

REVISTA CIENTÍFICA

TECNOESCOM

ESCUELA DE COMUNICACIONES MILITARES

**25 Años
Aniversario**

Volúmen 4. No. 1
Facatativá, Colombia
ISSN 2711 - 0761



REVISTA CIENTÍFICA
TECNOESCOM

25 AÑOS
DEL ARMA DE LAS COMUNICACIONES
Edición Especial

EDITORIAL

La Escuela de Comunicaciones Militares, a través del Centro de Investigación, presenta el cuarto volumen de la Revista Científica TECNOESCOM, en una edición especial y significativa, con ocasión del Vigésimo Quinto Aniversario del Arma, a partir del cual envío un saludo de felicitación a quienes hacen posible las comunicaciones al interior de la Fuerza, porque estas son un elemento primordial inherente a los objetivos misionales del Ejército.

En este nuevo aniversario del Arma de las Comunicaciones, misma que tiene como responsabilidad última, garantizar el mando y control de las operaciones militares, resalto los retos que ha afrontado en el último lustro, especialmente en el escenario de la avanzada Guerra de Quinta Generación, lo cual ha exigido la constante actualización de sus integrantes en infraestructura y desarrollo tecnológico. Por esto, la actual edición contiene temáticas que abordan dicho reconocimiento, presentando un recorrido histórico y evolutivo del Arma, las guerras y su contextualización en el marco de las operaciones terrestres unificadas

Por otra parte, dos profesores y una egresada de la ESCOM, exponen una propuesta que impacta el sector rural mediante el estudio, diseño y evaluación financiera, que posibilite la implementación de una red Mesh en especial a la Institución Educativa Departamental Rural El Vino, Sede el Dintel, Municipio La Vega (Cundinamarca), lo cual favorecería a su población al brindársele internet de alta calidad.

Igualmente, en aras de resaltar la inapreciable labor de los semilleros de investigación, se presentan dos artículos, producto de investigación de los estudiantes que forman parte del Semillero de Investigación en Inteligencia Artificial quienes, con la abnegada orientación del docente líder, han adquirido y afianzado conocimientos relevantes, asociados a esta área.

Por último, realizo un especial reconocimiento al personal militar, asesores, profesores, estudiantes, administrativos y en general, a todos aquellos que hicieron posible esta edición, que busca resaltar la labor de quienes conforman la Divisa Naranja y la Institución que, con su generación de conocimiento contribuyen al progreso y fortalecimiento de los elementos que fundamentan nuestro quehacer como Institución Universitaria: investigación, docencia y extensión.

"Deseo fervientemente que algunos de ustedes continúen este trabajo científico y mantengan en su ambición la determinación de hacer una contribución permanente a la ciencia." - (Marie Curie)

Teniente Coronel Diego López Barrera
Director de la Escuela de Comunicaciones



Dirección General
Escuela de Comunicaciones Militares (ESCOM)

Teniente Coronel Diego López Barrera
Director Escuela de Comunicaciones Militares

Mayor Ricardo Alfonso Rincón Fonseca
Subdirector Escuela de Comunicaciones Militares

Mayor Fabio Andrés López Tunjano
Inspector de Estudios
Escuela de Comunicaciones Militares

Capitán Jinna Marcela Devia Pérez
Oficial Centro de Investigación ESCOM

Ms. Adriana B. González Guerrero
Editora CEINV – ESCOM

Equipo CEINV-ESCOM
Corrector de Estilo

PhD. Arles Prieto Moreno
Esp. Yeison Alfonso Buitrago Rojas
Comité Evaluador

Ing. Yeferson Steven Barón Valbuena
Comité Técnico

Karyna Milena Zapata Corredor
Diseño y Diagramación

-

Copyright ©2022 Escuela de Comunicaciones Militares
www.escom.mil.co +57 313 3003799
Carrera 05 Calle 15 - 00, Facatativá, Cundinamarca.
COLOMBIA.

ISSN 2711 - 0761. Vol.04 No. 1

**Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización del comité editorial; las ideas y conceptos expresados en cada uno de los artículos publicados, pertenecen exclusivamente a sus autores y en ningún momento reflejan la postura oficial de la institución. Nos reservamos el derecho de publicar los artículos seleccionados por el comité evaluador*.*

Foto portada: Archivo ESCOM, 25 años del Arma de las Comunicaciones

CONTENIDO

Edición Especial

25 Años del Arma de las Comunicaciones Militares

ARTÍCULOS 25 AÑOS DEL ARMA DE LAS COMUNICACIONES MILITARES

Guerras de Última Generación y Evolución de los Conflictos Arles Prieto Moreno, TC. Diego López Barrera	18
Operaciones Terrestres Unificadas, concepto doctrinal del Ejército Fredy Alejandro Hernández Linares	30
Las Comunicaciones Militares a través de la Historia en un marco de las Operaciones Terrestres Unificadas ST. Emmanuel Garibello Mahecha	34

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Diseño para la implementación de una red mesh con cobertura en la Vereda El Dintel John Monzaide Alvarez Cely, Juan Pablo Pedroche Quevedo, Angie Alexandra Reyes Beltrán	42
Prototipo basado en internet de las cosas (IoT), para el monitoreo en cultivos de papa y alverja, en la vereda Chilcal, Municipio de Bojacá (Cundinamarca), en la finca San Cayetano Zulma Lizneidy Martínez López, Julián Daniel Pinto Santana, Jorge E. Micán Peña	56

ARTÍCULOS DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

Modelo de Aprendizaje Profundo para la Identificación de Imágenes Colorizadas Carlos Andrés Ulloa Robayo, Oscar Alejandro Garzón Parra	68
Algoritmo de visión por computadora para el reconocimiento de placas vehiculares Cristian Iván Corredor Cuestas, Carlos Andrés Ulloa	82

PRESENTACIÓN
REVISTA CIENTÍFICA TECNOESCOM

La Revista Científica **TECNOESCOM**, es una publicación editada por la Escuela de Comunicaciones Militares del Ejército Nacional de Colombia, Centro de Investigación (CEINV), que presenta las investigaciones en diferentes áreas de impacto realizadas bajo la dirección académica de la institución, con el propósito de divulgar y contribuir a la extensión del pensamiento científico e investigativo.

PRESENTATION
SCIENTIFIC JOURNAL TECNOESCOM

The scientific journal **TECNOESCOM**, is a publication edited by the School of Military Communications of the National Army of Colombia, Research Center (CEINV), which presents research in different areas of impact conducted under the academic direction of the institution, in order to disseminate and contribute to the extension of research and scientific study.

GALERÍA
FOTOGRAFICA



RESEÑA HISTÓRICA



1944

Para el 1ro de septiembre de 1944, por medio del decreto reservado No. 01937, se crea la Escuela de Transmisiones como unidad perteneciente a la Brigada de Institutos Militares en la ciudad de **Facatativá** bajo la dirección del **señor Capitán Eusebio Cortés Forigua** quien era considerado como el oficial más capacitado técnica y profesionalmente para llevar la responsabilidad de ser comandante del primera unidad con funciones a servicio de sistema académico de comunicaciones enfocadas al apoyo de las misiones tácticas y operacionales.



Es el 11 de septiembre que se da inicio al primer curso de transmisiones con 99 conscriptos voluntarios presentados por el Distrito Militar No 33, iniciando la verdadera etapa de la organización de la especialidad técnica para operar y mantener diversos sistemas de comunicaciones.

Así se da comienzo a la verdadera etapa de organización de la especialidad técnica y comienza el ir y venir de la Escuela de Comunicaciones, de Facatativá e Ibagué, de Ibagué a Bogotá en la Plaza de Ayacucho, de la Plaza de Ayacucho a San Cristóbal, de San Cristóbal a Puente Aranda, de Puente Aranda a Facatativá.



1948

El 17 de febrero, mediante decreto 2026 la Escuela de Comunicaciones y de transmisiones es trasladada a la guarnición de Ibagué, en donde se organiza la primera sección de comunicaciones con personal de Suboficiales y soldados, utilizando por primera vez el radio SCR-284, suministrado por el Ejército Nacional de los Estados Unidos, el cual había sido utilizado con éxito en la Segunda Guerra Mundial.



1950

A principios de 1950, como resultado de la visita que hiciera la comisión de oficiales colombianos a Suiza, el gobierno mediante estudios de factibilidad y financiación determino la adquisición de nuevos sistemas de comunicación fue así como el entonces comandante del Ejército Nacional General Pedro A Muñoz Palacio. Ordeno al jefe de servicio de radio, Capitán Carlos Scholder, que con el representante de la casa ATOPHON en Colombia señor Eugenio Back y sus ingenieros, iniciaran un recorrido por el país para determinar los puntos geográficos donde debían montarse las estaciones repetidoras de la red VHF y UHF (radio Vox).

Pasan los años 50 y Colombia participa en la Guerra Internacional de Corea con el Batallón Colombia, el cual lleva agregado un Pelotón de Comunicaciones para instalar, operar y garantizar el mando y control de las Unidades comprometidas el desarrollo de operaciones regulares.



1954

Entre los años 1950 y 1954, se organiza la red de radio del Ejército Nacional bajo la dirección del teniente Miguel A. Peña Bernal, así mismo por esa época se instala la red de amplitud modulada con base en los equipos de radio ET-50 y 8037 para la red de radio telefónica, con los cuales se cubrió la mayor parte de las guarniciones militares.

En nuevas y propias instalaciones en la Guarnición de Facatativá, el alma mater de las comunicaciones, nuevamente se desplaza a su sede inicial, el memorable día del 01 de diciembre de 1976. Como Batallón Escuela de Comunicaciones, en donde opera el sistema académico y táctico, orgánico de la Decimotercera Brigada.

1969

El 10 de diciembre de 1969, se efectúa el cambio de denominación de Escuela de Transmisiones a Escuela de Comunicaciones.



1998

Siendo el mayor objetivo de la Escuela de Comunicaciones, el de capacitar, especializar y profesionalizar, emprende en 1998 el proceso ante el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES), la sustentación para la aprobación como Institución Universitaria, logrando cumplir esta meta. Un año más tarde, obtiene dicho reconocimiento, mediante registro ICFES 2903 con la inscripción de dos carreras de pregrado y dos programas de posgrado.

2003

Desde el año 2000 se logró el reconocimiento como Institución Universitaria, ante el ICFES , posteriormente para el año 2003 es el Ministerio de educación confirma el carácter académico de la ESCOM como institución universitaria y le renueva el permiso con la inscripción de dos pregrados y dos programas de posgrado, con modalidades de formación a nivel de pregrado Tecnológico y Profesional; y a nivel de posgrado con especializaciones profesionales de tipo presencial, cumpliendo con los parámetros legales de renovación de registros calificados, que exige actualmente el Ministerio de Educación.

En la actualidad, la Escuela de Comunicaciones Militares cuenta con registros calificados autorizados por el Ministerio de Educación, dentro del Sistema Nacional de Información de Educación Superior SNIES; tiene tres programas de pregrado: Tecnología en Electrónica y Comunicaciones, Administración de Empresas en Telecomunicaciones, e Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones; Dos especializaciones en: Gerencia Integral de las Telecomunicaciones, y Seguridad Física y de la Informática.





© 2022

Ejercicio de armas combinadas



© 2022

Teniente Coronel **Diego López Barrera**

Ceremonia de Aniversario 24 Años



© 2021



© 2021

Desfile 20 de Julio



© 2022



© 2022



© 2022

1. **Artículos** 25 Años de las Comunicaciones Militares

Guerras de Última Generación y Evolución de los Conflictos

PhD. Arles Prieto Moreno
arlesprietomoreno@cedoc.edu.co
Docente Investigador

TC. Diego López Barrera
diego.lopezbar@buzonejercito.mil.co
Director Escuela de Comunicaciones Militares

RESUMEN- En el presente artículo se hace un análisis sobre la evolución de las guerras modernas, las cuales fueron categorizadas en cinco generaciones en un periodo de tiempo relativamente corto, comparado con la historia de la humanidad, con el objetivo de conocer las principales técnicas utilizadas por los Ejércitos de cada generación para someter o contrarrestar a sus adversarios, proteger la integridad física de cada uno de sus miembros, salvaguardar la soberanía de los Estados e identificar las estrategias aplicadas por el enemigo para lograr sus objetivos.

También se busca identificar las estrategias utilizadas por los líderes del momento para afrontar un enemigo cada día mejor equipado, organizado y con gran capacidad de fuego, que de igual manera se prepara arduamente para no perder su protagonismo, y que haciendo uso de la tecnología como principal herramienta y arma, logró hacer un cambio en los teatros de operaciones, al ser menos visibles y más letales, marcando un antes y un después en la historia de la humanidad.

En esta investigación se destaca el rol que ha jugado el desarrollo tecnológico en las diferentes generaciones de

la guerra, especialmente en la quinta, convirtiéndose en un elemento diferenciador para quienes avanzaron en este sentido, porque les genera en una ventaja competitiva marcada por el manejo masivo de información, especialmente en el campo de las telecomunicaciones, el procesamiento masivo de información y el uso de las redes sociales, permitiendo tener una sociedad altamente influenciada por los medios de comunicación y las plataformas informáticas, las cuales desde que se hicieron visibles para la sociedad, han marcado un antes y un después.

Palabras Clave: Asimetría, Guerras, Información, Redes sociales, Tecnologías Emergentes.

ABSTRACT- In this article, an analysis is made of the evolution of modern wars, which were categorized into five generations in a relatively short period, compared with the history of humanity, with the aim of knowing the main techniques used by modern wars. Armies of each generation to subdue or counterattack their adversaries, protect the physical integrity of each of its members, safeguard the sovereignty of States and identify the strategies applied by the enemy to achieve their objectives.

Also it seeks to identify the strategies used by the leaders of the moment to face an enemy that is better equipped, organized and with great firepower every day, that in the same way prepares arduously not to lose its leading role, and that by using technology as the main tool and weapon, make a change in the theaters of operations, by being less visible and more lethal, marking a before and after in the history of humanity.

This research highlights the role that technological development has played in the different generations of the war, especially in the fifth, becoming a differentiating element for those who advance in this sense, because it generates a competitive advantage, marked by the management mass information especially in the field of telecommunications, mass information processing and the use of social networks, allowing a society highly influenced by the media and computer platforms, which since they became visible to society They have marked a before and after.

Keywords: *Asymmetry, Wars, Information, Social Networks, Emerging Technologies.*

I. INTRODUCCIÓN

Para entender la dinámica de las guerras que actualmente se viven en el mundo, es necesario conocer los orígenes de los conflictos bélicos modernos, los cuales han jugado un papel muy importante en la distribución del mundo geopolítico, donde convencionalmente la Política Internacional, considera que son dos los momentos que han dinamizado la generación de estos a nivel global; por un lado el primero se caracterizó por el problema de los Estados Fallidos, donde los gobiernos perdieron el control de los territorios y el surgimiento de grupos terroristas; y el segundo con la distribución del mundo en la Segunda Postguerra Mundial y los atentados terroristas del 11 de septiembre del 2001 a las Torres Gemelas.

Para el caso de la Segunda Postguerra Mundial, los países ganadores desarrollaron una influencia sobre las regiones en el mundo, conocido como la hegemonía internacional, creando ciertos intereses que han dinamizado por décadas la guerra, destacándose hechos como el tráfico de armas, invasiones a territorios por riquezas naturales, la explotación de hidrocarburos y posiciones geográficamente estratégicas, que le permite a las potencias tener un mejor control del mundo, para lograr

mayores ventajas competitivas de las cuales sobresalen tres regiones donde hay una mayor concentración del conflicto, como lo son América Latina, Oriente Medio y África [1].

Para el caso de América Latina, es importante entender que luego de las negociaciones realizadas después de la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos de Norte América tiene un alto interés en la región, motivo por el cual, se generó una dinámica de represión de gobiernos alternativos apoyados por ellos, dejando una situación de rezagos tanto sociales como económicos en un contexto de desigualdad social [1], minando terrenos como el narcotráfico, el cual ha auspiciado una dinamización de los conflictos armados e intereses criminales, con presencia de grupos insurgentes y paramilitares en Colombia, situaciones de crimen organizado en Venezuela, carteles de la droga en México y grupos criminales extendidos por Centro América como las Maras de El Salvador.

Para el caso de Oriente Medio, la península Arábiga es una zona altamente estratégica, que por su pluralidad cultural con identidades religiosas y territoriales muy marcadas, el conflicto inicia en esta región desde la incursión extranjera a partir de la Primera Guerra Mundial, por ingleses y franceses, cuando se buscó tumbar al Imperio Otomano que desde el comienzo gobernó la Península Árabe, luego con la intervención de los Estados Unidos desde la Segunda Guerra Mundial y algunos países europeos, todo ello movido por intereses económicos y su posición geográfica privilegiada.

Para el caso de África, se tiene un esquema común que es la herencia de la distribución injusta de la tierra, por efecto de la colonización del territorio, generando una serie de conflictos especialmente por recursos naturales como el caso del Congo, o por la separación de territorios como el caso de Sudan y Sudan del sur, también el exterminio que se presentó un Ruanda entre comunidades o el caso de Nigeria por factores religiosos, entre otros.

II. LAS GENERACIONES DE LAS GUERRAS

Los conflictos bélicos son tan antiguos como la misma historia de la humanidad, y han surgido por la misma necesidad de supervivencia de los pueblos, quienes siempre han estado sometidos por los más fuertes, lo que ha llevado a que en distintas épocas la sociedad se haya visto inmersa en conflictos armados de orden superior, que

han marcado un antes y un después, lográndose el desarrollo de la Industria y la Tecnología especialmente, lo que ha obligado a los gobiernos y Ejércitos a plantear nuevas estrategias para afrontar los conflictos futuros.

En el Siglo anterior, la confrontación armada entre países especialmente las vividas en las dos Guerras Mundiales, llevó a los Estados de casi todo el mundo a reunirse en Ginebra Suiza en 1949, para firmar un primer Tratado o Protocolo llamado el Derecho Internacional Humanitario (DIH) [2], el cual tiene como objetivo acordar ciertas reglas para regular las guerras y así, evitar que los Ejércitos hagan uso desmedido de la fuerza, como también, someter los prisioneros de guerra a prácticas deshumanizadas, lo que los obliga a brindarles primeros auxilios en caso de estar heridos, protegerles su integridad física, suministrarles alimentos, entre otros derechos fundamentales.

También en este Siglo se presentó un auge de los conflictos internos o guerras civiles, lo que llevó a replantearse el Tratado II en 1977 para regular los conflictos no internacionales, y de esta forma, proteger las víctimas, especialmente civiles que quedaron en medio de las confrontaciones [3].

Los conflictos bélicos modernos han sido clasificados en cinco generaciones, de las cuales, las primeras cuatro fueron propuestas por el escritor estadounidense William S. Lind, autor de varios libros sobre el tema y uno de los más fehacientes defensores de la teoría de la guerra de cuarta generación (4GW) [3], quien en 1989 junto con otros militares publicaron en la Gaceta del Cuerpo de Marines de los Estados Unidos un artículo titulado "The Changing Face of War: Into the Fourth Generation" "El Cambiante Rostro de la Guerra: Hacia la Cuarta Generación" [4]. En esta investigación los autores destacan la evolución de las tácticas empleadas en la guerra y su impacto a lo largo del tiempo, así:

Primera generación (G1G)

Esta primera generación estuvo vigente por un largo periodo de tiempo, donde según Lind y los coautores [5], "tuvo sus inicios en 1648 cuando se realizó la firma de la paz de Westfalia, haciendo referencia a una serie de tratados multilaterales, en las localidades alemanas de Múnster y Osnabruck", cuya finalidad fue poner fin a las guerras de los treinta y ochenta años, sentándose las bases de un nuevo orden internacional [5] y finalizó en

1860, con el inicio de la guerra civil de los Estados Unidos, lo que significa que esta generación bélica se da en los dos continentes.

Durante este periodo en Europa, se destacan los siguientes acontecimientos: la invasión Otomana a varios países, la Guerra Anglo-Española por la disputa de Gibraltar, la Guerra de los siete años, las Guerras napoleónicas entre 1792 y 1815, la Guerra de Crimea, entre otras; en América se lideraron conflictos con Francia e Inglaterra por reclamaciones de las colonias francesas, la Guerra de la independencia de los Estados Unidos y las de independencia en Sur América [6].

Estos conflictos se libraron en campos abiertos y los ejércitos estaban dotados principalmente de armas de fuego llamadas mosquetes a base de pólvora, como se ilustra en la figura 1. Estas armas fueron la evolución de otras llamadas el arcabuz, que eran más ligeras y que a cortas distancias podían perforar armaduras, pero después de 50 m ya no eran tan efectivas.

Figura 1. Mosquetes de la primera generación



Fuente: [7]

Los primeros modelos de mosquetes fueron más pesados y utilizados como piezas de artillería, G. Abel [8],

sostiene "que para dispararlas era necesario hacer uso de soportes, lo que las hizo ideales para protección de ciudades desde trincheras o murallas". Para su operación se hacía necesario que el personal tuviera un entrenamiento previo, lo que hizo que los ejércitos se fueran estructurando de una forma más organizada para afrontar las campañas militares, y se caracterizaron por la implementación de la doctrina militar, el uso de uniformes, banderas, emblemas, etc.

La evolución progresiva del mosquete hizo de él un arma ligera, que desplazó en su totalidad a su antecesor el arcabuz a lo largo del Siglo XVII y a medida que este se fue popularizando entre los ejércitos, surgió el dragón, que era un tipo de soldado a caballo equipado con sable, mosquete y en algunos casos una hacha [8]. El declive de esta primera generación se dio por el surgimiento de nuevas tecnologías que rezagaron las existentes y los cambios que exigía la nueva estrategia de la guerra; un ejemplo de ello se dio en el Ejército francés, cuando los oficiales exigieron cambiar el color rojo de los pantalones de sus uniformes, que los hacían muy visibles en el campo de batalla, por colores más sobrios como el gris, kaki o verde utilizados por otros ejércitos de la región [9]. En esta generación se creó la cultura militar, la disciplina, los rangos, entre otros y los escenarios de guerra eran demarcados como campos abiertos donde se tenían las confrontaciones.

Gran parte de la doctrina militar se estructuró basado en los resultados de las confrontaciones, y uno de sus máximos exponentes fue Napoleón con su visión de un ejército organizado y un objetivo claro: aniquilar al enemigo, infiriéndose que esta primera generación se caracterizó por ser altamente letal con el uso de la artillería ligera, que les permitiera disolver las formaciones de guerra de los oponentes.

Segunda generación (G2G)

Esta generación se ubica en la época de la Revolución Industrial y toda la potencia de fuego. Lind la relaciona con el periodo de la Primera Guerra Mundial (1914-1918) [5], y se caracterizó por hacer uso de armas con gran poder de fuego, mejores medios de transporte, mecanización de los Ejércitos, así como la creación masiva de trincheras para proteger a los soldados del fuego enemigo.

En la primera generación de la guerra, el país que más se desarrolló militarmente fue Francia, por la expansión

de Napoleón en Europa, lo que lo llevó a asumir un liderazgo en este sentido y a generar una doctrina militar que fue apropiada por muchos Ejércitos de la región. En esta generación se hicieron cambios significativos en la forma como se disparaban las armas y se pasó del tiro directo al parabólico, lo que permitió desarrollar mejor la artillería pesada como se ilustra en la figura 2; los cambios no solamente se dieron a partir de la mejora del armamento, sino que los Estados también se recuperaron económicamente, aspecto que llevó a los gobiernos a recaudar más impuestos, así como hubo un aumento considerable en la población que, en poco más de cien años (1800 - 1915) se duplicó en Europa Occidental [10], hecho que aumentó también las necesidades de tener más seguridad.

Figura 2. Cañones de artillería primera guerra mundial



Fuente: [11]

Así mismo, Lind sostiene que esta generación sigue manteniendo el orden, los procesos y procedimientos, donde la obediencia y la subordinación eran más importantes que la iniciativa [12]. Con el desarrollo de las armas pesadas se logra un adelanto significativo en la forma como se disolvían las multitudes, especialmente las concentraciones de las tropas de infantería, que por su superioridad numérica permitía definir los conflictos en el campo de batalla.

También se plantearon algunas teorías que llevaron a los líderes militares que estaban frente al mando, a dirigir sus tropas de forma más agresiva, y las ofensivas se hacían sin ninguna vacilación, se imponía la valentía y la tenacidad, la destrucción de la voluntad del adversario y los enfrentamientos estaban por encima de las luchas morales [12].

En este periodo también se moderniza el armamento y la artillería empieza a ser desplazada por el poder del fuego de la aviación, quien revolucionó la guerra al permitir dar golpes certeros a las trincheras de los adversarios; también aparecen los tanques de guerra, como se observa en la Figura 3, las ametralladoras y lanza llamas, exigiendo de los comandantes más coordinación en los terrenos de combate. Es así como surgen las figuras del Estado Mayor General, quienes eran los encargados de planear las estrategias y dar las órdenes a los comandantes subalternos, para conservar la doctrina y el orden al interior de las tropas y ejecutar las operaciones.

Figura 3. Tanques de guerra que debutaron en la Primera Guerra Mundial



Fuente: [13]

Paralelo a ello, con el desarrollo de la tecnología, se logra la fabricación de armamento más sofisticado y en línea, también se masifica la fabricación de las municiones y material de guerra, se mejoran los medios de transporte como los ferrocarriles, los cuales eran utilizados para el transporte de las materias primas para las fábricas, el transporte de pasajeros y material bélico para los Ejércitos, entre otros. A partir de estos avances se logra sostener un Ejército con mejores dotaciones y se innova en el almacenamiento de los alimentos con la aparición de las conservas en latas, avances en la medicina de campaña, y el desarrollo de submarinos para las batallas navales, así como el empleo de las armas combinadas, etc. [14].

Con el desarrollo Industrial, esta segunda generación se caracterizó por el gran número de bajas en el personal militar, tanto en la guerra civil de los Estados Unidos y la

Primera Guerra Mundial (1914 - 1918), donde en esta última, lucharon 65.8 millones de soldados, y en los cuatro años que duró la confrontación, perdieron la vida 11 millones de combatientes aproximadamente y quedaron heridos unos 23 millones [15]. De lo anterior se infiere que la industrialización auspició un cambio profundo en la forma como se desarrollaron las guerras, especialmente por el mayor poder de fuego y por el uso de armamento pesado.

Tercera generación (G3G)

Esta generación se originó en septiembre de 1939 con la Segunda Guerra Mundial en Europa y se caracterizó por los ataques relámpagos y el factor sorpresa, por la incorporación de la aviación a la guerra, ver Figura 4, y de tanques blindados para contrarrestar el accionar de las trincheras. También se presentó un avance en el desarrollo industrial, especialmente en los ordenadores de la época y la electrónica de consumo. En este sentido Aznar y Montesinos [16], sostienen que “el elemento clave de esta generación fue el movimiento de las tropas, al tener contacto estrecho con el enemigo, para neutralizarlo o lograr ubicaciones estratégicas que le permitiera tener una ventaja competitiva”.

Figura 4. Aviones de la Segunda Guerra Mundial.



Fuente: [17]

Aquí las operaciones se efectuaron con una fuerza abrumadora y decisiva, con el objetivo de no prolongar tanto el conflicto, ya que esto significaba un desgaste innecesario para los Ejércitos y los Estados. Este conflicto también fue conocido como la guerra de las maniobras, donde el objetivo principal era imponer la superioridad tecnológica, así como la coordinación de una fuerza aérea con la terrestre, para evitar que los Ejércitos oponentes

tuvieran apoyo y de esta forma, lograr la desmoralización de las tropas en el teatro de operaciones [18].

Otro factor que se destacó en esta generación, fue la proliferación de los conflictos internos, que por sus características no tuvieron el reconocimiento de ser internacionales, y que auspiciaron un cambio significativo en la forma como se adelantaron en algunas regiones del mundo, donde los gobiernos de turno como lo afirma Rodríguez [19], “dejaron colapsar las estructuras de poder que proveían de base política al Derecho y al orden, lo que en la doctrina se denomina como failed State (Estado fallido o colapsado)”, siendo sus principales gestores las Fuerzas de Seguridad y el Poder Judicial.

En esta generación la ofensiva militar se desarrolló en torno al crecimiento de las fuerzas aéreas y terrestres coordinadas para dar golpes contundentes al enemigo, con el fin de neutralizar las comunicaciones, el mando y control, así como el causar desmoralización al interior de sus filas, y de esta forma tener una ventaja competitiva, actividad aprovechada por el ejército alemán que se había preparado desde los fracasos de la Primera Guerra Mundial y que convertirían en una fortaleza devastadora por su entrenamiento y armamento.

Otra característica de esta generación, fue la necesidad de atacar a la población civil, quienes en su mayoría trabajaban en las fábricas de material bélico, y con ello, evitar que el enemigo se surtiera de provisiones; es por ello que el número de muertos de esta guerra aún es incierto. También hubo una proliferación de conflictos internos, los cuales se caracterizaron por la forma como se desarrollaron y dio origen a diversas interpretaciones, entre las que sobresalen:

- Desde el punto de vista geográfico, la confrontación se adelantó en los territorios del mismo Estado, y los grupos alzados en armas para tener el control de una parte del territorio, sometían a los habitantes a la fuerza para que los apoyaran en su lucha armada.
- Desde el punto de vista político cuando se dieron golpes de Estado, dio origen a dictaduras que han violado todos los derechos fundamentales de las personas, y la caída de las instituciones que garantizan la ley y el orden.

Cuarta generación (G4G)

Esta generación se presentó como una guerra con características muy diferentes a las anteriores, debido principalmente al desarrollo de la tecnología, al cambio en los escenarios donde se librarían los conflictos y la asimetría con que se efectuaron los ataques por parte de las fuerzas opositoras. Aquí se destacan las guerras de guerrillas, el terrorismo, los ciberataques y el espionaje entre otras tácticas empleadas por los actores inmersos en el conflicto; también se tiene en esta generación la presencia de la población civil con un mayor protagonismo.

El término guerrilla hace referencia a pequeña guerra, pero también a grupos armados que desde mucho antes de la era Cristiana ya existían en las diferentes comunidades, para hacer frente a los ataques de grupos invasores que buscaban someter a los pueblos, con el fin de saquear sus riquezas, esclavizarlos e imponer regímenes que favorecían sus intereses personales [20]; llevando a quienes se alzaron en armas a explotar algunas fortalezas como el conocimiento de los terrenos, la capacidad de desplazamiento en grupos más pequeños, la facilidad de mimetizarse en la población civil, entre otras estrategias. Con el tiempo estos grupos fueron creciendo y se organizaron militarmente, hasta llegar el momento de rebelarse contra los Estados, con el propósito de tomarse el poder por la fuerza.

En Colombia, el término es utilizado para identificar a algunos grupos alzados en armas de extrema izquierda, que promulgan una revolución, pero que perdieron su horizonte una vez que encontraron en la extorsión, el secuestro y el narcotráfico una manera de financiar sus actos delictivos y de enriquecerse ilícitamente, sin importar el daño que puedan causar a la sociedad y al medio ambiente, por la tala indiscriminada de bosques para los cultivos ilícitos, así como la promulgación de la minería ilegal, brindándole protección a quienes se dedican a estas actividades, para posteriormente cobrar un porcentaje de sus producidos y ganancias.

Estos grupos para contrarrestar la presión ejercida por el Estado a través de sus Fuerzas Militares y de Policía, utilizan técnicas no convencionales de la guerra, como ataques asimétricos con el factor sorpresa, daños a la infraestructura de hidrocarburos y energética, bloqueos a vías y quema de vehículos, ataques a la población civil, entre otras, con el objetivo de mostrarse fuertes, pero

también de producir desmoralización al interior de las tropas y así neutralizarlas.

Desde la óptica de la guerra, el término asimetría apareció por primera vez en 1995 en la revista estadounidense *Joint Warfare of the Armed Forces*, como el enfrentamiento de adversarios haciendo uso de modos de acción no convencionales, la elución de la fuerza adversaria y la explotación de sus vulnerabilidades [21]. De lo anterior se puede definir que la asimetría es el *modus operandi* utilizado por los generadores de violencia que tienen desventajas frente a los Organismos Estatales, para hacer uso de lo inusual, lo inesperado, el factor sorpresa, en aquellos lugares donde saben que no recibirán una respuesta inmediata.

