

DISEÑO DE REDES AUTOGESTIONABLES PARA CONECTIVIDAD RURAL

Julio César García Álvarez
Neil Guerrero G.
Nicolás Toro García

|Autores

Estudios de Paz y Posconflicto
Paisajes ecosistémicos del posconflicto





PROGRAMA COLOMBIA CIENTÍFICA
RECONSTRUCCIÓN DEL TEJIDO SOCIAL EN
ZONAS DE POSCONFLICTO EN COLOMBIA

COMITÉ CIENTÍFICO DE LA EDITORIAL TIRANT LO BLANCH

MARÍA JOSÉ AÑÓN ROIG

*Catedrática de Filosofía del Derecho
de la Universidad de Valencia*

ANA CAÑIZARES LASO

*Catedrática de Derecho Civil
de la Universidad de Málaga*

JORGE A. CERDIO HERRÁN

*Catedrático de Teoría y Filosofía del Derecho
Instituto Tecnológico Autónomo de México*

JOSÉ RAMÓN COSSÍO DÍAZ

*Ministro en retiro de la Suprema
Corte de Justicia de la Nación
y miembro de El Colegio Nacional*

MARÍA LUISA CUERDA ARNAU

*Catedrática de Derecho Penal
de la Universidad Jaume I de Castellón*

MANUEL DÍAZ MARTÍNEZ

Catedrático de Derecho Procesal de la UNED

CARMEN DOMÍNGUEZ HIDALGO

*Catedrática de Derecho Civil
de la Pontificia Universidad Católica de Chile*

EDUARDO FERRER MAC-GREGOR POISOT

*Juez de la Corte Interamericana
de Derechos Humanos
Investigador del Instituto de Investigaciones
Jurídicas de la UNAM*

OWEN FISS

*Catedrático emérito de Teoría del Derecho
de la Universidad de Yale (EEUU)*

JOSÉ ANTONIO GARCÍA-CRUCES GONZÁLEZ

Catedrático de Derecho Mercantil de la UNED

JOSÉ LUIS GONZÁLEZ CUSSAC

*Catedrático de Derecho Penal
de la Universidad de Valencia*

LUIS LÓPEZ GUERRA

*Catedrático de Derecho Constitucional
de la Universidad Carlos III de Madrid*

ÁNGEL M. LÓPEZ Y LÓPEZ

*Catedrático de Derecho Civil
de la Universidad de Sevilla*

MARTA LORENTE SARIÑENA

*Catedrática de Historia del Derecho
de la Universidad Autónoma de Madrid*

JAVIER DE LUCAS MARTÍN

*Catedrático de Filosofía del Derecho
y Filosofía Política de la Universidad de Valencia*

VÍCTOR MORENO CATENA

*Catedrático de Derecho Procesal
de la Universidad Carlos III de Madrid*

FRANCISCO MUÑOZ CONDE

*Catedrático de Derecho Penal
de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla*

ANGELIKA NUSSBERGER

*Catedrática de Derecho Constitucional
e Internacional en la Universidad de Colonia
(Alemania). Miembro de la Comisión de Venecia*

HÉCTOR OLASOLO ALONSO

*Catedrático de Derecho Internacional
de la Universidad del Rosario (Colombia) y
Presidente del Instituto Ibero-Americano
de La Haya (Holanda)*

LUCIANO PAREJO ALFONSO

*Catedrático de Derecho Administrativo
de la Universidad Carlos III de Madrid*

CONSUELO RAMÓN CHORNET

*Catedrática de Derecho Internacional
Público y Relaciones Internacionales
de la Universidad de Valencia*

TOMÁS SALA FRANCO

*Catedrático de Derecho del Trabajo y de la
Seguridad Social de la Universidad de Valencia*

IGNACIO SANCHO GARGALLO

*Magistrado de la Sala Primera (Civil)
del Tribunal Supremo de España*

ELISA SPECKMAN GUERRA

*Directora del Instituto de Investigaciones
Históricas de la UNAM*

RUTH ZIMMERLING

*Catedrática de Ciencia Política
de la Universidad de Mainz (Alemania)*

Fueron miembros de este Comité:

Emilio Beltrán Sánchez, Rosario Valpuesta Fernández y Tomás S. Vives Antón

Procedimiento de selección de originales, ver página web:
www.tirant.net/index.php/editorial/procedimiento-de-seleccion-de-originales

Diseño de redes autogestionables para conectividad rural

Julio César García Álvarez
Neil Guerrero G.
Nicolás Toro García

Autores



PROGRAMA COLOMBIA CIENTÍFICA
RECONSTRUCCIÓN DEL TEJIDO SOCIAL EN
ZONAS DE POSCONFLICTO EN COLOMBIA

García Álvarez, Julio César, autor.

Diseño de redes autogestionables para conectividad rural / Julio César García Álvarez, Neil Guerrero G. y Nicolás Toro García. -- Primera edición. -- Bogotá : Tirant lo Blanch ; Programa Colombia Científica, 2023.

120 páginas : ilustraciones y fotografías a color.

(Estudios de Paz y posconflicto. Paisajes ecosistémicos del posconflicto)

Incluye bibliografía: páginas 107-118.

Incluye información sobre los autores.

