuanto a la incidencia del 5G en la salud. La telemedicina evoluciona con la telecirugía, donde un médico puede operar a un paciente a distancia debido a la propiedad de 5G donde se tienen latencias muy bajas y a su vez alto desempeño que permite obtener una interacción sin retardos de ningún tipo, con ellos se tiene una alta confiabilidad en el manejo de los equipos médicos remotos sobre procedimientos médicos quirúrgicos, como ser el uso del bisturí y el cerrado de heridas.

Huawei y China Unicom Fujian Branch, realizaron la primera tele cirugía 5G del mundo. A través de la transmisión de señal en tiempo real de la tecnología 5G, la cirugía fue realizada en el Instituto de Investigación del Sudeste de China Unicom para una lobectomía hepática remota de animales en el Hospital Hepatobiliar Mengchao, que está a 50 km de distancia del instituto. (Huawei, 2019)

La finalidad del presente artículo es poner en conocimiento las características de la nueva tecnología que es el 5G, los beneficios y cambios que puede generar en la actualidad, y cómo según investigaciones se podría llegar a alterar ciertos comportamientos en la salud de la población.

2. DESARROLLO

2.1 Escenarios de uso de 5G

De acuerdo con Huawei (2019), 5G no solo cubrirá los servicios tradicionales para suscripción móvil, sino también aplicaciones para varias industrias como sector de energía, automotriz y otros, sus casos de uso pueden asignarse a uno o más de los siguientes escenarios:

- Banda ancha móvil mejorada (**eMBB**), este aborda casos centrados en el ser humano para acceder a multimedia servicio de contenido y datos, abarca un uso y despliegue de escenarios con requisitos bastante divergentes. Ejemplo, para cubrir un área amplia la Calidad de Experiencia (**QoE**) del cliente con tasas de datos confiables y moderadas sobre el área de cobertura está en foco.
- Comunicaciones masivas de tipo máquina (**mMTC**), caracterizado por la conectividad inalámbrica de miles de millones de dispositivos con capacidad de red con prioridad de cobertura en área amplia e interiores de profunda penetración transmitiendo datos no sensibles al retraso de bajas velocidades, por ejemplo, redes de sensores para la agricultura o edificios y ciudades inteligentes.
- Comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (**URLLC**), tiene requisitos sobre la latencia y disponibilidad. Dentro los ejemplos que se pueden mencionar se tiene, la automatización inalámbrica de instalaciones de producción y monitoreo de infraestructura críticas en una red inteligente, robótica remota, cirugía medica remota y seguridad de tráfico vehicular.

2.2 Arquitectura requerida de red 5G

Las tres capas principales para la arquitectura de red son: habilitación de servicio, All-IT infraestructura y radio hiperconectada (Huawei, 2019):

- La capa de habilitación del servicio: Comprende tanto los requisitos del servicio como las subyacentes capacidades del sistema. Reúne recursos necesarios del sistema que ayuda a la creación de diferentes servicios bajo demanda.
- La infraestructura All-IT: Es la capa que recopila los recursos del sistema físico en lógica (virtualizada) y proporciona lo necesario para la habilitación del servicio capa. La infraestructura All-IT está compuesta de hardware

básico y software abierto, obteniendo un avance en la virtualización de funciones de red (NFV) y las redes definidas por software (SDN).

- La radio hiperconectada: Es la capa compuesta de múltiples tecnologías de acceso por radio, que proporciona conectividad, la misma que cubre los requerimientos de ancho de banda, latencia y densidad de 5G para All-IT.

2.3 Red 5G a todas partes

En el diseño de una red transmisión, se debe tener en cuenta la capacidad requerida, la disponibilidad del enlace y la longitud del enlace simultáneamente. Además de los obstáculos, como edificios y árboles, las altas frecuencias son también susceptibles a la humedad y la lluvia, por lo que el rango ya limitado de por sí se tiene que tomar en cuenta las condiciones climatológicas adversas.

De acuerdo con Pacora (2021) existen varias diferencias en lo que respecta a las generaciones pasadas de conectividad móvil, de manera que a forma de practicidad se engloba dichas diferencias e innovaciones en tres ámbitos generales:

- **Ancho de banda**, con respecto a esta característica, se observa una velocidad de red superior a las tecnologías actuales, se planea que esta velocidad en términos de comparación llegará a velocidades de hasta cien veces mayor, cuando esta tecnología concluya su fase de desarrollo final.
- **Latencia**, se refiere a que el tiempo de respuesta de envío y recepción de datos reducirá hasta encontrarnos con paquetes transportados en tiempos que estén por debajo de un milisegundo.
- **Consumo energético**, se encuentra una mejora bastante importante para el medio actual, según las planificaciones, se tiene previsto que los periféricos que lleguen a usar esta tecnología no necesiten conexión directa a la red eléctrica y que estos puedan trabajar en su rango de vida útil por muchos años.

Esta infraestructura hará que el IoT sea escalable con 20.800 millones de cosas (máquinas, edificios, automóviles, electrodomésticos) que estén conectados a la red cuando 5G se estrene globalmente para el año 2025 (Contento, 2022). Con esta nueva red se podrá descargar películas en menos de tres segundos, los coches podrán ser capaces de detectar y navegar automáticamente salvando los obstáculos del camino; los médicos podrán realizar procedimientos quirúrgicos utilizando robots de forma remota, las ciudades podrán recopilar información en tiempo real, también permitirá que los dispositivos se conecten entre sí con una comunicación eficiente.

En dispositivos para IoT la velocidad y rendimiento superior de la red 5G desbloquearan características solicitadas como ser los comandos de voz, reconocimiento facial procesamiento de imágenes, video en tiempo real. En los primeros meses del 2019 fueron tres los modelos que llegaron con disponibilidad de uso de la red 5G (el Samsung Galaxy S10 5G, el LG V50 ThinQ 5G y el Xiaomi Mi MIX 3 5G), pero con el tiempo se sumaron más alternativas. Durante los años 2020 y 2021, los distintos fabricantes de tecnología móvil sacaron a la venta un aluvión de terminales 5G, de manera que a estas alturas todas las marcas cuentan ya con varias propuestas de este tipo (Sacristan, 2022).

Los primeros casos de uso de 5G IoT se pueden observar en (Contento, 2022):

- Redes empresariales e industriales de alta velocidad.
- Equipo en las instalaciones del cliente (CPE).
- Informática móvil.
- Difusión de vídeo.
- Acceso inalámbrico fijo (FWA).

Con una gran dependencia de IoT móvil a gran escala hoy en día, en los próximos 20 años, el futuro de 5G se verá completamente diferente. Se podrá ver implementaciones de vehículos autónomos a gran escala y automatizaciones de servicios públicos como la gestión de residuos de basura. De igual manera la producción de energía a través de redes inteligentes y monitoreo ambiental inteligente para reducir los gases de efecto invernadero y la contaminación. Los agricultores podrán monitorear y rastrear cultivos, ganado y maquinaria a través de drones y redes de sensores súper densas.

La sociedad será más eficiente, las ciudades inteligentes estarán a la altura de su nombre, y los usuarios pueden esperar flujos personalizados de información a su gusto.

2.4 Los desafíos vitales

De acuerdo con ITU (2018) tiene importancia la forma en que una normativa y una política gubernamental podrían ayudar a los operadores inalámbricos a implementar dispositivos que incrementan las señales en antenas de teléfonos móviles (células pequeñas) y enlaces de conexión al núcleo de red por fibra, así como a utilizar el espectro. Actualmente existen regulaciones vigentes con respecto a los niveles de radiación permitidos en los dispositivos tecnológicos y equipos de comunicación, no así normativas referentes específicamente a la tecnología 5G. En algunos países, la reglamentación y la política definida por el gobierno ha retrasado el desarrollo, imponiendo obligaciones administrativas y financieras excesivas a los operadores y bloqueando la inversión. Estas cuestiones se detallan a continuación:

- Procesos de obtención de permisos y construcción locales.
- Largos procesos de contratación y adquisición.
- Tasas y cargas elevadas para acceder al mobiliario urbano.
- Exposición de las personas a los campos electromagnéticos (EMF) de radiofrecuencias.
- Acceso y derechos codificados.

Dentro del proceso de recaudación de permisos y construcciones locales se encuentra la instalación de antenas nuevas que se encuentran regidas dentro las normas necesarias para responder a las inquietudes que se presenten en la población. Un factor relevante en la inquietud pública es la visibilidad de las antenas, especialmente, en los techos. En este caso, pueden utilizarse antenas multibanda para reducir el impacto visual, manteniendo el mismo número de antenas en los techos. Sin alguna estrategia de reorganización del espectro o la tecnología, el 5G aumentará la exposición localizada resultante de las tecnologías inalámbricas, al menos durante el período de transición. Es importante incluir a las autoridades nacionales en una fase temprana, para definir una estrategia de implantación y activación de 5G, así como la mejor metodología de aplicación y evaluación del cumplimiento de los límites nacionales. Esta tarea se considera compleja en

países cuyos límites de exposición son más restrictivos que los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en virtud de las directrices de exposición a los EMF de radiofrecuencias de la ICNIRP (ITU, 2018).

Respecto al acceso y derechos codificados se cuenta con actualizaciones de seguridad 5G, dentro las más importantes se tiene la autenticación primaria agnóstica, establecimiento y gestión de claves criptográficas, seguridad de arquitectura basada en servicios, seguridad en los servicios prestados a través de 5G con autenticación secundaria, seguridad para movilidad, seguridad entre redes y privacidad.

Sus características más relevantes desde el punto de vista de seguridad son dos (Benites, 2021):

- Mayor capacidad en el número de dispositivos que pueden conectarse a la red, lo que permitirá, el despliegue masivo de IoT y dispositivos personales para llevar puesto.
- Una latencia muy baja, menor de 10 milisegundos. Lo cual permitirá nuevos servicios interactivos que eran impensables con las antiguas redes 4G y 3G.