Uno de los acontecimientos más sobresalientes en esta generación de la guerra fue el ataque a las Torres Gemelas en septiembre del 2001, quizá con el objetivo de vulnerar el poder económico de los Estados Unidos, así como el intento de atacar a la Casa Blanca que representa el centro del poder político y al Pentágono, centro del poder militar, utilizando como armas a los aviones comerciales del propio país atacado [22]. Esta acción puso en evidencia que los Estados Unidos se estaban enfrentando a una amenaza asimétrica, sin un frente de batalla definido y sin el uso de armas convencionales que le causó efectos devastadores, tomando por sorpresa a los organismos de inteligencia.

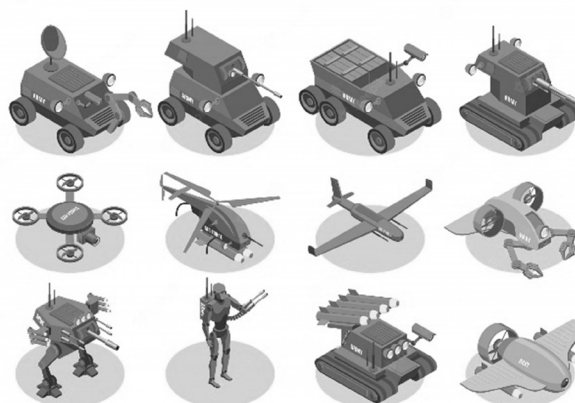
Este ataque sentó un precedente de connotación mundial en la guerra silenciosa, llevando a las potencias a optar por nuevas estrategias para contrarrestar este tipo de amenazas, y permitió que se realizaran algunas regulaciones con respecto al uso del espacio aéreo, nuevos protocolos para los viajeros especialmente en los aeropuertos, así como el desarrollo de nuevos equipos con el apoyo de la tecnología, tales como: robots, drones, sistemas electrónicos de seguridad, plataformas informáticas y cámaras con Inteligencia Artificial (IA), entre otros, que pueden ser monitoreados y controlados remotamente desde Salas de Crisis o Centros de Comando y Control.

También se avanza en el uso del ciberespacio, los ataques informáticos a servidores Estatales y la banca, el espionaje satelital, especialmente a estructuras críticas, la aplicación de la IA a plataformas electrónicas e informáticas, el desarrollo de algoritmos para el encriptamiento de datos y de sistemas expertos para el análisis de la información en tiempo real, así como el avance en las

Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), entre otras. Estas son algunas de las herramientas en las que más se avanzó y de las que hacen uso los Ejércitos para minimizar los ataques sorpresa como se ilustra en la Figura 5.

Esta guerra se caracterizó por el empleo del ciberespacio como la cuarta dimensión del campo de batalla [24]. Es así como los Estados Unidos fundamentaron la estrategia de Seguridad Nacional en su control, con el fin de sostener la supremacía global, debido a que este es fundamental para la dirección de las operaciones y la neutralización de los adversarios en el futuro inmediato.

Figura 5. Robots y Drones de uso militar



Fuente: [23]

Quinta generación (G5G)

Esta generación se cataloga como un conflicto multidimensional, silencioso y sin contacto, que hace uso de las TIC para protagonizar ofensivas de orden superior, donde una de sus principales características obedece a que no necesariamente se requieren armas de fuego y un campo de batalla para librarse, sino que los gestores pueden ser organizaciones e individuos con capacidad de dirigir acciones que pueden incidir en las personas, para que adopten comportamientos bien sea haciendo uso de las redes sociales, equipos electrónicos capaces de generar ondas binaurales o de control mental (neurociencia), también consideradas como e-drugs o nuevas drogas digitales y la manipulación de alimentos para ocasionar enfermedades, entre otras técnicas.

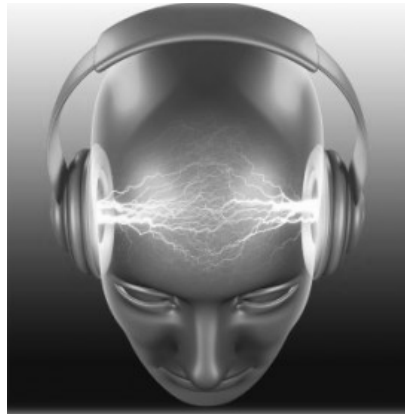
Esta generación de la guerra también hace uso de los medios cibernéticos, que han transformado los escenarios con una característica especial, y es que los marcos jurídicos internacionales no están preparados para enfrentar este tipo de acciones, razón por la cual, fue necesario potenciar las comunicaciones y la inteligencia de los organismos de seguridad a nivel global para identificar los focos de origen y minimizar su accionar [25]. Algunas de las técnicas más utilizadas en esta categoría de la guerra, son:

Ondas binaurales para el control mental

Estas ondas fueron propuestas en 1839 por el científico alemán H.W Dove, pero fue hasta en 1973 que el Dr. Gerald Oster, corroboró sus efectos en las personas, las cuales se caracterizan por ser un sonido estereofónico, grabado y reproducido en dos canales como se ilustra en la figura 6, con una ligera separación de frecuencias entre (10 y 30 Hz) [26]. Cuando el cerebro está expuesto a estos sonidos, éste genera una respuesta que se transforma en estímulos en las personas que las escuchan, logrando efectuar cambios en sus estados de ánimo y son tan adictivos, que pueden ser catalogados como una droga similar a la cocaína, el LSD, el éxtasis, el opio, etc.

Estas ondas fueron propuestas en 1839 por el científico alemán H.W Dove, pero fue hasta en 1973 que el Dr. Gerald Oster, corroboró sus efectos en las personas, las cuales se caracterizan por ser un sonido estereofónico, grabado y reproducido en dos canales como se ilustra en la figura 6, con una ligera separación de frecuencias entre (10 y 30 Hz) [26]. Cuando el cerebro está expuesto a estos sonidos, éste genera una respuesta que se transforma en estímulos en las personas que las escuchan, logrando efectuar cambios en sus estados de ánimo y son tan adictivos, que pueden ser catalogados como una droga similar a la cocaína, el LSD, el éxtasis, el opio, etc.

Figura 6. El cerebro expuesto a frecuencias binaurales



Fuente: [27]

Basados en estudios científicos, se ha demostrado que el cerebro responde a diferentes estados o niveles de frecuencias entre los que sobresalen las siguientes:

1. Beta (de 13 a 39 Hz), en este estado la persona permanece lucida, enfocada en sus actividades y con toda la capacidad de crear y producir nuevo conocimiento y consciente de sus actos.
2. Alfa (de 7 a 13 Hz), en este estado el cerebro reduce la frecuencia y se relaja, situación muy utilizada por terapeutas para el tratamiento de ciertas enfermedades y relajación de sus pacientes como primera fase, para hacer hipnosis introspectiva o también conocida como regresiones.
3. Theta (de 4 a 7 Hz) aquí se logra un estado más profundo de relajación, llegando casi el límite de conciliar el sueño, donde el paciente puede experimentar una sensación de flotar o estar fuera del cuerpo.
4. Delta (menos de 4 Hz), es un estado de sueño profundo, en donde no se tiene conciencia de las actividades. Algunos estudios realizados por personal experto, han demostrado que este estado de conciencia, pueden ser aprovechados para realizar otras actividades como el aprendizaje, la toma de decisiones y la percepción entre otras.

Someter el cerebro humano a estos cuatro niveles de frecuencias por medios terapéuticos u otras técnicas, se

ha convertido en una herramienta muy útil para quienes la aplican, porque a través de ellas, se puede acceder a información relevante e íntima de una persona, así como explorar o confirmar alguna información de la cual se tenga algún indicio, que pueda afectar el normal desarrollo de las organizaciones, la seguridad nacional o explorar nuevos campos de la investigación. Es por ello que se considera una de las armas sobresalientes en esta generación de la guerra.

Las redes sociales

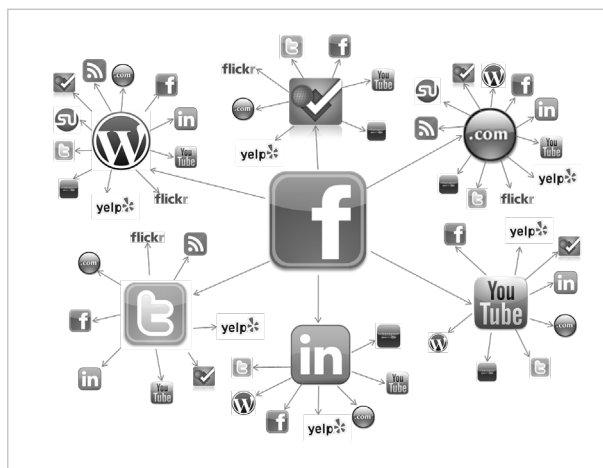
Las Redes Sociales se definen como sitios en Internet utilizados por las personas para compartir información en distintos formatos, hacer marketing de productos y servicios, promover marcas, anunciar eventos, hacer activismo, realizar convocatorias, crear comunidades, etc., Figura 7. Su importancia radica en que la información se puede difundir de forma masiva, gracias al desarrollo tecnológico al que se ha llegado en las últimas décadas, la cual ha permitido hacer uso de estas herramientas, especialmente en el campo de las comunicaciones y la informática.

Con el uso de estas herramientas, los usuarios finales pasaron de ser simples espectadores para convertirse en creadores y difusores de información, debido a la posibilidad de publicar cualquier tipo de material, bien sea informativo o con otros fines, lo que ha permitido propiciar en las nuevas generaciones, un comportamiento de consumo mediático, que además les permite compartir todo tipo de contenidos, suscitar opiniones, difundir noticias, etc., dando lugar a las llamadas cámaras de eco, que corresponden a burbujas digitales que se convierten en un terreno muy abonado para la propagación de noticias falsas [28].

Uno de los principales impulsores de las redes sociales, es la confianza que los usuarios depositan en quienes generan los contenidos, bien sea porque se comparte una ideología o se sienten identificados con sus opiniones y puntos de vista. En este sentido, Metaxas [29] sostiene que “muchos estudios de psicología han demostrado que las personas aplican un sesgo de confirmación a su pensamiento y prefieren creer lo que ya creen”; cuando esto ocurre y para lograr un cambio de opinión, se requiere hacer un esfuerzo excesivo y por lo general, lo evitan aunque hayan pruebas que demuestren lo contrario.

Basados en lo anterior, un número muy significativo de organizaciones especialmente de origen gubernamental, hacen uso de ellas para difundir información que muchas veces son noticias falsas “fake news”, engañosas y mal intencionadas, cuyo objetivo es perjudicar la reputación e imagen de una organización o persona, crear incertidumbre o desprestigio [27]. Con el uso masivo de las redes sociales, se mina un terreno para que a través de estos medios se promueva información, que muchas veces puede ser manipulada por terceros, para hacerle creer a los usuarios de estos medios electrónicos, que la fuente es real.

Figura 7. Las redes sociales



Fuente: [23]

La difusión masiva de noticias falsas a través de las diferentes redes sociales, ha creado una cultura de repudio y rechazo hacia ciertos organismos, especialmente estatales o figuras públicas, generando de esta forma un golpe a las democracias, especialmente en procesos electorales donde a través de la manipulación de la información, se incide sobre las masas hasta el punto de llevarlos a realizar actos vandálicos, al desacato de las leyes y las autoridades, así como a la polarización de la opinión pública, convirtiéndose en una fortaleza aprovechada por quienes impulsan este tipo de actos, para beneficio propio.

La Guerra de Quinta Generación se caracteriza precisamente por hacer uso de los medios de comunicación y

las plataformas informáticas; algunas de sus herramientas, tales como la Big Data, la Inteligencia Artificial, los algoritmos de caja negra, entre otros, permiten la manipulación, el manejo, interpretación y análisis de grandes volúmenes de información, para desinformar, producir miedo e incertidumbre en la gente poco informada, hasta llegar al punto de persuadirlos para que actúen de cierta forma sin el mayor esfuerzo [31].

Otra de las técnicas utilizadas en esta modalidad de guerra, son los ataques informáticos a servidores y equipos personales, utilizando todas las variantes del ciberataque, con la finalidad de bloquear páginas, robar información valiosa, ataques a estructuras críticas de los Estados, suplantar identidades con fines económicos, o el robo de contraseñas de productos bancarios, entre otros. También con el desarrollo de las TIC se están digitalizando grandes volúmenes de información, las cuales se convierten en una ventaja competitiva para quienes cuentan con la tecnología y los medios de protección a través de técnicas como la criptografía o firmas electrónicas, porque les permite hacer uso de ellas desde diferentes escenarios, pero para quienes carecen de estas herramientas, quedan vulnerables y pueden tener grandes pérdidas de la información y, por ende, económicas.

III. CONCLUSIONES

La evolución de la guerra se ha dado acorde con los desarrollos tecnológicos, principalmente desde la era digital, iniciada en la década de los 70's con la fabricación industrial de los Circuitos Integrados (IC), que permitió el desarrollo de la electrónica de consumo, el Internet, las Telecomunicaciones y la Informática, como principales detonadores de lo que hoy se conoce como las TIC.

Uno de los avances más destacados en las diferentes generaciones de la guerra, ha sido sin lugar a dudas el tecnológico, con el surgimiento constante de tecnologías emergentes y el desarrollo de las TIC, las cuales tienen una gran influencia en la sociedad moderna, que se ha caracterizado por ser altamente influenciado y de consumo, además de ser totalmente dependiente de las redes sociales y sus productos.

Las redes sociales se han convertido sin lugar a dudas en uno de los escenarios más apetecidos para librar la guerra de quinta generación, debido a que a través de esta se puede manipular la información, generar noticias

falsas "fake news" para desinformar, crear incertidumbre, pánico y desprestigiar a una organización o persona. Para evitar que las personas caigan en este tipo de actividades, se requiere la construcción de un juicio racional y ello solo es posible si se tiene un pensamiento crítico, especialmente a la hora de tomar decisiones.

La guerra de quinta generación se caracteriza por ser silenciosa, no tiene fronteras, repotencia los ataques terroristas, estimula la delincuencia organizada y mina el terreno para que haya movilización masiva del pueblo, generalmente convocado por las redes sociales. Igualmente, auspicia la proliferación de las noticias falsas y la desinformación, todo con el único propósito de quienes tienen intereses particulares, puedan alcanzar sus objetivos a unos costos muy bajos, que en el mayor de los casos, está relacionado con campañas de desprestigio y fines desestabilizadores de las democracias.

IV. REFERENCIAS

- [1] J. Villamil, "Conflictos Bélicos Actuales," [Online]. Videoshow. Mayo 2020 <http://videoshowapp.com/free#videoshow>
- [2] A. Sanjosé, *El primer tratado de derechos humanos del Siglo XXI: la convención sobre los derechos de las personas con discapacidad*. Universidad de Valencia. España. Revista electrónica de estudios internacionales (2007), Vol. 13. p. 6.
- [3] E. González y S. Rojo, *Las guerras civiles, reflexiones sobre los conflictos fratricidas de la época contemporánea Amnis* [En ligne], 2015, mis en ligne le 30 janvier 2015, consulté le 03 juin 2022. URL: <http://journals.openedition.org/amnis/2477>.
- [4] M. Barrios, *La evolución de la Guerra y su actualidad*. Argentina: América Latina en movimiento, 2019.
- [5] A. Galán, *La paz de Westfalia (1648) y el nuevo orden internacional*. Departamento de historia, facultad de Filosofía y Letras, 2019.
- [6] M. Salinas, *La Guerra de cuarta generación y sus efectos en la frontera norte ecuatoriana. Respuesta del Estado*. Quito: Academia de Guerra Naval de Ecuador, 2019.

- [7] A. Ferri, *Fusiles de la gran guerra*, tomado de: <https://ar.pinterest.com/emaldonado1458/mosquetes/>
- [8] G. Abel, *La guerra con armas de fuego en la edad moderna. Arcabuceros, Mosqueteros y Dragones*. Historia National Geographic. 2021.
- [9] I. Pasamar, *La contrarrevolución rusa, el ejército blanco*. Historia Rei Militaris, Zaragoza España. Vol. 5. Sep. 2013.
- [10] C. Álvarez, J. Santafé y O. Urbano, *¿Mutando a guerras de quinta generación?* Escuela Superior de Guerra. Bogotá. 2019.
- [11] Pixabay, *Los residuos bélicos, los olvidados del armisticio de la Primera Guerra Mundial*, la Vanguardia. 2018. Tomado de: <https://www.google.com/search?q=armas+de+la+primera+guerra+mundial>
- [12] M. Mauri. y M. Elton, *Autoridad Moral y Obediencia*. Scielo, Tópicos (México) No. 52, p. 5, mayo 2017.
- [13] M. Arrizabalaga, *Las nuevas armas que debutaron en la Primera Guerra Mundial*. Archivo ABC. España. 2021. Tomada de: https://www.abc.es/archivo/abci-nuevas-armas-debutaron-primera-guerra-mundial-20201110205_noticia.html
- [14] P. Haro, *La Guerra de cuarta generación y las amenazas asimétricas*. Santiago de Chile. Revista "Política y Estrategia" N° 134, pp. 93-113, 2019.
- [15] M. Gajate y L. González *Guerra y Tecnología. Interacción desde la antigüedad al presente* Madrid: Fundación Ramón Areces, Vitruvio, 5 – 28006, pp. 17, 2017.
- [16] F. Aznar, y A. Montesinos, *Las generaciones guerras de Segunda y tercera generación*. Instituto Español de Estudios Estratégicos – IEEE.es, 2015.
- [17] P. Gargantilla, *Las matemáticas detrás de los aviones aliados de la Segunda Guerra Mundial*. Archivo ABC. España. 2020 Tomada de: <https://www.abc.es/cienciaabci-matematicas-detras-aviones-aliados-segunda-guerra-mundial>.
- [18] M. Gajate y L. González, *Guerra y tecnología, Interacción desde la antigüedad al presente*. Fundación Ramón Areces, Asociación Española de Historia Militar. Madrid, 2017.
- [19] E. Rodríguez, *La protección del individuo en los conflictos armados de tercera generación*. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Universidad Iberoamericana 2005.
- [20] P. Haro, *La Guerra de cuarta generación y las amenazas asimétricas*. Revista "Política y Estrategia" N° 134, 2019.
- [21] G. Sánchez, *Amenazas pasadas, presentes y futuras, Las guerras asimétricas* Colección Selecciones de Investigación N° 13. Universidad Complutense de Madrid, 2020.
- [22] A. Pais y C. Tombesi, *11-S: Los 149 minutos de caos y terror que cambiaron el mundo*. BBC. News Mundo. Sep. 2021.
- [23] Conjunto asimétrico de robots militares, submarinos y drones. Tomado de: <https://www.google.com/search?q=robot+y+drones+militares&tbm>.
- [24] A. Arreola, *Ciberespacio el campo de batalla de la era tecnológica, estudios en seguridad y defensa*. 11-22. Anáhuac University. Nov 2017.
- [25] R. Morales, *La neurociencia se convierte en la nueva arma de los ejércitos*. Madrid: Tendencias 21, un proyecto de prensa Iberoamericana, 2008.
- [26] C. Domínguez, *Ondas binaurales y sus efectos*. Centro educativo Cruz Azul, México. Feb 2015.
- [27] P. M. González, *Influencia de la estimulación sonora binaural en la generación de ondas cerebrales. Estudio electroencefalográfico*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid 2013. Imagen tomada de: <https://www.google.com/search?q=ondas+binaurales&sxsrf>
- [28] S. Becerril e tal, *Influencia de las noticias falsas en la opinión pública*. Estudios de Comunicación. Madrid, Buenos Aires, Santiago de Chile, México DF, Lisboa. Sep 2018.

- [29] T. Metaxas, *Por supuesto que es verdad, ¡lo vi en internet! Pensamiento crítico en la era de Internet*, Comunicaciones de la ACM, pp. 7 mayo 2003.
- [30] L. Santa María, *Todo lo que debes saber sobre las redes sociales, parte 2*. Staff creativa. Imagen tomada de: <https://www.staffcreativa.pe/blog/redes-sociales2/>.
- [31] A. Aharonian, *La guerra de quinta generación*. Córdoba, Argentina. La tinta Sep. 2018.

Operaciones Terrestres Unificadas, concepto doctrinal del Ejército

Mayor (RA) Fredy Alejandro Hernández Linares
fredeje45@outlook.com

RESUMEN - Los escenarios locales y globales que han sido parte de la historia colombiana, han tenido como efecto, entre otros, la adopción de conceptos operacionales adaptados a los diferentes retos de cada época. La evolución del concepto doctrinal no se puede dejar en el olvido, al igual que los conceptos de mayor utilidad de las antiguas doctrinas, ya que estos le permiten a las Fuerzas Armadas ser más exitosas en el presente y futuro.

Palabras clave: Armas combinadas, Doctrina, OTU.

ABSTRACT - Local and global contexts that have been part of Colombian history have had effects as adopting operational concepts adapted to the challenges that come with each time. Doctrinal concept evolution isn't possible giving back the terms of the former doctrines since those let the military be more successful in the present and future times.

Key words: Combined arms, Doctrine, ULO.

I. INTRODUCCIÓN

El avance del tiempo trae consigo nuevos escenarios y retos que afrontar por parte de las naciones que se han establecido bajo el concepto de Estados autónomos, es decir, que se forjan sobre los pilares como el gobierno, la población, la justicia, el territorio y la soberanía [1].

Bajo este mismo concepto se ha conformado el Estado colombiano que en su caso en particular, sienta las bases de la organización de sus Fuerzas Militares en el artículo 217 de la constitución política que a la letra dice: "La Nación tendrá para su defensa unas Fuerzas Militares permanentes constituidas por el Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea. Las Fuerzas Militares tendrán como finalidad primordial la defensa de la soberanía, la independencia, la integridad del territorio nacional y del orden constitucional" [2].

Como lo recita la constitución, son las Fuerzas Militares las encargadas de afrontar en gran parte los ingentes retos que a través de la historia ha tenido la república de Colombia, y para lograrlo, desarrollan una serie de medios y métodos de guerra los cuales no son más que la definición de técnicas, tácticas y procedimientos empleados en la conducción de operaciones y mediante los cuales el ejército de combate y los elementos del ejército generador de fuerza que soporta directamente las operaciones, guían sus acciones en apoyo a los objetivos nacionales [3].

Es así como estos elementos en adición a términos y gráficas militares forman lo que se conoce como doctrina, que en palabras de John Frederick Charles Fuller se describe como, *“La doctrina es la idea central de un ejército ... para que tenga sentido debe corresponder a los principios de la guerra, y para que sea efectiva debe ser suficientemente flexible para admitir la mutación de acuerdo con el cambio de las circunstancias. En su última relación con la comprensión humana, esta idea central o doctrina no es nada más que el sentido común que es, acción adaptada a las circunstancias”*[4].

Flexibilidad de acuerdo con las circunstancias, es el punto clave que se aborda en este documento, pues se plantea la tesis de que, la reciente adopción del concepto operacional llamado “operaciones terrestres unificadas OTU” obedece al nuevo escenario volátil, incierto, complejo y ambiguo que enfrenta Colombia.

Esta tesis se argumenta en la transición histórica de la doctrina militar de Colombia, la introducción del concepto de seguridad de áreas extensas y la implementación de la metodología de armas combinadas.

II. HISTORIA DE LA DOCTRINA MILITAR EN COLOMBIA

El proceso colombiano de militarización, se origina a finales del siglo XVIII durante la conocida época de la colonia, en la cual, la sociedad del entonces reino de la Nueva Granada, comenzaba a mostrar resistencia ante los abusos del sistema político existente (la monarquía).

La mencionada situación generó como consecuencia la organización de ejércitos revolucionarios que combinaban la doctrina española con la doctrina de lucha de milicias o pequeños grupos de hombres que combatían mediante técnicas, tácticas y procedimientos irregulares

para la época; esta doctrina privilegiaba la velocidad y la sorpresa sobre la masa y la maniobra de la doctrina española.

Una vez alcanzada la independencia, la influencia de misiones militares francesas modificaron levemente la doctrina militar a lo largo del siglo XIX; posteriormente en el siglo XX, específicamente en el año 1909, las amenazas que afectaban la seguridad hemisférica y defensa del país durante la primera mitad del siglo XX, dejaron al descubierto que el reto principal para la Fuerza era alcanzar su profesionalización.

Es así como arribó la primera misión militar chilena – con claro ascendente prusiano–, durante el Gobierno de Rafael Reyes, en cabeza de “Francisco Javier Díaz y Pedro Charpin Rival (1909-1911), quienes tenían claro el modelo de un Ejército profesional que formara a sus cuadros de mando en escuelas de formación militar, lo que condujo a la creación de la Escuela Militar de Cadetes y la Escuela Naval [6]. Adicionalmente, la doctrina prusiana se caracterizaba por el empleo operacional de especialidades militares como infantería, caballería y artillería en regimientos, divisiones y brigadas que empleaban maniobras de combate independientes.

Esta doctrina se puso en práctica durante la guerra contra Perú en 1932, con relativo éxito; acto seguido, durante la segunda mitad del siglo XX tras haber culminado la Segunda Guerra Mundial y con la experiencia adquirida mediante la participación en la guerra de Corea en 1950, el proceso de militarización colombiano permitió la adición de doctrina estadounidense que para la época, fue conocida como Pentomic Warfare, la cual obedecía al empleo de tácticas en el campo de batalla que requerían una mayor dispersión de las unidades, tanto en la ofensiva como en la defensiva [5]; a partir de 1964 y ante la nueva realidad regional, en la cual grupos guerrilleros comienzan a organizarse y realizar acciones en contra de los Estados y sus instituciones, el ejército recibió el apoyo norteamericano para la contención de las guerrillas, al punto de influir en la formulación de una doctrina contra-insurgente que homologaba su política con la del resto de países de la región a tono con la Doctrina de Seguridad Nacional DSN [6]. Esta doctrina empleaba unidades militares tipo pelotón que incluían piezas de artillería liviana y escuadras de ametralladoras, lo que les permitía operar en forma independiente o reforzar su poder de combate uniéndose con otros pelotones de acuerdo con el tamaño de la amenaza; sin embargo, la dinámica del conflicto

armado en Colombia trajo la expansión de las guerrillas (1984-2002), que junto a dos procesos de paz frustrados, el levantamiento del paramilitarismo y la incursión de los guerrilleros en el narcotráfico, llevaron el conflicto a zonas de frontera agrícola del país, desafiando seriamente el control del Estado [7]. Esto es lo que algunos autores han mencionado como el avance de la Guerra de Guerrillas a la Guerra de Posiciones [6].

Este escenario condujo al desarrollo y adopción de la doctrina contrainsurgente II etapa, la cual fortalecida por el apoyo norteamericano a través del plan Colombia, integró el desarrollo de operaciones de acción integral, operaciones psicológicas, apoyos aerotácticos y fluviales a la maniobra terrestre.

Finalmente, tras la firma de los acuerdos de paz, la desarticulación y desmovilización de las FARC-EP, la aún existente amenaza interna, el fenómeno del crimen transnacional y la proyectada participación en conflictos internacionales, o de área extensa como componente de la ONU y la OTAN, fue necesaria la generación, revisión y adaptación de manuales y reglamentos que estuvieran acordes con la situación nacional, el entorno regional y el ámbito internacional, lo que llevó a las Fuerzas Militares a desarrollar la doctrina Damasco que adoptó el concepto operacional de OTU, cuya idea central se basó en el desarrollo de operaciones ofensivas, defensivas, de estabilidad y apoyo a la defensa de la autoridad civil ADAC, ejecutadas simultáneamente para capturar, retener y explotar la iniciativa de consolidar ganancias que permitieran prevenir el conflicto, configurar el ambiente operacional y vencer en la guerra.

III. COMPETENCIAS DISTINTIVAS DEL EJÉRCITO

La seguridad de área extensa comprendió la aplicación de los elementos del poder de combate en acción unificada, para proteger a la población. Las fuerzas, los activos críticos y las actividades en aras de negar una posición ventajosa al enemigo, consolidaron los éxitos, con el fin de retener la iniciativa [8].

Esta es una de las tres competencias distintivas del Ejército, la cual se implementó en esta nueva doctrina como parte de las maniobras a desarrollar en las naciones anfitrionas, donde tropas de las fuerzas militares colombianas fueran desplegadas como parte de un componente de ejércitos aliados, buscando de esta manera

ayudar con el desarrollo de las fuerzas de seguridad de una nación anfitriona, una economía de mercado viable, el Estado de derecho y un gobierno efectivo que estableciera y mantuviera la seguridad en un área de operaciones [9].

El propósito de las actividades desarrolladas en el marco de la competencia de seguridad de área extensa, ha sido permitir que la nación donde se desarrollan las operaciones alcance una situación civil estable y sostenible en el amplio espectro de seguridad, salud, economía y autogobierno [10]. Ejemplo de esta, son las misiones de mantenimiento de paz de la ONU como la operación de las Naciones Unidas en Côte d'Ivoire que completó su mandato satisfactoriamente el 30 de junio de 2017 tras trece años de intervención.

Esta operación conocida bajo el acrónimo UNOCI, fue autorizada por la ONU en 2004, debido a la falta de autoridad del Estado que prevalecía en medio de una agresiva guerra civil que generó la división territorial del país, la muerte de más de 3.000 personas y alrededor de 300.000 refugiados; los logros alcanzados por UNOCI fueron entre otros, el despliegue de 11.792 tropas de 9 países, dos elecciones presidenciales y un referendo con la abierta participación de la oposición, la disminución de la violación de derechos humanos, el desarme y reintegración de 70.000 combatientes, el retorno de más de 250.000 refugiados, el apoyo de más de 1.000 proyectos sociales y la disminución de conflictos en un 80%.

Finalmente, la introducción de la metodología de maniobra de armas combinadas como competencia distintiva del ejército en el desarrollo de operaciones terrestres unificadas, se adoptó como consecuencia de la reorganización de las capacidades del ejército en funciones de conducción de la guerra (inteligencia, sostenimiento, protección, fuegos, mando tipo misión) y de los nuevos teatros multinacionales de operaciones a los que se proyecta el despliegue de unidades militares.

La maniobra de armas combinadas ha sido la aplicación de los elementos del poder de combate en acción unificada, para derrotar a las fuerzas terrestres enemigas, así como la captura, ocupación y defensa del terreno, con el fin de lograr ventajas físicas, temporales y psicológicas sobre el enemigo para capturar y explotar la iniciativa [3]; de esta forma, los comandantes capturan retienen y explotan la iniciativa al forzar al enemigo a responder a la acción de las propias tropas y se le obliga a reaccionar

continuamente hasta llevarlo a posiciones insostenibles presionándolo para que abandone sus opciones preferidas y de esa forma, llevarlo a cometer errores costosos que las propias tropas aprovecharán generando nuevas oportunidades para explotarlas [3].

La maniobra de armas combinadas junto con la seguridad de áreas extensas, ayudan al comandante de la batalla a planear la disposición de acciones tácticas y potenciarlas con el efectivo empleo de los elementos de poder de combate para alcanzar una posición de ventaja frente al enemigo, haciendo énfasis en el desarrollo de la iniciativa que permite el concepto de Operaciones Terrestres Unificadas.

IV. CONCLUSIONES

Se evidencia como la forma en que los escenarios locales y globales enfrentados a través de los tiempos por el Estado colombiano, ha tenido como efecto, entre otros, la adaptación y adopción de nuevos conceptos operacionales a los diferentes retos de cada época, sin olvidar los conceptos de mayor utilidad en las anteriores doctrinas empleadas, ya que esto le permite a las Fuerzas Armadas ser más exitosas en el presente y futuro.

La adopción del concepto operacional de operaciones terrestres unificadas continua en una detallada evolución doctrinal, pues seguramente futuros conceptos operacionales serán desarrollados teniendo en cuenta tanto la experiencia local, como la experiencia internacional, lo que traerá importantes elementos de doctrina que no han sido completamente desarrollados en las versiones actualmente implementadas por las Fuerzas Militares de Colombia.

Lograr el éxito en operaciones terrestres sostenidas como parte de una fuerza conjunta o combinada, es el reto que actualmente enfrentan las Fuerzas Militares ante el nuevo escenario al que se enfrentan, donde se busca contribuir con la acción unificada mediante el desarrollo de Operaciones Terrestres Unificadas OTU.

La transformación de la doctrina en cada una de las épocas de la historia de Colombia, analizadas en este documento y la adopción e integración a la doctrina actual de las competencias distintivas, reafirma la flexibilidad de acuerdo con las circunstancias que describía John Frederick Charles Fuller en su interpretación de la misma.