ISBN: 978-628-7653-27-6 (impreso)

ISBN: 978-628-7653-88-7 (digital)

1. Acceso a internet -- Colombia I. Guerreo G., Neil, autor. II. Toro García, Nicolás, autor. III. Serie.

LC: HE7645

CDD: 004.6709861 ed. 23

Este libro es el resultado del trabajo desarrollado a través del PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN RECONSTRUCCIÓN DEL TEJIDO SOCIAL EN ZONAS DE POSCONFLICTO EN COLOMBIA. Código SIGP: 57579, con el proyecto de investigación “Modelo Ecosistémico de mejoramiento rural y construcción de paz: Instalación de capacidades locales” Código SIGP: 58960. Financiado en el marco de la convocatoria Colombia Científica, Contrato No FP44842-213-2018.

© Universidad de Caldas, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Universidad Autónoma de Manizales - UAM, Universidad de Sucre, Universidad Tecnológica del Chocó - Diego Luis Córdoba, Universidad de Granada, Université de Strasbourg, Fundación Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano - CINDE, Corporación Autónoma Regional Para el Desarrollo Sostenible del Chocó - CODECHOCÓ.

Título: Diseño de redes autogestionables para conectividad rural

Primera edición: Bogotá 2023

Colección: *Estudios de Paz y Posconflicto*

Serie: Paisajes ecosistémicos del posconflicto

ISBN: 978-628-7653-27-6

ISBN digital: 978-628-7653-88-7

ISBN e-pub: 978-628-7653-88-7

Esta edición se realizó en coedición con:

Tirant lo Blanch

Calle 11 # 2-16 (Bogotá D.C.)

Telf.: 4660171

Email: tlb@tirant.com

Librería virtual: www.tirant.com/co/

Editor: Tirant lo Blanch

Diseño de colección: Programa Colombia Científica

Corrección de estilo: Tirant lo Blanch

Diagramación de páginas interiores: Tirant lo Blanch

La **Colección Estudios de Paz y Posconflicto** es de **acceso libre, abierto y gratuito**; es decir, que todos los contenidos están a disposición del usuario sin cargo alguno. Se le permite a los usuarios leer, compartir en cualquier medio o formato, imprimir, remezclar, transformar, comunicar públicamente la obra, generar obras derivadas o usarla para cualquier propósito legítimo, siempre que se cite la autoría y la fuente original de su publicación (programa de investigación Colombia Científica Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia, editorial coeditora y URL de la obra), sin solicitar permiso al programa, a la editorial o a los autores; con el propósito de incrementar la visibilidad de la publicación y de los investigadores en el ámbito nacional e internacional. **No se permite utilizar la obra con fines comerciales.**

Impreso y hecho en Colombia

Printed and made in Colombia



La mencionada obra tiene algunos derechos reservados.

Para mayor información comunicarse al siguiente correo:

directorcientifico.posconflicto@ucaldas.edu.co

Contenido

Agradecimientos	.11
Colección editorial <i>Estudios de Paz y Posconflicto</i> (2018-2022)	.13
Equipo Programa de Investigación Colombia	.19
Introducción	.23
Capítulo 1	
Caso de estudio en conectividad rural	.31
Problemática	32
Lugares seleccionados	35
Elementos del sistema de conectividad rural	38
Red de retorno	41
Sistema sustentable	42
Sistema fotovoltaico	43
Capacitación virtual	45
Objetivo de la capacitación	46
Metodología para las capacitaciones	47
Capacitación en automatización de cultivos	48
Capacitación en diseño e instalación de un sistema fotovoltaico	49
Capacitación en control de motores	50
Capítulo 2	
Diseño de la red de retorno y el sistema fotovoltaico	.55
Sistema de comunicaciones electrónico	55
Frecuencias de Transmisión	56

Longitud de onda	57
Antenas	58
Radio enlace	61
Diseño de enlaces de microondas	63
Redes backhaul autogestionables	64
Cálculo de potencia mediante datos topográficos	66
Cálculo de la altura de las torres en las estaciones	69
Diseño de las estaciones	70
Diseño del sistema fotovoltaico	78
Aspectos sobre la implementación del sistema	81
Capítulo 3	
Desarrollo de la plataforma de capacitación virtual	85
Aspectos preliminares	86
Metodología de resolución de problemas	86
Ejemplo de aplicación de la metodología de enseñanza	88
Módulo de capacitación sobre el control del motor	90
Proceso de diseño del gamificador	91
Alcances y limitaciones del gamificador	94
Perspectivas sobre la aplicación de la capacitación	100
Conclusión	103
Bibliografía.	107
Autores	119

Lista de tablas

Tabla 2.1: Coordenadas y referencias de las poblaciones ubicadas en la figura 2.2.	69
Tabla 2.2: Características de los equipos WiBACK	73
Tabla 2.3: Altitud poblaciones referente al perfil de elevación de la figura 2.3. . .	73
Tabla 2.4: Origen y destino enlaces red backhaul referenciados en la figura 2.4. .	73
Tabla 2.5: Valores teóricos del comportamiento de la señal del enlace Chalán - Almagra. Generados por Radio Mobile.	75
Tabla 2.6: Valores teóricos del comportamiento de la señal del enlace Almagra - La Peña. Generados por Radio Mobile.	76
Tabla 2.7: Valores teóricos del comportamiento de la señal del enlace Almagra – La Ceiba. Generados por Radio Mobile.	77