2.5 Organización Mundial de la Salud, riesgos potenciales para la salud

Según varias investigaciones que se realizaron por parte de Q&A (2020), se logró encontrar que no existe ningún efecto adverso con relación a la salud después de la exposición a tecnologías inalámbricas. Los distintos niveles de exposición a la radiofrecuencia de las nuevas tecnologías nos brindan como resultado un incremento casi nulo de la temperatura corporal, el calentamiento de los tejidos es el principal mecanismo de interacción entre los campos de radiofrecuencia y el cuerpo humano.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), expuso en el 2006 que el único efecto de los campos de Radio Frecuencia en la salud que se ha indicado en los estudios correspondientes referente al incremento de la temperatura corporal en más de 1 °C por la exposición a una intensidad de campo elevada que solo se produce en ciertas instalaciones industriales, como ser los calentadores de radio frecuencia.

A manera que aumenta la frecuencia, existe menos ingreso en los tejidos del cuerpo y la absorción de energía se limita más a la superficie del cuerpo humano, tal como ser la piel y los ojos. La condición es que la exposición se mantenga bajo las directrices internacionales, no se ven consecuencias para la salud pública.

En los años desde el 2006, se han publicado artículos y estudios en los que se estudiaba la posible relación que guardan entre los transmisores de RF y el cáncer. Dichos estudios no muestran pruebas de que la exposición a RF de los transmisores aumente el riesgo de contraer cáncer. De la misma forma, los estudios con tiempo de permanencia en animales tampoco muestran un aumento de riesgo de cáncer, incluso refiriendo a niveles mayores a los usados en bases y estaciones de redes inalámbricas.

Dentro de los posibles efectos que podría causar esta tecnología se han hecho reducidos estudios en la salud humana de la exposición a RF de las estaciones de base. Esto se debe a la dificultad para visualizar los efectos que se pueden causar

que las estaciones emiten señales muy bajas en comparación a las de alta potencia. La mayoría de las pruebas se enfocan en las señales que se emiten hacia los teléfonos móviles. En los estudios que se han realizado tanto a los humanos como a los animales, no se ha encontrado efectos adversos en las ondas cerebrales, las funciones intelectuales o el comportamiento. Es decir, no hay pruebas que existan alteraciones del sueño o de la función cardiovascular.

La Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, 1998) y el Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE, 2005) han detallado directrices internacionales sobre los límites de explicación para brindar protección en contra de los bártulos reconocidos de los campos de RF. Los límites de explicación difieren de una división a otro y, en algunos casos, resultan innecesariamente restrictivos. La UIT (2018) recomienda que, si en la vida existen límites aplicables a los campos electromagnéticos (EMF) de radiofrecuencias o de otra forma, si estos en la vida abarcan las frecuencias de interés, se utilicen los límites establecidos por la Comisión Internacional sobre Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP).

Por su parte, el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud de España, una sociedad periódica financiada por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación elaboró un desfigurado relacionado con las nuevas redes de comunicaciones, indicando que se espera que los niveles de declaración previsible no cambien de manera significativa, en todo caso, esto indica que no se podrán preceder los límites máximos que garantizan la vitalidad pública respecto a emisiones electromagnéticas. El CCARS continuará realizando un comparativo de los resultados de la formación que se vayan publicando sobre los niveles reales de declaración de la población con las redes 5G que estén operativas en todo el territorio español y del beneficio de los dispositivos que utilicen esa tecnología.

A través del Proyecto Internacional CEM, la OMS ha realizado un software para supervisar las publicaciones científicas sobre los campos electromagnéticos, estimar los avíos en la vitalidad de la información a frecuencias de 0 a 300 GHz, aplaudir asesoramiento sobre los peligros de los campos electromagnéticos y fijar las medidas de mitigación más idóneas. Basándose en amplios estudios internacionales, el proyecto ha promovido investigaciones para subsanar la privación de conocimientos. En respuesta a ello, en los 10 últimos años, diversos gobiernos e institutos de prospección han expuesto más de US\$ 250 millones al examen de los campos electromagnéticos (OMS, 2006).

CONCLUSIONES

Se conoce como “5G” a la evolución de las redes de telefonía móvil que supera las limitaciones que tiene la actual red 4G, tanto en capacidad de transmisión y ancho de banda y de conexión más eficiente de todos los elementos del llamado Internet de las Cosas.

- Las características y mejoras que ofrece la tecnología 5G será beneficiosa para toda la población en general ya que entramos a la era digital donde el medio de comunicación masivo se desplaza a través de las redes.
- 5G también cubrirá aplicaciones para varias industrias como sector de energía, automotriz y otros.

- Debido al acercamiento potencial que se tiene con respecto a la industria 4.0, donde mediante la interconectividad que nos proporciona Internet, tendremos un control global y remoto de los sistemas, la tecnología y el avance que nos brinda el 5G será base primordial para hacer más fluido el funcionamiento de esta industria y de esta manera optimizar la visión que se tiene con respecto a esta nueva revolución industrial.
- La tecnología 5G tiene una implementación inminente, de alguna forma llegará y revolucionará la manera de conectividad que se conoce hoy en día.
- Las conclusiones relacionadas con la salud se extraen de estudios realizados en todo el espectro radioeléctrico, pero, hasta ahora, solo se han realizado pocos estudios en las frecuencias que utilizará 5G.
- Teniendo en cuenta los bajos niveles de exposición y los resultados de investigaciones reunidos hasta el momento, no hay ninguna prueba científica convincente de que las débiles señales de RF procedentes de las estaciones de base y de las redes inalámbricas tengan efectos adversos en la salud.

REFERENCIAS

Benites. (26 de mayo de 2021). EL 5G Y LA INDUSTRIA GAMING. Comunidad HUAWEI Enterprise. Recuperado de: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/el-5g-y-la-industria-gaming/thread/742911-100763>?

CCARS. (s.f). 5G y salud. Recuperado de: Microsoft Word - 20203001_Doc5g_ccars_FINAL.doc

Contento, Marco. (06 de octubre de 2022). 5G e IoT: tecnología emergente con infinitos casos de uso. Telit. Recuperado de: <https://www.telit.com/blog/state-of-5g-and-iot-current-future-applications/>

Flores J. (11 de mayo de 2020). ¿Es peligroso el 5G para la salud? National Geographic. Recuperado de: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/es-peligroso-5g-para-salud_15514

Flores J. (02 de mayo de 2022). Que es el 5G y como nos cambiara la vida. National Geographic. Recuperado de: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/la-arquitectura-de-red-5g/thread/565991-100763>

Huawei. (09 de septiembre de 2019). La arquitectura de red 5G. Recuperado de: La arquitectura de red 5G - Comunidad Huawei Enterprise

Huawei. (03 de septiembre de 2019). Requisitos para diferentes escenarios de uso de 5G. Recuperado de: Requisitos para diferentes escenarios de uso de 5G - Comunidad Huawei Enterprise

Huawei. (11 de enero de 2019) Huawei realizó exitosamente la primera prueba de telecirugía 5G del mundo. Recuperado de: <https://www.huawei.com/mx/news/mx/2019/enero/telecirugia-5g>

OMS. (mayo de 2006). Los campos electromagnéticos y la salud pública: Estaciones de base y tecnologías inalámbricas. Recuperado de: <https://www.diba.cat/documents/471041/0/OMS+2006+Nota+304+antenas+telefonias.pdf/bd73df31-fb9b-42dc-8aba-bcc4bc5f869b#:~:text=Iniciativas%20de%20>

[la%20OMS&text=Aunque%20nada%20hace%20pensar%20que,puede%20repercutir%20en%20la%20salud.](#)

OMS. (27 de febrero de 2020). Radiación: redes móviles 5G y salud. World Health Organization. Recuperado de: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-5g-mobile-networks-and-health>

Q&A. (27 de febrero de 2020). Radiation: 5G mobile networks and health. Recuperado de: Radiación: redes móviles 5G y salud (who.int)

Pacora. (25 de mayo de 2021). 5G COMO CAMBIARA NUESTRAS VIDAS. Comunidad HUAWEI Enterprise. Recuperado de: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/5g-como-cambiar%C3%A1-nuestras-vidas/thread/742423-100763?>

Pighin V. (27 de mayo de 2020). Nuevos desafíos de las redes 5G en Europa. Grupo de estudio sobre la Unión Europea. Recuperado de: <http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/18411/Pighin%20%C2%A8Nuevos%20Desafios%20de%20las%20redes%205G%20en%20Europa%C2%A8.pdf?sequence=2>

RedHat. (22 de marzo de 2021). ¿Qué significa el 5G? RedHat. Recuperado de: <https://www.redhat.com/es/topics/5g-networks/what-is-5g>

UIT. (2018). Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-S.pdf

Sacristan, Laura. (27 de octubre de 2022). Mejores móviles 5G: cual comprar y modelos recomendados. Xataka móvil. Recuperado de: <https://www.xatakamovil.com/guias-de-compra/mejores-moviles-5g-2020>

Microbots y nanobots para el tratamiento de tumores cancerígenos

Microbots and nanobots for the treatment of cancer tumors

Camila Clavijo Cruz Luz¹. Camila Fernandez Rodriguez².

¹. Estudiante de Ingeniería Biomédica. Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. ccl2019714@est.univalle.edu

². Estudiante de Ingeniería Biomédica. Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. frc2019374@est.univalle.edu

RESUMEN

El uso de nano y microbots como tratamiento para tumores cancerígenos, tuvo avances acelerados durante los últimos años, debido a esto se consideró pertinente realizar esta revisión documental. Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva del avance de su aplicación actual, su funcionamiento y las ventajas y desventajas de su utilización. Varios modelos nano y microbots están inspirados en bacterias y otros organismos vivos, por sus propiedades en el tratamiento del cáncer. Por su parte, las nanomedicinas tienen ventajas en comparación con la administración convencional de fármacos, la combinación de estos conceptos da como resultado, un tratamiento de tumores cancerígenos más efectivo. Actualmente los desafíos a los que se enfrentan los nano y microbots son: sobrevivir, por ejemplo, al sistema inmunológico; localizar al tumor y ser ubicados por operadores humanos, realizar la operación específica de liberación de fármacos y ser eliminados del cuerpo una vez completada su misión. En la evolución de los micro y nanobots, cada vez existen modelos más eficientes y esto puede traducirse en grandes beneficios, siendo el principal la reducción de efectos secundarios, debido al sistema de liberación precisa del fármaco.

Palabras clave: Microbots, Nanobots, Cáncer, Administración de fármacos.