El empleo de un concepto dinámico ante una amenaza caracterizada por su masa y fuerza, o el empleo de un concepto operacional en el cual la simultaneidad, profundidad, sincronización y flexibilidad, son sus pilares para enfrentar un escenario volátil, incierto, complejo y ambiguo, estos son solo un par de ejemplos de cómo la doctrina se adapta a las circunstancias del momento.

V. REFERENCIAS

- [1] J. Escobar, *Derecho constitucional colombiano*. Librería del profesional, 1991.
- [2] *Constitución Política de Colombia*. Bogota DC., 1991.
- [3] C. de doctrina del Ejército, *Manual Fundamental del Ejército 3-0 Operaciones*. Bogota DC., 2017.
- [4] J. F. Fuller, *The Foundations of the Science of War*. The Foundations of the Science of War, 1926.
- [5] J. F. Smith, *Pentomic Doctrine: A Model for Future War*. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, United States: School of Advanced Military Studies, 1994.
- [6] M. A. Martínez and M. A. Montoya, "La transformación del Ejército Nacional de Colombia: una," *Rev. Latinoam. Estud. Secur.*, vol. 22, pp. 77–84, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.17141/urvio.22.2018.3093>.
- [7] F. Ruiz, "Estrategia militar y política: temas teóricos y aplicación práctica." [Online]. Available: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/3090612.pdf>.
- [8] Centro de doctrina del ejército, *Manual fundamental de referencia MFRE 5-0 Proceso de operaciones*. Bogota DC., 2017.
- [9] B. C. Schmidt and M. C. Williams, "Security Studies The Bush Doctrine and the Iraq War: Neoconservatives Versus Realists," 2008, doi: 10.1080/09636410802098990.
- [10] T. G. Dr. Bradbeer, "Ridgway Reconstruye el Octavo Ejército," 2019.

Las Comunicaciones Militares a través de la Historia

En un marco de las Operaciones Terrestres Unificadas

Subteniente Emmanuel Garibello Mahecha
Emmanuel.garibellomahecha@buzonejercito.mil.co

RESUMEN - Dentro de este Artículo el tema principal radica en como las comunicaciones dentro del Ejército Nacional y observándolas desde el punto de vista de sub-sistema dentro de la estructura organizacional del Ejército de Colombia, ha aportado a un marco de operaciones relativamente novedoso en el cual se observan los lineamientos gubernamentales regionales e internacionales en materia de cooperación a la consolidación de estándares y criterios para el funcionamiento de la misma institución, de cómo su naturaleza operacional y de gestión del conocimiento permiten entender las necesidades y las futuras soluciones desde otro punto de vista. Es por esto que el desarrollo del artículo se basa en un contexto histórico en los 25 años de la creación del Arma de Comunicaciones, un desarrollo particularmente necesario y por ultimo una conclusión, generando una respuesta funcional a lo que es el aporte de las comunicaciones militares en el marco de las operaciones terrestres unificadas.

Palabras Clave: operaciones terrestres unificadas, Comunicaciones, Ejército, Sistemas, Gestión del conocimiento.

ABSTRACT - Within this article the main theme is how communications within the national army and observing them from the point of view of a subsystem within the organizational structure of the Colombian army, has contributed to a relatively new framework of operations in which regional and international governmental guidelines are observed in terms of cooperation to the consolidation of standards and criteria for the functioning of the same institution, how its operational nature and knowledge management allow to understand the needs and future solutions from another point of view. This is why the development of the article is based on a historical context in the 25 years of the creation of the communications weapon, a particularly necessary development and finally a conclusion, generating a functional response to what is the contribution of military communications in the framework of unified land operations.

Keywords: unified land operations, signals corps, army, Systems, knowledge management

I. INTRODUCCIÓN

El Ejército nacional de Colombia en el desarrollo histórico de su conflicto armado y evolución estructural, Teniendo eventos que han generado una serie de necesidades permitiendo el desarrollo de capacidades dentro de la misma institución, como en el caso de las comunicaciones militares, esta capacidad del Ejército en su trayectoria ha permitido por 78 años la comunicación directa y la transmisión de datos e información por medio de técnicas y tecnologías a través del tiempo. De igual forma se puede observar que la necesidad de crear una especialidad en el Ejército en relación a las comunicaciones fue inminente por lo que hace 25 años se establece las comunicaciones militares como una especialidad independiente. El presente artículo de investigación tiene como objetivo evidenciar como las comunicaciones militares a través de los años a permitido la configuración del marco operacional del Ejército y ha aportado por medio de investigaciones y propiedad intelectual un pilar para el desarrollo de la misma institución, el desarrollo del artículo tiene una base en la pregunta de investigación, ¿Cómo las comunicaciones militares a través de la historia han permitido la configuración del marco operacional del Ejército Nacional de Colombia?

II. ESTADO DEL ARTE

El marco teórico de esta investigación inicia con la conceptualización de las comunicaciones como subsistema del Ejército Nacional de Colombia del liderazgo como parte fundamental de la organización, se basa en la conceptualización del [1] Mando Tipo, que establece que uno de los fundamentos del concepto operacional es la filosofía del MTM que responde con eficacia a la naturaleza de las operaciones militares durante las cuales se presentan rápidamente oportunidades inesperadas y amenazas, por lo tanto, estas requieren responsabilidad y toma de decisiones en el punto de acción. La concepción anterior de mando y control hacía énfasis en controlar para garantizar el cumplimiento de las órdenes y planes emitidos por un comandante. En contraste, el mando tipo misión busca un balance entre el arte del mando y la ciencia del control; en otras palabras, controla para que se explote la iniciativa. Por otra parte, [2] las comunicaciones militares en el ejercicio del Mando Tipo Misión las comunicaciones militares garantizan la interoperabilidad de todos los sistemas del Ejército Nacional en todos los teatros de operaciones, logrando con esto desarrollar misiones ofensivas,

decisivas, de estabilización y de apoyo y defensa a la autoridad civil, apoyando el concepto de operaciones terrestres unificadas. De igual forma por medio de la doctrina del Ejército nacional de Colombia [1] Establece que Las comunicaciones son los medios por los cuales los comandantes ejercen el control personal e inmediato sobre sus unidades; por consiguiente, es imprescindible que estas sean efectivas, ya que las unidades y otras organizaciones difunden y comparten información (referente a personas, elementos, lugares, entre otros) y porque a través de estas se enlaza la información para la toma de decisiones y su ejecución. Por ello, es importante que la comunicación sea clara entre comandantes y subordinados a fin de que se puedan tomar decisiones durante el desarrollo de las operaciones, puesto que requieren esfuerzos colectivos. La comunicación efectiva debe ser intensiva e irrestricta, dentro de una cultura de colaboración caracterizada por el intercambio libre y sin trabas de información y conocimiento significativo en todos los niveles del mando.

III. METODOLOGIA

Para la metodología se parte de una investigación cualitativa se orienta en la definición de conceptos descriptivos que propone interpretar la información obtenida a través de recursos como investigaciones anteriores y propiedad intelectual desarrollada por el Ejército nacional de Colombia, con el propósito de indagar en su significado, ya que para la presente investigación resulta pertinente desarrollar esta investigación de carácter cualitativo que nos permita describir la selección de los casos de estudio a comparar teniendo características particulares por tratarse de formación militar que corresponde a una formación castrense en la cual se evidencia el mando tipo misión y las especialidades, en este caso comunicaciones, como una cualidad fundamental dentro de todos los ejércitos a nivel mundial. Por tal motivo esta investigación hace énfasis en el desarrollo de las comunicaciones militares a través de los años como un componente de configuración en el marco operacional de la institución.

De acuerdo a lo anterior, la aplicación de una investigación cualitativa es fundamental al momento de analizar e interpretar la información para lograr de este modo una conclusión coherente que nos lleve a refutar o acertar hipótesis de los diferentes autores basándonos en sus

semejanzas y diferencias en lo que concierne al aporte de las comunicaciones militares dentro del marco operacional del Ejército. Las categorías de aplicación se centran en: desarrollo de la especialidad y aporte material o no material a la institución.

IV. DESARROLLO

Las comunicaciones militares dentro del Ejército de Colombia no solo comenzaron su historia por medio de las participaciones internacionales dentro de los conflictos, este comienzo está cimentado por parte de los conflictos que han marcado la historia de un sistema internacional en el cual convergimos, conflictos como la primera y segunda guerra mundial determinaron las necesidades en relación a la comunicación entre hombre y unidades para obtener la ventaja dentro de la estrategia militar. Es por esto que en el Ejército de Colombia [3] surge la primera instalación de una estación de radiodifusión y de una oficina de radio por parte del ministerio de guerra empezando a determinar su rol importante para la comunicación estratégica de las secciones gubernamentales.

Posteriormente [4] entre 1933 y 1940 se estructura la jefatura de radios del comando del ejército determinada por 3 secciones: mensajeros, sección de telégrafos y sección de radios, encaminando a las comunicaciones como una especialidad, fue así que el coronel Torrijos, dentro del batallón de ingenieros N°1 "francisco José de caldas" establece la compañía de comunicaciones en la cual ingresan los primeros hombres radiotelefonistas, los cuales con sus capacidades empezaron a desarrollar las comunicaciones militares ya como una especialidad para los hombres que contaran con las habilidades para pertenecer a la misma.

Posteriormente [5] la creación de la escuela de comunicaciones en 1944 orgánica de la brigada de institutos militares marco una nueva etapa para la especialidad de comunicaciones militares debido a que ya se crea un alma mater en la cual se tendría como misión la capacitación de los hombres que conformen la especialidad.

Al identificar el paso de las comunicaciones por la historia colombiana y específicamente en la historia del glorioso ejército nacional, [6] se observa la constante necesidad que se ha presentado de tener un método de comunicación tanto para los comandantes como para las

tropas, es inminente, y no se puede negar, es por esto que frente a esta necesidad los hombres y mujeres de comunicaciones dentro de la fuerza se capacitan con el fin de brindar las soluciones y respuestas inmediatas en el campo de combate, estando dentro del área de operaciones y desde afuera estratégicamente vigilando y garantizando la interoperabilidad de la nación.

Por otra parte el desarrollo de la idea central de la doctrina colombiana [7] "las operaciones terrestre unificadas" El obtener, retener y explotar la iniciativa para ganar y mantener una posición ventajosa, proporciona un marco conceptual y lógico en el campo de batalla que incluye las operaciones terrestres unificadas en la estructura operacional conjunta de acción unificada y proporciona una estructura que permite que los comandantes describan eficaz y precisamente su intención en tiempo, espacio, propósito y prioridad. Esta definición enmarca las ideas más positivas de la doctrina y la realidad operacional, permitiendo la estandarización y aplicación de las nociones tácticas, técnicas y estratégicas en cada una de las misiones desarrolladas operacionalmente en el territorio colombiano, es de gran importancia resaltar el cómo las OTU mediante la acción unificada destaca la funcionalidad del Mando tipo misión no solo como función de conducción de la guerra si no como una filosofía de acción principalmente de los comandantes pero transmitida dentro del cuerpo de soldados. El título de operaciones terrestres unificadas [8] determina que el ejército nacional de Colombia, en cooperación con entidades gubernamentales y no gubernamentales ratifica el esfuerzo y la acción directa que permite sustentar y justificar la acción unificada como uno de los pilares de funcionamiento estructural de las Fuerzas Militares.

Al entender los conceptos de comunicaciones en el ejército y su desarrollo histórico y el de Operaciones Terrestres unificadas como componente principal y fundamental para el desarrollo de las mismas, se hace necesario correlacionar como las necesidades presentadas en el desarrollo operacional [1] en relación a comunicación e interoperabilidad han sido solucionadas y como la gestión del conocimiento permite parametrizar y estandarizar los conceptos doctrinales de comunicaciones y Mando Tipo Misión.

[9] La doctrina del Ejército de Colombia sufrió un cambio a mediados del 2015 por medio de proyectos estructurales lo que permitieron la nueva visualización y

ampliación de la propiedad doctrinal intelectual que se empezaría a aplicar en la institución, desarrollando jerarquizaciones y clasificaciones de esta propiedad con el fin de priorizar los aspectos necesarios a estandarizar para entender el desarrollo del conflicto, las comunicaciones militares cumpliendo su rol, brindan al ejército nacional los insumos para el funcionamiento de las tropas por medio del comando y el control como lo [10] menciona el manual de campaña de ejército de Colombia MCE 6-02 Operaciones de comunicaciones:

“ [10] Las comunicaciones proporcionan al Ejército herramientas adecuadas para que los comandantes en todos los niveles puedan ejercer la FCG Mando tipo misión dentro del concepto operacional OTU. Estas herramientas son: personal, redes, SI, procesos y procedimientos, infraestructura y equipo. La planificación, la preparación, la ejecución y la evaluación del apoyo a las operaciones, en cuanto a las comunicaciones, deben ser los roles del soldado de la Divisa Naranja. El apoyo de las comunicaciones a las OTU es esencial para el éxito de la misión del Ejército” (p.4)

De esta manera se han desarrollado capacidades inclusivas del subsistema necesarias para las OTU, dentro de la doctrina se cuenta con un despliegue en la organización jerárquica de la misma, [1] las comunicaciones militares estructuran su gestión del conocimiento mediante los principios de esta función de conducción de la guerra, permitiendo de esta manera, conformar un compendio de comunicaciones en donde se intensifica y determina las tácticas, técnicas y procedimientos necesarios para el desarrollo de la cooperación en el marco OTU mediante la Acción unificada, por medio del [10] manual de campaña 6-02, se determinan las operaciones de comunicaciones que se realizan en el área de operaciones, entendiendo que las comunicaciones militares poseen diferentes naturalezas o campos de aplicación en los cuales no solo las operaciones de re predominan, sino que, dominios como el espacial y ciberespacial, permiten que las comunicaciones militares realicen las acciones operacionales diferenciales que estimulen el proceso de desarrollo mediante experiencia, necesidad, falencias y fallos, siendo estos los insumos del cambio de enfoque y re direccionamiento de las operaciones nacionales de interoperabilidad. {

Los manuales de técnicas, dentro del marco de las operaciones terrestre unificadas, enfocan el accionar del

comandante en temas específicos, en el caso de las comunicaciones militares, manuales de técnicas según el [11] árbol doctrinal del Ejército como, [12]“Radios Tácticos” [13]“técnicas para las redes de información de combate” [14]“técnicas para apoyo de comunicaciones” [15]“técnicas para operaciones de seguridad de combate” [16]“técnicas para la administración de espectro electromagnético” permiten el correcto desempeño de los hombres y mujeres no solo de comunicaciones, también de todas aquellas personas que dentro del marco doctrinal no conozcan las estandarizaciones militares para los procedimientos, permitiendo de esta manera aumentar la efectividad en el uso de las técnicas, equipos, plataformas y virtudes con las que cuenta el sistema de comunicaciones del Ejército, reflejado en la importancia de la letalidad en todas las operaciones e incluye la maniobra de [17] armas combinadas y la [18] seguridad de áreas extensas como medios para vincular las operaciones ofensivas, defensivas y de estabilización con el propósito de obtener y mantener la iniciativa. En el marco operacional la contribución de las comunicaciones a las operaciones terrestres unificada es cómo el Ejército logrará el éxito en las operaciones terrestres sostenidas como parte de una fuerza conjunta o combinada.

Se determinan las operaciones de comunicaciones que se realizan en el área de operaciones, entendiendo que las comunicaciones militares poseen diferentes naturalezas o campos de aplicación

Dentro de la aplicación de la doctrina en el marco operacional, con casos de estudio como despliegues operacionales, apoyos de [19]comando y control, [20]fortalecimiento de la ciberdefensa y ciberseguridad, se observa a las comunicaciones militares como un brazo totalmente fortalecido por su capacitación, contundencia y coordinación militar en el desarrollo de sus misiones de diferente naturaleza, ver como los batallones de comunicaciones enfocados en las operaciones de red aportan a la interoperabilidad de las unidades en un área asignada, permiten dimensionar la importancia de una correlación entre el comandante, sus tropas, y el medio por el cual, la misión será informada, ver como las unidades de computación, ciberdefensa, mantenimiento y sostenimiento de comunicaciones, encaminan su esfuerzo principal a la obtención de los intereses nacionales, concede la visión

de un futuro totalmente cimentado por parte de las especialidades del arma de comunicaciones, en coordinación con este sistema integrado de armas del ejército, produciendo avances correctamente enfocados a la solución continua de necesidades nacionales, regionales, internacionales y que de manera acertada y realista, a la solución de necesidades en materia de cooperación, innovación, desarrollo y visualización, generando de esta manera no solo un sistema estructuralmente fuerte, por el contrario, un ejército organizacionalmente definido, con una planeación orientada y una posibilidad de seguir siendo la luz en la oscuridad para muchos ejércitos desconocidos en materias que solo nosotros, somos capaces de realizar.

V. CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha examinado las condiciones históricas que determinaron a las comunicaciones como una especialidad necesaria para el funcionamiento del ejército, con la misma importancia que las demás que existen, pero con un campo de aplicación, totalmente diferente, se examinaron los conceptos operacionales del ejército, con estándar regional para el desarrollo de las mismas operaciones, como la propiedad intelectual direcciona las actividades de naturaleza operativa en sus debidos niveles de distribución y de cómo en la aplicación de estos, se evidencia un fortalecimiento de las tácticas, técnicas y procedimientos para la victoria militar de la institución, determinando sin duda que la adopción de las operaciones terrestres unificadas continúa la larga tradición de la significativa evolución doctrinal en el Ejército. Observando que las operaciones terrestres unificadas amplían el uso de la iniciativa, las operaciones de naturaleza total y el mando tipo misión, utilizando a las comunicaciones militares no solo como un insumo táctico si no como un componente operativo y estratégico para el positivo desempeño del ejército nacional de Colombia en su marco normativo operacional regional e internacional.

En conclusión, El desarrollo histórico de las comunicaciones militares, dentro de la institución castrense, desde su inicio ha permitido la evolución del actual concepto de mando tipo misión, este conocido anteriormente como la ciencia del comando y el control, que mediante aplicaciones estratégicas y propiedad intelectual se elaboró como un concepto doctrinal en el marco internacional, adaptando su funcionalidad y aplicación al contexto operacional del Ejército Nacional de Colombia, de igual

forma se evidencia la evolución continua de las capacidades establecidas por parte del subsistema, no solo en relación a las plataformas de empleo como equipos de comunicaciones, también evidenciada en la capacitación y entrenamiento de hombres y mujeres en campos de dominios espaciales y ciberespaciales, direccionando a la fuerza al progreso en el campo de las guerras irrestrictas y de quinta generación.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. N. d. Colombia, Manual Fundamental de Ejercito Mando Tipo Mision MFE 6-0, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [2] D. d. C. CEDE6, *Comunicaciones en el ejercicio del Mando Tipo Misión*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [3] E. N. d. Colombia, *Disposicion Nacional*, Bogota, Cundinamarca : Comando del Ejercito Nacional, 1912.
- [4] E. N. d. Colombia, *Disposición*, Bogotá, Cundinamarca : Comando del Ejército Nacional, 1940.
- [5] E. N. d. Colombia, *Disposicion Nacional*, Bogotá, Cundinamarca : Comando Ejército Nacional, 1944.
- [6] E. N. d. Colombia, *Manuial Fundamental de Referencia del Ejercito Nacional 6-0 Mando Tipo Misión*, Bogota, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [7] E. N. d. Colombia, *Manual Fundamental de Ejército MFE 3-0 Operaciones*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [8] E. N. d. Colombia, *Manual Fundamental de Referencia de Ejército MFRE 3-0 Operaciones*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [9] E. N. d. Colombia, *Manual Fundamental de Ejército 1-0 Doctrina*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [10] E. N. d. Colombia, *Manual de Campaña de Ejército MCE 6-02 Operaciones de Comunicaciones*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.

- [11] E. N. d. Colombia, *Arbol Doctrinal del Ejército Nacional*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [12] E. N. d. Colombia, *Manual de Técnica de Ejército MTE 6-02.72 Radios Tacticos*, Bogotá: Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [13] E. N. d. Colombia, *Manual de Tecnicas de Ejercito MTE 6-02.60 Tecnicas para redes de informacion de combate*, Bogotá, Cundinamarca: Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [14] E. N. d. Colombia, *Manual de Tecnicas de Ejército MTE 6-02.45 Tecnicas para apoyo de Comunicaciones*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [15] E. N. d. Colombia, *Manual de Tecnicas de Ejército MTE 6-02.75 Tecnicas para operaciones de seguridad de combate*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [16] E. N. d. Colombia, *Manual de Técnica de Ejército MTE 6-02.70 Tecnicas para la administracion del espectro electromagnetico*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [17] E. N. d. Colombia, *Manual de Campaña de Ejército MCE 3-96 Operaciones de Brigada (Equipos de Combate)*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [18] E. N. d. Colombia, *Manual de Campaña de Ejército MCE 3-98 Reconocimiento y Seguridad*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [19] E. N. d. Colombia, *Manual de Técnica de Ejército MTE 6-02.60 Tecnicas para las redes de informacion de Combate*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.
- [20] E. N. d. Colombia, *Manual de Técnica de Ejército MTE 6-01.1 Tecnicas para una Administracion Efectiva del Conocimiento*, Bogotá, Cundinamarca : Imprenta Nacional EJC, 2017.

2. Artículos producto de investigación

Diseño para la Implementación de una red Mesh

Con Cobertura en la Vereda El Dintel

John Monzaide Alvarez Cely
johnalvarezcely@cedoc.edu.co

Juan Pablo Pedroche Quevedo
juanpedrochequevedo@cedoc.edu.co

Angie Alexandra Reyes Beltrán
angiereyesbeltran@cedoc.edu.co

RESUMEN – Este proyecto busca principalmente mostrar el diseño y los elementos necesarios para la implementación de una Red Mesh en la vereda El Dintel, la cual pertenece al municipio de la Vega, Cundinamarca. Esto con el fin de ofrecer internet de alta calidad a las personas de dicho corregimiento. Para ello, se llegará a través de un enlace microondas y puntos de acceso ubicados estratégicamente de manera tal que la red funcione en malla. De igual manera, se proyecta una evaluación económica que permita conocer el costo de diseño, instalación y mantenimiento de la red. Lo anterior, con fin de que el municipio de la Vega, junto con otras compañías privadas sean los principales financiadores del proyecto.

Palabras Clave: Antena, Malla, Punto de Acceso, Radios, Telecomunicaciones.

ABSTRACT – This project mainly seeks to make the design and the necessary elements for the implementation of a Mesh Network in the El Dintel village, which belongs to the municipality of La Vega, Cundinamarca. This to offer high quality internet to the people of said district. For this, it will be reached through a microwave link and access points strategically located in such a way that the network works as a mesh. In the same way, an economic evaluation is projected that allows knowing the cost of design, installation, and maintenance of the network. This so that the municipality of La Vega, along with other private companies, are the main financiers of the project.

Keywords: Antenna, Mesh, Access Point, Radio, Telecommunications.

I. INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), son de vital importancia para el avance de muchos procesos a nivel general [1]. A pesar de que en el país hay cobertura de celular, aún el internet es un servicio con el cual pueden contar muy pocas personas, accediendo de manera eficiente y continua [2]. Esto es frecuente en municipios aledaños a Bogotá. Para el caso en particular, es algo que se puede evidenciar en la vereda El Dintel perteneciente al municipio de la Vega, Cundinamarca.

Una solución para ofrecer internet inalámbrico en la vereda objeto de estudio, es implementando una Red Mesh, que permita tener cobertura en todas las casas del sector. Para ello se realiza el diseño lógico y físico, además del análisis económico para que el Municipio se encargue de la instalación y el mantenimiento de la red. En la primera parte del estudio, se realiza la correspondiente contextualización de lo que se pretende lograr. Después, se detalla la cantidad de nodos que se espera debe tener y la manera como se van a conectar para constituir la infraestructura de la Red Mesh [3].

Luego, se realizan los cálculos correspondientes a los enlaces microondas y el correspondiente estudio de cobertura, de acuerdo con los respectivos nodos, teniendo en cuenta el nivel de señal recibida, ganancia de la antena, pérdidas del espacio libre y pérdidas en las estaciones. A partir de la información suministrada por los cálculos desarrollados, se utiliza el software Mimoso Design, herramienta que permite la evaluación de la conectividad y el rendimiento PTP o *point to point* [4].

Por otro lado, se realiza una descripción del Hardware seleccionado y se detallan las principales características técnicas que tienen para su instalación y puesta en marcha, como es el caso de los AP o Access Point, las antenas y los radios que fueron seleccionados de acuerdo con las especificaciones que arrojaron los cálculos y el análisis que se realizó.

Finalmente, se toman datos de los resultados para realizar la implementación, se analiza el caso del colegio como nodo principal para integrar una posible solución. Para ello, se describe la inversión inicial, los costos y gastos del proyecto, además de los indicadores financieros más relevantes para determinar la viabilidad financiera del proyecto.

A. Marco Teórico.

Las redes mesh ofrecen soluciones específicas de conectividad y cobertura a una red, por tener la propiedad específica de ser descentralizada y además de poderse conectar fuera del rango del punto desde el cual accede. Esto se logra gracias a la ampliación de la cobertura que se puede dar desde su *Access Point* [5].

Una de las ventajas de las redes de malla, es que en áreas que son densamente pobladas, se puede eliminar la interferencia que resulta de usar el espectro libre. Además de esto, no se requiere que todas las estaciones estén apuntando siempre a la estación base [6].

Uno de los elementos primordiales para llevar el servicio de internet hasta la estación base, tiene que ver con el cálculo de los enlaces punto a punto, teniendo en cuenta variables como las pérdidas y ganancias en las antenas, así como las pérdidas del espacio libre, entre otras. Por este motivo, se requiere saber que la conexión de dos puntos o redes remotas se realiza a través de un canal de comunicación inalámbrico y para lograrlo, es necesario tener en cuenta elementos como la reflexión, la difracción y la Interferencia [7].

La teoría de Huygens busca explicar los fenómenos asociados a la dispersión, reflexión y difracción por medio de superposiciones, al momento que una onda electromagnética atraviesa el límite de dos medios con un valor de constante eléctrica diferente entre sí, produciendo que una parte sea reflejada, mientras la otra, sea refractada [8].

Otro elemento relevante para el diseño de este tipo de enlaces, tiene que ver con *link Budget*, el cual debe ser el primer paso para determinar la factibilidad de cualquier sistema dado. Realizar el cálculo de presupuesto de enlace o *Link Budget*, es esencial en el momento de comprender los diversos factores que se deben tener cuenta para contar con un enlace de comunicaciones confiable [9].

B. Problemática.

La vereda El Dintel tiene una población aproximada de 600 habitantes [10]. Además, cuenta con la Institución Educativa Departamental Rural (IEDR) el Vino, Sede el Dintel, que ha requerido el servicio de internet para que sus estudiantes accedan al uso de herramientas TIC y así

recibir su derecho a la educación, permitiéndoles mejorar tanto en sus procesos académicos como en el hecho de verse involucrados en nuevos espacios de ciencia y tecnología [11], donde confluyen otras instituciones de básica primaria, secundaria, universidades y otros organismos.

Por otro lado, la población de productores campesinos ha expresado la amplia necesidad de contar con internet para mejorar sus procesos productivos a través de servicios como mensajería instantánea, cámaras de videovigilancia IP, almacenamiento en la nube, entre otros servicios que les permita hacer uso de la tecnología para que sus cultivos y su comercialización sea más eficiente [12].

El principal inconveniente que se tiene, está relacionado con la cobertura de celular que les permita acceder a datos. Lo anterior, se debe a la geografía y falta de antenas repetidoras de los principales operadores de internet en el lugar. Esto, causado por el bajo interés o por los costos que significan para las grandes empresas de telecomunicaciones que prestan este servicio en ciertas poblaciones o lugares específicos del País [13].

Por tal motivo, es imprescindible el hecho de llevar a través de un enlace microondas el servicio de internet. Para lograrlo, se espera hacer una conexión entre la estación Cerro Manjui y la vereda El Dintel, particularmente en la Institución Educativa Departamental Rural (IEDR) el Vino, sede el Dintel. A partir de este hecho se establecen los objetivos del proyecto, sobre los cuales se trabajará para el avance del mismo.

C. Objetivos

El objetivo principal sobre el cual se fundamenta la presente investigación, es:

Diseñar una Red Mesh comunitaria para la vereda El Dintel, que logre la prestación del servicio de internet, con base en una propuesta técnica y económica de su diseño, instalación, puesta en marcha y mantenimiento.

A partir de este objetivo, se traza la ruta de trabajo a través de unos objetivos específicos que se relacionan a continuación:

- Realizar un estudio de demanda de la población, que permita determinar su ubicación geográfica.

- Diseñar y establecer los parámetros necesarios de la red microondas, que permita llevar internet hasta el punto requerido.
- Seleccionar los equipos óptimos para la implementación, verificando calidad, costo, mantenimiento y servicio técnico.
- Evaluar financieramente el diseño, instalación, puesta en marcha y mantenimiento del proyecto.

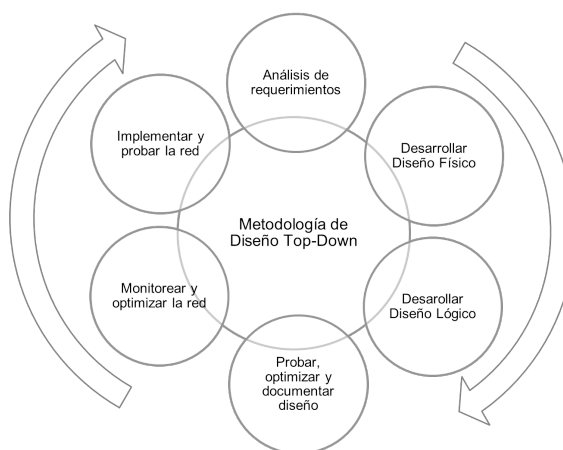
II. METODOLOGÍA

A. Definición

El diseño de redes está basado en un proceso que asocia las necesidades del negocio a la tecnología disponible. Es por ello que para lograr el éxito en este tipo de proyectos en redes de área amplia (WAN), más que buscar un proveedor de servicios de internet, es ineludible comenzar desde arriba, analizando las metas técnicas y explorando las estructuras de grupos, con el fin de determinar las aplicaciones que se deben ejecutar.

Este diseño debe ser estructurado, comprendiendo el flujo de la información, el tipo de datos y las necesidades de las comunidades de usuarios. Por este motivo, se utiliza una metodología de diseño conocida como top-down [14], la cual se resume en la figura No. 1

Figura 1. Metodología de diseño Top-Down



Fuente: [15]

B. Enfoque de la Investigación

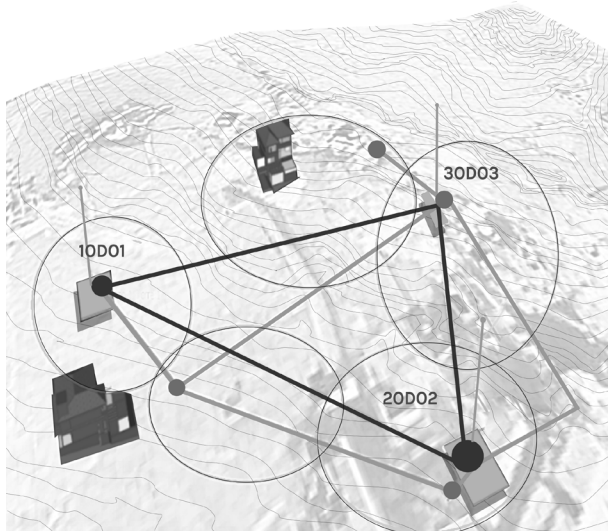
El enfoque que se utilizó fue mixto, el cual permite obtener un análisis eficiente ante el posible impacto que se pueda generar; así pues, se recolectan datos en un tiempo determinado, para luego ser descritos, verificando las incidencias que tienen las variables de los métodos cualitativos y cuantitativos [16].

III. RESULTADOS

A. Infraestructura necesaria

Para la infraestructura se requiere disponer en primera instancia, de la ubicación de las antenas, los radios y los puntos de acceso. Para esto, se estableció un diagrama del lugar que permite conocer los nodos y puntos de conexión, así como se ilustra en la figura 2.

Figura 2. Simulación de los Nodos y disposición para Red



B. Diseño

Antes de adquirir equipos e infraestructura, es importante tener una idea clara de la naturaleza de los inconvenientes de comunicación que se presentan en la zona. El diseño de la red que sea elegido para su posterior implementación, debe resolverlos e ir más allá, por ejemplo, previendo conexiones en lugares diferentes al colegio,

casas o posibilidad de crecimiento de la red. Esto, de acuerdo con la premisa que tienen las redes mesh que buscan ser escalables en la medida que la demanda va creciendo, así como el uso de tecnología multicast IPv6 [17].