Lista de figuras

Figura 1.1. Municipios de Chalán (naranja) y Ovejas (lila), pertenecientes al departamento de Sucre (rojo), Colombia.	36
Figura 1.2. Sistema de conectividad propuesto para comunidades rurales.	40
Figura 1.3. Sistema sustentable conectado al sistema fotovoltaico. El símbolo de rayo corresponde al suministro de electricidad. El símbolo nubes se relaciona con la transferencia de datos.	40
Figura 1.4. Sistema de control de motobomba para el sistema de riego.. . . .	43
Figura 1.5. Instalación del controlador (arriba izquierda), disposición del cultivo (arriba derecha) e instalación final (abajo) del sistema sustentable instalado desde el 2018 en inmediaciones del Bloque T, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.	44
Figura 1.6. Diagrama de flujo de comunicación entre la red de retorno, el controlador y el gamificador, caso sistema sustentable de riego en invernadero. .	45
Figura 1.7. Pantallazo inicial del gamificador, para la capacitación en el control del sistema de riego.	45
Figura 2.1: Red de telecomunicaciones Backhaul para conectividad rural.	66
Figura 2.2: Ubicación geográfica de las poblaciones, ubicando las figuras geométricas en los puntos de mayor altura.	69
Figura 2.3: Perfil de elevación entre el municipio de Chalán (izquierda) y el corregimiento La Peña (derecha); en medio el Cerro Santafé (flecha hacia abajo) Ovejas, Sucre - Colombia.	72
Figura 2.4: Ubicación de sitios y enlaces inalámbricos.	73
Figura 2.5: Perfil de elevación y línea de vista Enlace 1: Chalán - Repetidora Cerro Almagra.	74
Figura 2.6: Perfil de elevación y línea de vista Enlace 2: Repetidora Cerro Almagra - La Peña.	75

Figura 2.7: Perfil de elevación y línea de vista Enlace 3: Repetidora Cerro Almagra - La Ceiba.	77
Figura 3.1. Desarrollo del curso de tecnología agrícola para comunidades vulnerables, como producto del proyecto “Ingeniería aplicada al desarrollo, formación y sostenibilidad de comunidades vulnerables en Caldas” (Hermes-UN 61555). (a): módulos didácticos fabricados en laboratorio. (b) capacitación realizada en marzo de 2025 con estudiantes del barrio SINAI de Manizales.	98

Agradecimientos

Este libro es producto de las actividades enmarcadas dentro del programa: Reconstrucción del tejido social en zonas de pos-conflicto en Colombia. EQUIPO: CONECTIVIDAD PROYECTO: MODELO ECOSISTÉMICO DE MEJORAMIENTO RURAL Y CONSTRUCCIÓN DE PAZ: INSTALACIÓN DE CAPACIDADES LOCALES (Proyecto Hermes-UN 44111). Este programa se encuentra anclado con la alianza 4 del programa Colombia Científica (Ministerio de Educación Nacional, el Ministerio de Comercio Industria y Turismo, el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, e Icetex): ‘Reconstrucción del tejido social en zonas de posconflicto en Colombia’. Esta alianza tiene como participantes la Universidad de Caldas, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Autónoma de Manizales y Universidad Católica de Manizales. El programa busca crear estrategias que permitan fortalecer las capacidades políticas, ciudadanas, productivas y de desarrollo sostenible en 19 poblaciones afectadas por el conflicto armado. Impactará en los departamentos de Caldas, Chocó y Sucre.

Las actividades relacionadas con el curso de tecnología agrícola fueron desarrolladas a través del grupo de investigación Propagación Electromagnética Aplicada (COL0127629) en las instalaciones del Laboratorio de Propagación Electromagnética Aplicada, adscrito a la Dirección Nacional de Laboratorios y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia con código 861. Agradecimientos a los Magister Cristian David Dallos Loaiza y Paola Carmona Castañeda por liderar estas actividades.

Colección editorial *Estudios de Paz* y *Posconflicto* (2018-2022)

Programa de Investigación Colombia Científica
Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia
Cód. SIGP. 57579 de Minciencias. 2017
Financiado por el Banco Mundial

El problema es cómo investigar la realidad para transformarla.

Orlando Fals Borda

Los acuerdos de paz logrados entre el gobierno colombiano y uno de los actores más relevantes del conflicto armado interno en nuestro país, las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC-EP), instituyen un acontecimiento constitucional (en tanto jurídico y político) sin precedentes en Colombia, cuya trascendencia va más allá de lo firmado en el teatro Colón en noviembre de 2016¹. Nunca antes se había llegado tan lejos, después de casi 6 décadas de conflicto

¹ Véase Biblioteca del proceso de paz entre el gobierno nacional y las FARC-EP. Esta biblioteca representa un esfuerzo de construcción de memoria histórica que busca dejar evidencia sobre el trabajo realizado y las lecciones aprendidas durante la fase exploratoria y la fase pública de las conversaciones. <https://www.archivogeneral.gov.co/acceda-la-biblioteca-del-proceso-de-paz-disponible-en-el-archivo-general-de-la-nacion>

interno armado que dejaron más de ocho millones y medio de víctimas, según el RUV².

Los acuerdos impulsaron reflexiones acerca del uso de la tierra y la necesidad de preservar el campo como despensa natural del país y conexión vital con lo sentipensante. En un tono de máximo esfuerzo conciliador, nuestros acuerdos, porque le pertenecen al pueblo colombiano, plantaron la idea de lo diferencial que tanta falta hacía a la consolidación del Estado Social de Derecho en tanto reconocimiento de identidades que comparten un mismo suelo y conviven juntos en las diferencias.

Se trata del reconocimiento legal y político de las diferencias de todo orden, lo cual determinó lo que conocemos como Paz Territorial. La denominación no es fortuita, expresa el espíritu de los Acuerdos: somos territorios (en el sentido más amplio) diferenciales y diferenciados, anunciando diversas costumbres, economías, lenguas, culturas y saberes, dinámicas sociales y políticas.