ABSTRACT

The use of nano and microbots as a treatment for cancerous tumors had accelerated advances during the last few years, for this reason it was considered pertinent to carry out this documentary review. An exhaustive search was carried out on the progress of their current application, their operation and the advantages and disadvantages of their use. Several nano and microbots models are inspired by bacteria and other living organisms for their properties in cancer treatment. Nanomedicines have advantages over conventional drug delivery, and the combination of these concepts results in more effective treatment of cancerous tumors. Currently, the challenges faced by nano and microbots are: surviving, for example, the immune system; locating the tumor and being located by human operators; performing the specific operation of drug release; and being eliminated from the body once their mission is completed. In the evolution of micro- and nanobots, there are increasingly more efficient models and this can translate into great benefits, the main one being the reduction of side effects, due to the precise drug release system.

Citar como: Clavijo Cruz, L. C., & Fernandez Rodriguez, C. Microbots y nanobots para el tratamiento de tumores cancerígenos. Journal Boliviano de Ciencias, UNIVALLE, 18(52), 94-113. <https://doi.org/10.52428/20758944.v18i53.372>

Revisado: 24/11/2022

Aceptado: 06/12/2022

Publicado: 30/12/2022

Declaración: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.

Fuentes de financiamiento:
No hubo fuentes de financiamiento.

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Creative Commons. Licencia de atribución (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Derechos de autor 2022 Luz Camila Clavijo Cruz, Camila Fernandez Rodriguez



Keywords: Microbots, Nanobots, Cancer, Drug delivery.

1. INTRODUCCIÓN

Un rasgo distintivo del cáncer es la rápida multiplicación de células anormales, estas pueden extenderse más allá de sus límites habituales e invadir partes adyacentes del cuerpo o propagarse a otros órganos, a este proceso se le denomina metástasis, y suele ser la principal causa de muerte por cáncer (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021). El cáncer es la principal causa de muerte a nivel mundial. La Organización Mundial de la Salud (OMS) atribuyó casi 10 millones de muertes al cáncer en 2020 (Ferlay et al., 2020). En las próximas dos décadas, se espera que las nuevas incidencias de cáncer en el mundo aumenten de 14 millones en 2012 a hasta 22 millones (Wicki et al., 2015). La mortalidad por cáncer puede ser reducida si los casos son detectados y tratados a tiempo, actualmente los esfuerzos están enfocados principalmente en la prevención de este.

El diagnóstico y tratamiento de tumores cancerígenos es importante para el área de la salud, por consiguiente, para la ingeniería biomédica. Desde el descubrimiento de estos se ha dado una lucha constante para entender, descubrir y curar esta enfermedad. “La quimioterapia sistémica sigue siendo el pilar de muchos tratamientos contra el cáncer. Debido a su naturaleza no dirigida y los efectos secundarios graves que puede causar, se han desarrollado numerosos enfoques de nanomedicina para superar estos problemas. Sin embargo, la administración dirigida de terapias sigue siendo un desafío. La ingeniería de microbots está recibiendo cada vez más atención respecto a esto” (Schmidt et al., 2020).

La idea de micro y nanorobótica fue contemplada por Richard Feynman en su charla de 1959 “There’s Plenty of Room at the Bottom” [Hay mucho espacio en el fondo] donde sugirió la posibilidad de maniobrar las cosas átomo por átomo para ensamblar una máquina a nanoescala de la forma deseada. Igualmente, la película viaje fantástico de 1966 inspiró una idea científica mediante su trama sobre la reducción de un submarino a una escala microscópica y la aventura en el torrente sanguíneo humano para tratar una vida (Ng et al., 2019). Los nanorobots diseñados que pueden vagar por el interior del cuerpo para detectar y tratar tumores, han sido una visión durante el último medio siglo y la premisa de usar bacterias para combatir el cáncer es incluso más antigua. Esta idea se está convirtiendo en realidad combinando bacterias con enfoques clásicos en robótica e ingeniería (Schuerle & Danino, 2020).

El concepto de uso de bacterias como terapia contra el cáncer fue estudiado hace diez décadas por W. Colley en Estados Unidos, luego de enterarse que un paciente que padecía cáncer de cuello se recuperó al infectarse con erisipela, se descubrió que la célula bacteriana podía penetrar más profundamente en el tejido tumoral en la región hipóxica y necrótica, también proporcionó información importante sobre los estados cancerosos y la eficacia terapéutica por detección externa (Akhter & Nomani, 2019).

Durante más de dos décadas, los avances en la comprensión de la biología del cáncer se han traducido lentamente en mejoras significativas en su atención, en el último tiempo la principal característica estudiada de los nano y microbots es su potencial de modular tanto la cinética como la dinámica de los fármacos, mejorando así su índice terapéutico. Debido al aumento exponencial de información

sobre el tema, en estos últimos años se considera pertinente realizar la presente recopilación documental. A partir de este trabajo se sintetizará y dará a conocer información acerca de la aplicación de los micro y nanobots para tratamiento de tumores cancerígenos, el avance de su aplicación actual, las ventajas y desventajas que trae consigo el uso de estos mismos. Otro motivo de importancia acerca de la realización de esta investigación se debe a que el tema es indispensable para el progreso de los tratamientos convencionales actuales en la terapia del cáncer.

2. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación fue realizado en base a una revisión bibliográfica exhaustiva, dado que el objetivo fue recopilar y sintetizar la información reciente sobre el avance del uso de microbots y nanobots para el tratamiento de tumores cancerígenos. A fin de realizar una revisión sistemática acerca del tema, en este artículo se ha analizado la información disponible, para transmitir e informar sobre los aspectos más importantes de la investigación en este tema actualmente.

Estrategia de búsqueda y selección

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda en Google Scholar y PubMed, el sistema de búsqueda quedó regido por palabras clave como: microbots, nanobots y cáncer; encontrando artículos de revistas científicas en inglés. Se tomó información de un periodo determinado desde 2004 hasta 2021, tratando siempre de que la información sea la más actual posible, dado que el tema se encuentra en constante desarrollo y expansión durante estos últimos años. Todos los artículos relevantes para la elaboración de esta revisión bibliográfica se seleccionaron mediante el descarte, a partir de la lectura del título y resumen de los mismos.

La información encontrada inicialmente fue dividida en cuatro grupos de interés, empezando por la administración de fármacos inspirados en las bacterias, funcionamiento de los microbots, ventajas del uso de microbots y el estado actual de los microbots facilitando el análisis de la información posteriormente. Además de apoyar a la hora de contestar las siguientes interrogantes formuladas a un inicio de la investigación:

- ¿Cómo utilizar microbots y nanobots en el tratamiento y diagnóstico de tumores?
- ¿Qué avances se tienen actualmente el uso de microbots y nanobots para terapias dirigidas hacia el tratamiento de tumores?
- ¿Qué objetivos se quieren alcanzar actualmente con el uso de microbots y nanobots en el diagnóstico de tumores?
- ¿Qué ventajas trae consigo el uso de microbots y nanobots para el tratamiento y diagnóstico de tumores?

En busca de una mejor comprensión de los artículos escogidos en inglés, se realizó un análisis estructural parte por parte, con el fin de seleccionar la información a distribuir en los cuatro grupos de interés y así brindar conocimiento sencillo de comprender para el lector; además de difundir la idea original que los diferentes autores buscaban plasmar en sus artículos. Uno de los principales artículos utilizados a la hora de la descripción del funcionamiento de los microbots debido a su información actual fue "*Engineering microbots for targeted cancer therapies*

from a medical perspective" [Ingeniería de microbots para terapias dirigidas contra el cáncer desde una perspectiva médica] de Schmidt et al., 2020, debido a que daba la posibilidad de facilitar la comprensión a los futuros lectores del artículo a través de gráficos, por lo mismo se adaptaron algunas de sus figuras.

En el componente de las ventajas como desventajas los artículos utilizados fueron de los autores Paciotti et al., 2004, Ferrari, 2005, Champion et al., 2007, Aillon et al., 2009, Cunha et al., 2013, Ferrando-Climent et al., 2014, Mostaghaci et al., 2017, Shi, et al., 2017, Sonntag et al., 2019 y Wang & Zhou, 2021, principalmente para poder contrastar tanta información actual con información de años anteriores.

Se seleccionaron figuras en relación con su relevancia a la hora de complementar y clarificar de manera visual la información presentada. En la adaptación de diferentes figuras se utilizó el programa Paint adecuando las palabras de inglés al español, tomando en cuenta la importancia de que la traducción fuera consecuente con el significado que el escritor original deseaba transmitir. A la hora de adaptar información de tablas se seleccionó la información relacionada al grupo de interés, para posteriormente ordenar y sintetizar los aspectos relevantes de las tablas presentadas en los artículos revisados. Esto se realizó con el objetivo de presentar la información de una manera ordenada, para facilitar la lectura y comprensión por parte del lector.

3. DESARROLLO

Los microbots tienen dimensiones en el rango de los micrómetros. Este rango de tamaño introduce nuevos retos notables en la construcción, el accionamiento y el suministro de energía, que no se ven en la macrorobótica convencional (Diller & Sitti, 2011).

Según Palagi & Fischer (2018), como los microbots deben ser capaces de moverse (o nadar) a través de lo microscópico, la mayoría de los modelos se diseñan basándose en la naturaleza, las estrategias de natación utilizadas por los microorganismos son la fuente de inspiración para crear microbots artificiales mediante un enfoque biomimético.

Administración de fármacos inspirados en las bacterias

La naturaleza, innovadora por necesidad, a través de la adecuación de sus mecanismos y capacidades, ha ayudado a los humanos a comprender los fenómenos y principios relacionados al diseño de nuevos dispositivos. A través de la evolución, la naturaleza ha experimentado con los principios de la física, química, ingeniería mecánica, ciencia de los materiales, movilidad, control, sensores y muchos otros campos que reconocemos como ciencia e ingeniería, este proceso ha implicado también el escalamiento desde lo nano, como en el caso de las bacterias; hasta lo macro, incluyendo nuestra escala de vida (Bar-Cohen, 2005).