Cuando se resuelve un problema complejo, a menudo es útil hacer un esquema de sus recursos, posibles soluciones y los inconvenientes que se tienen en la etapa de diseño, desarrollo, montaje y puesta en marcha [18]. Por ello, se hace relevante dimensionar la red como elemento primordial para luego establecer la mejor arquitectura que ofrezca una solución a la problemática que se presenta en la vereda el Dintel.

Aunque suene extraño hablar de “red física” cuando se diseña una red inalámbrica, es necesario hacerlo porque el medio “físico” que se utilizará para su comunicación, es el espectro electromagnético [19]. Por este motivo, se hará referencia a una red física a partir de las características inalámbricas que se tienen. A partir de esta premisa, se parte de las siguientes configuraciones lógicas:

- Enlaces punto a punto
- Enlaces punto a multipunto
- Nubes multipunto a multipunto

El diseño de la red física que sea elegido, dependerá de la naturaleza del problema que esté tratando de resolver. Si bien diferentes partes de su red pueden aprovechar las tres configuraciones, los enlaces individuales van a estar dentro de una de esas topologías.

Los enlaces punto a punto generalmente se usan para conectarse a Internet, donde el acceso no está disponible de otra forma y un ejemplo de esta configuración, es un enlace de microondas [20]. La siguiente red más comúnmente encontrada, es la red punto a multipunto en donde varios nodos se comunican con un punto de acceso central; el mejor ejemplo, es el punto de acceso inalámbrico que permite la conexión de varios dispositivos.

El tercer tipo de diseño de red, es el multipunto a multipunto, el cual también es denominado red ad hoc o en malla (mesh); en una red multipunto a multipunto, no hay una autoridad central [21]. Cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí [22].

Inicialmente, para poder encontrar la mejor solución al inconveniente de acceso a Internet en la vereda El Dintel, se realizaron unas visitas técnicas o *Technical Site Surveys* (TSS) con el objeto de recolectar la mayor cantidad de información y así realizar el diseño más adecuado, el cual se explica a continuación.

C. Diseño del Radioenlace.

La primera etapa del diseño se basa en dar solución al problema de conectividad a la red de Internet, es decir, conectar la institución educativa a un Proveedor de Servicio de Internet o ISP por sus siglas en inglés. Para esto, se realizó el diseño de un radio enlace punto a punto desde el Cerro Manjui hasta la institución educativa utilizando una banda de frecuencia no licenciada, facilitando el tema de adquisición de equipos que trabajan en estas bandas libres [23].

Luego de tener la señal de Internet en la institución educativa, surgen dos consideraciones: instalar un punto de acceso o access point (AP) para distribuir la señal, tanto en este punto como en su alrededor y convertir la institución en el nodo principal desde donde se distribuirá la señal hacia los otros nodos.

La comunicación entre nodos se realizará utilizando enlaces punto a punto a través de radios de microondas y en cada uno de estos nodos, se instalará un AP para dar cobertura [24].

Finalmente, todos los nodos de la red se encargan de recibir la señal de Internet, algunos vuelven a reenviarla hacia otros nodos como un mecanismo de redundancia y a su vez, son nodos de acceso que generan una cobertura que permite la conexión de diferentes dispositivos a la red de datos. La superposición de todos estos nodos forma una red descentralizada y operan en modo ad hoc de manera que puedan comunicarse directamente [25].

En total, para dar la mejor cobertura se diseñó una red con ocho (8) nodos en la vereda El Dintel, uno de los cuales, el nodo principal, que corresponde a la IEDR El Vino Sede El Dintel, es quien tendrá la comunicación con el ISP ubicado en Cerro Manjui.

Para los radioenlaces, se utilizaron equipos de referencia Mimosa C5c y para los puntos de acceso (AP) equipos de referencia A5-14 del mismo fabricante.

D. Señal Recibida. Cálculos.

Para el diseño de los enlaces de radio, se tuvo en cuenta la distancia entre los dos puntos, la capacidad, el tipo de modulación, la polarización, la potencia de transmisión y el tipo de antenas. En términos generales, el nivel de recepción depende de un balance entre ganancias y pérdidas desde el punto de vista de propagación [26].

En general, para un cálculo de nivel de señal recibida se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{SLB} = P_{TXA} - L_A + G_A - FSL + G_B - L_B \quad (1)$$

en donde,

R_{SLB}	: Nivel de señal recibida en B
P_{TXA}	: Potencia de transmisión en estación A
L_A	: Pérdidas en estación A
G_A	: Ganancia de antena en A
FSL	: Pérdidas de Espacio Libre
G_B	: Ganancia de antena en B
L_B	: Pérdidas en estación B

A su vez, las Pérdidas de Espacio Libre o Free Space Loss (FSL), se definen tal como lo indica la siguiente ecuación:

$$FSL = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

en donde,

D	: Distancia entre estaciones
λ	: Longitud de onda

Teniendo en cuenta que la longitud de onda se puede relacionar con la frecuencia mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = c/f \quad (3)$$

en donde,

c : Velocidad de la luz (3 x 10⁸ m/s)
f : Frecuencia

Ahora se reemplaza en (2) obteniendo una nueva ecuación, utilizando adicionalmente unas reglas de logaritmos, es decir:

$$FSL = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi Df}{c} \right) \quad (4)$$

Todos los cálculos para los enlaces de microondas se realizaron tanto en una plantilla en Excel preparada por los autores, como por una aplicación en línea que el fabricante de los equipos tiene en su sitio Web.

Un ejemplo de cálculo para el enlace principal se muestra a continuación, en donde se puede visualizar la configuración general de las estaciones, por ejemplo: nombre del enlace, nombre de las estaciones, grupo, altura de las torres y altura de las antenas.

Figura 3. Configuración general de las estaciones

Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

Igualmente, en la Figura 4, se indica la configuración del enlace, la cual incluye tanto los detalles del radio como las condiciones del clima. También se muestra un resumen

de lo que se denomina “Presupuesto del Enlace” o *Link Budget*.

Figura 4. Configuración detallada de los equipos de radio

Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

Figura 5. Configuración de las condiciones climáticas

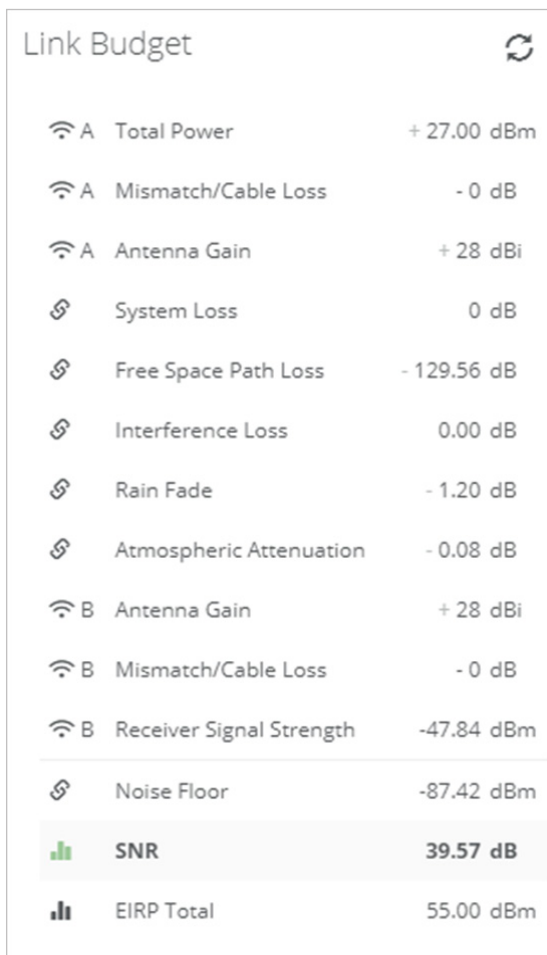
Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

Dentro de los detalles del radio, es posible observar datos relacionados con el ancho de banda, frecuencia de operación, potencia de transmisión, pérdidas, umbrales y tipo de polarización.

Para el diseño realizado, se utilizó doble polarización [27] como un mecanismo de protección en todos los enlaces, el radioenlace principal con una potencia de transmisión de 27 dBm y para los otros enlaces, por ser muy cortos, una potencia de 21 dBm y un ancho de canal de 80 MHz, en todos los enlaces aprovechando el espectro libre para tener la mayor capacidad disponible [28].

El presupuesto del enlace indica nuevamente la potencia de transmisión [29], algunas pérdidas por cables y conectores, ganancia de las antenas, pérdida de espacio libre, posibles pérdidas por interferencia, atenuación por lluvia y atmósfera [30], todo esto para obtener el nivel de señal recibida (RSL) y el respectivo margen de desvanecimiento.

Figura 6. Presupuesto del enlace.



Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design.

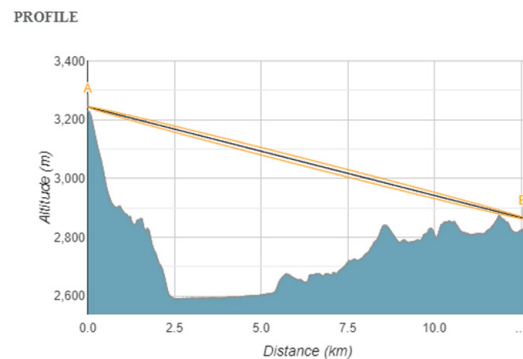
También, es posible visualizar tanto la topografía del enlace como el perfil, gráficos que son de gran ayuda para el diseñador.

Figura 7. Mapa topográfico del enlace principal (Manjui-El Dintel)



Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

Figura 8. Perfil del enlace principal (Manjui-El Dintel)

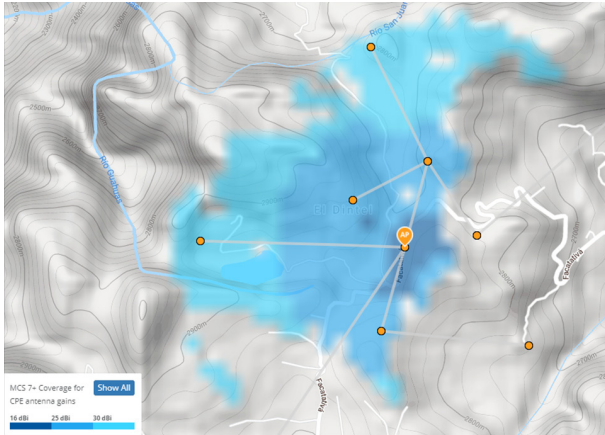


Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

Para el caso de los AP, como se indicó antes, se utilizó un equipo que incluye una antena interna de ganancia 14 dBi, el cual trabaja “llave en mano” con el equipo de radio.

Un ejemplo de cobertura se indica en la figura 9, tomada en la IEDR El Vino Sede El Dintel, en donde está ubicado un AP que presta servicio tanto para la escuela como para sus alrededores. La intensidad del color azul indica un mejor nivel de señal y a medida que se aleja del equipo, se desvanece la señal [31].

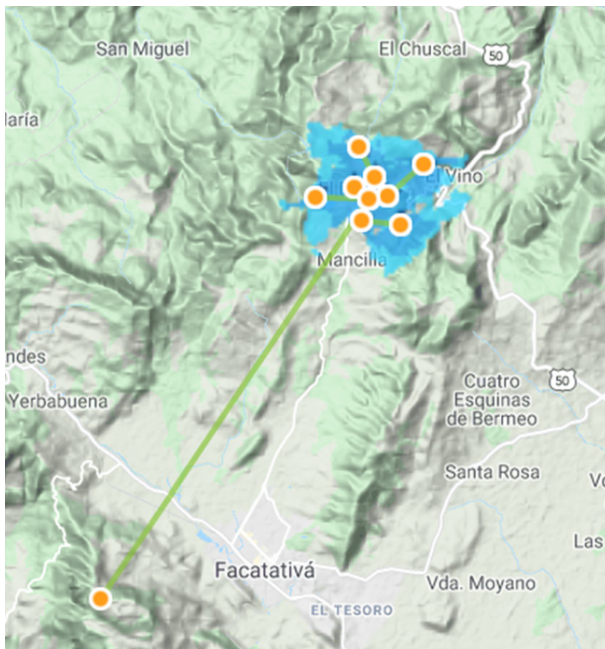
Figura 9. Mapa de cobertura de AP ubicado en IEDR El Vino Sede El Dintel



Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

Una visión de toda la red, desde el ISP hasta cada uno de los nodos de la malla, se puede ver en la figura 10, en donde se observa la cobertura de toda la malla de nodos, la cual abarca un 85% del área de la vereda El Dintel, cumpliendo con el objetivo de dar solución de conectividad a través de la señal de Internet a toda la comunidad campesina, al igual que al grupo de profesores y alumnos del IEDR El Vino Sede El Dintel.

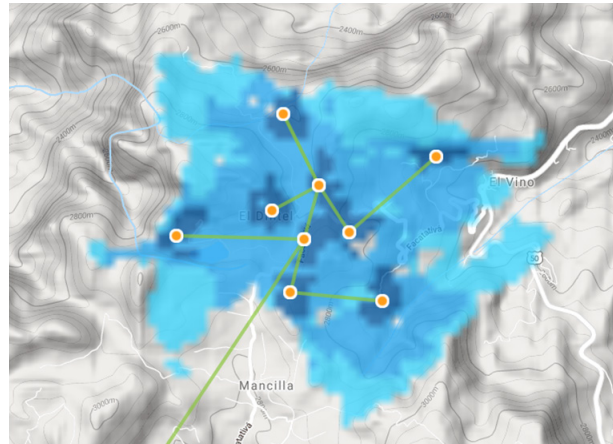
Figura 10. Mapa general de la solución



Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

Para observar con mayor detalle el mapa de cobertura, también llamado mapa de calor, correspondiente a la vereda El Dintel, es importante tener en cuenta la Figura 11. En ella se detalla la cobertura de toda el área correspondiente a la vereda el Dintel, de manera eficiente.

Figura 11. Mapa de cobertura de toda la Red Mesh



Nota. Elaborado con ayuda del programa Mimoso Design

E. Análisis Financiero

Para este análisis se discriminan los siguientes elementos:

- Inversión Inicial
- Presupuesto de Costo y Gastos
- Punto de Equilibrio
- Costo de oportunidad
- Indicadores de Evaluación

Inversión Inicial. Se toman valores iniciales relacionados con herramientas y diferentes tipos de instrumentos necesarios para la implementación de una solución del tipo Mesh, en el escenario planteado.

Igualmente, se incluye el costo de una camioneta para movilizarse por las zonas de la Vereda El Dintel, costos del equipo de oficina, cómputo y comunicación. Del mismo modo, así como se evalúa la inversión inicial, se requiere tener en cuenta el capital de trabajo para 3 meses, dejando una reserva de 2 meses adicionales.

En la tabla 1 se relacionan los elementos de la inversión inicial.

Tabla 1. Inversión Inicial

Ítem	Valor
Maquinaria y Equipo	\$10.500.000,00
Flota y equipo de transporte	\$25.000.000,00
Equipo de Oficina	\$2.900.000,00
Computo y comunicación	\$14.500.000,00
Capital de trabajo	\$34.000.000,00
Total Inversión	\$86.900.000,00

Es necesario determinar cuál es la inversión fija y financiación; esto dependerá tanto de los recursos propios como de los recursos con terceros, es decir la que se obtiene a través de créditos bancarios o con terceros.

Presupuesto de Costo y Gastos. Teniendo en cuenta el estudio de diagnóstico y análisis situacional del sector productivo, se realizó un estimado de la materia prima requerida para la implementación y el servicio de instalación y puesta en funcionamiento de la solución tipo Mesh, tomando el colegio rural como el nodo principal. En la tabla No. 2 se relaciona el presupuesto de costos de producción de la materia prima.

Tabla 2. Materia Prima

Cant.	Materia Prima	Valor Unitario	Valor
1	Materiales de instalación	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
1	Cables de energía	\$ 70.000,00	\$ 70.000,00
1	Cables de datos	\$70.000,00	\$70.000,00
1	Otros	\$100.000,00	\$100.000,00
1	Radio	\$200.000,00	\$200.000,00
1	Antena	\$200.000,00	\$200.000,00
1	Router WiFi	\$200.000,00	\$200.000,00
1	Kit Tierra	\$500.000,00	\$500.000,00
1	Pararrayos	\$250.000,00	\$250.000,00
1	Torre Rieudada	\$1.000.000,00	\$1.000.000,00
1	Sistema de Energía	\$1.000.000,00	\$1.000.000,00
1	ISP	\$200.000,00	\$200.000,00
Total Materia Prima			\$ 3.840.000,00

Del mismo modo, costo de producción de la mano de obra para el equipo de trabajo, los costos indirectos relacionados con la instalación, todo esto para determinar un costo final del servicio.

De esta manera, asumiendo una instalación anual de 5 unidades al año y con una política de incremento anual del 4%, se determina el costo del servicio a partir del año 2022 al 2026, que corresponde a los cinco años del préstamo de financiamiento. Estos valores se indican en la Tabla 3, en donde cada columna contiene el año, la cantidad de servicios, el costo del servicio y el total anual.

Tabla 3. Costos de Producción

Costos de Producción				
2022	2023	2024	2025	2026
10	10,4	10,816	11,24864	11,6985856
\$7.992.000	\$8.311.680	\$8.644.147	\$8.989.913	\$9.349.510
\$79.920.000	\$86.441.472	\$93.495.096	\$101.124.296	\$109.376.039

De acuerdo con las estimaciones del mercado y como se trata de un proyecto de inversión con impacto social, el costo de la instalación y el servicio se ajusta a un valor de \$11.988.000. Esto quiere decir que la estimación de ventas se puede ver reflejada en la Tabla 4.

Tabla 4. Estimación de Ventas

Estimación de Ventas				
2022	2023	2024	2025	2026
10	10,4	10,816	11,24864	11,6985856
\$31.968.000	\$33.246.720	\$34.576.589	\$35.959.652	\$37.398.038
\$319.680.000	\$345.765.888	\$373.980.384	\$404.497.184	\$437.504.154

Estos valores surgen a partir de la prestación del servicio e instalación, a cinco zonas veredales. Ahora es necesario detallar los gastos; el primero de ellos está relacionado con la nómina del personal administrativo y técnico, así como la proyección a cinco años, tal como se indica en la tabla 5, teniendo en cuenta auxilios y prestaciones. Mientras que en la tabla 6, se realiza la proyección a cinco años.

Tabla 5. Nómina

Cargo	Salario
Gerente	\$2.857.107
Subgerente	\$2.857.107
Ingeniero Civil	\$2.287.107
Tecnólogo	\$2.285.585
Técnico	\$2.285.585
Total	\$13.142.489

Tabla 6. Proyección Gastos de Personal

Costos de Producción				
2022	2023	2024	2025	2026
\$157.709.869	\$165.595.363	\$173.875.131	\$182.568.887	\$191.697.332

Por otra parte, es necesario tener en cuenta los gastos de funcionamiento, los cuales se definen a partir del arriendo de un local o bodega y los servicios en la Vereda El Dintel. Se estima un costo anual de 24 millones y una política del 5%. En la Tabla 7, se muestra la proyección de los gastos de funcionamiento.

Tabla 7. Proyección Gastos de Funcionamiento

Costos de Producción				
2022	2023	2024	2025	2026
\$24.000.000	\$25.200.000	\$26.460.000	\$27.783.000	\$29.172.150

Una vez se tienen estos elementos, se requiere verificar la depreciación de la maquinaria, equipos, transporte, etc., tal como lo indica la Tabla 8.

Tabla 8. Proyección Depreciación

Ítem	Valor	Vida útil	Amortización
Maquinaria y Equipo	\$10.500.000,00	10	\$1.050.000,00
Flota y equipo de transporte	\$25.000.000,00	10	\$2.500.000,00
Equipo de Oficina	\$2.900.000,00	10	\$290.000,00
Computo y comunicación	\$14.500.000,00	5	\$2.900.000,00
Total Depreciación			\$6.740.000,00

Por último, se calculan los gastos totales durante los siguientes cinco años, teniendo en cuenta una cuota periódica fija de \$ 4,3M, por el tema de un préstamo bancario, lo cual se indica la tabla 9.

Tabla 9. Gastos Totales a 5 años

Costos de Producción				
2022	2023	2024	2025	2026
\$157.709.869	\$165.595.363	\$173.875.131	\$182.568.887	\$191.69.332
\$24.000.000	\$25.200.000	\$26.460.000	\$27.783.000	\$29.172.150
\$6.740.000	\$6.740.000	\$6.740.000	\$6.740.000	\$3.504.638
\$3.504.638	\$3.504.638	\$3.504.638	\$3.504.638	\$3.504.638
\$191.954.508	\$201.040.001	\$210.579.769	\$220.596.526	\$231.114.120

Punto de Equilibrio. Este se calcula a partir de los costos fijos, el precio de venta y los costos variables. Con base en la ecuación (5), se puede hallar el punto de equilibrio.

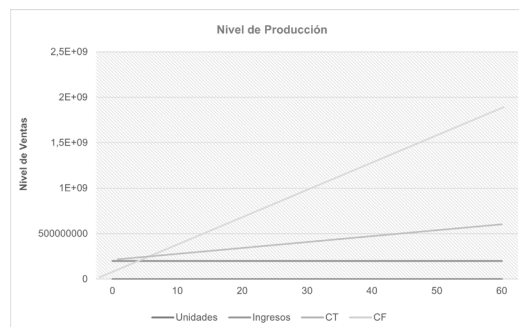
$$FE = \frac{CF}{Pv - Cv} \quad (5)$$

en donde,

- PE = Punto de equilibrio
- CF = Costos Fijos
- PV = Precio de Venta
- Cv = Costos variables

De acuerdo con la anterior información, el punto de equilibrio está dado en instalar por lo menos 8 nodos al año, obteniendo un costo total de \$255.890.508. En la Fig. 15 se puede observar cómo se cruza el Costo total y los ingresos.

Figura 12. Punto de Equilibrio



Este punto de equilibrio es el nivel de producción en el que los beneficios por ventas son exactamente iguales a la suma de los costos fijos y variables. Su utilidad radica, en que puede calcular el punto mínimo de producción al que debe operarse para no incurrir en pérdidas.

Costo de Oportunidad. Los presupuestos establecidos para la inversión inicial, costos, gastos, costo del patrimonio, además de considerar

que la tasa de descuento se encuentra establecida por el WACC, se estipula en un 15% de los recursos propios aportados o disponibles para la inversión.

Por otro lado, el costo del capital se determina a través de la tasa más baja que equivale al 17,8% EA, para crédito de libre inversión. Por último, la tasa de renta más alta en Colombia, se proyecta con un flujo de caja financiado, como se relaciona en la tabla 10.

Tabla 10. Tasa de Descuento

Tasa de Descuentos - Método WACC		
Valor Proyecto	\$86.900.000	Valores %
Recursos propios - Inversión	\$50.000.000	57,54%
Costos del P/nio (%) u Oportunidad	15,00%	15,00%
Terceros - Deuda - Inversión	\$36.900.000	42,46%
Costo de la deuda	17,80%	17,80%
Tasa de Impuestos RENTA	34,00%	34,00%
\$191.954.508		13,62%

Indicadores de Evaluación. En la Tabla 11, se relacionan los siguientes indicadores:

- Valor Presente Neto (VPN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Periodo de recuperación de la inversión (PRI)
- Relación Costo Beneficio (RCI)

Tabla 11. Indicadores de Evaluación

PERIODOS	0	1	2	3	4	5
FNE	50.000.000	30.911.625	37.827.714	45.497.643	53.992399	63.389.237
WACC	13,62%	VALOR PRESENTE NETO - VPN			\$103.405.105	\$103.405.104,55
PERIODOS	0	1	2	3	4	5
FNE	50.000.000	30.911.625	37.827.714	45.497.643	53.992399	63.389.237
WACC	13,62%	VALOR INTERNA DE RETORNO - TIR			72,12%	72,12%
PERIODOS	0	1	2	3	4	5
FNE	50.000.000	30.911.625	37.827.714	45.497.643	53.992399	63.389.237
		30.911.625	68.739.339	114.236.981	168229380	231.618.617
WACC	13,62%	PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN . PRI			-	1,63
ITEM	0	1	2	3	4	5
Ingresos Actualizados	-	319.680.000	345.765.888	373.980.384	404.497.184	437.504.154
Egresos Actualizados	-	295.508.375	314.678.174	335.222.742	357.224.785	308.854.917
WACC	13,62%	RELACIÓN COSTO BENEFICIO - RCB			1,11	

El análisis realizado, parte inicialmente de un análisis de la inversión, el cual incluye los equipos de trabajo, oficina, cómputo, comunicaciones y el capital de trabajo. Se determinan igualmente, las partes correspondientes a los recursos propios y a los recursos con terceros (financiación), estableciendo la cuota que se le pagará mensualmente a la entidad bancaria durante cinco (5) años.

Luego se realiza el presupuesto de producción, el cual está relacionado con la prestación de los servicios de instalación y puesta en operación del sistema de sensores, en donde se determinan los insumos, la mano de obra y los costos indirectos, para determinar estos costos, basándose en una política de incremento anual durante los primeros cinco (5) años.

Por otro lado, se realiza una estimación de las ventas utilizando la misma política de incremento anual y un análisis de los gastos en donde se incluyen la nómina, arriendo de un local, alquiler de una bodega y la depreciación de los activos.

Con esta información se encuentra el punto de equilibrio, es decir, el nivel de producción en el que los beneficios por ventas son exactamente iguales a la suma de los costos fijos y variables [32]. Este análisis es una técnica útil para estudiar las relaciones entre los costos fijos, los costos variables y los beneficios. Su utilidad se puede calcular a partir del punto mínimo de producción al que debe operarse, para no incurrir en pérdidas. Para el presente ejercicio, ocho (8) unidades corresponden a ese punto.

Adicionalmente, se realiza el cálculo del costo medio ponderado del capital o WACC (Weighted Average Cost of Capital) por sus siglas en inglés, el cual es utilizado como tasa de descuento para valorar empresas o proyectos de inversión mediante el método del descuento de flujos de caja esperados [33].

Este cálculo tiene en cuenta tanto el nivel de fondos propios de la empresa y su costo, como el nivel de endeudamiento y su costo financiero, así como la tasa impositiva que debe afrontar la empresa. Por lo tanto, tiene en cuenta todas las fuentes de recursos de la empresa, ya sean propias o ajenas y es importante tener presente que si el WACC es inferior a la rentabilidad sobre el capital invertido, se habrá generado un valor económico agregado (EVA) para los accionistas.

En el análisis financiero realizado, el WACC encontrado es del 13,62%; es importante indicar que será mayor, cuanto mayor sea la tasa libre de riesgo, la rentabilidad esperada del mercado, el nivel de endeudamiento y el costo financiero. En cambio, se reduce cuanto mayor sea la tasa impositiva y el nivel de fondos propios.

Finalmente, se obtiene el flujo de caja para la evaluación de las inversiones, el cual permite extraer otros por medio de los Flujos Netos de Efectivo (FNE), unos indicadores muy importantes como lo son: el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) [34].

El primero, hace referencia al valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial y en el análisis realizado, al obtener un valor positivo, este indica que hubo ganancia o utilidad extra después de recuperar el costo de capital.

El segundo indicador hace referencia a la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero. En otras palabras, es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial [35]. En el análisis realizado, la TIR tiene un valor de 72,12%, el cual indica que el proyecto es totalmente viable desde el punto de vista financiero.

IV. CONCLUSIONES

El beneficio que tiene este tipo de diseño de red, es que aún si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, es posible lograr la cobertura gracias a la comunicación que hay entre los diferentes nodos. De esta manera, para la comunidad del Dintel, es una gran oportunidad para tener acceso a internet y de mejorar su calidad de vida haciendo uso de los servicios que se ofrecen gracias al estar conectados a la web. Por otra parte, los alumnos y profesores de la Institución Educativa Departamental Rural el Vino, sede el Dintel, se verán ampliamente beneficiados por el hecho de contar con el acceso a internet, para el complemento de sus actividades académicas.

Las buenas implementaciones de redes mesh son autoreparables, detectan automáticamente problemas de enrutamiento y los corrigen de manera automática, sin presentarse los cuellos de botella o caídas inesperadas.

Con la finalidad de lograr extender la red mesh a los alrededores de la vereda el Dintel, de manera simple, se realizan los cálculos precisos para la selección de los radios y los elementos necesarios que agreguen los nodos requeridos. Sin embargo, es necesario hacer una revisión de cobertura de los nuevos puntos, con los nodos

existentes para que la comunicación entre ellos siempre sea estable. No obstante, si alguno de ellos se cae, el usuario no lo notará porque el sistema se conecta de manera automática con el nodo cercano más potente.

Si uno de los nodos en la nube tiene acceso a Internet, esa conexión puede ser compartida por todos los clientes. Además, logra balancear la carga de tráfico para reducir los fallos, gracias a la capacidad que tiene la red de reconfigurarse de manera automática al encontrar nodos alternativos; a partir de este balanceo, se logran evitar los cuellos de botella.

Esta red se caracteriza por presentar un bajo costo de diseño e implementación, ideal para comunidades distantes o de bajos recursos. Sin embargo, es necesario realizar toda la ponderación económica y financiera que soporte técnicamente el proyecto en su totalidad, sobre todo en el caso de conocer y tener claridad de las tarifas correspondientes al proveedor ISP, las cuales pueden variar de acuerdo con la demanda y la afectación de la tasa o el tipo de cambio.

V. REFERENCIAS

- [1] J. F. G. Escobar & Y. M. O. Mira, (2019). La globalización y la importancia de las TIC en el desarrollo social. *Revista Reflexiones y Saberes*, (11), 2-9.
- [2] D. N. González Cely, A. Muñoz Rincón & M. Bueno López, (2020). Análisis de expansión de una micro-red en una zona no interconectada. *Tecnura*, 24(63), 40-56.
- [3] M. L. Sichitiu, (2005, May). Wireless mesh networks: opportunities and challenges. In *Proceedings of World Wireless Congress* (Vol. 2, p. 21).
- [4] M. S. Corson, J. Macker, & S.G. Batsell, (1996, October). Architectural considerations for mobile mesh networking. In *Proceedings of MILCOM'96 IEEE Military Communications Conference* (Vol. 1, pp. 225-229). IEEE.
- [5] J. M. Albarracín, (2007). *Redes Inalámbricas Comunitarias. Sistemas Redis*.
- [6] S. Buettrich, (2007). *Redes Mesh*. Tomado de: http://www.it46.se/courses/wireless/materials/es/13_Redres-Mesh/13_es_redes_mesh_presentacion_v01.pdf, visitado el, 8.
- [7] J. L. L. Hernandez, (2018). *Estudio y diseño de enlaces punto a punto*.
- [8] C. J. R. Carlos & C. G. E. Alan, (2007). *Fundamentos, infraestructura, diseño e implementación de un enlace punto a punto de microondas dentro de la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH) en México*.
- [9] J. Zyren, & A. Petrick, (1998). *Tutorial on basic link budget analysis. Application Note AN9804, Harris Semiconductor*, 31.
- [10] (Sitio Web del Gobierno de la Vega). Información del Municipio. [Online] Disponible: <https://www.lavega-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx#:~:text=Actualmente%20La%20Vega%20cuenta%20con,la%20divisi%C3%B3n%20pol%C3%ADtica%20del%20municipio>.
- [11] R. Escontrela Mao & L. Stojanovic Casas, (2004). La integración de las TIC en la educación: Apuntes para un modelo pedagógico pertinente. *Revista de pedagogía*, 25(74), 481-502
- [12] E. Y. M. Cardenas, (2019). Calidad del servicio de internet y satisfacción del cliente. *Industrial data*, 22(2), 105-116.
- [13] A. Hernández, Aspectos técnicos de la regulación colombiana para la prestación del servicio de acceso a internet.
- [14] P. Oppenheimer, (2011). *Diseño Lógico de Red*. En Cisco, *Top-Down Network. Design Third Edition* (págs. 120-162).
- [15] J.C Saavedra. *Metodología de diseño Top-Down*. (2015)
- [16] R. Hernandez Sampieri. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México, 2018.
- [17] G. González & U. O. M. Pereira, *Multicast IPv6 sobre Redes Inalámbricas Mesh*.