Desde estas dimensiones, pensamos que la tierra nos reclama aquí y ahora, por propuestas de acción- transformación como la que hace referencia al papel de la ciencia, la tecnología y la innovación en los territorios. Desde los Acuerdos y como gesto de cumplimiento a su implementación, el gobierno colombiano convocó a través de Colciencias en 2017, al diseño y formulación de Programas de Investigación desde Colombia Científica, en cinco focos estratégicos: salud, alimentos, energías sostenibles, bio-economía y sociedad. La Universidad de Caldas, como universidad ancla, presentó la propuesta de programa de investigación en el foco sociedad con el nombre de “Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Conflicto en Colombia”, apostándole a tres retos de país: construcción de una paz estable y duradera, innovación social para el desarrollo económico y la inclusión productiva y educación de calidad desde la ciencia, la tecnología y la innovación (CTeI).

Conscientes de la complejidad que trae consigo la idea de un Programa de Investigación, se formuló bajo el liderazgo de la Universidad de Caldas junto

² Registro Único de Víctimas: <https://www.unidadvictimas.gov.co/es/registro-unico-de-victimas-ruv/37394>.

con otras 9 entidades entre universidades (Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Universidad Autónoma Manizales; Universidad Tecnológica del Chocó; Universidad de Sucre; Universidad de Granada, Université de Strasbourg; Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM) y organizaciones del sector productivo (Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano - CINDE y Corporación Autónoma regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó – CODECHOCÓ), y desde cinco proyectos, una propuesta que conectara el pensamiento científico con las particularidades de los territorios³, en 4 años de articulación continua entre investigadores, comunidades, instituciones públicas y privadas, universidades, organizaciones, funcionarios y, en particular, con actores territoriales.

El Programa de Investigación Colombia Científica Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia tiene como objetivo general producir conocimiento y transformación social a través de la co-construcción de estrategias de I+D+i multidisciplinarias e intersectoriales para el fortalecimiento de capacidades políticas, ciudadanías activas, competencias productivas, alfabetización mediática y generación de soluciones sustentables que contribuyan a la reconstrucción del tejido social en zonas de posconflicto para un mejor vivir. En desarrollo de los objetivos específicos, se propone:

1. Comprender las dinámicas sociales, educativas, productivas y territoriales de las comunidades rurales duramente afectadas por el conflicto armado en los departamentos de Caldas, Chocó y Sucre.
2. Fortalecer las capacidades políticas, educativas, productivas y ambientales de las comunidades rurales, mediante estrategias de desarrollo e innovación, multidimensionales, multidisciplinarias e intersectoriales, que les permitan afrontar los nuevos retos que propone el contexto de posconflicto.
3. Propiciar alianzas entre comunidades rurales, sector productivo e Instituciones de Educación Superior que permitan implementar procesos de transferencia

³ Tres departamentos - Caldas, Sucre y Chocó - y 13 municipios: en Caldas: Manizales, Samaná, Marulanda, Riosucio; en Chocó: Quibdó, Istmina, Condoto, Unión Panamericana, Bojayá, Riosucio; y en Sucre: Sincelejo, Chalán y Ovejas.

de conocimiento y de tecnología, así como el incremento de productividad y sostenibilidad de las entidades participantes

4. Diseñar lineamientos de Política Pública Integrada (multidimensional y multisectorial), para la reconstrucción del tejido social en zonas de posconflicto para un mejor vivir, de acuerdo al enfoque de Paz Territorial
5. Fortalecer los indicadores de calidad I+D+i de las Instituciones Educativas de Educación Superior vinculadas al Programa, mediante actividades de investigación, docencia e internacionalización desarrolladas en el marco de la alianza con entidades del sector productivo y Universidades Internacionales de alta calidad.

En ese sentido, ciencia, tecnología e innovación (CTI) son una tríada fundamental para las llamadas sociedades del conocimiento, la cual se nutre básicamente de la promoción y el fortalecimiento de pensamiento crítico y pensamiento creativo. Estas capacidades una vez instaladas en comunidades académicas, organizaciones de la sociedad civil e instituciones públicas y privadas, constituyen uno de los más importantes elementos de avance para el desarrollo social.

En concordancia, esta colección se compone de piezas editoriales como cartillas didácticas para las comunidades involucradas, libros producto de las investigaciones, artículos y reflexiones científicas originales, de quienes ejecutan el Programa desde y con los territorios enunciados, en un horizonte de tiempo de 4 años (2018-2022).

Se asume esta enorme responsabilidad con seriedad y compromiso, igual que con una plena conciencia de la complejidad que la implementación de los acuerdos de paz tanto como un Programa de Investigación como el que estamos realizando suponen. El posconflicto mismo requiere un acompañamiento de la sociedad colombiana y de la academia, para que la implementación de los acuerdos firmados en noviembre de 2016 pueda continuar su lenta pero importante materialización.

En este contexto, la colección “Estudios de Paz y Posconflicto” presenta un balance del estado actual de la conflictividad territorial de las regiones de Montes de María, el Pacífico biográfico, el Alto Occidente y Oriente de Caldas, así como del

fortalecimiento en lo que hace referencia a las capacidades territoriales políticas, sociales, productivas, culturales y ecosistémicas para la transición.

En ese orden de ideas, la colección editorial ha sido organizada alrededor de nuestros proyectos:

Proyecto 1. Hilando capacidades políticas para las transiciones en los territorios.