Los componentes biológicos han sido un enfoque muy atractivo para las aplicaciones biomédicas de micromotores en los últimos años, existen razones obvias para esto, como la biocompatibilidad, el funcionamiento en condiciones fisiológicas, el movimiento eficiente en la microescala, la interacción con la materia viva y otras interacciones biológicas y farmacéuticas específicas (Sonntag

et al., 2019). Inspirados en las bacterias, actualmente se busca lograr una manera más eficiente de administración de fármacos en tumores cancerígenos para lograr mejores resultados que los obtenidos por terapias convencionales.

Según Min et al. (2010), Liu et al. (2014) y Felgner et al. (2016) el papel de las bacterias como agentes anticancerígenos fue reconocido hace más de cien años por el médico estadounidense William Coley, quien observó a uno de sus pacientes que padecía cáncer de cuello, recuperándose tras infectarse con erisipela. Las células bacterianas poseen características únicas que las hacen ideales para la terapia del cáncer. Pueden penetrar profundamente en regiones tumorales remotas y colonizar regiones hipóxicas y necróticas.

Por otro lado, acorde con Schmidt et al. (2020), una ventaja sorprendente de las nanomedicinas es su mayor propensión para dirigirse pasivamente a los tejidos tumorales y acumularse en ellos a través del efecto de retención y permeabilidad mejorada (EPR, por sus siglas en inglés "*enhanced permeability and retention*"). Este fenómeno se basa en el mal drenaje linfático de los tumores sólidos, combinado con vasos tumorales permeables que contienen poros más grandes en comparación con los vasos normales.

La unión de ambos conceptos da lugar a la idea de administrar fármacos dirigidos a tumores cancerígenos de manera más eficiente, a comparación de terapias contra el cáncer convencionales, con el uso de bacterias como portadoras de nanomedicinas, los cuáles actualmente son llamados microbots y nanobots.

De acuerdo con las investigaciones realizadas por Akin et al. (2007) y Sonntag et al. (2019) las bacterias portadoras de carga (microbots) son una estrategia eficiente para suministrar una carga terapéutica específica. Sus múltiples apéndices móviles permiten el transporte de la carga adherida y las capacidades de taxis de las bacterias ofrecen muchos mecanismos de guía y control. Hasta ahora, la quimiotaxis, aerotaxis, magnetotaxis y la pH-taxis han sido exploradas, dejando mucha libertad para explorar en el futuro el control por termotaxis, fototaxis, trigmotaxis y galvanotaxis, por nombrar algunas.

Según Sonntag et al. (2019), las bacterias se han empleado para la terapia del cáncer como unidades estructurales, de carga o de propulsión. En los primeros trabajos sobre micromotores biohíbridos bacterianos, las partículas se unían a las bacterias móviles por adsorción (Behkam & Sitti, 2008). También se fabricaron bacteriabots fijando micro o nanopartículas mediante la conjugación de biotina y estreptavidina (Akin et al., 2007). Posteriormente, se propuso una terapia anticancerosa con bacterias magnetotácticas decoradas con nanoliposomas que contenían fármacos (Felfoul et al., 2016). Estas bacterias móviles fueron dirigidas a las regiones hipóxicas de los sitios tumorales por aerotaxis. En este caso, las bacterias funcionan como componentes magnéticos, unidades de propulsión y unidades de carga.

En la Tabla N°1 se tiene una visión general de algunos ejemplos representativos de las bacterias que se han empleado para la administración de fármacos.

Tabla N°1. Micromotores con bacterias como portadoras de nanomedicinas para la terapia del cáncer.

Portador	Fármaco	Objetivo	Propulsión	Guía	Modo de liberación	Velocidad de propulsión [µm/s]
bacteria magnetotáctica MC-1	SN-38	células de cáncer de colon (HCT116)	flagelos bacterianos	magnética aerotaxis	endocitosis de liposomas	
bacteria <i>Salmonella typhimurium</i>	paclitaxel	células de cáncer de mama 4Z T1	flagelos bacterianos	magnética	endocitosis de liposomas	3
bacteria <i>Escherichia coli</i>	doxorubicina	células de cáncer de mama	flagelos bacterianos	magnética quimiotaxis	difusión dependiente del pH	10
Bacteriobot bioadhesivo <i>Escherichia coli</i>	Polimetilmetacrilato	células de carcinoma de vejiga humano	flagelos bacterianos	-	adhesión a superficies celulares que expresan manosa	

Fuente: Adaptada a partir de Sonntag et al., 2019.

Funcionamiento de los microbots

La administración de fármacos dirigida tiene como objetivo administrar un agente terapéutico o un fármaco, donde se necesita medicación, sin afectar otras partes sanas del cuerpo humano (Chen et al., 2015).

Wang & Zhou (2021), plantean una misión para los nanobots en la terapia dirigida contra el cáncer de “sobrevivir, ubicar, operar y terminar”, donde primero sobreviven en el ambiente hostil del cuerpo, como segundo paso ubican su objetivo, además de ser localizado por operadores humanos, posteriormente se lleva a cabo operaciones específicas y finalmente terminar después de que se complete la misión (Figura 1).

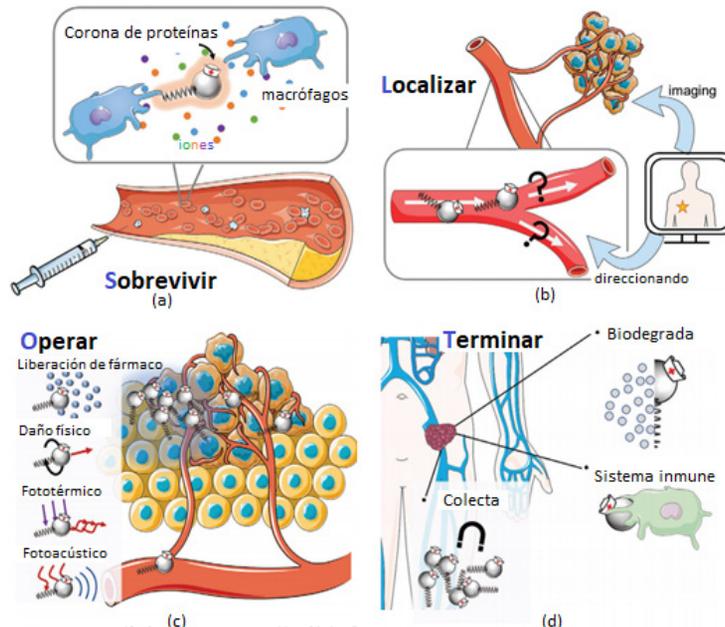


Figura 1. Misión de los nanobots en la terapia dirigida contra el cáncer. Fuente: Traducido de Wang & Zhou, 2021

Los tumores pueden aparecer en casi cualquier lugar del cuerpo, incluidos los lugares de difícil acceso situados en las profundidades del cuerpo. Se puede distinguir la focalización de largo y corto alcance. La focalización a largo plazo es particularmente importante para los medicamentos que se aplican sistémicamente, cuando necesitan llegar a los tumores a través del torrente sanguíneo (Schmidt et al., 2020).

Luego, se debe elegir si el nanomotor ingresa al tracto digestivo o el torrente sanguíneo. Esta decisión ciertamente depende del tipo de misión del nanomotor y afectará profundamente los tipos de desafíos que siguen. Hay tres desafíos principales que los investigadores intentan superar en el diseño de nanomáquinas artificiales: (1) autopropulsión eficiente, demostrada por la descomposición catalítica de H_2O_2 por Pt, catalizadores, níquel y enzima catalasa contenida en nanomotores; (2) control de movimiento, logrado mediante la incorporación de segmentos de Ni o Fe y posteriormente utilizando campos magnéticos externos u otros medios para orientar los nanomotores y; (3) el desarrollo de tareas útiles como el transporte de carga como micropartículas y nanoplacas en un fluido. (Sanchez et al., 2011)

Por otro lado los nanomotores también tienen desafíos al internarse al cuerpo humano, uno de los retos que se presentan al ingreso de los nanomotores al vaso sanguíneo, es la amplia variedad de proteínas en el plasma sanguíneo que cubren fácilmente la superficie de un nanomotor, esto desactiva la mayoría de los nanomotores impulsados por reacciones químicas, sumado a esto la alta fuerza iónica del fluido corporal; como la sangre y los fluidos intersticiales, plantea otro desafío crítico para los nanomotores. Igualmente se enfrentan al sistema inmunológico hostil que elimina activamente nanopartículas y micropartículas de varios tamaños y materiales (Wang & Zhou, 2021).

Según Wang & Zhou (2021) para aumentar las posibilidades de supervivencia de los nanomotores, deben estar fabricados con materiales biocompatibles y en tamaños y formas adecuados. Solo 1% de las nanopartículas administradas alcanzan tumores sólidos. Estos inconvenientes limitan significativamente la eficacia clínica de los nanoportadores actuales, lo que explica el bajo número de nanomedicinas que se han aprobado como tratamientos contra el cáncer hasta la fecha.

Los microbots que combaten el cáncer se pueden dividir según Schmidt et al. (2020) en tres tipos principales: (1) microbots celulares (activados biológicamente) que constan exclusivamente de componentes hechos por células y están diseñados con precisión para exhibir efectos anticancerígenos, (2) microbots sintéticos (activados química y/o físicamente) que contienen solo materiales, estructuras y componentes artificiales, y (3) microbots híbridos, que consisten en componentes artificiales y celulares que pueden ser propulsados por medios biológicos o artificiales (Figura 2).