- [18] J. A. Giraldo Rodríguez, Consultoría de telecomunicaciones empresarial. (2017).
- [19] J. L. Ordoñez, Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. Manual formativo de ACTA, (62), 17-31. (2012).
- [20] R. G. Mazzolin, & J. S. Dahele, (1997, July). Line of sight microwave link design. A review of developments and consolidated algorithm. In IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1997. Digest (Vol. 4, pp. 2560-2563). IEEE.
- [21] F. Blanco, F. Simanca & E. Triana, *Las Redes Mesh II*. Universidad Libre. (2018).
- [22] C. Astudillo & J. Arancibia. *Estudio preliminar para un sistema Mesh*. [online] Recuperado de http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Red_Mesh. (2012)
- [23] T. Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Editorial Prentice Hall. (2010).
- [24] W. Carballar. *Redes Inalámbricas*. Editorial Prentice Hall. (2012).
- [25] C. E. Maldonado & N. A. Gómez Cruz, Modelamiento y simulación de sistemas complejos. Editorial Universidad del Rosario. (2010).
- [26] W. Tomasi. *Sistemas de Comunicaciones*. Ed. Person. (2003)
- [27] Llanes Martínez, E. J. (2014). Concepción de una antena transmit-array en doble polarización lineal.
- [28] C. A. Aguilar, Modelado y simulación de amplificadores de potencia aplicados a comunicaciones móviles celulares. (2001).
- [29] I. Despujol Zabala, Introducción a las radiocomunicaciones. Presupuesto del enlace. (2020).
- [30] A. Padrón, J. A. Rosendo, A. Herrera & R. P. M Calva, Cálculo de Elevación Para Un Enlace Vía Microondas Mediante El Análisis De Zonas De Fresnel.
- [31] A. Mathew, L. Zhang, S. Zhang, & L. Ma, A review of the MIMOSA OSA-EAI database for condition monitoring systems. *Engineering Asset Management*, 837-846. (2006).
- [32] P. A. L. Guzman. El punto de equilibrio: herramienta de control. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 1(1), 25-36. (1986)
- [33] S. Plaza Gutiérrez. El WACC Weighted Average Cost of Capital como tasa de descuento para evaluación de proyectos de inversión. (2016)
- [34] M. R. Mete. Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85. (2014).
- [35] B. H. García. Acerca de la tasa de descuento en proyectos. *Quipukamayoc*, 15(29), 101-108. (2014).

Prototipo Basado en Internet de las Cosas (IOT), para el Monitoreo en Cultivos de Papa y Alverja

En la Vereda Chilcal, Municipio de Bojacá (Cundinamarca), en la Finca San Cayetano.

Ing. Zulma Lizneidy Martínez López
zulmamartinezlopez@cedoc.edu.co

Ing. Julián Daniel Pinto Santana
julianpintosantana@cedoc.edu.co

Ing. Jorge E. Micán Peña
jorgemicanpena@cedoc.edu.co

Resumen- Este artículo muestra las ventajas de la implementación de tecnologías emergentes como el internet de las cosas (IoT), para las mediciones y el monitoreo de las variables físicas como humedad, temperatura y PH, en los cultivos de papa y alverja en el municipio de Bojacá (Cundinamarca); la implementación y el acercamiento de estas tecnologías a los agricultores permitirá, que estos cuenten con datos en tiempo real, que les ayude a la toma de decisiones con la finalidad de mitigar las pérdidas de sus cultivos.

Palabras clave: GSM, humedad, IoT, PH del suelo, telecomunicaciones, temperatura y transmisión.

Abstract- This article shows the advantages of implementing of technologies such as the IoT, for the measurements and monitoring of physical variables such as humidity, temperature and PH, in potato and pea crops in the municipality of Bojacá (Cundinamarca); The implementation and approach of these technologies to farmers will allow them to have real-time data that will help them make decisions in order to mitigate the losses of their crops.

Keywords: IoT, GSM, temperature, soil moisture, ransmission.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las dinámicas cambiantes en el medio ambiente, la economía y las políticas arancelarias, requieren un compromiso social con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) de la organización de Naciones Unidas (UN), en particular los objetivos 9 y 12, que establecen la innovación, el consumo y la producción responsable de alimentos.

Figura 1. Objetivos Desarrollo Sostenible



Fuente: www.un.org

Este proyecto busca mostrar a los agricultores, cómo mediante el uso de tecnologías emergentes, entre estas, el IoT, se pueden tener datos oportunos para la toma de decisiones durante el periodo de cultivo, evitando enfermedades por el exceso de agua, daños por bajas temperaturas o variaciones en el producto por cambios en el PH del terreno; el proyecto pasa por la identificación de las enfermedades en la papa y la alverja, generadas por los excesos de humedad en el terreno y por las bajas temperaturas, continua con el levantamiento de información como coordenadas, mapas de calor y distancia del terreno a los cascos urbanos y el análisis de las tecnologías que más se adecuan a la finca san Cayetano de la vereda el Chircal del municipio de Bojacá y finaliza con el desarrollo, así como las pruebas del prototipo.

El proyecto busca a su vez, dejar la posibilidad en un futuro de incluir tecnologías como el Big Data, para la producción agrícola con el fin de encontrar tendencias en el comportamiento climático año tras año, las relaciones entre temperatura y humedad para lograr un producto

de alta calidad con características muy homogéneas que logren la optimización del terreno.

II. ESTADO DEL ARTE

El estado del arte del proyecto surge de una revisión documental en bases de datos a nivel local, regional e internacional, sobre proyectos relacionados con la implementación de tecnologías del internet de las cosas en la producción, transporte y comercialización de productos agrícolas. La tabla 1 resume el resultado de dicha revisión.

Tabla 1. Estado del Arte

Año	Nombre del proyecto	Entidad	País
2018	Arquitectura Tecnológica IoT, para la trazabilidad de productos frescos.	Revista Ciencias Informática.	CUBA
2019	Método de implementación de IoT para un cultivo de papa	Pontificia Universidad Javeriana	COLOMBIA
2019	Granja inteligente: Definición de infraestructura basada en internet de las cosas, IPv6 y redes definidas por software.	Ibérica Sist. e Technol. Información	PORTUGAL
2017	Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos	Universidad de Caldas	COLOMBIA

Fuente: propia

A. Arquitectura tecnológica IoT para la trazabilidad de productos frescos

Este trabajo fue realizado con el fin de obtener la trazabilidad de productos frescos que implica la implementación, desarrollo y aplicación de los avances tecnológicos como herramientas de soporte en los nuevos procesos que utilizan y adecúan los conceptos clásicos para facilitar el seguimiento a lo largo de las cadenas de suministro. Los avances tecnológicos permiten la implementación de nuevos instrumentos de medición, sensores y dispositivos de comunicación para entregar datos en tiempo real sobre el estado de variables como temperatura, humedad, localización, pitch and roll (giroscopio), entre otros. Utilizando estas variables es posible aumentar la visibilidad de los procesos y generar un

mayor volumen de datos para identificar las condiciones que afectan a los productos frescos que no están cubiertos por los enfoques tradicionales de trazabilidad. La investigación aborda estos aspectos a través de la consolidación de la arquitectura del sistema IoT, que incluye la adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis y presentación de datos al usuario. [1]

B. Método de implementación de iot para un cultivo de papa

El artículo [2] pretende diseñar un método de implementación de Internet de las Cosas (IoT) en un cultivo de papa, con el cual se monitoreen todas las variables involucradas en el proceso de siembra, de forma que se tenga un control del estado del cultivo, se disminuyan los tiempos de reacción y se tomen decisiones más acertadas, buscando un mayor rendimiento y una mayor rentabilidad.

C. Granja inteligente definición de infraestructura basada en internet de las cosas, IPV6 y redes definidas por software

Barrientos [3] señala que las nuevas tecnologías se pueden integrar sin afectar el medio ambiente, generando diversos cambios en la forma de aprendizaje. Se proponen soluciones para el mejoramiento continuo de los procesos, que al final se hace en pro de la sostenibilidad, calidad de vida y una granja inteligente. Este artículo se contextualiza desde el concepto de Internet de las Cosas (IoT), su seguridad, la interoperabilidad de los dos protocolos IPV4 e IPV6 y redes definidas por software. Teniendo en cuenta las arquitecturas y tecnologías existentes, se propone una infraestructura de granja inteligente que permita dar soporte a todos los procesos.

D. Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos

Debido a los impactos del cambio climático (incremento de la temperatura, aumento de CO2 y variación en la acidez del suelo), se ha venido afectando la agricultura durante el proceso de cultivo; esto se ve reflejado en la baja productividad y calidad en la mayoría de las cosechas, "tal vez se debe a la falta de un sistema de instrumentos que permitan al agricultor conocer cuándo

y cómo producir según el clima". No obstante, se han desarrollado tecnologías inalámbricas con dispositivos más pequeños, económicos y de menor consumo energético, que permiten monitorear diferentes variables por medio de sensores que realizan el proceso relacionado con toma de datos más continuo y eficiente en diferentes ambientes, ya sean invernaderos o a campo abierto, lo que facilita la toma de decisiones para mejorar los procesos del cultivo. Lo anterior conlleva a reducir las pérdidas de cosechas por lo que se hace importante disponer de esta información en tiempo real.[4]

III. METODOLOGÍA

A. Definición de método

La presente investigación se desarrolla bajo la metodología inductiva-deductiva que, según la universidad Artemisa [5], consiste en su acepción más general, en el modo de alcanzar un objetivo, es el cómo se organiza una actividad, la vía empleada para reflejar el objeto de estudio".

B. Enfoque de la investigación

Hernández [6] trata la investigación mixta, como una mezcla de las investigaciones cualitativa y cuantitativa, además de obtener una mayor recolección de datos numéricos, verbales, textuales, visuales y simbólicos, entre otras.

El enfoque cuantitativo [3], vincula métodos matemáticos y utiliza magnitudes u ocurrencia de los fenómenos que se van a estudiar para probar la hipótesis, mientras que el enfoque cualitativo hace referencia a la naturaleza, carácter y propiedades de los fenómenos; donde el investigador comienza el proceso analizando los hechos a fin de generar una idea que sostenga lo que está ocurriendo.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, el enfoque de la presente investigación es mixto, ya que emplea la recolección y análisis de datos para responder a la pregunta y objetivos planteados, al igual que la hipótesis. Los instrumentos aplicados fueron una entrevista y una encuesta, esta última estructurada bajo un cuestionario de cinco preguntas.

C. Tipo de investigación

Según Causas [7], el tipo de investigación fue correlacional porque “se utiliza para determinar en qué medida dos o más variables están relacionadas entre sí. Se trata de averiguar de qué manera los cambios de una variable influyen en los valores de otra variable”. Por otra parte, se aplicó la

investigación experimental que de acuerdo con [8], “se realiza a través de la manipulación directa de una variable para identificar o descubrir el efecto que puede causar en otra variable u objeto. En este sentido, para incrementar su efectividad, debe realizarse en condiciones estrictamente controladas.”

Así las cosas, la investigación experimental en este caso particular, controla algún tipo de fenómeno que se da en la naturaleza, para comprender el modo en que ocurre y los factores que intervienen en él, obteniendo resultados predecibles o medibles para la consecución del objetivo planteado.

D. Universo

Según [9], “es el conjunto total de elementos que constituyen el ámbito de interés analítico, sobre el que se quieren inferir las conclusiones del análisis”. El universo, en el presente estudio, es el Sector agrícola Región Sabana de Occidente; al ser muy amplio, no se puede realizar un estudio, lo cual tomará una parte del universo para ejecutar la investigación y así darle una solución a la problemática que se esté presentando.

E. Población

La universidad autónoma [10], define población como, “el compuesto de todos los elementos (personas, objetos, organismos, historias clínicas) que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en el análisis del problema de investigación y tiene la característica de ser estudiada, medida y cuantificada”. La población para el estudio, está dirigida al sector agrícola en el Municipio de Bojacá, ya que hace parte de la Sabana de Occidente y se hace el estudio para identificar la respectiva muestra.

F. Muestra

Según Toledo [11], se define muestra “como una parte o subconjunto de unidades representativas de un conjunto llamado población o universo, seleccionadas de forma

aleatoria, que se somete a observación científica con el objetivo de obtener resultados válidos para el universo total investigado”. La muestra en la investigación será la vereda Chircal en la finca San Cayetano, para realizar el estudio en el cultivo de papa y alverja, donde se contará con la participación de 15 agricultores que contribuirán con información importante para el presente estudio, lo cual significa que es de “criterio por conveniencia” que consiste en que los casos seleccionados son accesibles para ser incluidos en la investigación.

G. Técnica de recolección de datos

De acuerdo con [12], la entrevista es una técnica de gran utilidad en la investigación cualitativa para recabar datos; se define como una conversación que se propone un fin determinado distinto al simple hecho de conversar”. La entrevista es más eficaz que un cuestionario porque puede dar respuestas más útiles para aclarar dudas durante el proceso, es por eso que esta se aplicará a 2 agrónomos y la encuesta, que será aplicada a 15 agricultores de la vereda Chircal.

H. Instrumentos y técnicas de recolección de datos

En el presente estudio se utilizará el cuestionario; como opina [13], “permite utilizarlo como instrumento de investigación y como instrumento de evaluación de personas, procesos y programas de formación. Es una técnica de evaluación que puede abarcar aspectos cuantitativos y cualitativos”. El cuestionario utiliza preguntas preferiblemente cerradas, sobre hechos o aspectos que suceden en el proceso de investigación.

Para la entrevista se aplicará un cuestionario conformado por 8 ítems relacionados con la agricultura de precisión; el tiempo será ilimitado, ya que son preguntas abiertas. Para la aplicación de la encuesta, se empleará un cuestionario bajo la escala Likert organizado por las variables de estudio, que contará con 4 sesiones y será contestado en un tiempo de 5 a 10 minutos.

I. Paradigma

El paradigma en el cual se enmarca el presente estudio, es el positivista, también denominado empírico-analítico, porque sustenta la investigación que

tiene como objetivo comprobar la hipótesis por medios estadísticos o determinar los valores numéricos de cualquier variable [14].

J. Técnicas de procedimiento de datos

Para el proyecto se implementó la estadística descriptiva que según [15], “es la rama de la estadística que formula recomendaciones sobre cómo resumir la información en cuadros o tablas, gráficas o figuras”. Debido a que se recolectaron datos, se efectuó la correspondiente tabulación de estos y por último se realizó el análisis correspondiente de los mismos donde se hizo uso del Software de Microsoft Office conocido como Excel; en esta herramienta se elaboraron las gráficas y tablas para realizar una presentación clara de los datos encontrados.

IV. PROCEDIMIENTO

A. Identificar los efectos de los cambios climáticos tales como la humedad, la temperatura del suelo, que amenazan y vulneran los cultivos de papa y alverja en la vereda Chircal, municipio de Bojacá (Cundinamarca), en la finca San Cayetano.

Gracias a la encuesta elaborada bajo la escala de Likert, que fue planteada a 15 agricultores pertenecientes a la Finca San Cayetano del municipio de Bojacá, se logró obtener información relevante para obtener conocimientos sobre los efectos de los cambios climáticos que causan enfermedades y afectan los cultivos. Se presenta

Figura 2. Enfermedad Ralstonia



en la figura 2, la enfermedad Ralstonia, considerada uno de los patógenos vegetales más importantes por la persistencia en los terrenos infectados. Según [16], “El patógeno, presente en el suelo, entra en la planta por las raíces y coloniza los vasos que transportan el agua y las sales minerales en las partes aéreas de la planta, haciendo un tapón que causa un marchitamiento rápido de las hojas y, finalmente, la muerte de la planta.”

Figura 3. Enfermedad Antracnosis



La enfermedad Antracnosis, según el DANE [17], en el artículo titulado “El cultivo de la arveja (*Pisum sativum*. L) durante la temporada de lluvias”, afirma que, en el cultivo de alverja, esta enfermedad causa daño en la parte superior de la planta, y se reconoce por la presencia de manchas en sus hojas y tallos; en los tallos se generan unos nudos que causan su doblamiento.

B. Identificar las vulnerabilidades de los cultivos de papa y alverja de la vereda Chircal, en la Finca San Cayetano.

En la vereda Chircal no se dan las heladas porque estas disminuyen de los 0°C y como lo explica el agrónomo en la entrevista anterior, el clima del municipio de Bojacá no baja de los -0°C, pero si existen las bajas temperaturas donde lo mínimo es de 9°C para el cultivo de alverja y para la papa, no se pueden obtener menos de los 10°C, para que así el desarrollo de ambos cultivos sea el más óptimo.

Estos cultivos tienen vulnerabilidades de los bióticos y los abióticos que son las heladas, granizadas, sequías, vendavales, toxicidades e inundaciones y los abióticos son hongos, bacterias, arvenses, virus, insectos.

BIÓTICOS:	ABIÓTICOS:
1. Viento.	1. Seres vivos.
2. Tierra.	2. Flora.
3. Sol.	
4. Humedad.	
5. Lluvias.	

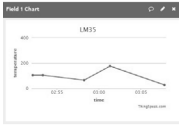

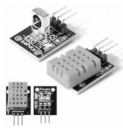
Figura 4. Mapa de Bojacá



C. Diseñar un sistema de tres capas IoT para la adecuación del dispositivo.

En la capa de percepción, se obtiene la información sensorial que es recolectada en el mundo físico, por lo cual se pueden conectar componentes como sensores, actuadores, cámaras y demás.

Figura 5. Diseño de tres capas

Capa de Aplicación →		Plataformas IoT en la Nube
Capa de red →		GPRS/GSM
Capa de Percepción →		Sensores

Ahora bien, continúa la capa de red que transmite la información recolectada por la capa de percepción, por medio de dispositivos inteligentes o servidores; en este caso, se escogieron tres alternativas de solución: Wifi, Red Movil y Lora. En primera instancia, se optó por el dispositivo Lora, debido a su capacidad de largo alcance y su bajo consumo, pero su distanciamiento era de 2km a 20km y la distancia requerida, consistía en 20.7km; por esta razón, se escogió la red móvil, la cual es el módulo Sim800L.


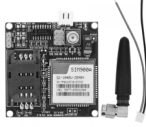
Figura 6. Alternativas de solución

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Niveles Colores	
Características a Evaluar	Wi-Fi Stm32p	Red Móviles	Lora		
Costos	\$110.000	Aprox. \$35.000	\$255.000	Alto	●
Disponibilidad Tecnológica	●	●	●	Medio	●
Consumo Energético	●	●	●	Bajo	●

Fuente propia

Existen módulos de bajo costo como el Lora SX1278 RA-02433 MHZ [18], que se emplean para la transmisión de datos a larga distancia, pero manejan un rango de frecuencia de 420 a 450MHz; en cambio, el Lora32 TTGO tiene un rango de frecuencias de 868, 915,433 MHZ, además de esto, tiene el display OLED ssd1306, que ayuda a visualizar el envío de datos, por lo cual fue más costoso. [19]

Tabla 2. Redes Moviles

	SIM800L	SIM900A
		
Pines	VCC= 3.4V A 4.4V Net=Antena y IPX otra antena RXD= Tx del arduino y TXD=Rx del arduino GND= Tierra común RING= Led para comprobar si recibe las llamadas	VCC= 3.4V A 4.4V La antena no tiene ningun pin en especifico RXD= Tx del arduino y TXD=Rx del arduino GND= Tierra común No tiene ring
Frecuencia	850,900,1800 and 1900MHz	900 y 1800MHz

Por último, se encuentra la capa de aplicación que recolecta toda la información transmitida para entregarla al usuario final; en este caso, es la plataforma en la nube Thingspeak.

D. Realizar pruebas del sistema diseñado para verificar el funcionamiento del prototipo.

En la vereda el Chircal se hizo la prueba para verificar cuál operador tendría mayor cobertura al momento de enviar un mensaje o un dato. Efectuando comparaciones, se escogió el operador de telefonía Claro, que cuenta con buena cobertura en GSM y las coordenadas exactas de la vereda, como se observa en el siguiente mapa de calor.

Figura 7. Mapa de calor

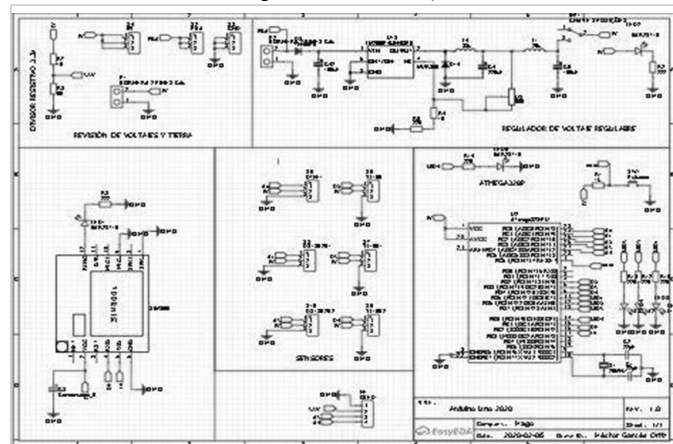


Fuente propia

Se empleó la herramienta Easy EDA para la elaboración del diseño del circuito, ya que esta proporciona simulación y esquemas mediante el uso de bibliotecas disponibles y actualizaciones automáticas, sin tener la necesidad de una instalación previa en el equipo; además, está soportada en la nube.

Una vez diseñado el esquemático del ATMEGA328p, tras haber realizado una búsqueda exhaustiva del microcontrolador que cumpliera con las especificaciones del circuito, tal como se evidencia en la figura 7, se procedió a elaborar el diagrama de alimentación, control y comunicación, como se visualiza en la figura 8.

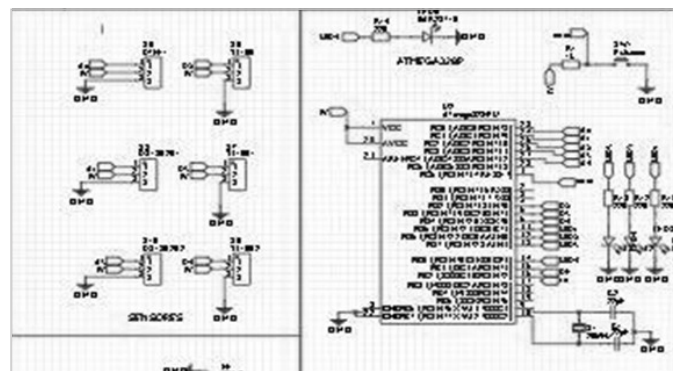
Figura 8. ATMEGA328p



Fuente propia

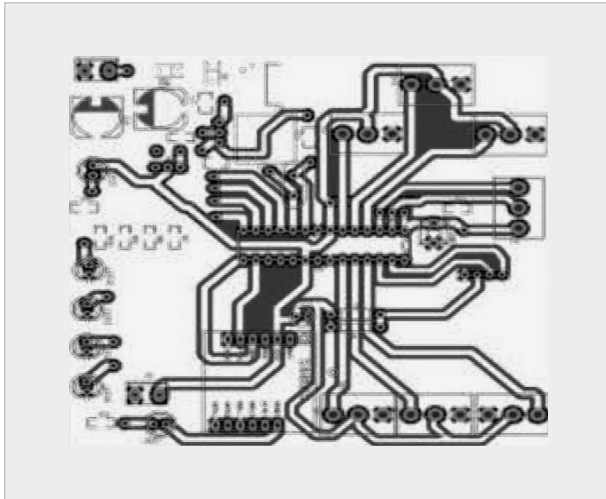
Teniendo claro el circuito que se iba a emplear para el dispositivo, se procedió a crear el diseño de la placa del circuito impreso con la herramienta EasyEDA, para lo cual se debieron ubicar los componentes de manera organizada para garantizar el correcto funcionamiento de la placa, la determinación del tamaño de las pistas, sus distancias y su trayectoria de una forma ordenada, como se visualiza en la figura 9.

Figura 9. Circuito



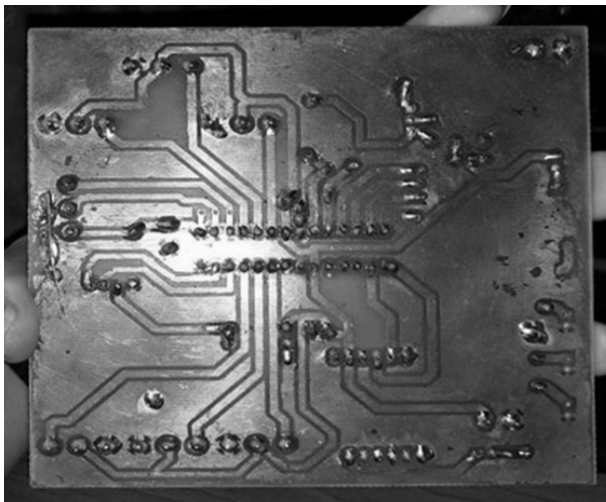
Fuente propia

Figura 10. PCB



Fuente propia

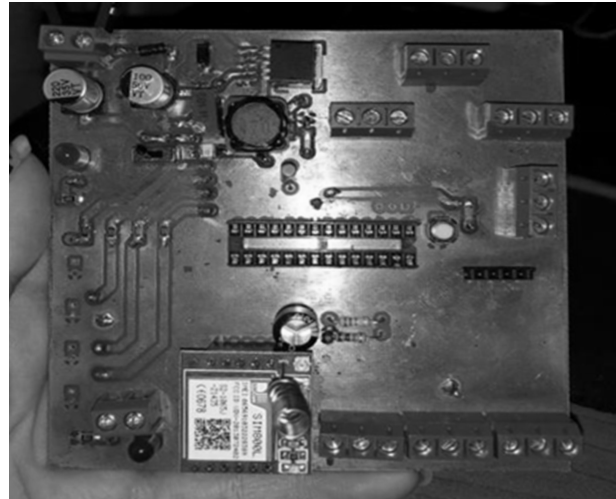
Figura 11. Placa final



Fuente propia

Posteriormente, se efectuó la elaboración de la placa para las pruebas iniciales del circuito, ubicando cada componente según el diseño con anterioridad; evidencia plasmada figura 10 y figura 11.

Figura 12. Cara posterior



Fuente propia

Durante la ubicación de la tarjeta dentro de la caja, se vió la necesidad de realizarla en acrílico, tal como se visualiza en la Figura 12.

Figura 13. Prototipo final



Fuente propia

V. CONCLUSIONES

Se logró hacer un diagnóstico de la situación actual en la vereda Chircal, del Municipio de Bojacá, en cuanto a la falta de inclusión de tecnología en los cultivos de papa y alverja, medición de parámetros que son de gran impacto en el desarrollo y crecimiento de estos cultivos, como lo es el caso de humedad del suelo y la temperatura.

Se logró evidenciar la importancia de la medición permanente de parámetros físicos (humedad y temperatura), en los cultivos de papa y alverja, en la toma de decisiones de un agricultor, para reducir las probabilidades de pérdida en los cultivos.

Se logró identificar que las tecnologías para IoT, están sujetas a la ubicación geográfica de los cultivos y la cobertura de telecomunicaciones, con la finalidad de determinar la tecnología más apropiada.

Se permitió enseñar al agricultor el manejo de la plataforma para visualizar los datos en tiempo real y permitir de esta forma reducir las pérdidas en sus cultivos.

VI. REFERENCIAS

- [1] N. E. Manosalva Barrera and L. D. Cangrejo Aljure, "Arquitectura tecnológica IoT para la trazabilidad de productos frescos," *Rev. Cuba. Ciencias Informáticas*, vol. 12, no. 1, pp. 28–42, 2018.
- [2] A. C. Ramos, "Método de implementación de IoT para un cultivo de papa," Pontificia Universidad Javeriana, 2019.
- [3] E. D. R.-B. A. C.-R. R. C.-Q. Barrientos-Avenidaño, "Granja inteligente: Definición de infraestructura basada en internet de las cosas, IPv6 y redes definidas por software," *Rev. Ibérica Sist. e Technol. Informação*, no. January, pp. 183–197, 2019.
- [4] S. I. Ossa, "Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos," *Vector*, pp. 51–60, 2017, doi: 10.17151/vect.2017.12.6.
- [5] J. A. Rodríguez and J. A. O. Pérez, "Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento," *Rev. Esc. Adm. Negocios*, vol. 82, pp. 1–26, 2017, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/206/20652069006.pdf>.
- [6] Roberto H. Sampieri, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*.
- [7] D. Causas, "Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación," *Univ. Nac. Abierta y a Distancia*, pp. 1–11, 2005, [Online]. Available: http://www.mecanicahn.com/personal/marcosmartinez/seminario1/los_pdf/I-Variables.pdf.
- [8] "¡Conoce los principales tipos de investigación para tu proyecto!", 2020. <https://tecnicasdeinvestigacion.com/tipos-de-investigacion/#Experimental> (accessed May 31, 2021).
- [9] P. L.-R. S. Fachelli, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL CUANTITATIVA*, no. 17. 2018.
- [10] N. Toledo, "Universidad autónoma del estado de México," *Poblac. y Muestra*, pp. 1–134, 2016, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/80531608.pdf>.
- [11] T. Otzen and C. Manterola, "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio," *Int. J. Morphol.*, vol. 35, no. 1, pp. 227–232, 2017, doi: 10.4067/S0717-95022017000100037.
- [12] M. V.-R. Laura Díaz-Bravo, Uri Torruco-García, Mildred Martínez-Hernández, "La entrevista, recurso flexible y dinámico," *Proc. 2017 IEEE 2nd Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf. IAEAC 2017*, pp. 1113–1117, 2013, doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054186.
- [13] T. García, "El cuestionario como instrumento de investigación/evaluación.," p. 28, 2003, [Online]. Available: http://www.univsantana.com/sociologia/EI_Cuestionario.pdf.
- [14] C. A. Ramos, "Los paradigmas de la investigación científica," *Av. en Psicol.*, vol. 23, no. 1, pp. 9–17, 2015, doi: 10.33539/avpsicol.2015.v23n1.167.

- [15] M. E. Rendón-Macías, M. Á. Villasís-Keever, and M.G. Miranda-Novales, "Estadística descriptiva," *Rev. Alerg. México*, vol. 63, no. 4, pp. 397–407, 2016, doi: 10.29262/ram.v63i4.230.
- [16] Conesa Claudia, "El patógeno vegetal *Ralstonia solanacearum*-NutriFitos-Tecnol Hortícola." <https://www.tecnologiahorticola.com/patogeno-vegetal-ralstonia-solanacearum/> (accessed Oct. 21, 2021).
- [17] EDANE, "El cultivo de la arveja (*Pisum sativum*. L) durante la temporada de lluvias," *Importancia los Cultiv. Represent. por fenalce*, vol. 53, p. 111, 2016, [Online]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agrope_cuario/sipsa/Bol_Insumos_nov_2016.pdf.
- [18] "Modulo Transceptor LoRa SX1278 Ra-02 433 MHz Con Base." <https://www.vistronica.com/comunicacion-es/wifi/modulotransceptorlorasx1278ra-02433mhzconbase-detail.html> (accessed Nov. 15, 2021).
- [19] Santos Sara, "ESP32 with Built-in SX1276 LoRa and SSD1306 OLED Display (Review) - Maker Advisor," Apr. 26, 2021. <https://makeradvisor.com/esp32-sx1276-lora-ssd1306-oled/> (accessed Nov. 15, 2021).

3. Artículos de semilleros de investigación

Modelo de Aprendizaje Profundo Para la Identificación de Imágenes Colorizadas

Carlos Andrés Ulloa Robayo
Docente ESCOM
e-mail: carlosulloarobayo@cedoc.edu.co

Oscar Alejandro Garzón Parra
Estudiante semillero Inteligencia Artificial
e-mail: oscargarzonparra@cedoc.edu.co

Resumen - En el ámbito forense, para que un contenido sea admisible como evidencia digital, es necesario que se verifique su autenticidad. Hoy en día existen numerosas técnicas emergentes para la manipulación de imágenes como por ejemplo la colorización, que modifica el contenido de la imagen sin dejar un rastro perceptible de la falsificación.

En este trabajo es presentado un modelo de aprendizaje profundo que identifica si una imagen es auténtica o ha sido manipulada con la técnica de colorización. La arquitectura fue diseñada con la estrategia de modelo a medida y el algoritmo fue programado en lenguaje Python con librerías de aprendizaje automático, utilizando la plataforma Colaboratory de Google. La evaluación de desempeño se realizó con la métrica HTER (Half Total Error Rate) obteniendo buen rendimiento del clasificador con tasas de error medio total de 13% para validación interna y 17% en validación externa.

Palabras Clave: Aprendizaje profundo, clasificación, HTER, CNN, Imágenes colorizadas, procesamiento de imágenes.