Proyecto 2. Modelo ecosistémico de mejoramiento rural. Instalación de capacidades para el desarrollo rural y la construcción de paz.

Proyecto 3. Competencias empresariales y de innovación para el desarrollo económico y la inclusión productiva de las regiones afectadas por el conflicto colombiano.

Proyecto 4. Fortalecimiento docente desde la Alfabetización Mediática Informativa y la CTeI, como estrategia didáctico-pedagógica y soporte para la recuperación de la confianza del tejido social afectado por el conflicto.

Proyecto Transversal: Alianza inter-institucional, multidisciplinar, nacional e internacional en el aumento de la calidad educativa, científica, innovadora y productiva de las Instituciones Educativas de Educación Superior.

Hemos previsto la escritura colaborativa como reflejo del equipo de investigadores integrantes del Programa, así como de profesores investigadores de otras latitudes, en este reciente y amplio campo de pensamiento como el que constituye los estudios de paz y posconflicto.

Aspiramos a que nuestra Colección Estudios de Paz y Posconflicto pueda estar a mano y ser parte de un repertorio básico de textos claves para las comunidades con las que interactuamos y las comunidades académicas del país y fuera de este; en tanto un bien superior como lo es alcanzar mínimos de paz, requiere conocer nuestros territorios, la Colombia profunda de la que se habla desde la tribuna de lo político, hasta los cuadernos de investigación del sociólogo, investigador, columnista y estudioso del conflicto y la paz en Colombia, Alfredo Molano Bravo, pasando también por el filósofo, escritor y pedagogo colombiano Estanislao Zuleta,

quien nos recuerda que: “sólo un pueblo escéptico sobre la fiesta de la guerra, maduro para el conflicto, es un pueblo maduro para la paz”.

Es nuestra Colombia profunda la que narra y compone nuestra Colección, la que cuenta desde los territorios, adversidades y esfuerzos de sus comunidades, las problemáticas en que habitan, sus resiliencias y construcciones hacia una paz territorial posible.

Con estas líneas gruesas de trabajo investigativo en campo y desde los territorios, cuya metodología lo transversa todo en tanto Investigación, Acción, Participación, rendimos homenaje a un gran colombiano, el sociólogo Orlando Fals Borda y, al mismo tiempo, depositamos nuestros granos de arena en el marco de un proceso de construcción colectiva de paz territorial y reconciliación, necesario para la reconstrucción del tejido social en nuestra sociedad colombiana.

Esperamos que las páginas de estos volúmenes contribuyan a la implementación de los acuerdos de paz firmados en noviembre de 2016 y a muchos otros acuerdos necesarios para crecer como individuos y colectivos capaces de alcanzar mayores niveles de cohesión política y social en nuestro país.

Las lecturas de nuestras realidades territoriales pueden hacer sentir a sus lectores lo que nosotros sentimos al conocer hermosos territorios y maravillosas comunidades de este Sur Global, en el que navegamos con dificultad y también con enorme capacidad resiliente.

Extendemos nuestra cordial invitación a la lectura de estas piezas editoriales que buscan, no sólo validar instrumentos críticos de análisis, sino también abrir horizontes posibles de comprensión, y transformación de unas realidades complejas como las nuestras.

Comité editorial

Programa de investigación

Javier Gonzaga Valencia Hernández

Director Científico

Equipo Programa de Investigación Colombia

Científica Programa de Investigación Colombia Científica
“Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia”
Cód. SIGP. 57579 de Colciencias, 2017
Financiado por el Banco Mundial

Entidades cooperantes

Universidades: Universidad de Caldas (IES Ancla); Universidad Nacional de Colombia sede Manizales; Universidad Autónoma Manizales, UAM; Universidad Tecnológica del Chocó, Diego Luis Córdoba; Universidad de Sucre; Universidad de Granada; Université de Strasbourg y Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Organizaciones: Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano, CINDE, y Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó, Codechocó.

Redes: Red de Universidades por la Paz, Redunipaz; Red Nacional de Programas Regionales de Desarrollo y Paz, Redprodepaz; Consejo Comunitario Mayor de Condoto y río Iró, Cocomacoiró y Consejo Comunitario Mayor de Istmina y Parte del Medio San Juan, Cocominsa.

Grupos de investigación participantes

Estudios Jurídicos y Sociojurídicos · Comunicación, Cultura y Sociedad · Centro de Estudios sobre Conflicto, Violencia y Convivencia Social (Cedat) · Ciencias Veterinarias (Cienvet) · Cognición y Educación · Colectivo de Estudios de Familia · Centro de Estudios Rurales (Ceres) · Grupo de Investigación y Proyección Producción Agropecuaria (Gippa) · Grupo de Investigación en Tecnologías de la Información y Redes (Gitir) · Empresariado · Ética y Política · Desarrollo Regional Sostenible · Propagación Electromagnética Aplicada (PROPELA) · Cultura de la Calidad en la Educación · Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental · Grupo de Investigación de Alimentos Frutales · Grupo de Investigación en Procesos Químicos, Catalíticos y Biotecnológicos · Cálculo Científico y Modelamiento Matemático · Grupo de Investigación en Finanzas y Marketing · Grupo de Investigación en Recursos Energéticos (GIRE) · Teoría y Práctica de la Gestión Cultural · Estudios en Cultura y Comunicación · OIKOS · Bioprospección Agropecuaria · Proyecto Pedagógico (ProPed) · Grupo de Investigación en Medio Ambiente y Aguas (Gimaguas) · Ecología y Conservación de Ecosistemas Tropicales · Biosistemática.