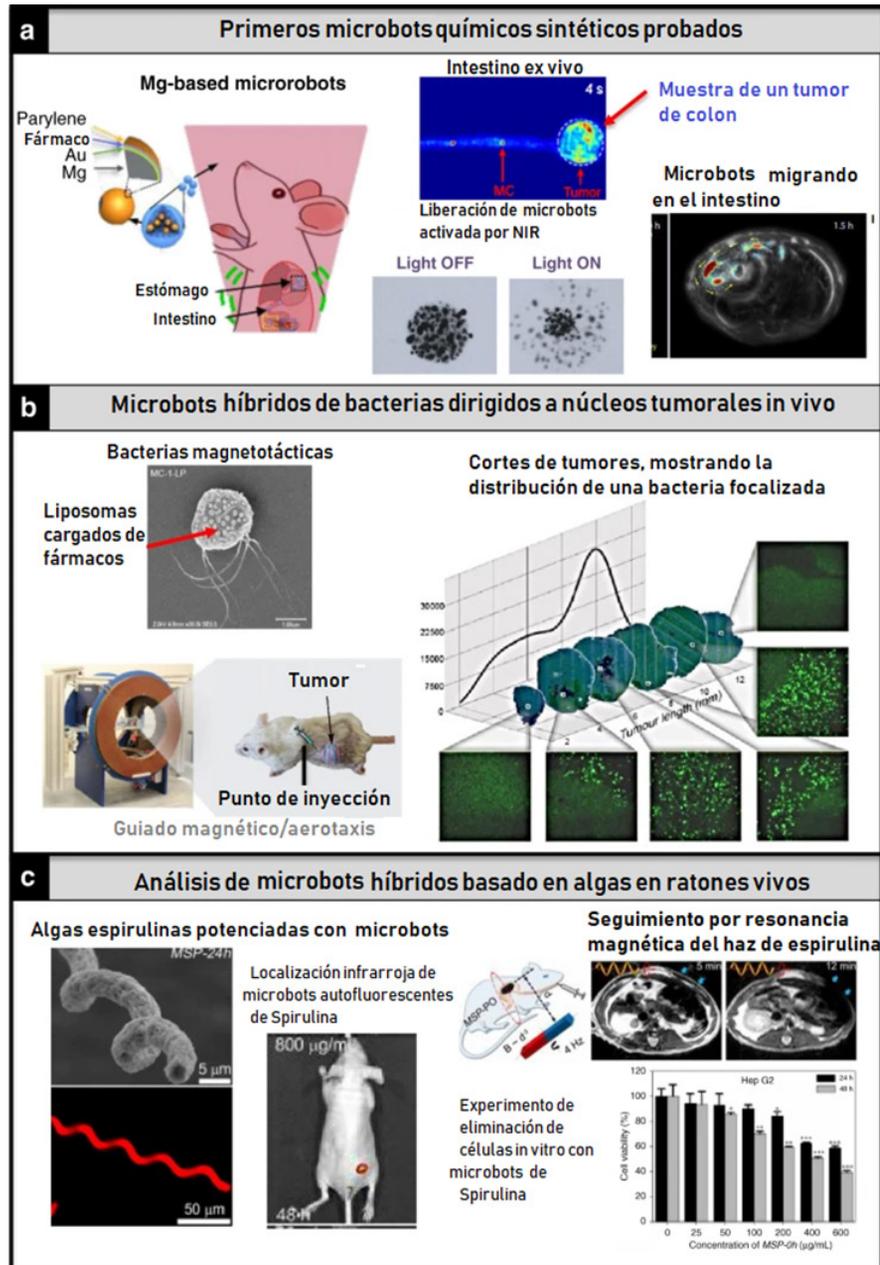


Figura 2. Ejemplo de microbots sintéticos e híbridos. Fuente: Traducido de Schmidt *et al.*, 2020.

Desde la perspectiva de Krishna et al. (2019) los nanobots se pueden clasificar según el tipo de material y técnica de construcción en: (1) nanobots de ADN (Figura 3a), donde los científicos relacionan la adenina, timina, guanina y citosina para fabricar nanomateriales autoensamblables con usos extensivos, (2) nanobots

biohíbridos que implican la fusión de moléculas biológicas y ondas generadas electrónicamente que permiten un movimiento rápido del bot a varias ubicaciones según los requisitos, y (3) nanobots diamondoides (Figura 3b) mecosintetizados, que ayuda a construir estructuras precisas en las micro y nanoescalas gracias al proceso de manipulación de los enlaces covalentes usando fuerzas mecánicas.

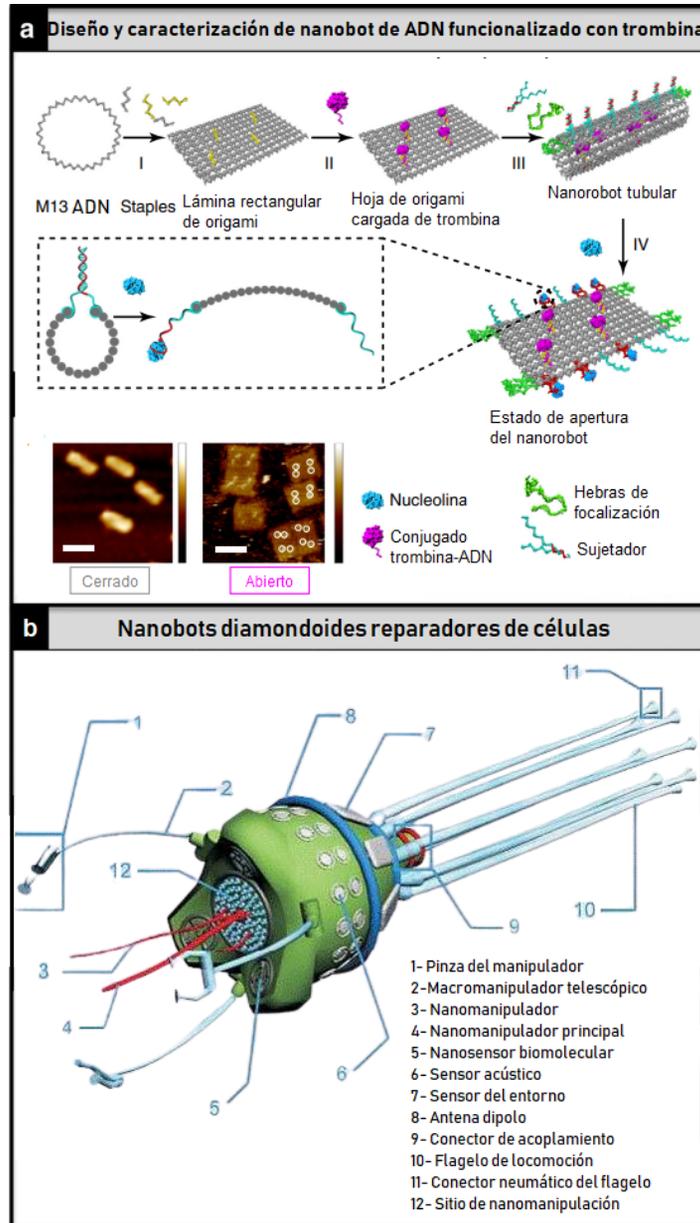


Figura 3. a) Nanobots de ADN b) Nanobots diamondoides. Fuente: a) Traducido de Kumar et al., 2018. b) Li et al., 2018.

Dutta & Sailapu (2020) con base en la fuente de la fuerza impulsora esencial para el movimiento de los nanobots, los clasifican en dos grupos: (1) aquellos por el uso de combustible químico/bioquímico local (propulsión a base de combustible) y (2) a través de estímulos externos como campo magnético, campo eléctrico, luz o ultrasonidos (propulsión sin combustible).

La propulsión de microbots sintéticos se puede lograr por medios físicos o químicos: la actuación física puede estar mediada por la variación de campos físicos externos, por ejemplo, mediante el uso de campos magnéticos, ultrasonido o luz, así como termogradientes inducidos por la luz; mientras la actuación química se basa en reacciones catalíticas que convierten la energía del combustible químico en un movimiento mecánico independiente, estos últimos suelen incluir un catalizador en su composición que reacciona con los combustibles del medio circundante (Figura 4) (Schmidt et al., 2020). Sin embargo, Medina-Sánchez & Schmidt (2017) además de las dos formas propuestas anteriormente añaden una tercera, la propulsión de manera biológica o biohíbrida que combina un agente biológico como una bacteria, un músculo o un espermatozoide con una parte sintética.

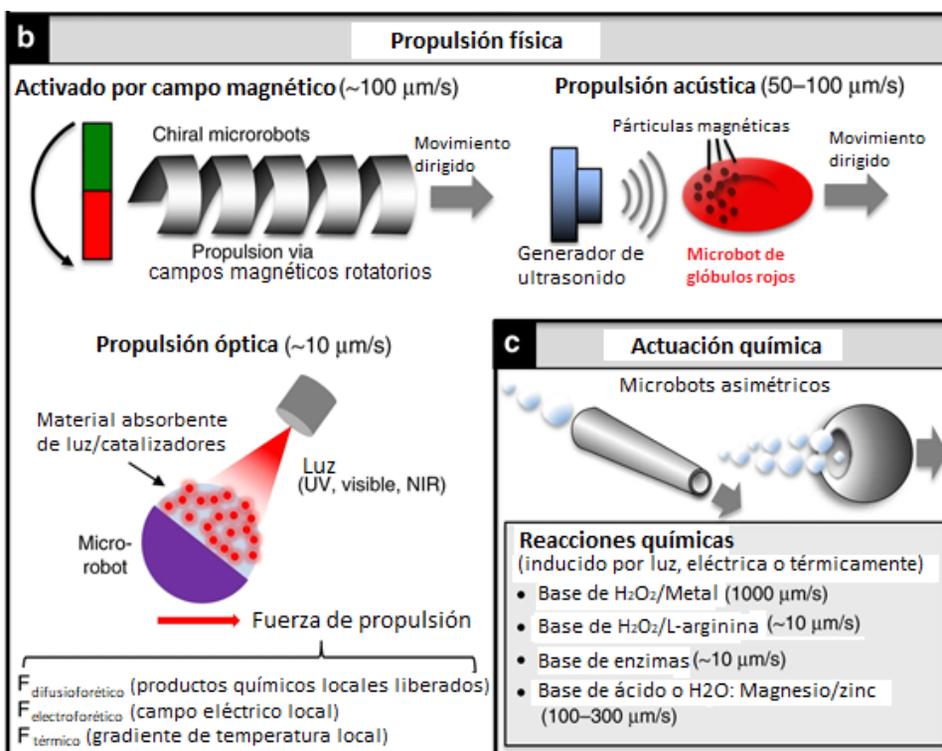


Figura 4. Mecanismos de actuación de los microbots. Fuente: Traducido de Schmidt et al., 2020.