Abstract - In the forensic field, for content to be admissible as digital evidence, it is necessary to verify its authenticity. Today there are numerous emerging techniques for image manipulation such as colorization, which modifies the content of the image without leaving a perceptible trace of forgery.

In this work, a deep learning model is presented that identifies whether an image is authentic or has been manipulated with the colorization technique. The architecture was designed with the custom model strategy and the algorithm was programmed in Python language with machine learning libraries, using Google's Colaboratory platform. The performance evaluation was performed with the HTER (Half Total Error Rate) metric, obtaining good performance from the classifier with half total error rates of 13% for internal validation and 17% for external validation.

Keywords: image colorization, deep learning, CNN, classification, image processing.

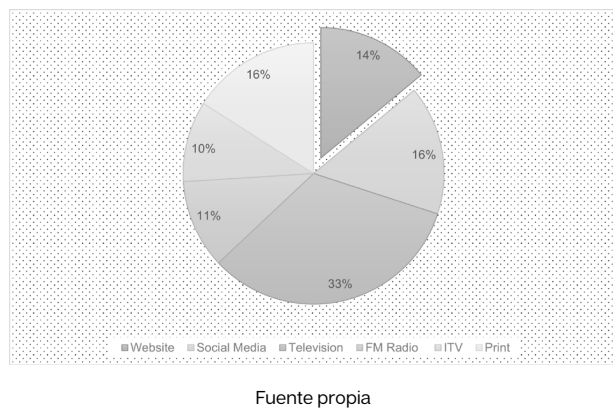
I. INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno, las imágenes son una de las formas de comunicación más usadas desde la aparición de las redes sociales, los smartphones y la evolución de las tecnologías móviles. La creciente popularidad de los medios digitales y el desarrollo de programas de edición de imágenes de fácil acceso, ha propagado la falsificación y manipulación de la evidencia digital para diversos fines.

Los seres humanos se comunican sin perjuicio alguno a través de las redes sociales y muchas veces propagan información sin evaluar el impacto de esta. Cuando las personas acceden a las redes sociales, consultan información en formato de imagen, video, texto y la reenvían a su grupo social; inclusive, algunas personas fabrican contenido falso y lo publican a través de sus redes para una rápida divulgación.

A continuación, se muestra un gráfico que revela el porcentaje de personas que usan diferentes medios para obtener o publicar información [1]:

Figura 1. Different mediums to get or post information



A. Marco Teórico

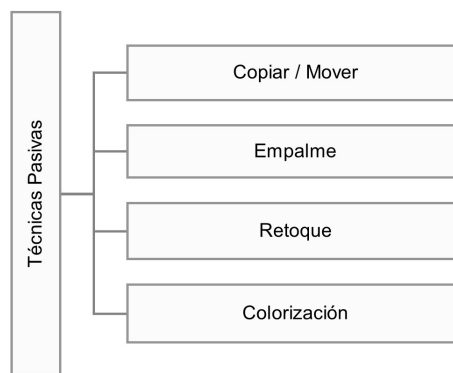
La manipulación de imágenes se ha vuelto muy común en los últimos años, debido a que existen herramientas de fácil acceso para alterar el contenido de estas. Programas como *Paint Shop*, *Affinity Photo* y *Photoshop*, entre otros, pueden ser usados con fines malintencionados e impactar sectores sensibles como la política, la investigación forense, la integridad de las personas y la sociedad en general [2].

Por otra parte, se encuentran algoritmos de inteligencia artificial como GAN (*Generative Adversarial Networks*) [3], implementados a través de Redes Neuronales Convolucionales (CNN) [4], que son muy comunes en procesos de manipulación de imágenes, pero no en las tareas de identificación.

Debido a la creciente manipulación de imágenes digitales y a las diferentes técnicas existentes para tal fin, en investigación forense han surgido áreas especializadas como el DIF (*Digital Image Forensics*), que se centran en comprobar la autenticidad e integridad de los archivos digitales [5].

Comercialmente, se conocen dos métodos para la detección de imágenes falsas; las técnicas activas, en donde debe haber un elemento asociado a la imagen original, como marca de agua o esteganografía. Por otro lado, están las técnicas pasivas [5], en donde no se tiene información previa de la imagen original para evaluar su autenticidad (*Figura 2*).

Figura 2. Técnicas para la Manipulación de Imágenes



Fuente propia

Técnicas novedosas como colorización, altera los colores de la imagen de dos posibles formas, la colorización manual [6] se hace a través de software (*Photoshop*) y la colorización automática [7] utiliza arquitecturas de aprendizaje profundo para entrenar un modelo con ejemplos de imágenes en escala de grises y a color [8], [9]

Figura 3. Ejemplo de colorización manual con software Photoshop: (a) imagen original; (b) imagen colorizada (Castro et al., 2020).

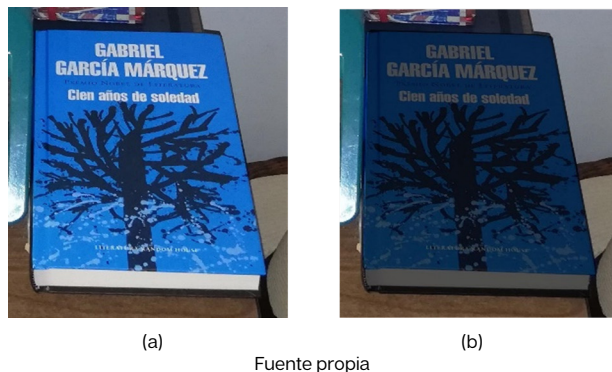
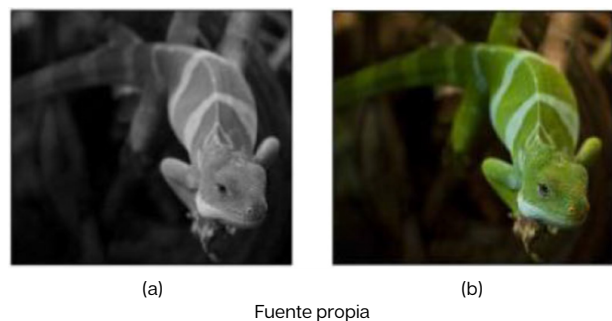


Figura 4. Ejemplo de colorización automática con modelo Deep Learning: (a) imagen original en escala de grises; (b) imagen colorizada (An et al., 2020).



Para la detección de imágenes manipuladas mediante técnicas pasivas, los métodos de aprendizaje profundo han demostrado ser muy eficientes mediante la extracción de patrones y características de las imágenes [10]–[13].

Una de las principales desventajas de los modelos de aprendizaje profundo es que requieren grandes conjuntos de datos para el proceso de entrenamiento. Esto limita en gran medida las investigaciones con técnicas novedosas como colorización, que posee limitadas bases de datos de acceso libre para contribuir al entrenamiento y pruebas del modelo.

Dentro del estado del arte se pueden observar algunas arquitecturas de aprendizaje profundo importantes para procesos de clasificación de imágenes naturales (*Natural Image*) y colorizadas (*Colorized Image*). Modelos CNN como WISERNet (*Wider Separate-then Reunion Network*) logran un buen rendimiento para la clasificación de

imágenes falsas. En la *Tabla 1* se pueden observar algunos resultados de validación de esta red, entrenada con dos conjuntos de datos (*Ma* y *Mb*) de imágenes colorizadas de forma automática.

Tabla 1. Desempeño WISERNet, HTER (%) para Clasificación de Clases NI/CI

Cargo	Ma		Mb	
	Ma	Mb	Ma	Mb
Method				
WISERNet	0,78	18.9	9.35	0.93

En la *Tabla 1*, se puede observar cómo el nivel de generalización del modelo varía considerablemente en las dos pruebas presentadas. En un algoritmo CNN la generalización hace referencia al desempeño de la red, cuando se realizan pruebas con conjuntos de imágenes diferentes a las utilizadas en el entrenamiento de la arquitectura.

En 2018, Yuanfang Guo, publicó un artículo donde se proponen dos métodos de detección simple para imágenes colorizadas: uno de ellos basado en histogramas (FCID-HIST) y otro en codificación de características (FCID-FE) [14]. A pesar de tener un rendimiento cercano al ideal, los resultados de clasificación disminuyen cuando las imágenes de entrenamiento y de prueba se generan a partir de diferentes métodos de colorización, como se observa en la *Tabla 2*.

Tabla 1. Desempeño WISERNet, HTER (%) para Clasificación de Clases NI/CI

Cargo	Ma		Mb	
	Ma	Mb	Ma	Mb
Method				
FCID-HIST	22.5	28.0	26.9	24.4
FCID-FE	22.3	23.6	25.1	22.8

Para los dos métodos de clasificación vistos en la parte superior, se puede observar claramente el impacto que tiene el conjunto de datos en la generalización del modelo. Cuando la red es entrenada con el dataset **Ma** y se pone a prueba con las imágenes del conjunto **Mb**, el HTER (*Half Total Error Rate*), se incrementa notablemente.

Teniendo en cuenta los desafíos hallados en la temática de detección de manipulaciones para imágenes digitales, específicamente con el método de colorización, se plantea en este documento un modelo a medida CNN para la clasificación de imágenes colorizadas. El entrenamiento y validación de la red se realiza con dos conjuntos de datos diferentes mostrados en el siguiente capítulo; posteriormente, se ilustra la arquitectura y el modelo de clasificación, para finalmente, realizar el análisis de los resultados obtenidos según el desempeño de la arquitectura propuesta.

B. Materiales y Métodos

Para el desarrollo de este proyecto y la estrategia general destinada a alcanzar los resultados esperados en la investigación, se tuvo en cuenta la metodología fundamental para la ciencia de datos de la compañía IBM [15]. De manera global, las fases del proceso de investigación y desarrollo de la arquitectura *Deep Learning* planteada en este trabajo, se muestran en el siguiente esquema:

Figura 5. Metodología para el desarrollo del proyecto



Fuente propia

A continuación, se relacionan los objetivos de esta investigación, con base en la metodología propuesta:

C. Objetivos

Objetivo General

Diseñar un Modelo Machine Learning para la Clasificación de Imágenes Manipuladas.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un proceso de minería de datos.
- Establecer el conjunto de datos de entrenamiento.
- Diseñar un modelo a medida para la clasificación de imágenes manipuladas mediante la técnica de colorización.
- Evaluar rendimiento del modelo y comparar con el estado del arte.

En seguida, se abordarán cada una de las fases de la metodología implementada:

II. ENTENDIMIENTO DEL PROBLEMA

En la medida que la ciencia forense u otro sector particular requiere verificar la autenticidad de evidencia digital, como por ejemplo imágenes, el costo de esta verificación puede incrementarse drásticamente si se trata de un gran número de imágenes que debe ser verificada por una o varias personas.

En plena cuarta revolución industrial, y considerando la era del Big Data, indiscutiblemente este tipo de tareas no pueden ser realizadas por el hombre. Muchos conjuntos de datos con imágenes coloreadas falsas a través de algoritmos de última generación, son visualmente indistinguibles por el ojo humano [16].

Es precisamente por esto, que técnicas emergentes de manipulación de imágenes como la coloración, demandan un rápido desarrollo de esquemas para la detección de este tipo de alteración de la evidencia digital, considerando por supuesto grandes volúmenes de datos e imágenes falsas visualmente imperceptibles.

A. Colección de datos

Esta fase contempla el proceso de recolección de imágenes a utilizar en el entrenamiento, validación y prueba del modelo de clasificación. En esta fase del proyecto se

hace una búsqueda, filtrado y selección tanto de imágenes originales como manipuladas.

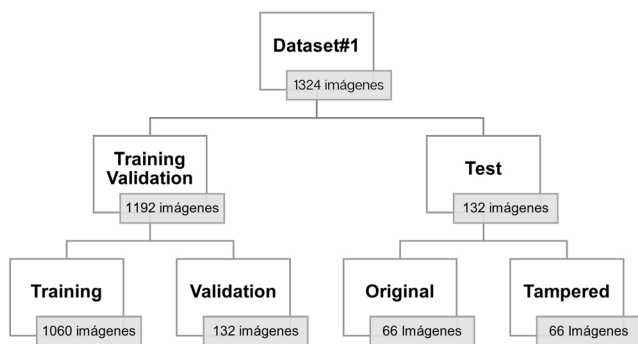
El conjunto de datos final (No. 2) utilizado para este modelo, contiene 2500 imágenes originales y 2500 imágenes colorizadas. Las imágenes originales en su mayoría corresponden a repositorio personal, y no tiene contraparte de imagen colorizada. De las 2500 imágenes colorizadas, 2169 provienen de técnicas de colorización automática [16] y 331 provienen de métodos de colorización manual [6]. La distribución de los conjuntos de datos fue del 60% para entrenamiento, 20% para validación y 20% para pruebas externas.

A continuación, se muestra la distribución de imágenes y las características principales para cada conjunto de datos:

B. Conjunto de datos N°1

Este conjunto de datos contiene imágenes originales de repositorio personal e imágenes manipuladas por dos técnicas de colorización, la forma manual a través del software Photoshop y la forma automática a través de modelos *machine learning*.

Figura 6. Distribución del conjunto de datos N°1



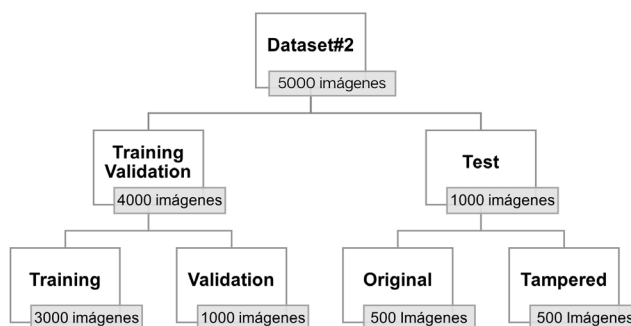
Fuente propia

C. Conjunto de datos N°2

Este conjunto de datos contiene imágenes colorizadas de forma manual [6] y automática [16]. De la colorización manual se utilizan 331 imágenes, mientras que del segundo método se utilizan 2169. Para el balance del conjunto de datos, se utilizaron 2169 imágenes originales, las

cuales se obtuvieron de repositorio personal, tomadas por celular y sin ningún tipo de alteración.

Figura 7. Distribución del conjunto de datos N°2



Fuente propia

D. Características de los conjuntos de datos

En la *Tabla 3* se muestran las características principales de cada uno de los conjuntos de datos usados para entrenamiento y validación de la red neuronal convolucional.

Tabla 3. Características de los conjuntos de datos

Conjunto de datos	Dimensiones	Formato	Tipo de imagen	Técnica de colorización	Cantidad de imágenes
No. 1	512x512	JPEG	Color y escala de grises	Manual y automática	662 vs 662
No. 2	512x512	JPEG	Color y escala de grises	Manual y automática	2500 vs 2500

Fuente propia

Para los dos conjuntos de datos recolectados en este proyecto, se tienen tanto imágenes a color como en escala de grises, lo cual no es común en las fuentes de referencia consultadas y sí tiene gran inferencia en la generalización de la red. Por otro lado, se debe considerar que en los métodos de detección existentes, los conjuntos de datos son más amplios, en algunos casos con más de 20,000 imágenes [11], [14] para entrenamiento y validación; en otros casos, con un poco más de 50,000 imágenes [17].

III. MODELAMIENTO

En la *Figura 8* se presenta la arquitectura propuesta. Esta cuenta con un bloque de paralelismo, capas convolucionales y capas de submuestreo de tipo MaxPooling. Una capa completamente conectada con bloque de regularización y dos capas densas, siendo la última de ellas activada por una función softmax para la separación de clases (NI/CI).

Figura 8. Arquitectura propuesta



Fuente propia

Esta arquitectura tiene la particularidad de ser poco profunda, pues cuenta con 3 capas de convolución secuenciales y un bloque paralelo, que posteriormente se concatena y sirve de entrada a la última capa de redimensionamiento (*Flatten*). La red finaliza con una capa *Dropout* para la regularización del modelo y una capa *Dense* con 200 neuronas. La salida de la red se lleva a cabo a través de una capa de dos vías con función de activación softmax para el cálculo probabilístico de las dos posibles salidas (imagen natural o imagen colorizada).

$$\begin{bmatrix} Value_1 \\ Value_2 \end{bmatrix} \xrightarrow{so} \sigma(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^k e^{z_j}} \xrightarrow{so} \begin{bmatrix} Probability_1 \\ Probability_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

La función *Softmax* (1) es ampliamente usada en problemas de clasificación múltiple, particularmente porque asigna un puntaje de confianza a cada una de las clases, luego la salida será siempre el elemento donde la puntuación de confianza es más alta.

Las entradas a la red son imágenes a color y en escala de grises con características mencionadas en el capítulo anterior. En la *Tabla 4* se muestran los hiperparámetros de la arquitectura.

Tabla 4. Hiperparámetros de arquitectura

Layer type	Filters	Kernel	Stride
Conv 2D	32	(3,3)	1
Max Pooling	-----	(2,2)	(2,2)
Conv 2D	64	(3,3)	1
Max Pooling	-----	(2,2)	(2,2)
Conv 2D	128	(3,3)	1
Max Pooling	-----	(2,2)	(2,2)
Para el bloque paralelo			
Conv 2D_a	128	(1,1)	1
Conv 2D_a	32	(1,1)	1
Max Pooling_a	-----	(3,3)	(1,1)
Conv 2D_b	192	(3,3)	1
Conv 2D_b	96	(5,5)	1
Conv 2D_b	256	(1,1)	1
Conv2D_c	128	(1,1)	1

En las capas de convolución secuencias y del bloque paralelo se extraen las características de la imagen de entrada. Por último, se realiza la transformación de la matriz bidimensional de características en su forma vectorial, para el proceso de clasificación a través de una capa completamente conectada, que utiliza un valor de regularización de 0.35 para el control de sobreajuste en la salida de la red. La función *softmax* se implementa en una capa densa con dos nodos y asigna probabilidades a cada una de las clases (NI/CI).

Como se puede observar en la *Tabla 4*, los *kernel* y el número de filtros de cada capa convolucional en el bloque

paralelo varían; particularmente la arquitectura hace uso de una sencilla técnica para reducir la dimensionalidad de la red con capas de proyección o convoluciones 1x1, que permiten controlar la cantidad de mapas de características en la arquitectura y conservar sus propiedades más destacadas. En todas las capas de convolución y submuestreo se usa *padding same* y función de activación *ReLU* (*Rectified Linear Unit*).

La función de activación *ReLU* es una de las más usadas en el campo de las redes neuronales multicapa, debido a su eficiencia computacional. Esta función se representa por la siguiente ecuación matemática:

$$f(x) = \max(0, x); x: \text{input value} \quad (2)$$

La salida de la función *ReLU* (2), es un valor máximo entre 0 y el valor de entrada. Esta tiene la particularidad de que la salida es igual a cero cuando el valor de entrada es negativo. De esta manera se puede reescribir la ecuación anterior, así:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x < 0 \\ x, & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

En el aprendizaje profundo, los optimizadores tienen una tarea importante para garantizar el buen desempeño del modelo. Básicamente, son los encargados de ajustar los pesos para retroalimentar la red y reducir la pérdida en el proceso de predicción. Dentro de los optimizadores más comunes están: *Adam*, *SGD* y *RMSprop*.

- Optimizador *Adam*: es un método de tasa de aprendizaje adaptativo, lo que significa que calcula las tasas de aprendizaje individuales para diferentes parámetros. Este optimizador usa estimaciones del primer y segundo momento del gradiente para adaptar la tasa de aprendizaje a cada peso de la red neuronal [18].
- Optimizador *SGD*: es un algoritmo de descenso de gradientes, básicamente ajusta los parámetros de forma iterativa, encontrando la mejor combinación de pesos y sesgos para minimizar la pérdida con respecto a los parámetros del modelo [19].
- Optimizador *RMSprop*: es un algoritmo que restringe las oscilaciones en la dirección vertical. De esta

manera tiene la capacidad de aumentar la tasa de aprendizaje y converger mucho más rápido que otros optimizadores [20].

Luego de variar los hiperparámetros de entrenamiento y validación del modelo propuesto, se seleccionó los que arrojaron el mejor resultado en la fase de evaluación. Estos se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Hiperparámetros de entrenamiento dataset No.2

Item	Hyperparameter	Value
1	Target size	500x500
2	Optimizer	SGD
3	Learning rate	0.01
4	Batch size training	3
5	Batch size validation	1
6	Epochs	15

IV. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se evaluará el comportamiento del clasificador, al ser entrenado y evaluado con cada uno de los conjuntos de datos mencionados en el capítulo III.

A. Evaluación dataset No. 1

Al realizar el entrenamiento y prueba externa con el conjunto de datos No. 1, se evaluaron las métricas de *precisión*, *recall*, *F1-score* y *HTER*, para determinar el desempeño del modelo en el proceso de clasificación de imágenes manipuladas. Los hiperparámetros de entrenamiento usados con el *dataset* No. 1, se muestran en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Hiperparámetros de entrenamiento dataset No.1

Item	Hyperparameter	Value
1	Target size	400x400
2	Optimizer	SGD
3	Learning rate	0.001
4	Batch size training	1
5	Batch size validation	1
6	Epochs	10

Métricas como *precisión* (4), *recall* (5), *F1-Score* (6) y *HTER* (7), son comúnmente usadas para validar el desempeño de clasificadores y el rendimiento de la detección. La métrica *HTER*, es muy usada en este tipo de

aplicaciones, pues permite medir el promedio de tasas de clasificación errónea en % (NI/CI).

$$P = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

$$R = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

$$F1-Score = 2 \left(\frac{P+R}{P+R} \right) \quad (6)$$

$$HTER = \frac{\left(\frac{FP}{TN+FP} + \frac{FN}{TN+FP} \right)}{2} \quad (7)$$

Las ecuaciones 4, 5, 6 y 7 se obtienen de la evaluación del modelo a través de la matriz de confusión. En el presente caso, esta herramienta permite medir el rendimiento del problema de clasificación para una salida de dos clases:

Tabla 7. Confusión matriz: (0) Original; (1) Tampered

		Predicted Values	
		Negative (0)	Positive (1)
Actual Values	Negative (0)	TP	FP
	Positive (1)	FN	TN

En las siguientes dos gráficas se observa el *F1-Score* y el *Loss*, para el entrenamiento y validación del modelo con el conjunto de datos No. 1

Figura 9. F1-Score con dataset No. 1

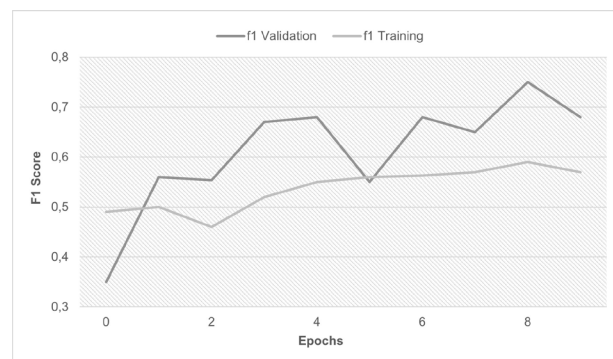
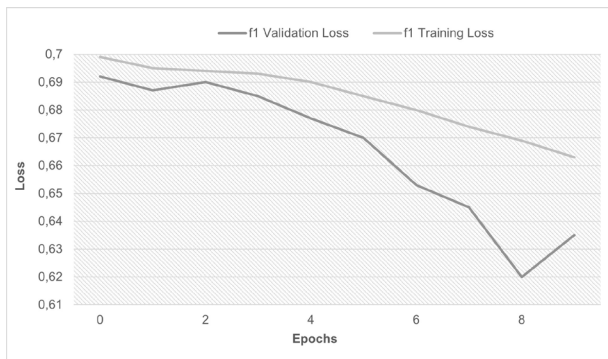


Figura 10. Loss con dataset No.1



En la *Figura 9*, se puede observar una amplia separación en las gráficas de *F1-Score* para training (línea punteada azul) y validación (línea punteada roja). A pesar de que el pico máximo de *F1-Score* parece estar por encima de 0.7 (ideal 1), este pequeño sobre ajuste (*overfitting*) entre la gráfica de entrenamiento y validación, permite intuir un bajo rendimiento de la red en el proceso de clasificación.

Por otro lado, se tiene la gráfica del *Loss*, la cual muestra que tan bueno es el proceso de predicción para el entrenamiento y la validación. En la *Figura 10*, se observa como decrece con el tiempo la pérdida en validación y entrenamiento (ideal 0); sin embargo, la pendiente no es tan pronunciada y el valor mínimo de pérdida está sobre 0.62 en la época número 8.

A continuación, se analizará matemáticamente el *test* interno y externo realizado por el algoritmo, para evaluar su rendimiento en el proceso de clasificación de imágenes manipuladas por la técnica de colorización:

Tabla 8. Matriz de confusión (dataset #1)

		Real (internal text)		Real (external test)	
		NI	CI	NI	CI
Predicted	NI	440	377	66	52
	CI	90	153	0	14

Para obtener estos valores, se calculan las métricas propuestas que definen el rendimiento del modelo:

Tabla 9. Métricas para el test interno (dataset #1)

Metrics for internal test			
Precision	Recall	F1- Score	HTER
0.62	0.28	0.39	0.44

Tabla 10. Métricas para el test externo (dataset #1)

Metrics for internal test			
Precision	Recall	F1- Score	HTER
1.0	0.21	0.35	0.39

De acuerdo con la matriz de confusión (*Tabla 8*) y las métricas calculadas para la evaluación interna (*Tabla 9*) y externa (*Tabla 10*) del modelo, se puede observar cómo su rendimiento parecer ser muy bueno en cuanto a precisión, debido a que las imágenes originales (NI) se predicen por el algoritmo de manera correcta en un 83% para el test interno y un 100% para el test externo, como lo muestra la matriz de confusión.

Por otro lado, la métrica *recall* es baja en la evaluación interna y externa (0.28 para test interno y 0.21 para test externo). De esta manera, la métrica *F1-Score* que debe ser lo más cercana a 1.0 posible y la métrica *HTER* que debe ser lo más cercana a cero posible, se ven bastante afectadas por el bajo rendimiento del algoritmo en la detección de imágenes colorizadas (CI).

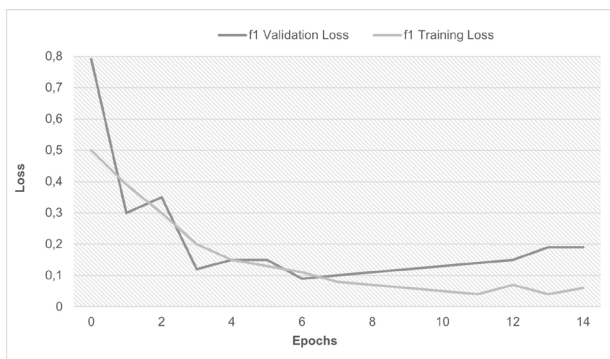
B. Evaluación dataset No. 2

Se realizó entrenamiento y pruebas de rendimiento (*internal and external test*) del modelo, con el conjunto de datos No. 2. La evaluación de las métricas de precisión, *recall*, *F1-score* y *HTER*, determinan el desempeño del modelo con este nuevo conjunto de datos. En las *Figuras 11 y 12* se puede observar el cambio en las métricas *F1-Score* y *Loss* respectivamente; al aumentar el conjunto de datos de entrenamiento.

Figura 11. F1-Score con dataset No. 2



Figura 12. Loss con dataset No.2



En la *Figura 11* se puede observar como la métrica *F1-Score* para entrenamiento (línea punteada azul) y validación (línea punteada roja), tienden a converger cercanas a un valor de 1.0. Las dos gráficas se superponen a partir de la época 4 y permanecen juntas durante las siguientes épocas de entrenamiento.

Por otro lado, la gráfica de *Loss* (*Figura 12*) muestra una notable pendiente negativa y decrece tanto en entrenamiento (línea punteada azul) como en validación (línea punteada roja) hasta un valor de 0.1. Las dos gráficas se superponen a partir de la época 1 y muestran una pequeña separación de la época 8 en adelante. Sin embargo, las dos gráficas evidencian un mejor comportamiento en cuanto a forma y tendencia a la convergencia respecto a las obtenidas con el conjunto de datos No.1.

Para conocer el desempeño final de la arquitectura en el proceso de clasificación, se analizó la matriz de confusión y se evaluó la cantidad de predicciones acertadas o no por el modelo, tanto para imágenes naturales como imágenes manipuladas por la técnica colorización.

Tabla 11. Matriz de confusión (dataset #2)

		Real (internal text)		Real (external test)	
		NI	CI	NI	CI
Predicted	NI	1177	72	366	41
	CI	323	1428	134	459

Para los valores de predicción de la matriz de confusión (*Tabla 11*), se calcula matemáticamente el valor de las métricas precisión, recall, *F1-Score* y *HTER* con el fin de determinar el rendimiento del clasificador. Estos resultados, tanto para test interno (*Tabla 12*) como externo (*Tabla 13*) muestran valores más altos respecto a los calculados cuando el modelo es entrenado con el conjunto de datos No.1.

Tabla 12. Métricas para el test interno (dataset #2)

Metrics for internal test			
Precision	Recall	F1- Score	HTER
0.81	0.95	0.87	0.13

Tabla 13. Métricas para el test externo (dataset #2)

Metrics for internal test			
Precision	Recall	F1- Score	HTER
0.77	0.91	0.83	0.17

En las Tablas 12 y 13 se puede observar como las métricas evaluadas se ven afectadas cuando el algoritmo es puesto a prueba con imágenes externas o desconocidas para el modelo clasificador. Sin embargo, los parámetros calculados muestran un buen rendimiento de la red cuando se aumenta el número de datos para el proceso de entrenamiento y validación.

De acuerdo con la evaluación externa realizada al modelo con el segundo conjunto de datos, la arquitectura

propuesta clasifica de forma correcta aproximadamente un 78% de las imágenes originales y en el caso de las imágenes manipuladas, clasifica de forma correcta aproximadamente un 95%.

Debido a la diferencia de 0.14 entre la métrica de precisión y recall en validación externa, el valor de F1-Score es de 0.83, siendo este el mejor resultado obtenido para las pruebas realizadas con los dos conjuntos de datos. A continuación, se compararán los resultados obtenidos y se definirá el modelo con mejor rendimiento para la clasificación de imágenes manipuladas con la técnica de colorización.

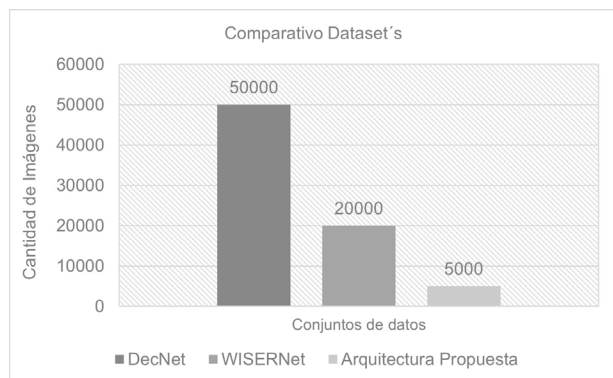
V. RESULTADOS

En este capítulo, se efectuarán algunas comparaciones importantes para los modelos evaluados con respecto al tamaño del conjunto de datos, la métrica *HTER*, el tiempo que requiere el algoritmo para la clasificación de un conjunto de imágenes y el rendimiento con respecto a otras arquitecturas encontradas en el estado del arte.

A. Respecto al conjunto de datos

La arquitectura propuesta, muestra un buen rendimiento de clasificación de imágenes colorizadas, a pesar de usar un conjunto de datos bastante menor que otras arquitecturas encontradas en la literatura académica. En la *Figura 13*, se presenta una comparación entre el dataset de entrenamiento y validación empleado en este estudio, con otros usados para procesos de clasificación similares.

Figura 13. Comparativo de los conjuntos de datos: DecNet [17]; WISERNet [11].



Como se puede observar en la gráfica anterior, el conjunto de datos de la arquitectura propuesta en este trabajo es 10 veces menor al conjunto de datos usado por redes CNN como DecNet y 4 veces menor al conjunto de datos usado por la arquitectura WISERNet.

B. Respecto a las métricas evaluadas

Dentro de las métricas evaluadas de *precisión*, *recall*, *F1-Score* y *HTER*, esta última es la que permite comparar el desempeño de la red con otras arquitecturas analizadas en el estado del arte. En la *Tabla 14* se puede observar el rendimiento de diferentes modelos en cuanto a la métrica *HTER*. Para este análisis, se seleccionaron los mejores resultados de esta métrica, tanto para la red propuesta, como para la arquitectura WISERNet y los métodos FCID-HIST y FCID-FE.