Investigadores principales

Proyecto Hilando capacidades políticas para las transiciones en los territorios. Lidera Universidad de Caldas. Investigadores principales: Mario Hernán López Becerra y María Hilda Sánchez-Jiménez. Contacto: hilandocapacidades.posconflicto@ucaldas.edu.co

Proyecto Modelo ecosistémico de mejoramiento rural. Instalación de capacidades para el desarrollo rural y la construcción de paz. Lidera Universidad de Caldas. Investigador principal: Javier Gonzaga Valencia Hernández. Contacto: directorcientifico.posconflicto@ucaldas.edu.co

Proyecto Competencias empresariales y de innovación para el desarrollo económico y la inclusión productiva de las regiones afectadas por el conflicto colombiano. Lidera Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Investigador principal: Carlos Ariel Cardona Alzate. Contacto: cemprende_man@unal.edu.co

Proyecto Fortalecimiento docente desde la Alfabetización Mediática Informativa y la CTel, como estrategia didáctico-pedagógica y soporte para la recuperación de la confianza del tejido social afectado por el conflicto. Lidera Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Investigador principal: Germán Albeiro Castaño Duque. Contacto: edcolcient_man@unal.edu.co

Proyecto Alianza interinstitucional, multidisciplinar, nacional e internacional en el aumento de la calidad educativa, científica, innovadora y productiva de las instituciones educativas de educación superior. Investigador principal: Germán Gómez Londoño. Contacto: apoyofi.posconflicto@ucaldas.edu.co

Comité directivo

Javier Gonzaga Valencia Hernández / Director Científico; Germán Gómez Londoño / Subdirector de Fortalecimiento Institucional; Consuelo Vélez Álvarez / Subdirectora de Fortalecimiento Científico.

Equipo apoyo científico

Javier Gonzaga Valencia Hernández / Germán Gómez Londoño / Carlos Arturo Gallego Marín / María José Díaz Galván / Claudia Murillo / Carol Viviana Castaño Trujillo.

Comité editorial

Javier Gonzaga Valencia Hernández / Consuelo Vélez Álvarez / Germán Gómez Londoño / María Hilda Sánchez Jiménez / Alejandra María Osorio / Juan Camilo Solarte Toro / Alejandro Peláez Arango / Carol Viviana Castaño Trujillo. Invitados: Claudia Murillo / María José Díaz Galván.

Equipo administrativo

María del Pilar Botero Rendón / Coordinación Administrativa; Juanita Velásquez Uribe / Profesional Financiera; Diego Ávila Gómez / Profesional de Adquisiciones.

Introducción

Proveer el servicio de conectividad en centros poblados situados en comunidades rurales ha sido un desafío constante. En Colombia, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) define un centro poblado como “una concentración de mínimo veinte (20) viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicada en el área rural de un municipio o de un Corregimiento Departamental”. En el caso que el centro poblado se encuentre cerca de un área urbana, la implementación del servicio de conectividad es factible, ya sea mediante satélite de baja órbita, fibra óptica o inalámbrica de microondas. De esta forma, la extensión de la conectividad desde una red central se presenta como una solución viable, en especial por la instalación de estaciones de transmisión en nuevas zonas y el establecimiento de nuevos operadores de red en Colombia. Por el contrario, se han presentado dificultades para prestar el servicio de conectividad, cuando el centro poblado se encuentra alejado de áreas urbanas (comunidades rurales). Uno de los principales factores que dificultan la prestación de este servicio para estas comunidades ha sido el económico: no se alcanza un punto de equilibrio de inversión para la implementación de cualquier infraestructura de telecomunicación. Es por ello necesario determinar la solución más adecuada para el acceso a la conectividad para el caso de los centros poblados de comunidades rurales, abordando la situación de lejanía de estas comunidades de las redes urbanas.

Puede definirse *conectividad* como la capacidad que tiene un dispositivo para intercambiar información con otros, sean dispositivos o personas, mediante el uso de la información digital. Actualmente, un servicio de conectividad comprende un gran porcentaje de actividades de la vida diaria que involucran dispositivos con personas. Como servicios de conectividad se encuentran la televisión por cable, la telefonía celular, las transacciones bancarias (por ejemplo, compras y pagos), acceso a redes sociales digitales, entre otros. La información digital es

aquella que puede procesarse mediante un dispositivo como el computador o el microcontrolador. Así, el sistema de televisión por cable comprende el envío de información digital, en este caso el video digital, desde una estación hacia el televisor, el cual emite la señal de video digital a la persona. Otro caso es el de mensajería digital, en el cual una persona se comunica con otra a través de texto digital entre dispositivos denominados teléfonos inteligentes (smartphones), mediante el uso de aplicaciones.