Hasta esta etapa, el concepto se extiende a las características de los nanorobots en cuanto a su potencia y navegación, su capacidad de biodetección y su equipamiento computacionalmente para manejar un cambio de bits de información. Tienen diseñada una cámara mecánica para contener los medicamentos necesarios o una combinación de medicamentos, que puede ser desbloqueada para liberar su carga en el momento y destino correctos de manera controlada (Dolev et al., 2019). Se

han explorado los medios químicos, bioquímicos, enzimáticos y físicos para este objetivo. La liberación química se ha logrado mediante la integración de materiales sensibles al pH (Tu et al., 2017a), redox (Tu et al., 2017b) u ósmosis en microbots.

Los mecanismos de liberación bioquímica se pueden aprovechar al integrar materiales biodegradables en microbots, como los poliésteres alifáticos susceptibles a la degradación hidrolítica. Los mecanismos de liberación física basados en magnetoelectricidad, ultrasonido, el calentamiento por campos magnéticos, la irradiación con luz infrarroja cercana y los efectos mecánicos representan enfoques alternativos. Los fármacos también se pueden cargar en materiales sensibles al calor de microbots, como gelatina u otros polímeros. Por último, los mecanismos biológicos de liberación de fármacos, como la fusión célula-célula entre células cancerosas y microbots basados en células, representan estrategias atractivas que deben explorarse más a fondo (Schmidt et al., 2020).

Para Dolev et al. (2019) y Sonntag et al. (2019) un gran desafío también será el desarrollo de una forma eficiente de eliminar los micromotores del cuerpo una vez completada su tarea, una forma para eliminarlos sería de la misma manera en que se introdujeron, utilizando su autopropulsión, otra opción que se discute a menudo, pero que parece poco práctica para la sangre, es filtrar los nanomotores del torrente sanguíneo. Siendo realistas, el costo y la invasividad de las acciones de filtrado inhiben principalmente su uso.

La estrategia de recuperación probablemente más prometedora que se ha presentado hasta ahora se basa en la acumulación magnética de los nanobots. Una última alternativa a la recuperación de nano y micromotores es la fabricación de micromotores totalmente biocompatibles. Sin embargo, es probable que pequeñas cantidades de material inorgánico dentro del cuerpo humano no sean dañinas y puedan ser absorbidas (Dolev et al., 2019; Sonntag et al., 2019). La degradación o reabsorción de materiales también sería el método menos invasivo, idealmente, con productos no tóxicos mientras se mantiene la funcionalidad completa y no causaría efectos secundarios (Chen et al., 2015; Dolev et al., 2019; Sonntag et al., 2019).

Ventajas y desventajas del uso de microbots

Las ventajas asociadas a un nano y microbot en aplicaciones oncológicas son:

- Entrega dirigida de fármacos de una manera específica de tejido, célula u órgano y mejora de las propiedades farmacéuticas (por ejemplo, estabilidad, solubilidad, vida media circulante y acumulación de tumores) de moléculas terapéuticas (Shi, et al., 2017).
- Reducción de la concentración de fármacos gracias a las posibilidades de focalización específica, lo que se traduce en la reducción de toxicidad, por lo tanto, existen menos efectos secundarios (Shi, et al., 2017; Sonntag et al., 2019).
- Una cantidad reducida de productos farmacéuticos activos conduce consecuentemente a una cantidad reducida de productos de desecho. Por lo general, los productos farmacéuticos son metabolizados o simplemente excretados por el cuerpo después de su uso, lo que conduce a altas concentraciones en las aguas residuales, que a menudo son difíciles de procesar en las plantas de tratamiento de aguas. Esto no es sólo el caso de los medicamentos contra el cáncer, sino que debido a la alta citotoxicidad de estos compuestos son especialmente peligrosos para los organismos vivos en los sistemas acuáticos (Ferrando-Climent et al., 2014).

- La gran variabilidad entre los nano y micromotores permite la incorporación de diferentes características proporcionadas por la comunidad de suministro de fármacos, como la protección del fármaco mediante encapsulación (Champion et al., 2007; Cunha et al., 2013).
- Coadministración de múltiples fármacos para mejorar la eficacia terapéutica y superar la resistencia a los fármacos, proporcionando un control más preciso de la exposición espaciotemporal de cada fármaco y la administración de la proporción de fármaco adecuada al objetivo de interés (Ferrari, 2005).
- Visualización de los sitios de administración del fármaco mediante la combinación de agentes terapéuticos con modalidades de imagen y/o retroalimentación en tiempo real sobre la en vivo eficacia de un agente terapéutico (Ferrari, 2005).
- Dispositivos médicos miniaturizados para el diagnóstico del cáncer, la detección de fármacos y la entrega (Bagalkot et al., 2007).

El uso de nano y microbots es uno de los enfoques más prometedores y avanzados en el desarrollo del tratamiento del cáncer. Existe un amplio registro de publicaciones que sugieren que las terapias asociadas a los nano y microbots son eficaces en el tratamiento del cáncer, tanto in vitro como in vivo. Sin embargo, pocos tratamientos oncológicos basados en nano y microtransportadores han entrado con éxito en ensayos clínicos. Por lo tanto, a continuación, se abordarán los retos y desventajas que plantea el uso de estos.

De acuerdo con Fubini et al. (2010) y Huwyler et al. (2013) en general, las principales características fisicoquímicas de los nano y microtransportadores son estructura, composición, tamaño, propiedades superficiales, porosidad, carga y comportamiento de agregación. Las desventajas más relevantes asociadas a estas características pueden ser:

- Dificultad de caracterización de los productos de nanomedicina antes y después de su administración (Wicki et al., 2015).
- Pequeñas variaciones en cuanto a la heterogeneidad de las partículas con respecto al tamaño, la forma o la masa y en las características fisicoquímicas de estas, pueden provocar cambios drásticos en propiedades secundarias como la biocompatibilidad, la toxicidad y los resultados in vivo (Paciotti et al., 2004; Aillon et al., 2009).

Otras desventajas del uso de los micro y nanobots, están relacionadas a la interacción de los mismos al momento de ingresar al cuerpo humano, las principales asociadas a esta interacción pueden ser:

- La variedad de proteínas en el plasma sanguíneo, cubren fácilmente la superficie de un micro o nanomotor a su ingreso, esto logra desactivar la mayoría de los que son propulsados químicamente (Wang & Zhou, 2021).
- La alta fuerza iónica tanto de la sangre, los fluidos intersticiales, y otras sustancias como el moco intestinal entre otros dificulta la motilidad de los micro y nanobots en su camino hacia las células cancerígenas (Mostaghaci et al., 2017; Wang & Zhou, 2021).
- Los nano y microbots enfrentan al sistema inmunológico hostil al ingresar al cuerpo, por lo que en varios de los casos este elimina activamente nanopartículas y micropartículas de varios tamaños y materiales (Shi, et al., 2017; Wang & Zhou, 2021).

Estado actual de la investigación sobre nano y microbots

El número de publicaciones anuales en investigación nanomédica ha incrementado de manera exponencial desde el año 2000 (Figura 5a). Dentro de este ámbito la administración de fármacos es una de las áreas más importantes, dado que representa el 49% de las publicaciones en los últimos 20 años, por otro lado, la investigación sobre administración de fármacos y farmacoterapias representa el 76% de toda la investigación nanomédica (Figura 5b). El país líder en investigación nanomédica continúa siendo Estados Unidos, con el 26% de las publicaciones científicas en este campo durante los últimos 20 años, mientras que China lo sigue de cerca con el 22%, Europa aporta más del 16% de las publicaciones y Japón e India contribuyen con el 5% y el 6%, respectivamente (Figura 5c) (Zhang et al, 2020).

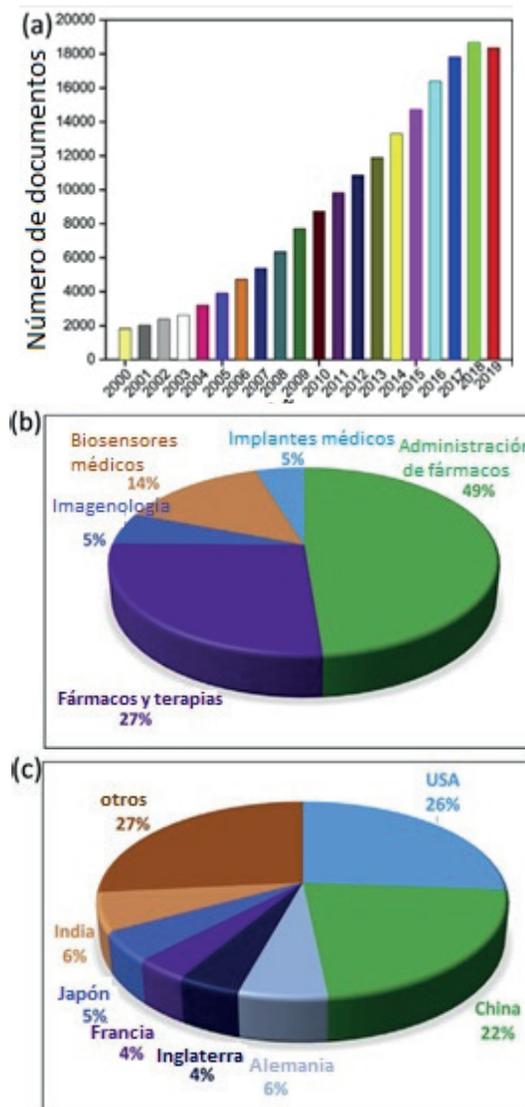


Figura 5. Análisis estadístico de las publicaciones en nanomedicina. Fuente: Traducido de Zhang et al., 2020.

Un gran número de nanoterapéuticos han recibido aprobación para su comercialización o en ensayos clínicos. Algunos fármacos comunes como el aclitaxel y la doxorrubicina, siguen planteando problemas complejos de toxicidad cuando se utilizan en combinación con nanoterapias y nanoportadores novedosos. Los ligandos y recubrimientos de nanoportadores pueden tener efectos significativos en toxicología (Zhang et al., 2020). La Tabla N° 2 muestra las nanoterapias mediante nanobots que se encuentran en uso clínico o en ensayos clínicos.