Figura 14. Comparación con otros modelos propuestos en el estado del arte en términos de la métrica *HTER* (%).

Method	Dataset	HTER (Internal Validation)	HTER (External Validation)	HTER's Difference
FCID-HIST	[16]+[21]+[9]	22.5	28.0	+5.5
FCID-FE	[16]+[21]+[9]	22.3	23.6	+1.3
WISERNet	[16]+[21]+[9]	0.95	22.5	+21.55
Arquitectura Propuesta	[6], [16]	13	17	+4.0

La evaluación de la métrica *HTER* para los 4 métodos relacionados en la *Tabla 14*, muestra claramente el buen desempeño del modelo propuesto en este trabajo. Inclusive, al realizar la diferencia de los *HTER*, el modelo propuesto muestra la menor tasa de cambio entre validación interna y externa con tan solo 4 puntos porcentuales.

C. Respecto al tiempo de clasificación

Al realizar la validación externa de la arquitectura propuesta, se logró calcular a través de código Python el

tiempo que este tarda en clasificar 1000 imágenes, entre manipuladas y originales. En la *Tabla 15*, se muestran los resultados obtenidos luego de realizada la prueba externa con imágenes completamente desconocidas para la red.

Tabla 15. Tiempo de clasificación (test externo)

Tipo de imagen	Cantidad de imágenes	Tiempo de clasificación (segundos)
Original	500	243.14
Manipulada	500	243.17

En la tabla anterior se puede observar cómo el modelo aquí empleado tardó un poco más de 4 minutos para clasificar un total de 500 imágenes manipuladas u originales. Este valor permite determinar con una simple regla tres, el tiempo total de procesamiento que el algoritmo utilizaría para la clasificación de n imágenes.

D. Rendimiento de la arquitectura propuesta

Luego de verificar las métricas del modelo propuesto y algunas características importantes como el tamaño del conjunto de datos utilizado y el tiempo que puede tardar en clasificar n imágenes diferentes a las del conjunto de entrenamiento, se puede definir en términos numéricos el buen desempeño de la arquitectura en la tarea para la que fue diseñada.

De acuerdo con los resultados de la *Tabla 14*, se puede observar claramente el impacto que tiene el conjunto de datos en la generalización del modelo. Para los métodos del estado del arte, cuando el modelo es puesto a prueba con imágenes diferentes a las del conjunto de entrenamiento (validación externa), el *HTER (Half Total Error Rate)* se incrementa en el caso de la arquitectura WISERNet [11] de 0.95% a 22.5%, para un delta de incremento de 21.55 puntos porcentuales.

Para los otros dos métodos, FCID-HIST y FCID-FE [14], el delta de incremento es mucho menor, a pesar de que el rendimiento está por debajo de la arquitectura WISERNet [11] y el modelo propuesto en este trabajo. Nótese que la métrica *HTER* debe ser lo más baja posible, para garantizar un buen desempeño del clasificador.

Por el contrario, el modelo propuesto tiene un *HTER* del 13% para validación interna y se incrementa en tan solo 4

puntos cuando se pone a prueba con imágenes diferentes a las del conjunto de entrenamiento (validación externa). En definitiva, el modelo a medida propuesto en este trabajo, logra clasificar con éxito el 91.8% de las imágenes manipuladas con técnicas de colorización manual y automática.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se aborda el problema de detección de imágenes falsificadas por técnicas pasivas y emergentes como la coloración manual y automática. Se logró determinar que estas dos formas de coloración de la imagen son imperceptibles al ojo humano y por tanto, se propuso una Red Neuronal Convolutiva poco profunda, que a través de un conjunto de entrenamiento híbrido, con imágenes colorizadas de forma manual y automática, logra un buen rendimiento en la clasificación de la imagen manipulada por este tipo de técnicas.

Los resultados muestran un óptimo desempeño del modelo a medida en el proceso de clasificación de imágenes colorizadas, con tasas de error medio total de 13% en validación interna y 17% en validación externa. La arquitectura propuesta acierta un 91.8% de las imágenes manipuladas y se degrada un poco en la detección de las imágenes originales con 73.2% del conjunto externo de prueba.

Esta arquitectura, evaluada con conjuntos de datos que integran dos formas de falsificación de la imagen (manual y automática), se confronta al desarrollo computacional moderno y contribuye al control de autenticidad de imágenes, que en la actualidad son bastante vulnerables por el continuo desarrollo de software de fácil acceso para la manipulación de la evidencia digital. El proyecto amerita mayor profundización en la evaluación con nuevos conjuntos de datos y el balanceo del modelo para una mayor eficiencia en la clasificación de imágenes originales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Mangal and Di. K. Sharma, "Fake News Detection with Integration of Embedded Text Cues and Image Features," *ICRITO 2020 - IEEE 8th Int. Conf. Reliab. Infocom Technol. Optim. (Trends Futur. Dir., pp. 68–72, 2020, doi: 10.1109/ICRITO48877.2020.9197817.*
- [2] R. Thakur and R. Rohilla, "Recent advances in digital image manipulation detection techniques: A brief review," *Forensic Sci. Int., vol. 312, p. 110311, 2020, doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110311.*
- [3] Z. Cheng, F. Meng, and J. Mao, "Semi-Auto Sketch Colorization Based on Conditional Generative Adversarial Networks," 2019, doi: 10.1109/CISP-BMEI48845.2019.8965999.
- [4] J. An, K. G. Kpeyton, and Q. Shi, "Grayscale images colorization with convolutional neural networks," *Soft Comput., vol. 24, no. 7, pp. 4751–4758, 2020, doi: 10.1007/s00500-020-04711-3.*
- [5] W. D. Ferreira, C. B. R. Ferreira, G. da Cruz Júnior, and F. Soares, "A review of digital image forensics," *Comput. Electr. Eng., vol. 85, 2020, doi: 10.1016/j.compeleceng.2020.106685.*
- [6] M. Castro, D. M. Ballesteros, and D. Renza, "A dataset of 1050-tampered color and grayscale images (CG-1050)," *Data Br., vol. 28, p. 104864, 2020, doi: 10.1016/j.dib.2019.104864.*
- [7] S. Salve, T. Shah, V. Ranjane, and S. Sadhukhan, "Automatization of Coloring Grayscale Images Using Convolutional Neural Network," *Proc. Int. Conf. Inven. Commun. Comput. Technol. ICICCT 2018, no. Icicct, pp. 1171–1175, 2018, doi: 10.1109/ICICCT.2018.8473259.*
- [8] V. Betina, "(Improved PPF)Going Further with Point Pair Features," *Neoplasma, vol. 16, no. 1, pp. 23–32, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-46487-9.*
- [9] S. Iizuka, E. Simo-Serra, and H. Ishikawa, "Let there be color!: Joint end-to-end learning of global and local image priors for automatic image colorization with simultaneous classification," *ACM Trans. Graph., vol. 35, no. 4, 2016, doi: 10.1145/2897824.2925974.*
- [10] Y. Rao and J. Ni, "A deep learning approach to detection of splicing and copy-move forgeries in images," 8th IEEE Int. Work. Inf. Forensics Secur. WIFS 2016, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/WIFS.2016.7823911.
- [11] L. Zhuo, S. Tan, J. Zeng, and B. Lit, "Fake Colorized Image Detection with Channel-wise Convolution based Deep-learning Framework," *2018 Asia-Pacific Signal Inf. Process. Assoc. Annu. Summit Conf. APSIPA ASC 2018 - Proc., no. November, pp. 733–736, 2019, doi: 10.23919/APSIPA.2018.8659761.*
- [12] Y. Zhang, J. Goh, L. L. Win, and V. Thing, "Image region forgery detection: A deep learning approach," *Cryptol. Inf. Secur. Ser., vol. 14, pp. 1–11, 2016, doi: 10.3233/978-1-61499-617-0-1.*
- [13] B. Bayar and M. C. Stamm, "A deep learning approach to universal image manipulation detection using a new convolutional layer," *IH MMSec 2016 - Proc. 2016 ACM Inf. Hiding Multimed. Secur. Work., pp. 5–10, 2016, doi: 10.1145/2909827.2930786.*
- [14] Y. Guo, X. Cao, W. Zhang, and R. Wang, "Fake colorized image detection," *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur., vol. 13, no. 8, pp. 1932–1944, 2018, doi: 10.1109/TIFS.2018.2806926.*
- [15] John B. Rollins, "Metodología Fundamental para la Ciencia de Datos." <https://www.ibm.com/downloads/cas/WKK9DX51> (accessed Sep. 20, 2020).
- [16] G. S. Gustav Larsson, Michael Maire, "Learning Representations for Automatic Colorization," *in in Proceedings of the European Conference on Computer Vision, 2016, pp. 577–593, doi: 10.1007/978-3-319-46493-0_35.*
- [17] W. Quan, D.-M. Yan, K. Wang, X. Zhang, and D. Pellerin, "Detecting Colorized Images via Convolutional Neural Networks: Toward High Accuracy and Good Generalization," pp. 1–13, 2019, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1902.06222>.
- [18] "Adam – latest trends in deep learning optimization. | by Vitaly Bushaev | Towards Data Science." <https://towardsdatascience.com/adam-latest-trends-in-deep-learning-optimization-6be9a291375c> (accessed Nov. 16, 2020).

- [19] "An overview of gradient descent optimization algorithms." <https://ruder.io/optimizing-gradient-descent/> (accessed Sep. 17, 2021).
- [20] "A Look at Gradient Descent and RMSprop Optimizers | by Rohith Gandhi | Towards Data Science." <https://towardsdatascience.com/a-look-at-gradient-descent-and-rmsprop-optimizers-f77d483ef08b> (accessed Sep. 17, 2021).
- [21] R. Zhang, P. Isola, and A. A. Efros, "Colorful image colorization," in *in Proceedings of the European Conference on Computer Vision, 2016*, vol. 9907 LNCS, pp. 649–666, doi: 10.1007/978-3-319-46487-9_40.

Algoritmo de Visión por Computadora Para el Reconocimiento de Placas Vehiculares

Cristian Iván Corredor Cuestas
Estudiante semillero de investigación en Inteligencia Artificial
e-mail: cristiancorredorcuestas@cedoc.edu.co

Carlos Andrés Ulloa Robayo
Docente ESCOM
e-mail: carlosulloarobayo@cedoc.edu.co

Resumen - La visión por computadora es un campo de la inteligencia artificial que trata de crear sistemas tecnológicos de reconocimiento óptico a través de métodos que permiten adquirir, procesar y analizar imágenes con el fin de producir información que pueda ser tratada y procesada por una máquina, lo más cerca posible a la percepción humana. La visión por computadora puede ser aplicada de muchas formas en diversos aspectos y situaciones, como lo es la detección y reconocimiento de placas vehiculares. Este proyecto pretende desarrollar un prototipo para la identificación de placas vehiculares a través del reconocimiento automático de caracteres. Este proceso se realiza mediante un algoritmo de Machine Learning desarrollado en lenguaje Python, que interopera con una cámara y un equipo computacional que contiene la base de datos con las placas vehiculares autorizadas para el ingreso.

Palabras Clave: Open CV, placas vehiculares, procesamiento de imágenes, Python, visión por computadora.

Abstract - Computer vision is a field of artificial intelligence that tries to create technological systems of optical recognition through methods that allow acquiring, processing, and analyzing images to produce information that can be treated and processed by a machine, the near possible to human perception. Computer vision can be applied in many ways in various aspects and situations, such as the detection and recognition of vehicle license plates. This project aims to develop a prototype for the identification of vehicle plates through automatic character recognition. This process is done using a Machine Learning algorithm developed in Python language, which interoperates with a camera and a computer equipment that contains the database with the vehicle license plates authorized for entry.

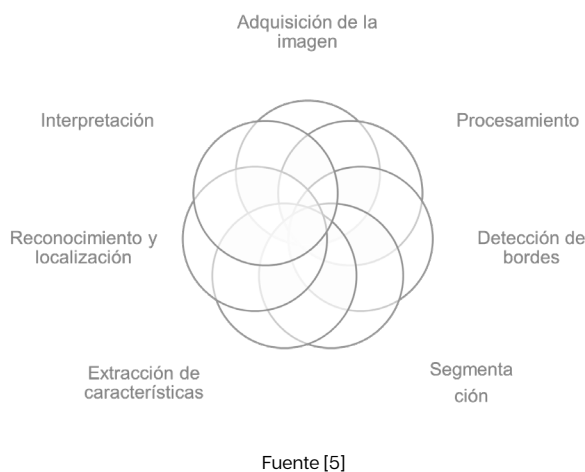
Keywords: Open CV, license plates, image processing, Python, computer vision.

I. INTRODUCCIÓN

Machine Learning es el siguiente paso en el estudio de los algoritmos computacionales, que permite emular la capacidad que tiene el ser humano para tomar decisiones [1][2]. Es la capacidad que tienen los equipos para implementar algoritmos que le permiten aprender del mundo y del entorno donde sean ejecutados, con el propósito de tomar decisiones como lo haría una persona [3]. Esta inteligencia ha abierto un abanico de posibilidades y aplicaciones casi sin un límite a la imaginación; por ello hoy en día el Machine Learning es usado en casi todo ámbito del diario vivir para el ser humano. Algunas de las aplicaciones con mayor auge, son el reconocimiento y clasificación de imágenes, para mejoras de desempeño en estrategias comerciales, detección y clasificación de objetos, entre otras muchas aplicaciones más [2][3].

Una de las aplicaciones del Machine Learning es la visión artificial o visión por computadora. La visión por computadora es un campo de la inteligencia artificial que trata de crear sistemas tecnológicos de reconocimiento óptico a través de métodos que permiten adquirir, procesar y analizar imágenes con el fin de producir información que pueda ser tratada y procesada por una máquina, lo más cerca posible a la percepción humana [4][6][7][8].

Figura 1. Fases del proceso de funcionamiento de la visión artificial o visión por computadora al determinar una imagen



1. Implementar la visión por computadora no es una tarea sencilla, y menos lo es, hallar un lugar adecuado

que brinde las herramientas necesarias para su aprendizaje; para esta labor, existe Python. Python es un lenguaje de programación interpretado, universal y de alto nivel. Su filosofía de diseño enfatiza la legibilidad del código usando sangría siendo también un lenguaje de código abierto [9][10][11]. Además, cuenta con una amplia gama de librerías que ofrecen diferentes utilidades para diferentes situaciones, dentro de las cuales se puede encontrar la librería *OpenCV* y la librería *PySimpleGUI* [12][13].

2. Una aplicación de visión por computadora, son los sistemas de reconocimiento automático de placas vehiculares; estas se componen por hardware y software, permitiendo la lectura de la placa del vehículo y el reconocimiento de los caracteres alfanuméricos por medio de técnicas de reconocimiento óptico de caracteres [12][14]. Estos sistemas tienen muchas aplicaciones para controlar el ingreso y salida de los vehículos de un lugar en específico, en donde se compara una placa con alguna base de datos policial que permita el rastreo y ubicación por medio de cámaras de seguridad de un vehículo hurtado, entre otras aplicaciones.
3. Dependiendo del tipo de modelo que se desee aplicar a este tipo de proyectos, el método de investigación puede variar, pero todos los tipos requieren un conjunto de imágenes procesadas que permiten el entrenamiento de un modelo o algoritmo. El tamaño de esta base de datos es crucial y propia de cada modelo. De forma paralela existen APIs cargadas con el conjunto de datos y parámetros predefinidos y establecidos, de los que se puede hacer uso, los cuales permiten un mayor dinamismo en cuanto a la ejecución del código. El presente modelo hace uso de una API especializada en el reconocimiento de placas vehiculares llamada "PLATE RECOGNIZER" [15][27].

Un factor muy importante en el proyecto son las placas vehiculares. Las placas vehiculares son el documento público de identidad del automóvil, creadas por el Ministerio de Transporte, estas placas identifican a nivel nacional el vehículo que la porta [16][17]. En el territorio colombiano se pueden encontrar 6 tipos diferentes de placas vehiculares, cada una con su significado y características, a saber:

Figura 2. Placa vehicular amarilla



Fuente [16]

Figura 2. Placa vehicular blanca



Fuente [16]

Figura 2. Placa vehicular roja



Fuente [16]

Figura 5. Placa vehicular azul



Fuente [16]

Figura 6. Placa vehicular verde



Fuente [16]

Figura 7. Placa vehicular azul con una franja blanca.



Fuente [16]

Amarilla

Destinadas para vehículos particulares, se caracterizan por ser de un color amarillo reflectivo, con bordes negros; cuentan con 3 letras y 3 números, además de tener inscrito el nombre del municipio donde han sido registradas.

Blanca

Reservadas para los vehículos que prestan transporte público. Estas placas son de color blanco reflectivo, tienen un borde negro, constan de 3 letras y 3 números y tienen inscritos en la parte baja, el nombre del lugar donde fueron expedidas.

Roja

Consignadas únicamente a vehículos de carga y tránsito libre; estas placas constan de 1 letra y 4 números, bordes blancos y además cuentan con el nombre de Colombia en la parte inferior.

Azul

Destinadas a vehículos diplomáticos, consulares o de misión especial. Estas placas cuentan con un borde blanco, 2 letras y 4 números. Tienen el nombre de Colombia en la parte inferior.

Verde

Diseñadas para vehículos de remolque y semirremolque; constan de un borde color blanco, 1 letra, 5 números y la palabra Colombia en la parte inferior.

Azul con una franja blanca

Estas placas están únicamente destinadas para definir automóviles antiguos; generalmente constan de 3 letras, 3 números, sin contorno. La palabra antiguo en la parte superior y en la parte inferior el nombre del lugar donde fueron inscritas.

OBJETIVOS

a. General

Diseñar un sistema de visión por computadora para la identificación de placas vehiculares.

b. Específicos

- Diseñar un algoritmo para la detección y reconocimiento de placas vehiculares.
- Ajustar el modelo de detección y reconocimiento con las métricas ideales.
- Poner a prueba el modelo con datos externos.

ALCANCES

El proyecto está planteado para automóviles y motocicletas cuyo flujo de entrada y salida de la Escuela de Comunicaciones es constante.

LIMITACIONES

En las limitaciones se encuentra principalmente, las dimensiones de las placas vehiculares en Colombia:

Las dimensiones de las matrículas colombianas, según el Ministerio de Transporte, para automóviles.

- En forma horizontal, 6 caracteres, 3 letras y 3 dígitos, en dos grupos separados.
- Nombre del municipio en la parte inferior, donde se encuentre radicada la cuenta del vehículo.
- Las dimensiones de las matrículas colombianas, según el Ministerio de Transporte, para motocicletas.
- Para las motocicletas de forma horizontal, 5 caracteres 3 letras 2 dígitos, en dos grupos separados.
- Nombre del municipio en la parte inferior, donde se encuentre radicada la cuenta del vehículo.
- 235mm x 105mm con una tolerancia de 1%.
- Fondo amarillo: 124 C; caracteres, logotipo y marco: negro black C.

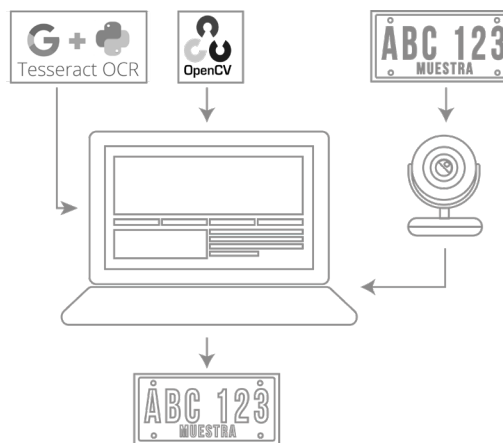
Otra de las limitaciones radica en el cuidado y estado de la placa; este factor puede reducir el porcentaje de lectura de la misma, lo que conllevará a errores de procesamiento; además, un factor también muy influyente es la distancia en la lectura de la placa, es decir, la distancia placa-cámara, ya que a mucha o poca distancia se puede influir de forma directa en la lectura de los caracteres alfanuméricos de la placa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La herramienta principal, es el equipo de cómputo que para el presente estudio, debe contar con una cámara, los programas que se han diseñado en Python y las placas vehiculares.

Como se observa en el diagrama (Figura 8), el equipo portátil o de mesa ya cuenta con los algoritmos diseñados en Python, con la librería de OpenCV que detecta y reconoce las placas vehiculares mediante la cámara incorporada o conectada. Esta programación permite extraer de la imagen detectada, la placa y el texto (caracteres alfanuméricos), por medio de *Optical Character Recognition (OCR)* o reconocimiento óptico de caracteres.

Figura 8. Placa vehicular azul con una franja blanca



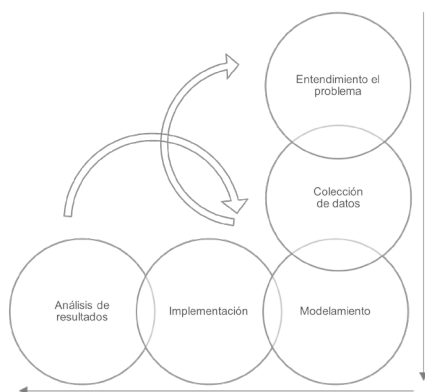
Fuente [16]

El algoritmo está diseñado para tomar la imagen en tiempo real de la cámara y reconocer una región predeterminada, ubicada de forma directa a la placa del vehículo. Lo anterior, por medio de la librería de *Open Cv*; luego, por medio del reconocimiento óptico de caracteres y el uso de la librería *Pytesseract* y la *API*, se podrán extraer los caracteres alfanuméricos de la placa.

Para el desarrollo de este proyecto y la estrategia general para el alcance de los resultados esperados en la

investigación, se tuvo en cuenta la metodología fundamental para la ciencia de datos de la compañía IBM [44]. De manera global, las fases del proceso de investigación y desarrollo de la arquitectura *Machine Learning* planteada en este trabajo, se muestran en el siguiente esquema:

Figura 9. Metodología para el desarrollo del proyecto



Fuente [16]

A continuación, se abordarán cada una de las fases de la metodología implementada:

I. ENTENDIMIENTO DEL PROBLEMA

La Escuela de Comunicaciones Militares (ESCOM), tiene implementado un sistema de fichero para el ingreso a la base militar, donde cada individuo tiene una documentación y registro de huella dactilar para el ingreso al Batallón. Esto, para salvaguardar la integridad y seguridad del Cantón Militar; de esa misma forma, las personas que ingresan en vehículos deben tener un fichero tanto para la persona como para el vehículo; este permite la identificación del mismo en su base de datos. Sin embargo, este proceso de verificación del vehículo se hace manual a través del personal que se encuentre en ese momento en el puesto de guardia y depende en gran medida de la disposición del listado físico con el número de placa del vehículo y la relación del conductor.

Para este tipo de procesos de registro e ingreso, es posible usar sistemas de visión por computadora que, a través de terminales móviles, realicen una identificación de la placa vehicular y el conductor relacionado con esta, logrando así un proceso seguro, ágil y dinámico para el registro, control e ingreso de vehículos que visitan la Escuela de Comunicaciones Militares.

II. COLECCIÓN DE DATOS

La recolección y parametrización de datos, fue realizada con la API "PLATE RECOGNIZER" [38] entrenada con aproximadamente 2500 imágenes. Esta API basada en un modelo de reconocimiento de objetos, donde primeramente, reconoce la placa e identifica las características físicas de esta, para posteriormente aplicar OCR en la imagen.

Figura 10. Base de datos de la API

☆	May 12, 2021, 9:38 p.m.	HW0231	90.30%	-		
☆	May 12, 2021, 9:32 p.m.	HW0231	90.60%	-		
☆	May 12, 2021, 8:57 p.m.	HW0230	77.20%	-		
☆	May 12, 2021, 8:57 p.m.	HW0230	90.90%	-		
☆	May 12, 2021, 8:56 p.m.	ADK430	90.40%	-		
☆	May 12, 2021, 8:55 p.m.	ADK430	90.40%	-		
☆	May 12, 2021, 8:55 p.m.	AKC123	89.80%	-		
☆	May 12, 2021, 8:55 p.m.	HW0230	90.50%	-		
☆	May 12, 2021, 8:55 p.m.	HW0230	69.60%	-		
☆	May 12, 2021, 8:54 p.m.	HW0231	90.30%	-		

III. MODELAMIENTO

Una de las principales herramientas que se requieren en el desarrollo del algoritmo, es la librería cv2 (Open Cv2). Esta librería es especialmente necesaria, ya que se necesita hacer uso de la cámara, en este caso, la que viene por defecto en el PC. Esta cámara es una webcam de 15.6" HD y modelo KS.0HD06.011 con 1920x1080 pixeles [37]. Se llama esta librería con la siguiente instrucción:

Import cv2

Se requiere que el usuario pueda interactuar con el algoritmo desde una interfaz gráfica amigable, sencilla, entendible y donde él pueda sacarle el mayor provecho al programa, por lo que se usará la librería *PySimpleGUI*, con la que se puede diseñar e implementar una interfaz minimalista por medio de funciones que permiten crear una ventana, añadir botones de acción, cambiar colores y tipografías, entre otras funciones.

Se llama esta librería con la siguiente instrucción, donde se observa el uso de las siglas **sg** para no escribir el nombre completo de la misma:

Import PySimpleGUI as sg

Por otro lado, además de la interfaz, se desea que el programa tenga una comunicación con el usuario, cuando la placa que intenta leer, sea leída correcta o incorrectamente. Esta función se puede lograr con un módulo de la librería **tkinter**, específicamente el módulo **messagebox**, que como lo indica su nombre, es un cuadro de texto que se muestra en una ventana emergente la cual presenta un mensaje al usuario. Esta librería, junto con el módulo, puede ser llamada con la instrucción:

From tkinter import messagebox

Otra librería importante, es aquella que se requiere para guardar y modificar el archivo de Excel donde se almacenarán en tiempo real, las placas leídas por la cámara. Esta librería se llama **csv**. Para llamar esta librería se emplea:

Import csv

Como ya se mencionó, se pretende que el archivo de Excel emita la fecha y la hora; esto lo logra con un módulo específico de la librería **datetime**, dicho módulo lleva el mismo nombre de la librería **datetime**. La instrucción para llamar la librería y su módulo, es la siguiente:

From datetime import datetime

La librería más importante para desarrollar el proyecto, es la librería **requests**, la cual es el contacto directo con la API que se usará; además permite hacer uso de las funciones internas de ella. Esta librería se llamará de la siguiente forma:

Import requests

IV. IMPLEMENTACIÓN

Ya que se tiene la API, librerías y módulos que se requieren, se empieza el programa definiendo funciones para pasos que se consideran puntuales.

- Leer placa

La función *leer placa*, que tendrá como parámetro (*img*), es una función que ayudará a llamar la API y enviarle la información que se desea procesar, en este caso, la placa leída. Esta función cuenta con una primera instrucción llamada **regions**; esta instrucción permite definir la región en la cual se va a trabajar. Esta información es directamente extraída de la documentación de la API [33][i].

Con la documentación, se puede ver que el código es 'co', que denota Colombia. Posteriormente, se define abrir la imagen como un archivo, bajo el alias **fp**, y se define el objeto **response** [40] como el llamado que se le hace a la API. Luego se define a **file** como el diccionario **regions**, se define el token de seguridad de la API y finalmente, toda la información será devuelta en un archivo Json.

Figura 11. Programación leer placa

```
#funcion para leer la placa
def leer_placa(img):
    regions = ['co']
    with open(img, 'rb') as fp:
        response = requests.post(
            'https://api.platerecognizer.com/v1/plate-reader/', #servidor
            data=dict(regions=regions),
            files=dict(upload=fp),
            headers={'Authorization': 'Token 0d1c42c242234ca890fd1133106df25952fe1e28 '})
    return response.json() #retorna el json con los datos procesados
```

- Validar la placa leída

La función de validación permite verificar si la placa ha sido o no leída; de igual forma, valida si la placa ya fue leída; además, es la encargada de definir la fecha y la hora de esta actividad. Por lo tanto, los parámetros que esta función recibe, son: **data, lista_placas, file, write y fechas**.

Esta función tiene como primera instrucción, validar que el parámetro **results** sea tal, que la API ya ha podido identificar y leer; de no ser así, por medio del módulo **messagebox.showerror()**[28], el programa muestra un mensaje de error en la lectura de la placa y se define una variable: **validar = 1**, que ayudará a condicionar la siguiente función; si la lectura de la placa es correcta, se entra a un ciclo **for** para definir la variable **placa vehicular**, como el resultado **results en data**; luego se entra en un condicional **if** con el que se valida que la placa leída sea o no una placa que ya esté almacenada; es decir, que haya sido leída con anterioridad.

Luego de verificar si la placa había sido leída o no, se hace un llamado a la función **messagebox.showerror()** [28], enviando un mensaje al usuario, informando que la

placa ha sido leída correctamente, y se define una variable **validar = 0**, que ayudará a condicionar la siguiente función. Siguiendo con el programa, se define la fecha y hora en que la placa fue leída, por medio de la función **datetime.today().strftime()[32]** y se finaliza con la función **fechas.append()[41]**, que permite agregar a los valores de **date** a la variable **fechas**.

Figura 12. Programación función validar placa

```
def validar_placa(data, lista_placas, file, writer, fechas):
    if data['results'] != {}:
        for result in data['results']:
            placa_Vehicular=result['plate']
            if len(lista_placas)>1:
                if result['plate'] in lista_placas:
                    validar=1
                else:
                    lista_placas.append(placa_Vehicular)
                    validar=0
            else:
                lista_placas.append(placa_Vehicular)
                validar=0
        excel_placas(data, file, writer, validar)
        messagebox.showinfo(message="Placa leída correctamente")
        date_=datetime.today().strftime('%x %X') #leer la fecha y hora
        fechas.append(date_.split(' '))
    else: # cuando la imagen no tenga una placa
        messagebox.showerror("Error en la lectura", "Imagen no reconocida")
```

- Almacenar la placa en el Excel

La función de almacenamiento, es la encargada de sobrescribir el archivo csv, con los datos de la fecha, hora y placa. Adicionalmente, se encarga de registrar el valor numérico que tiene los parámetros **score** y **decore**. Por ello, los argumentos de la función son: **data**, **file**, **writer** y **validar**.

La función empieza buscando result en data, para validar la existencia de la placa que se está leyendo. Luego se ingresa a un condicional **if** donde la variable **validar** definirá el código que se va a ejecutar.

Si **validar** es = 0, se envía un mensaje de error, emitiendo que la placa ya fue registrada con anterioridad, dando hincapié en la función anterior **validar_placa**. Así, la placa que se está intentando procesar, ya fue leída y almacenada en el archivo csv.

Por otra parte, si el valor de **validar** es igual a 0, se debe ejecutar la instrucción que sobrescriba el archivo **csv** con la placa que se está leyendo; para ello, se usa la función **writer.writerow()[41]** que permite escribir en el archivo; luego se define lo que se va a escribir, se indica que primero se requiere la fecha de la lectura, haciendo uso del diccionario y el data. Luego de ello, se busca el dato de la

placa leída y luego se define la variable **placa_Vehicular**, como la igualdad de **plate** en **result** y por último, se definen los dos parámetros que se quieren conocer para saber la precisión del algoritmo **score** y **dscore**, siendo cada uno la igualdad de **score** y **dscore** en **result**.

Figura 13. Programación función de almacenar placas en Excel

```
#funcion para ir guardando en el archivo cada placa leida
def excel_placas(data, file, writer, validar):
    for result in data['results']:
        if validar==0:
            writer.writerow(dict(date=datetime.today().strftime('%x %X'),
                                placa_Vehicular=result['plate'],
                                score=result['score'],
                                dscore=result['dscore'],
                                ))
        if validar==1:
            messagebox.showerror("ERROR", "PLACA REPETIDA")
```

• Interfaz

La interfaz gráfica es la forma en que el programa se comunica con el usuario, haciendo de la experiencia de uso más cómoda y amigable para el usuario en cuestión. El proyecto además de mostrar en tiempo real la imagen de video, tiene una sección donde se muestran las placas leídas, junto con la fecha y la hora. Además, esta interfaz cuenta con dos botones: el primero, que le permite al usuario leer la placa y el segundo, para salir de la aplicación. Los parámetros que esta función toma, son el **frame**, **lista_placas** y **fechas**.