El desarrollo de las comunidades depende cada vez más de la cantidad de servicios de conectividad a los cuales puedan tener acceso, de ahí la importancia de incluir los centros poblados de comunidades rurales. Estos servicios los proveen las compañías de telecomunicaciones, los cuales establecen planes de inversión de acuerdo con el número de personas a las que pueden proveer el servicio. El índice de personas a las que pueden proveer los servicios se denomina *cobertura*. Así, los planes de inversión de las compañías de telecomunicaciones a nivel nacional tienen como objetivo aumentar la cobertura para mejorar el servicio de conectividad. En zonas urbanas, la cobertura es alta, gracias a la expansión de las redes de telecomunicaciones inalámbricas, complementados sobre la infraestructura de fibra óptica. Ello permite que allí puedan implementarse redes de telecomunicaciones de próxima generación, las cuales contribuirán al desarrollo de nuevos servicios de conectividad como análisis de transacciones (big data), necesario para el análisis de catálogo, publicidad y mercado en empresas. Adicionalmente, la automatización de procesos en la empresa, en donde cada dispositivo realiza operaciones asesorado por otros dispositivos, requerirá que el servicio de conectividad tenga una mayor velocidad de transmisión de la información digital, sin presentar pérdida de información. Esto obliga a las compañías de telecomunicaciones a implementar infraestructuras con dispositivos que puedan conectarse de forma flexible. Esta flexibilidad en la conectividad se logra mediante técnicas avanzadas de autogestión de red. Sin embargo, estos privilegios tecnológicos no son factibles en centros poblados de comunidades rurales. Esta diferenciación en la calidad de los servicios de conectividad (flexibilidad, mayor velocidad de transmisión, baja o nula pérdida de información) se denomina *brecha digital*. Santoyo y Martínez (2003) definen este fenómeno como “la separación que existe entre las personas (comunidades, estados, países...) que utilizan las *tecnologías de información y comunicación* (TIC) como una parte rutinaria de su vida diaria y aquellas que no tienen acceso a las mismas y que, aunque las tengan no saben cómo utilizarlas.”

Son varios los desafíos que se generan para aumentar los servicios de conectividad en centros poblados de comunidades rurales y reducir así la brecha digital. Estos desafíos se pueden agrupar en dos categorías: confiabilidad y flexibilidad (Rafique y Velasco, 2018). Para la primera categoría, se requiere un nivel de confiabilidad alta, debido a la expectativa de los usuarios de acceder en cualquier momento y en cualquier lugar. Con respecto a la segunda categoría, los servicios asociados al procesamiento de datos multimedia y bases de datos, exigirán el aumento de la flexibilidad de ancho de banda y aumento de la velocidad de transmisión en comparación con las redes existentes. Sin embargo, es necesario lidiar con escenarios inesperados resultantes de la implementación de esta tecnología en las redes actuales y así lograr un indicador positivo en la calidad de los servicios de conectividad (Musumeci y col., 2019). A esto se le adiciona el factor de preservación de la identidad cultural de las comunidades rurales, normalmente asociadas a centros indígenas o de patrimonio ancestral. De este modo, la mejora de la conectividad permitirá además el desarrollo social y cultural, al reducir las brecha tecnológica que se presenta especialmente en zonas rurales.

Al momento de la implementación de este tipo de redes, surge la inquietud sobre su sostenibilidad. Este problema suele ser tratado mediante un plan de capacitación en los primeros meses. Sin embargo, esta capacitación sigue modelos tradicionales, siguiendo el modelo prusiano, tal como lo ilustran Nuhoglu y Strang (1989), en el que los estudiantes reciben clases por un docente de forma magistral. Así el conocimiento ha sido entregado de forma repetitiva: lecciones, lecturas y exámenes, sin tener en cuenta otros aspectos que hacen parte del proceso de enseñanza/aprendizaje. Aunque con el pasar del tiempo se ha ido introduciendo nuevas metodologías como la educación STEM (Ciencias- Tecnología-Ingeniería-Matemáticas) el cual es, según Dallos Loaiza (2022) “un enfoque interdisciplinario al aprendizaje que remueve las barreras tradicionales de las cuatro disciplinas e integra en sus actividades todas las áreas del currículo y las conecta con el mundo real con experiencias rigurosas y relevantes para los estudiantes”. Otras como CDIO (por sus siglas en inglés Conceive Design Implement Operate) concebido en los años 90 en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en colaboración con tres universidades suecas, es una propuesta educativa que consiste en el aprendizaje a través de la concepción, el diseño, la implementación y operación de sistemas complejos, mediante la dinámica de trabajo en equipo y la evaluación basada en resultados (Tiwari, 2016). Las herramientas usadas en CDIO buscan el aprendizaje activo, como es el caso de la elaboración de proyectos grupales y

aprendizaje basado en problemas. Como aplicación, esta metodología fue probada en el Curso de Introducción a la Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales durante los años 2020 a 2021 y retroalimentada en el Congreso Nacional de Iniciativas de Innovación Pedagógica en la Universidad Nacional de Colombia. Como resultado, se obtuvo una amplia interacción con los usuarios de otras ramas del conocimiento, generando así una interdisciplinariedad y redes colaborativas de conocimiento (Dallos Loaiza y col., 2021).

Para dar una visión concreta sobre este problema, se tiene el siguiente caso: para potenciar el modelo de producción en una comunidad rural, se crea un repositorio digital, el cual consiste de documentos audiovisuales de experiencias en técnicas de cultivo, tradición oral e identidad cultural. Estos documentos pueden visualizarse a través de una página web, de la cual se tiene acceso mediante el servicio de conectividad denominado *Internet* (García-Álvarez e Ibarra, 2006). Como valor agregado, se añaden procesos como la venta de los productos en comercio digital, la automatización del proceso de cultivos y control de iluminación de las vías de acceso. Finalmente, para que el modelo se vuelva sostenible, se crea un aula de capacitación, el cual consiste en un salón de clase junto a la estación de telecomunicaciones que recibe la señal de conectividad, la cual se denomina *centralita*. Esta capacitación para habitantes en zonas rurales hace parte del repositorio digital creado. Así, la estación no solamente sirve para formación en las empresas en la que se aplican los modelos de producción, sino para monitoreo y automatización de los procesos en estas empresas.