El número de nanoterapias en proceso de desarrollo de fármacos está creciendo rápidamente, sin embargo, la baja eficiencia de la traducción clínica de nanoterapias indica que siguen existiendo problemas que deben abordarse. La mayoría de las alternativas de nanoterapia enfrentan los mismos desafíos: seguridad, desafíos biológicos, costo, regulación y falta de financiamiento. A pesar del arsenal de sistemas dirigidos a nanopartículas actualmente en desarrollo preclínico o en ensayos clínicos, es indiscutible que los liposomas son dominantes en el mercado de nanomedicinas. (Hua et al., 2018; Zhang et al., 2020)

Tabla N°2. Nanomedicina para tratamiento de cáncer en estado clínico

Modalidad de terapia	Nombre genérico y/ o denominación social	Plataforma de nanotecnología	Ingredientes farmacéuticos activos	Tipo de cáncer	Estado	
Hipertermia	NanoTherm	Nanopartícula de óxido de hierro	No aplicable	Glioblastoma	Aprobado en Europa	
	AuroLase	Núcleo de silice con nanoconcha de oro	No aplicable	Cáncer de cabeza y cuello, y tumores pulmonares primarios y metastásicos	Estudio piloto	
Radioterapia	NBXR3	Nanopartícula de óxido de hafnio	No aplicable	Sarcoma de tejido blando en adultos	Fase II/III	
Terapia de genes o ARNi	SGT53	Liposoma dirigido-Tfr	Plásmido codificador humano salvaje-tipo de ADN p53	Glioblastoma recurrente y cáncer de páncreas metastásico	Fase II	
	PNR2258	Liposoma	Oligonucleótido de ADN contra BCL-2	Linfoma no Hodgkin en recaída o refractario y linfoma difuso de células B grandes	Fase II	
	SNS01-T	Nanopartícula de polietilimina	ARNip contra eIF5A y plásmido que expresa eISA-K50R	Neoplasias malignas de células B en recaída o refractarias	Fase I/II	
	Atu027	Liposoma	ARNip contra la proteína quinasa N3	Cáncer de páncreas avanzado o metastásico		
	TKM-080301	Nanopartícula lipídica	siRNA contra PLK1	Tumores neuroendocrinos, carcinoma adrenocortical y carcinoma hepatocelular avanzado	Fase I/II	
	DCR-MYC	Nanopartícula lipídica	Sustrato Dicer siRNA contra MYC	Carcinoma Hepatocelular	Fase I/II	
	MRX34	Liposoma	miR-34 mimic	Cáncer primario de hígado, tumores sólidos y neoplasias hematológicas.	Fase I	
	CALAA-01	Nanopartícula polimérica dirigida-Tfr	ARNip contra ribonucleótido reductasa M	Tumores sólidos	Fase I	
	ALN-VSP02	Nanopartícula lipídica	ARNip contra KSP y VEGFA	Tumores sólidos	Fase I	
	siRNA-EPHA2-DOPC	Liposoma	ARNip contra EPHA2	Cáncer avanzado	Fase I	
	pbi-shRNA STMN1 LP	Nanopartícula lipídica	ARNhc contra estatmina 1	Cáncer avanzado y / o metastásico	Fase I	
	Inmunoterapia	Tecemotide	Liposoma	antígeno MUC1	Cáncer de pulmón de células no pequeñas	Fase III
		Dher2 + AS15	Liposoma	Recombinación del antígeno HER2 y el adyuvante AS15	Cáncer de mama metastásico	Fase I/II
DPX-0907		Liposoma	Antígenos asociados a múltiples tumores	Cáncer de ovario, mama y próstata en estadio avanzado HLA-A2 positivo	Fase I	
Lipovaxin-MM		Liposoma	Antígenos de melanoma	Antígenos malignos	Fase I	
JVRS-100		Nanopartícula lipídica	ADN plasmídico	Leucemia recidivante o refractaria	Fase I	
	CYT-6091	Nanopartícula de oro coloidal	TNF	Tumor sólido avanzado	Fase I	

Fuente: Adaptada a partir de Shi et al., 2017

4. CONCLUSIONES

Los microbots tienen un enfoque biomimético, dado que existen varios modelos inspirados tanto en bacterias como en otros organismos vivos. Desde el descubrimiento de las propiedades de las bacterias en el tratamiento del cáncer, se ha trabajado en poder explotar estas mismas para obtener terapias más eficientes, sumado a estos esfuerzos, se descubre que las nanomedicinas tienen una ventaja por encima de otro tipo de administración de fármacos, gracias al efecto de permeabilidad mejorada, por lo que unir estos dos descubrimientos puede ayudar a administrar fármacos dirigidos a tumores cancerígenos de una manera eficiente.

Existen varias investigaciones en relación con el transporte y control de los micro y nanobots dentro del cuerpo humano, sin embargo, aún existen opciones que quedan sin explorar, para poder ser analizadas en estudios próximos. Se logra observar la evolución de los micro y nanobots en cuanto a las investigaciones realizadas por diferentes autores, concluyendo así que cada vez existen modelos más eficientes para la administración de fármacos.

Actualmente los principales objetivos de los micro y nanobots en la terapia dirigida contra el cáncer son sobrevivir, por ejemplo, al torrente sanguíneo, sistema inmunológico, los fluidos intersticiales. Otro objetivo es el de localizar al tumor y ser ubicados por operadores humanos, en diferentes nano y microbots esto puede observarse mediante sus diferentes formas propulsión. Como siguiente objetivo se tiene el realizar operaciones específicas, en este caso el principal interés de este artículo fue la liberación de fármacos para terapia oncológica, para el cual existen diferentes métodos de liberación entre los cuales se pueden resaltar: liberación química, bioquímica, física y biológica, siendo estas las que han sido exploradas con éxito hasta el momento. Finalmente, como cuarto objetivo se busca que los micro y nanobots sean eliminados del cuerpo una vez completada su misión, para lo cual igualmente existen diferentes mecanismos entre los cuales se encuentran: filtración del torrente sanguíneo, degradación o reabsorción en el cuerpo humano, acumulación magnética o por autopropulsión.

La administración de fármacos dirigida a tumores cancerígenos mediante micro y nanobots podría traer grandes beneficios a la reducción de los efectos secundarios que se tiene con las terapias convencionales, dado que al administrar el fármaco de manera directa en la zona afectada se produce un tratamiento más eficiente, gracias al sistema de liberación precisa del fármaco. Otro aspecto positivo dentro de las ventajas que ofrece este tratamiento es la reducción de productos farmacéuticos activos, en consecuencia, se obtiene una cantidad reducida de productos de desecho y se ocasionan menos problemas ambientales, dado que los fármacos serían metabolizados o excretados. Una ventaja adicional es que pueden aplicarse múltiples fármacos al mismo tiempo, lo cual mejoraría su eficacia terapéutica. A pesar de estas ventajas, y que la evolución de la administración de fármacos mediante nano y micromotores ha sido exponencial durante la última década, pocos diseños son viables tomando en cuenta los desafíos a los que se enfrentan como la complejidad de su funcionamiento, su seguridad, costo y regulaciones.

Finalmente se concluye que la investigación acerca de los nano y microbots es de gran relevancia para el progreso en la terapia contra el cáncer, además de impulsar a los investigadores a concentrarse en las grandes ventajas que trae consigo este tratamiento. Por otro lado, se deben redoblar esfuerzos en el desarrollo de nuevos

modelos de micro y nanobots funcionales, tomando en cuenta los logros obtenidos hasta el momento, para llegar al desarrollo completo de un modelo funcional, mediante la dotación de mayores recursos en la investigación y difusión del tema, para el desarrollo y formación de nuevas investigaciones.

REFERENCIAS

Aillon, K. L., Xie, Y., El-Gendy, N., Berkland, C. J., & Forrest, M. L. (2009). Effects of nanomaterial physicochemical properties on in vivo toxicity. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 61(6), 457–466. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2009.03.010>

Akhter, M. H., & Nomani, M. S. (2019). Bio-Inspired nanomedicine an emerging trend for drug targeting into cancer cells. *Pharma focus Asia*. Recuperado de: <https://www.pharmafocusasia.com/articles/bio-inspired-nanomedicine-an-emerging-trend-for-drug-targeting-into-cancer-cells>

Akin, D., Sturgis, J., Ragheb, K., Sherman, D., Burkholder, K., Robinson, J. P., Bhunia, A. K., Mohammed, S., & Bashir, R. (2007). Bacteria-mediated delivery of nanoparticles and cargo into cells. *Nature Nanotechnology*, 2(7), 441–449. doi: <https://doi.org/10.1038/nnano.2007.149>

Bagalkot, V., Zhang, L., Levy-Nissenbaum, E., Jon, S., Kantoff, P. W., Langer, R., & Farokhzad, O. C. (2007). Quantum dot–aptamer conjugates for synchronous cancer imaging, therapy, and sensing of drug delivery based on bi-fluorescence resonance energy transfer. *Nano Letters*, 7(10), 3065–3070. doi: <https://doi.org/10.1021/nl071546n>

Bar-Cohen, Y. (2005). Biomimetics: biologically inspired technology. II ECCOMAS THEMATIC CONFERENCE ON SMART STRUCTURES AND MATERIALS. C. A. Mota Soares et al. (Eds.) Lisbon. Portugal. July 18-21.

Behkam, B., & Sitti, M. (2008). Effect of quantity and configuration of attached bacteria on bacterial propulsion of microbeads. *Applied Physics Letters*, 93(22), 223901. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3040318>

Champion, J. A., Katare, Y. K., & Mitragotri, S. (2007). Particle shape: A new design parameter for micro- and nanoscale drug delivery carriers. *Journal of Controlled Release*, 121(1–2), 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2007.03.022>

Chen, Y., Kosmas, P., Anwar, P. S., & Huang, L. (2015). A touch-communication framework for drug delivery based on a transient microbot system. *IEEE transactions on nanobioscience*, 14(4), 397–408.