Para empezar, se define la función, que es el complemento de la interfaz, donde se quiere mostrar que placa se leyó. Para ello, se define la pizarra, que es el “espacio” donde se quiere ir escribiendo. Junto a la imagen de la cámara, se inicia la variable como **np.zeros()** que devuelve un array, cuyos valores iniciales son 0 (cero) [43]. Posteriormente, se agrega un texto de “Placas leídas”, donde los parámetros indicados corresponden al tipo de letra, posición del texto y color. Posteriormente, se entra en un ciclo **for**, donde para cada valor en **lista_placas** y **fechas**, se asigna un color, posición y tipo de letra. Se observa que **fecha** se ve de dos partes **fecha [0]** y **fecha [1]**, ya que fecha guarda también el valor de la hora. Finalmente, esta función devuelve lo que se puede llamar la suma de **frames** y la pizarra.

Figura 14. Programación complemento de la interfaz

```
#Interfaz + complemento
def complemento_interfaz(frame, lista_placas, fechas):
    pizarra = np.zeros((frame.shape[0],300,3),dtype=np.uint8)
    # titulo
    cv2.putText(pizarra, "Placas leídas :", (10, 20), cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX, .6, (0,140,140), 1, cv2.LINE_AA)
    #Imprimir placas en el complemento_interfaz
    y=25
    for placa, fecha in zip(lista_placas, fechas):
        y+=16
        cv2.putText(pizarra, placa, (10, y), cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX, .5, (0,140,140), 1, cv2.LINE_AA)
        cv2.putText(pizarra, fecha[0], (90, y), cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX, .5, (0,140,140), 1, cv2.LINE_AA)
        cv2.putText(pizarra, fecha[1], (190, y), cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX, .5, (0,140,140), 1, cv2.LINE_AA)
    #unir pizarra con imagen
    combinado = np.hstack((frame,pizarra))
    return combinado
```

Ahora solo resta crear un “espacio” donde se pueda situar el *frame*, que es el video de la cámara web en tiempo real, y el complemento. Además, se define la posición, tipo de letra de los botones y la posición de la ventana emergente. El módulo *sg.ChangeLookAndFeel()* [25] permite modificar la apariencia de la ventana emergente. En este caso, se desea negro. El módulo *layout* es el encargado de crear como tal la ventana emergente; la función *sg.Button*[25] permite crear los botones que se pueden ver en la ventana. El módulo *sg.Text*[25], es el título de la ventana emergente y con el módulo *sg.Window*[25], se define la posición donde se quiere que aparezca la ventana emergente al ejecutar el código.

Figura 15. Programación interfaz gráfica y botones

```
sg.ChangeLookAndFeel('Black')
layout = [[sg.Text('Lector de placas vehiculares', size=(40, 1), justification='center', font='Helvetica 20')],
          [sg.Image(filename='', key='image')],
          [sg.Button('Leer placa', size=(10, 3), font='Helvetica 14'),
           sg.Button('Salir', size=(10, 1), font='Helvetica 14')],
          window = sg.Window('Lector de placas', layout,
                             location=(500,100))
```

- Programa principal

Ya que se tienen definidas las funciones que se usarán, se procederá con el código principal, que es donde se llamarán las funciones anteriormente definidas. Esto se ejecutará en un ciclo *while*, ya que se quiere ejecutar constantemente hasta que el usuario desee salir de la aplicación. Primero, se iniciará con 3 variables; la primera, denominada *file*, que es el nombre del archivo de Excel tipo *csv*; luego, se iniciarán los dos arrays vacíos que guardarán la información que sus nombres digan, *lista_placas* y *fechas*.

Luego se abre la variable *file* como una salida y se define una variable *fields* como un array que tiene a '*date*', '*placa_Vehicular*', '*score*', '*dscore*' como datos; luego se define un objeto *written*, mediante la función *csv.DictWriter()*[42], que permite escribir estos datos en el formato preferido por Excel, luego se modifica esa variable *written* con el objeto *writeheader()*[42], que permite escribir una fila con los nombres de los campos especificados al objeto de archivo del *writer*.

Posteriormente, se define la variable *cap*, donde se va a inicializar la cámara, esto por medio de la instrucción *cv2.VideoCapture()*[24], se define la variable *recording* como un valor booleano verdadero y se ingresa al ciclo *while* del programa.

En el ciclo *while*; primero se define las variables *evento* y *values* como “eventos” que ingresan por medio de la ventana emergente anteriormente diseñada. Todo ello mediante la función *window.Read()* [25], luego se ingresa a un condicional *if*, que evalúa la variable *evento*, para cuando la variable toma el valor de “Leer placa” o de “Salir”, que son los dos eventos diseñados con los botones; en caso que *event* tenga el valor “Salir” el programa se cerrará.

En el otro caso, donde *event* tenga el valor de “Leer placa”, se comenzará por definir una variable llamada *foto* como “temp.jpg” que es la variable donde se guardará la imagen tomada por la cámara bajo el nombre de *temp*, haciendo referencia a un archivo temporal. Luego se llama a la función *cv2.imwrite()*[24] que es la encargada de capturar la imagen de la cámara de video. Ahora se define la variable *data* como la llamada de la función *leer_placa*, que toma los datos de la variable *foto* como parámetros; luego se llama a la función *validar_placa* que recibe las variables *data*, *lista_placas*, *file*, *writer* y *fechas* como parámetros.

Luego se evalúa la variable *recording*, para verificar el “estado” de la cámara de video; luego se define la variable *frame_complemento_interfaz* llamando la función *complemento_interfaz* cuyos parámetros de entrada serán las variables *frame*, *lista_placas* y *fechas*. Finalmente, se define una variable *imgbytes* como la función *cv2.imencode()*[24] que codifica formatos de la imagen en datos de transmisión y los almacena en memoria caché.

Se realizará la validación del algoritmo con 13 impresiones de placas vehiculares Colombianas [11] extraídas de internet. Estas placas tienen una medida de 16x24 cm, 27.27% más pequeñas que las originales.

Las impresiones serán puestas a 5 distancias diferentes para probar la precisión vs distancia del algoritmo; respectivamente, las distancias fueron 0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 2.5m y 3.0m.

Tabla 1. Relación placa - distancia. Vemos los resultados de la interfaz para cada placa en la distancia determinada

Placa	Metros de distancia					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
BSI 859						
MMM 162						
LAC 290						
PFA 270						
TBO 126						
XVH 049						
SFL 624						
FAK 579						
TOD 848						
AA 1234						
R 12345						
T 1234						
AAA 123						

Figura 16. Resultado de placas leídas por el programa



Al hacer la prueba a 2.5m, se observa el mismo resultado que al hacer la prueba en 2m, por lo que se decide agregar un factor de luminosidad, apagando la luz, para ver el comportamiento del modelo bajo esa condición de poca luminosidad. Por otro lado, al hacer la medición con poca luminosidad siempre arrojaba que no encontraba la imagen; luego se hace necesario contar con buena luminosidad para que el algoritmo haga una correcta detección de la imagen.

Tabla 2. Tabla de Excel resultante del programa, podemos ver las placas leídas y la hora en la que fueron leídas

FORMATO EN EXCEL	
date,	placa_Vehicular, score, dscore
05/21/22 00:14:11,bsi859,0.897,0.755	
05/21/22 00:15:42,bsi859,0.898,0.712	
05/21/22 00:21:53,bszp58,0.717,0.202	
05/21/22 00:26:29,kmm162,0.691,0.771	
05/21/22 00:27:03,mnm162,0.772,0.918	
05/21/22 00:31:02,lac290,0.901,0.744	
05/21/22 00:33:04,wc29,0.632,0.204	
05/21/22 00:34:16,pfa270,0.899,0.76	
05/21/22 00:36:04,pfa230,0.721,0.409	
05/21/22 00:36:35,pfa370,0.845,0.433	
05/21/22 00:37:39,tbo126,0.901,0.813	
05/21/22 00:40:38,xvh049,0.901,0.771	
05/21/22 00:42:49,brh049,0.651,0.278	
05/21/22 00:43:38,sf1624,0.898,0.767	
05/21/22 00:46:36,fak579,0.897,0.763	
05/21/22 00:50:27,tod848,0.897,0.817	
05/21/22 00:53:18,c0l0m8ia,0.785,0.557	
05/21/22 00:53:36,aa1234,0.758,0.726	
05/21/22 00:56:11,r12345,0.894,0.668	
05/21/22 00:59:18,t1234,0.895,0.704	
05/21/22 01:01:58,b0g0tad,0.901,0.426	
05/21/22 01:02:16,aaa123,0.902,0.971	

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A. Análisis de resultados

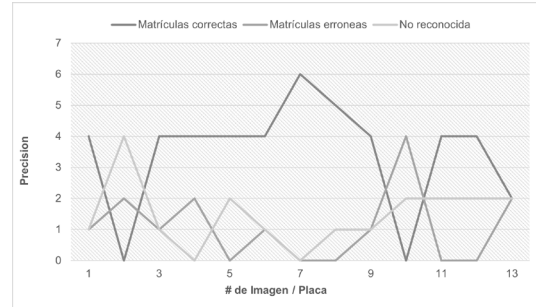
Analizando los resultados obtenidos en las tablas anteriormente expuestas, se pueden representar los datos en las siguientes tablas:

- Placas vehiculares leídas correctas, incorrectas y no reconocidas

Figura 17. Cuantificación de forma gráfica de las placas leídas correctamente, erróneamente y las que no fueron leídas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		%
Matrículas correctas	4	0	4	4	4	4	6	5	4	0	4	4	2	45	57,7
Matrículas erróneas	1	2	1	2	0	1	0	0	1	4	0	0	2	14	17,9
No reconocida	1	4	1	0	2	1	0	1	1	2	2	2	2	19	24,4
Placas leídas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	78	

Figura 18. Gráfica relación entre placas leídas correctamente (azul), erróneamente (naranja) y la que no fueron leídas (gris)



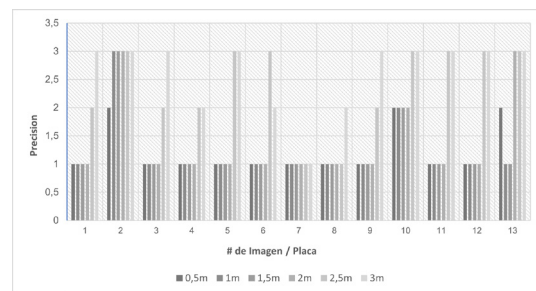
Distancia vs predicción

Para analizar de mejor forma este dato, se va a tomar el valor de 1 como una matrícula correcta, 2 como una matrícula errónea y 3, como una imagen no encontrada.

Figura 19. Relación calidad de lectura – distancia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,5m	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
1m	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
1,5m	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
2m	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3
2,5m	2	3	2	2	3	3	1	1	2	3	3	3	3
3m	3	3	3	2	3	2	1	2	3	3	3	3	3

Figura 20. Gráfica relación calidad de lectura – distancia



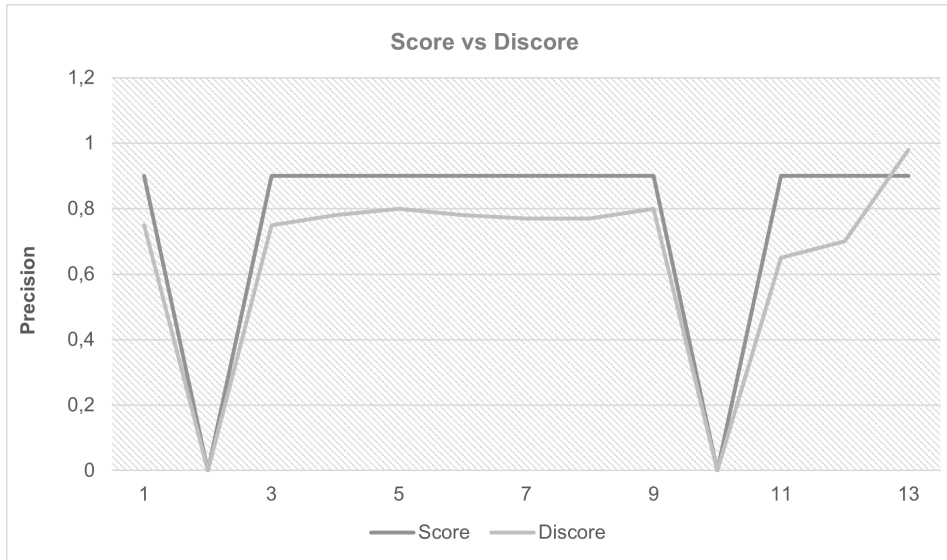
Score y dscore, por placa

Figura 21. Tabla de Excel donde relacionamos la calidad del procesamiento de la imagen para cada placa

	1	2	3	4	5	6	7
Score	0,897	0	0,901	0,899	0,901	0,901	0,897
Discore	0,755	0	0,744	0,76	0,813	0,771	0,767

	8	9	10	11	12	13
Score	0,897	0,897	0	0,894	0,895	0,902
Discore	0,763	0,817	0	0,668	0,704	0,971

Figura 22. Gráfica de relación de la calidad del procesamiento de la imagen para cada placa



- Relación distancia-error
Se observa a qué distancia ocurrieron los errores de predicción.

Figura 23. Identificación de la distancia y las placas donde el programa tuvo menor precisión

	B51859	MMM163	LAC290	PFA270	XVH049	TOD848	AA1234	AAA123
0,5m		kmm162					c010m8ia	b0g0tade
1m		mmm162					aai234	
1,5m								
2m								
2,5m	bszp58		wc29	pfa230		tcd848		
3m				pfa270	brh049			

VI. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar y desarrollar un sistema de detección y reconocimiento de placas vehiculares por medio de visión por computadora.
- Este algoritmo tiene un porcentaje de acierto general del 57.7%, para las pruebas realizadas con las impresiones.
- Su mayor punto débil, fue en las placas 2 y 10, donde su precisión fue nula para ambos casos, no acertando en la placa, teniendo un 58% de imágenes no encontradas y un 42% en detecciones de la placa erróneas para ambas placas.

La placa #2 es la denominada MMM 162. Esta placa tiene la particularidad de que cuenta con un destello que la atraviesa de derecha a izquierda, razón por la cual el procesamiento de la imagen se ve interrumpido. Esta es la causa principal por la que sus resultados fueron 83% de imágenes no encontradas.

Para el caso de la placa #10 AA 1234, se considera que la calidad de sus resultados se debe al fondo azul que presenta la placa. En la primera lectura, el modelo arrojó un resultado de colombia, cuando estaba a 0.5m, y un resultado de aai234, confundiendo el número 1 con la letra 'i'.

Esta placa cuenta con caracteres legibles, pero el fondo azul provocó un problema al procesar la imagen, por lo que esta placa cuenta, en cuanto a predicción, con un 83% de reconocimiento erróneo.

Figura 24. Placas con la menor precisión de lectura

	1	2
Matrículas correctas	0	0
Matrículas erróneas	2	4
No reconocida	4	2
Placas leídas	6	6
0,5m	2	2
1m	3	2
1,5m	3	2
2m	3	2
2,5m	3	3
3m	3	3
Score	0	0
Dscore	0	0

Figura 25. Placas con la mayor precisión de lectura

	7	8
Matrículas correctas	6	5
Matrículas erróneas	0	0
No reconocida	0	1
Placas leídas	6	6
0,5m	1	1
1m	1	1
1,5m	1	1
2m	1	1
2,5m	1	1
3m	1	2
Score	0,898	0,897
Dscore	0,767	0,763

- Sus dos puntos más fuertes fueron las placas 7 y 8, teniendo un acierto general del 91.6%, un score promedio de 0.8975 y un dscore promedio de 0.765.

La placa #7 SFL 624 fondo blanco, letra negra, fue especialmente buena en cuanto a distancia y luminosidad, ya que fue posible leerla a 3m de distancia y en condiciones de baja luminosidad. Su fondo blanco y las características de sus caracteres alfanuméricos fueron los determinantes en los resultados obtenidos.

La placa #8 FAK 579 presenta caracteres color mate, con un destello de luz que va de abajo para arriba. Esta placa tiene un 83,3% de acierto, fallando en la prueba de distancia, ya que a 3 metros el modelo no reconoció los caracteres.

- La distancia donde más se presentaron fallos es a 2.5m de la cámara, ya que constituye el 36.4% de todos los errores en la predicción. Este alto porcentaje también se debe a que, en esa distancia fue donde todas las placas fueron probadas en condiciones de poca luminosidad; además, la distancia donde más se presentaron imágenes no reconocidas fue a los 3m de distancia respecto a la cámara, representando el 45% de este fallo en todas las pruebas. Esto se debe a que mientras más lejos este la cámara, le será más difícil al modelo procesar la imagen correctamente.
- El algoritmo es algo que se puede mejorar, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas reales que se realizarán en la guardia del batallón.

En futuras versiones se quiere agregar un fichero digital al reconocimiento de la placa, que no solo diga la hora y la fecha donde fue tomada la placa, sino que muestre y corrobore información del conductor, antes de la entrada al Cantón.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] El Naqa, I., & Murphy, M. J. (2015). What is machine learning? In machine learning in radiation oncology (pp. 3-11). Springer, Cham.
- [2] Boden, . A. (2017). Inteligencia artificial. Turner.
- [3] Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. Madrid: Alienta Editorial.
- [4] C. Orhi, M. Mocofan, S. Vert and R. Vasii, "End-to-End Computer Vision Framework," 2020 International Symposium on Electronics and Telecommunications (I S E T C) , 2 0 2 0 , p p . 1 4 , d o i : 1 0 . 1 1 0 9 / ISETC50328.2020.9301078.
- [5] Alvear-Puertas, V., Rosero-Montalvo, P., Peluffo-Ordóñez, D., & Pijal-Rojas, J. (2017). Internet of Things and Artificial Vision, Performance and Applications: Literature Review. Enfoque UTE, 8(1), pp. 244 - 256. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.121>
- [6] García, I., & Caranqui, V. (2015). La visión artificial y los campos de aplicación. Tierra infinita, 1(1), 98-108.
- [7] i García, E. M. (2012). Visión artificial.
- [8] SER, C. Y. (2006). Visión artificial.
- [9] Van Rossum, G., & Drake Jr, F. L. (1995). Python tutorial (Vol. 620). Amsterdam, The Netherlands: Centrum voor Wiskunde en Informatica.
- [10] Python, R. (2019). Python. Python Releases for Windows, 24.
- [11] vanRossum, G. (1995). Python reference manual. Department of Computer Science [CS], (R 9525).
- [12] Howse, J. (2013). OpenCV computer vision with python. Birmingham: Packt Publishing.
- [13] Podrzaj, P. (2019, August). A brief demonstration of some Python GUI libraries. In Proceedings of the 8th International
- [14] Fernández, S., Javier, C., & Sandonis Consuegra, V. (2008). Reconocimiento óptico de caracteres (ocr). Universidad Carlo, 3(7), 2008.
- [15] ALPR Snapshot API Documentation. (2022). Retrieved 18May2022, from: <https://docs.platerecognizer.com/#read-number-plates-from-an-image>
- [16] Así puedes identificar los 6 tipos de placas de carros que circulan en Colombia. (2022). Retrieved 16 May 2022, from <https://www.carroya.com/noticias/guia-para-conductores/asi-puedes-identificar-los-6-tipos-de-placas-de-carros-que-circulan-en>
- [17] Las placas vehiculares en Colombia - Placas vehiculares. (2020). Retrieved 16 May 2022, from <https://www.placas.com.co/las-placas-vehiculares-en-colombia/publicaciones/>
- [18] Niño-Rondón, C. V., Castellano-Carvajal, D. A., Castro-Casadiago, S. A., Medina-Delgado, B., & Guevara-Ibarra, D. (2021). Detección de placas vehiculares mediante modelo de clasificador en cascada basado en lenguaje Python. Eco Matemático, 12(1). Sajjad, K. M. (2010). Automatic license plate recognition using python and opencv. Department of Computer Science and
- [19] Barbecho Bautista, E., & Zhindón Mora, M. (2020). DISEÑO DE UN ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE PLACAS VEHICULARES ECUATORIANAS USANDO REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES. Journal of Science and Research, 5(4), 76 - 86. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/865> Gonzalez Quinga, D. J., & Parrales Machuca, D. L. (2022). Desarrollo de un sistema Web para el registro automático de placas
- [20] Gonzalez Quinga, D. J., & Parrales Machuca, D. L. (2022). Desarrollo de un sistema Web para el registro automático de placas vehiculares utilizando cámaras de vigilancia en parqueaderos (Bachelor's thesis).
- [21] López Álava, F. A., & Vergara Andrade, S. P. (2019). Sistema informático de control de ingreso y salida de

- vehículos mediante detección y reconocimiento de placas (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- [22] Xu, X., Xu, S., Jin, L., & Song, E. (2011). Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications. *Pattern recognition letters*, 32(7), 956-961.
- [23] Ananthanarasimhan, J., Leelesh, P., Anand, M. S., & Lakshminarayana, R. (2020). Validation of projected length of the rotating gliding arc plasma using 'regionprops' function. *Plasma Research Express*, 2(3), 035008.
- [24] Mordvintsev, A., & Abid, K. (2014). *Opencv-python tutorials documentation*. Obtenido de <https://media.readthedocs.org/pdf/opencvpythontutroals/latest/opencv-python-tutroals.pdf>.
- [25] Haslwanter, T. (2021). *Useful Programming Tools*. In *Hands-on Signal Analysis with Python* (pp. 197-204). Springer, Cham.
- [26] Alkhalaf, K. S., Almishal, A. I., Almahmoud, A. O., & Alotaibi, M. S. (2014). OCR-based electronic documentation management system. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 5(6), 465.
- [27] García Rodríguez, I. (2018). *Definición e implementación de una API REST para sistemas de recomendación* (Bachelor's thesis).
- [28] NEWSMAIL, H. P. MijOverheid. nl Message Box. policy, 94, 9.
- [29] Zadka, M. (2019). *Requests*. In *DevOps in Python* (pp. 85-94). Apress, Berkeley, CA.
- [30] Krause, R. (2001). CVS: an introduction. *Linux journal*, 2001(87), 3.
- [31] Alonso, O., Devanbu, P. T., & Gertz, M. (2008, May). Expertise identification and visualization from CVS. In *Proceedings of the 2008 international working conference on Mining software repositories* (pp. 125-128).
- [32] Stafford, B. (2014). *Pysolar documentation*.
- [33] Bell, C. (2018). *JSON Documents*. In *Introducing the MySQL 8 Document Store* (pp. 73-133). Apress, Berkeley, CA.
- [34] Gonzales, G., & Valdivia, S. M. (2017). *Aprendizaje basado en proyectos*. Colección Materiales de Apoyo a la Docencia, 1.
- [35] Castrillon, J. E. P., Castrol, C. C., & Camacho, M. A. (2014). Casos de éxito de la aplicación de la metodología de aprendizaje basado en problemas ABP. *Revista IngEam*, 1(1), 15-22.
- [36] Colombia, E. (2022). *Inicio - Escuela de Comunicaciones del Ejército Nacional de Colombia*. Retrieved 18 May 2022, from <https://www.escom.mil.co/>
- [37] Escuela de Comunicaciones Militares – ESCOM. (2020). Retrieved 18 May 2022, from: <https://cemil.edu.co/index.php/escuelas-cemil/escuela-de-comunicaciones-militares-escom/>
- [38] Automatic License Plate Recognition - High Accuracy ALPR. (2022). Retrieved 20 May 2022, from <https://platerecognizer.com/>
- [39] (2022). Retrieved 20 May 2022, from https://global-download.acer.com/GDFiles/Document/User%20Manul/User%20Manual_Acer_2.0_A_A.pdf?acerid=63702436675704094&Step1=NOTEBOOK&Step2=-NITRO&etep3=NITRO%20AN51554&OS=ALL&LC=es&BC=ACER&SC=PA_1
- [40] Prieto, J. T., Scott, K., McEwen, D., Podewils, L. J., Al-Tayyib, A., Robinson, J., ... & Davidson, A. J. (2020). The detection of opioid misuse and heroin use from paramedic response documentation: machine learning for improved surveillance. *Journal of medical Internet research*, 22(1), e15645.
- [41] Van Rossum, G. (2007, June). *Python Programming language*. In *USENIX annual technical conference* (Vol. 41, No. 1, pp. 1-36).
- [42] Hunt, J. (2019). *Working with CSV Files*. In *Advanced Guide to Python 3 Programming* (pp. 241-247). Springer, Cham.
- [43] Bressert, E. (2012). *SciPy and NumPy: an overview for developers*.
- [44] John B. Rollins, "Metodología Fundamental para la Ciencia de Datos." <https://www.ibm.com/downloads/cas/WKK9DX51> (accessed Sep. 20, 2020).
- [45]

Anexos

[I] Anexo 1: Tabla de código por países que podemos usar en la función *region* [15].

País	Código
Aland Island	ax
Albania	al
Algeria	dz
American Samoa	as
Andorra	ad
Angola	ao
Anguilla	ai
Antarctica	aq
Antigua and Barbuda	ag
Argentina	ar
Armenia	am
Aruba	aw
Australia	au
Austria	at
Azerbaijan	az
Bahamas	bs
Barbados	bb
Belarus	by
Belgium	be
Belize	bz
Benin	bj
Bermuda	bm
Bolivia	bo
Bonaire, Saint Eustatius and Saba	bq
Bosnia and Herzegovina	ba
Brazil	br
British Indian Ocean Territory	io
British Virgin Islands	vg

País	Código
Brunei	bn
Bulgaria	bg
Burkina Faso	bf
Burundi	bi
Cambodia	cb
Cameroon	cm
Canadá	ca
Cape Verde	cv
Cayman Islands	cy
Central African Republic	cf
Chad	td
Chile	cl
Christmas Island	cx
Cocos Island	cc
Colombia	co
Comoros	km
Congo	cg
Cook Islands	ck
Costa Rica	cr
Cote D'Ivoire	ci
Croatia	hr
Cuba	cu
Curacao	cw
Cyprus	cy
Czechia	cz
Denmark	dk
Dominica	dm
Dominican republic	do

Pais	Código
Ecuador	ec
El Salvador	sv
Equatorial Guinea	gq
Eritrea	er
Estonia	ee
Falk Islands	fk
Faroe Island	fo
Fiji	fj
Finland	fi
France	fr
French Guiana	gf
French Polynesia	pf
French Southern Territories	tf
Gabon	ga
Gambia	gm
Georgia	ge
Germany	de
Gibraltar	gi
Greece	gr
Greenland	gl
Grenada	gd
Guadeloupe	gp
Guam	gu
Guatamala	gp
Guernsey	gg
Guinea	gn
Guinea-Bissau	gw
Guyana	gy
Haiti	ht
Holy See	va
Honduras	hn
Hong Kong	hk
Hungary	hu

Pais	Código
Iceland	is
India	in
Indonesia	id
Ireland	ie
Isle of Man	im
Israel	il
Italy	it
Jamaica	jm
Jersey	je
Jordan	jo
Kazakhstan	kz
Kenya	ke
Kiribati	ki
Korea, Republic of	kr
Kyrgyztan	kg
Latvia	lv
Lebanon	lb
Lesotho	ls
Liberia	lr
Liechtenstein	li
Lithuania	lt
Luxembourg	lu
Madagascar	mg
Malawi	mw
Malaysia	my
Maldives	mv
Mali	ml
Malta	mt
Marshall Islands	mh
Martinique	mq
Mauritius	mu
Mayotte	yt
Mexico	mx

Pais	Código
Micronesia	fm
Moldova, Republic of	md
Monaco	mc
Montenegro	me
Montserrat	ms
Myanmar	mm
Namibia	na
Nauru	nr
Nepal	np
Netherlands	nl
New Caledonia	nc
New Zealand	nz
Nicaragua	ni
Niger	ne
Nigeria	ng
Niue	nu
Norfolk Island	nf
North Macedonia	mk
Northern Mariana Islands	np
Norway	no
Palau	pw
Panama	pa
Papua New Guinea	pg
Paraguay	py
Peru	pe
	ph
Philippines	pl
Poland	pt
Portugal	pr
Puerto Rico	qa
Qatar	re
Reunion Island	ro
Romania	ru

Pais	Código
Russian Federation	rw
Rwanda	bl
Saint Barthelemy	kn
Saint Kitts and Nevis	lc
Saint Lucia	mf
Saint Martin	pm
Saint Pierre and Miquelon	vc
Saint Vincent and the Grenadines	ws
Samoa	sm
San Marino	st
Sao Tome and Principe	sa
Saudi Arabia	rs
Serbia	sc
Seychelles	sl
Sierra Leone	sg
Singapore	sx
Sint Maarten	sk
Slovakia	si
Slovenia	sb
Solomon Islands	za
South Africa	ss
South Sudan	es
Spain	lk
Sri Lanka	sr
Suriname	sj
Svalbard and Jan Mayen	sz
Swaziland	se
Sweden	ch
Switzerland	tw
Taiwan	tj
Tajikistan	tz
Tanzania	th
Thailand	

Pais	Código
	tl
Timor Leste	tg
Togo	to
Tonga	tt
Trinidad and Tobago	tr
Turkey	tm
Turkmenistan	tc
Turks and Caicos Islands	tv
Tuvalu	um
U.S. Minor Outlying Islands	vi
U.S. Virgins Islands	ua
Ukraine	ae
United Arab Emirates	
	gb
United Kingdom of Great Britain	uy
Uruguay	us
USA	
	uz
Uzbekistan	vu
Vanuatu	ve
Venezuela	vn
Vietnam	wf
Wallis and Futuna	eh
Western Sahara	zm
Zambia	zw
Zimbabwe	

Placa	Características
	<ul style="list-style-type: none"> Placa amarilla común de automóvil Bien iluminada Colores nítidos
	<ul style="list-style-type: none"> Placa amarilla común de automóvil Destellada Leve desviación hacia abajo
	<ul style="list-style-type: none"> Placa amarilla común de automóvil Color mate
	<ul style="list-style-type: none"> Placa amarilla común de automóvil Colores brillantes Caracteres nítidos Ligeramente destellada
	<ul style="list-style-type: none"> Placa blanca de transporte publico Desgastada Caracteres desgastados Color opaco
	<ul style="list-style-type: none"> Placa blanca de transporte publico Muy desgastada Caracteres muy desgastados Color opaco y manchado Rota y maltratada
	<ul style="list-style-type: none"> Placa blanca de transporte publico Desgastada Caracteres poco desgastados Colores aun matizados Fisurada
	<ul style="list-style-type: none"> Placa blanca de transporte publico Poco desgastada Caracteres poco desgastados Colores aun matizados
	<ul style="list-style-type: none"> Representación placa vehículos de diplomáticos Colores aun mate
	<ul style="list-style-type: none"> Representación placa vehículos de remolque Colores aun mate

[II] Anexo 2: Tabla de matrículas usadas para probar el algoritmo

Placa	Características
	<ul style="list-style-type: none"> Placa amarilla común de automóvil Leve desviación a la derecha Sucia

Placa	Características
	<ul style="list-style-type: none">· Representación placa de vehículos antiguos· Colores aun mate
	<ul style="list-style-type: none">· Representación placa de vehículos de carga y transito libre· Colores aun mate

La Escuela de Comunicaciones Militares, a través del Centro de Investigación, presenta el cuarto volumen de la Revista Científica TECNOESCOM, en una edición especial y significativa, con ocasión del Vigésimo Quinto Aniversario del Arma. En este nuevo aniversario del Arma de las Comunicaciones, misma que tiene como responsabilidad última, garantizar el mando y control de las operaciones militares, resaltando los retos que ha afrontado en el último lustro, especialmente en el escenario de la avanzada Guerra de Quinta Generación, lo cual ha exigido la constante actualización de sus integrantes en infraestructura y desarrollo tecnológico. Por esto, la actual edición contiene temáticas que abordan dicho reconocimiento, presentando un recorrido histórico y evolutivo del Arma, las guerras y su contextualización en el marco de las operaciones terrestres unificadas

Por otra parte, dos profesores y una egresada de la ESCOM, exponen una propuesta que impacta el sector rural mediante el estudio, diseño y evaluación financiera, que posibilite la implementación de una red Mesh en especial a la Institución Educativa Departamental Rural El Vino, Sede el Dintel, Municipio La Vega (Cundinamarca), lo cual favorecería a su población al brindársele internet de alta calidad.

Igualmente, en aras de resaltar la inapreciable labor de los semilleros de investigación, se presentan dos artículos, producto de investigación de los estudiantes que forman parte del Semillero de Investigación en Inteligencia Artificial quienes, con la abnegada orientación del docente líder, han adquirido y afianzado conocimientos relevantes, asociados a esta área.



Escuela de Comunicaciones Militares
www.escom.mil.co