Cunha, D., Ben Yahia, M., Hall, S., Miller, S. R., Chevreau, H., Elkaïm, E., Maurin, G., Horcajada, P., & Serre, C. (2013). Rationale of drug encapsulation and release from biocompatible porous metal–Organic frameworks. *Chemistry of Materials*, 25(14), 2767–2776. <https://doi.org/10.1021/cm400798p>

Debbage, P., & Jaschke, W. (2008). Molecular imaging with nanoparticles: giant roles for dwarf actors. *Histochemistry and Cell Biology*, 130(5), 845–875. doi: <https://doi.org/10.1007/s00418-008-0511-y>

Diller, E. & Sitti, M. (2011). Micro-Scale mobile robotics. *Foundations and Trends in Robotics*, 2(3), 143–259. doi: <https://doi.org/10.1561/23000000023>

- Dolev, S., Narayanan, R. P., & Rosenblit, M. (2019). Design of nanorobots for exposing cancer cells. *Nanotechnology*, 30(31), 315501. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab1770>
- Dutta, D., & Sailapu, S. K. (2020). Biomedical applications of nanobots. In *Intelligent Nanomaterials for Drug Delivery Applications* (pp. 179-195). Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817830-0.00010-2>
- Felfoul, O., Mohammadi, M., Taherkhani, S., de Lanauze, D., Zhong Xu, Y., Loghin, D., Essa, S., Jancik, S., Houle, D., Lafleur, M., Gaboury, L., Tabrizian, M., Kaou, N., Atkin, M., Vuong, T., Batist, G., Beauchemin, N., Radzioch, D., & Martel, S. (2016). Magneto-aerotactic bacteria deliver drug-containing nanoliposomes to tumour hypoxic regions. *Nature Nanotechnology*, 11(11), 941-947. doi: <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.137>
- Felgner, S., Kocijancic, D., Frahm, M., & Weiss, S. (2016). Bacteria in Cancer Therapy: Renaissance of an Old Concept. *International Journal of Microbiology*, 2016, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/8451728>
- Ferlay, J., Ervik, M., Lam, F., Colombet, M., Mery, L., Piñeros, M., Znaor, A., Soerjomataram, I., Bray, F. (2020). Global cancer observatory: cancer today. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. Recuperado de: <https://gco.iarc.fr/today>
- Forbes, N. S. (2010). Engineering the perfect (bacterial) cancer therapy. *Nature Reviews Cancer*, 10(11), 785-794. doi: <https://doi.org/10.1038/nrc2934>
- Ferrando-Climent, L., Rodriguez-Mozaz, S., & Barceló, D. (2014). Incidence of anticancer drugs in an aquatic urban system: From hospital effluents through urban wastewater to natural environment. *Environmental Pollution*, 193, 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.002>
- Ferrari, M. (2005). Cancer nanotechnology: opportunities and challenges. *Nature Reviews Cancer*, 5(3), 161-171. doi: <https://doi.org/10.1038/nrc1566>
- Feynman, R. (29 de diciembre de 1959). *There's Plenty of Room at the Bottom* [Curso principal]. Charla dirigida a la Sociedad Estadounidense de Física, Instituto Tecnológico de California.
- Fubini, B., Ghiazza, M., & Fenoglio, I. (2010). Physico-chemical features of engineered nanoparticles relevant to their toxicity. *Nanotoxicology*, 4(4), 347-363. doi: <https://doi.org/10.3109/17435390.2010.509519>
- Hosseinioust, Z., Mostaghaci, B., Yasa, O., Park, B. W., Singh, A. V., & Sitti, M. (2016). Bioengineered and biohybrid bacteria-based systems for drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 106, 27-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.09.007>
- Hua, S., De Matos, M. B., Metselaar, J. M., & Storm, G. (2018). Current trends and challenges in the clinical translation of nanoparticulate nanomedicines: pathways for translational development and commercialization. *Frontiers in pharmacology*, 9, 790. Doi: <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00790>

- Huwlyer, J., Kettiger, H., Schipanski, A., & Wick, P. (2013). Engineered nanomaterial uptake and tissue distribution: from cell to organism. *International Journal of Nanomedicine*, 3255. doi: <https://doi.org/10.2147/ijn.s49770>
- Krishna, G., Mary, L. R., & Jerome, K. (2019, March). Nanobots for biomedical applications. In *Proceedings of the 2019 9th International Conference on Biomedical Engineering and Technology* (pp. 270-279).doi: <https://doi.org/10.1145/3326172.3326189>
- Kumar, S. S., Nasim, B. P., & Abraham, E. (2018). Nanorobots a future Device for Diagnosis and Treatment. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutics*, 5(1), 44-49. doi: <https://doi.org/10.15436/2377-1313.18.1815>
- Li, S., Jiang, Q., Liu, S., Zhang, Y., Tian, Y., Song, C., ... & Zhao, Y. (2018). A DNA nanorobot functions as a cancer therapeutic in response to a molecular trigger in vivo. *Nature Biotechnology*, 36(3), 258-264. doi: <https://doi.org/10.1038/nbt.4071>
- Liu, S. Xu, X. Zeng, X. Li, L. Chen, Q. & Li, J. (2014). Tumor-targeting bacterial therapy: A potential treatment for oral cancer (Review). *Oncology Letters*, 8(6), 2359–2366. doi: <https://doi.org/10.3892/ol.2014.2525>
- Medina-Sánchez, M., & Schmidt, O. G. (2017). Medical microbots need better imaging and control. *Nature News*, 545(7655), 406. doi: <https://doi.org/10.1038/545406a>
- Min, J. J., Nguyen, V. H., & Gambhir, S. S. (2010). Molecular imaging of biological gene delivery vehicles for targeted cancer therapy: beyond viral vectors. *Nuclear medicine and molecular imaging*, 44(1), 15-24. doi: <https://doi.org/10.1007/s13139-009-0006-3>
- Mostaghaci, B., Yasa, O., Zhuang, J., & Sitti, M. (2017). Bacteriabots: bioadhesive bacterial microswimmers for targeted drug delivery in the urinary and gastrointestinal tracts (Adv. Sci. 6/2017). *Advanced Science*, 4(6). doi: <https://doi.org/10.1002/advs.201770031>
- Ng, W. M., Teng, X. J., Guo, C., Liu, C., Low, S. C., Chan, D. J. C., ... & Lim, J. (2019). Motion control of biohybrid microbots under low Reynolds number environment: Magnetotaxis. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 141, 107530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107530>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021, 3 marzo). *Cáncer*. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- Paciotti, G. F., Myer, L., Weinreich, D., Goia, D., Pavel, N., McLaughlin, R. E., & Tamarkin, L. (2004). Colloidal gold: a novel nanoparticle vector for tumor directed drug delivery. *Drug Delivery*, 11(3), 169–183. doi: <https://doi.org/10.1080/10717540490433895>
- Palagi, S., & Fischer, P. (2018). Bioinspired microrobots. *Nature Reviews Materials*, 3(6), 113–124. doi: <https://doi.org/10.1038/s41578-018-0016-9>
- Sanchez, S., Solovev, A. A., Schulze, S., & Schmidt, O. G. (2011). Controlled manipulation of multiple cells using catalytic microbots. *Chemical Communications*, 47(2), 698-700. doi: <https://doi.org/10.1039/C0CC04126B>

Schuerle, S. & Danino, T. (2020). Bacteria as living microrobots to fight cancer. *The Scientist*. Recuperado de: <https://www.the-scientist.com/features/bacteria-as-living-microrobots-to-fight-cancer-67305>

Schmidt, C. K., Medina-Sánchez, M., Edmondson, R. J., & Schmidt, O. G. (2020). Engineering microrobots for targeted cancer therapies from a medical perspective. *Nature Communications*, *11*(1), 1-18. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19322-7>

Shi, J., Kantoff, P. W., Wooster, R., & Farokhzad, O. C. (2017). Cancer nanomedicine: progress, challenges and opportunities. *Nature reviews cancer*, *17*(1), 20. doi: <https://doi.org/10.1038/nrc.2016.108>

Sonntag, L., Simmchen, J., & Magdanz, V. (2019). Nano-and micromotors designed for cancer therapy. *Molecules*, *24*(18), 3410. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules24183410>

Tu, Y., Peng, F., André, A. A. M., Men, Y., Srinivas, M., & Wilson, D. A. (2017a). Biodegradable hybrid stomatocyte nanomotors for drug delivery. *ACS Nano*, *11*(2), 1957–1963. doi: <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b08079>

Tu, Y., Peng, F., White, P. B., & Wilson, D. A. (2017b). Redox-Sensitive stomatocyte nanomotors: destruction and drug release in the presence of glutathione. *Angewandte Chemie*, *129*(26), 7728–7732. doi: <https://doi.org/10.1002/ange.201703276>

Wang, W., & Zhou, C. (2021). A Journey of nanomotors for targeted cancer therapy: principles, challenges, and a critical review of the State-of-the-Art. *Advanced Healthcare Materials*, *10*(2), 2001236. doi: <https://doi.org/10.1002/adhm.202001236>

Wicki, A., Witzigmann, D., Balasubramanian, V., & Huwyler, J. (2015). Nanomedicine in cancer therapy: challenges, opportunities, and clinical applications. *Journal of Controlled Release*, *200*, 138–157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.12.030>

Zhang, C., Yan, L., Wang, X., Zhu, S., Chen, C., Gu, Z., & Zhao, Y. (2020). Progress, challenges, and future of nanomedicine. *Nano Today*, *35*, 101008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2020.101008>



SEDE CENTRAL COCHABAMBA

Campus Universitario Tiquipaya
c. Guillermina Martínez s/n
Telf: (591 - 4) 4318800

Torre Académica América

Av. América N°165 entre Túpac Amaru y Av. Libertador Bolívar
Telf: (591 - 4) 4150300

Edif. Polifuncional Ayacucho

Av. Ayacucho N°256
Telf: (591 - 4) 4150200

SEDE ACADÉMICA LA PAZ

Campus Miraflores
Av. Argentina N° 2083 esq. Nicaragua
Telf: (591 - 2) 2246725/6/7

SEDE ACADÉMICA SUCRE

Campus Las Delicias
Pasaje Guillermina de Ruiz N° 1 (Zona Bajo Delicias)
Telf: (591 - 4) 6441664

SEDE ACADÉMICA TRINIDAD

Campus El Gran Paitití
Av. Reyes s/n
Telf: (591 - 3) 4621238

SEDE ACADÉMICA SANTA CRUZ

Campus Eco Smart
Av. Banzer - Séptimo anillo y Av. Juan Pablo II