En este libro se ilustra cómo la implementación de una red de respaldo puede solucionar el problema de extender la cobertura a las zonas rurales. De esta forma, se presenta una alternativa para obtener acceso a la información digital en sitios de difícil acceso como las zonas rurales ubicadas en la región Andina (sobre la cordillera de los Andes). En otras palabras, se aborda el diseño y la implementación de una solución alternativa a la falta de conectividad a Internet en centros poblados de comunidades rurales, mediante extensión de la conectividad desde una red central. Esta extensión se denomina *red de telecomunicación de retorno* (desde el capítulo 3 será definido como backhaul), usando una tecnología admitida en las próximas tecnologías de redes de comunicación, denominadas 5G. Como valor agregado, se presenta el esquema de una capacitación del tipo híbrido, el cual incluye un curso de instalación de una red de retorno, estimación del enlace de la red e implementación de un sistema sustentable de riego de cultivos, con suministro

de energía fotovoltaica (panel solar). Se presenta en este libro la hoja de ruta y la evaluación de expansión de la red de acceso de banda ancha bajo un caso de estudio en territorio colombiano. Como paso posterior a la implementación, se presentan las diferentes propuestas de capacitación, para garantizar una conectividad sostenible a largo plazo.

Este libro se basa en los resultados obtenidos en la ejecución del programa de Colombia Científica “Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto”, realizado entre 2018 y 2022, específicamente en la instalación del sistema de comunicación requerido para la integración de servicios de conectividad dentro de modelos de desarrollo rural planificados en las poblaciones beneficiadas. La rápida instalación de la infraestructura de la red y su posibilidad de expansión de la cobertura, permite adaptar su desempeño a las condiciones geográficas y poblacionales de la región donde se instala. Específicamente, la reconfiguración del ancho de banda de los enlaces de comunicación de datos permiten el monitoreo en tiempo real de observatorios socio-ambientales, visualizados de forma remota como comunidades virtuales con fines de innovación social y tecnológica. De este modo, es posible presentar una propuesta que garantice la continuidad de estos observatorios, mediante las metodologías de capacitación propuestas en este libro para cada centro beneficiado.

En los siguientes capítulos se presenta el diseño de la red, la simulación de los enlaces y el cálculo del sistema de suministro eléctrico de la red de retorno y la tecnificación de los procesos productivos beneficiados. El suministro eléctrico se efectúa a través de un sistema de paneles fotovoltaicos para la alimentación de los equipos en los nodos correspondientes al caso de estudio. En el capítulo 2 se presenta el estudio de campo de los escenarios donde se realizó la implementación, definiendo así los parámetros de diseño de la red. En el capítulo 3 se presenta el posterior diseño de una red de retorno en dos etapas: primero se realiza la proyección teórica a partir de un estudio previo de campo, luego el cálculo de parámetros que alimentan el proceso de simulación. En el capítulo 4 se presentan las bases pedagógicas para el desarrollo del curso en tecnología agrícola, pasando por su evolución histórica a través de proyectos entre 2017 y 2022 (incluyendo “Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia”), en donde se hizo énfasis en temas como la generación de fuentes de suministro eléctrico del sistema de respaldo para los diferentes nodos basándose en los datos de radiación solar de acuerdo con su ubicación geográfica.

A photograph of two men standing in a field of green vegetation. The man on the left is wearing a grey shirt, blue jeans, a black face mask, and sunglasses. The man on the right is wearing a white polo shirt with a logo, light-colored cargo pants, a white cap, and sunglasses. A red metal tower is visible on the right side of the image. A semi-transparent white box with the text 'Capítulo 1' is overlaid on the center of the image.

Capítulo 1

Caso de estudio en conectividad rural

El diseño de esta alternativa para proveer conectividad en comunidades rurales se basa en el concepto de red de retorno: extensión de los servicios de conectividad desde una red central (normalmente suministrada por una empresa licenciada de telecomunicaciones) sobre varios centros poblados de comunidades rurales. Así, una red de retorno es una gran red inalámbrica, donde la estación central, con acceso a internet, provee conectividad a las estaciones ubicadas a una distancia considerable, si se compara con una conexión WiFi (Niephaus y col., 2014). El proceso de diseño inicia con el estudio de sitios, seleccionados dentro de la política de ‘construcción de paz estable y duradera’ del gobierno colombiano. Los siguientes son los criterios de selección (Cortés Cortés y col., 2021):

- Poblaciones donde se permita establecer información sobre los daños provocados durante más de 50 años de conflicto armado. En los casos tratados en este libro, se añade la dificultad de implementar proyectos sostenibles de cualquier índole en zonas afectadas por el conflicto armado en Colombia.
- Población que se distingue por sus capacidades para sobrevivir, resistir e innovar socialmente en su territorio, hacia la transición hacia formas no violentas de relación socioambiental.
- Gobiernos locales con capacidades políticas para gestionar los procesos de transición en los territorios, para mediar de forma democrática en los conflictos sociales, orientadas hacia la reconciliación y la construcción de paz estable y duradera.

De esta forma, la implementación de la red promueve la construcción de proyectos para el desarrollo local y la participación de la población en la investigación y el desarrollo para la solución de problemas en sus comunidades, lo que les permite:

- Generar conocimiento, bajo la responsabilidad ética y política de su uso en favor de la transformación social.
- Vincularse como investigadores de las realidades de sus territorios, como individuos y colectivos (instituciones, organizaciones, comunidades, familias).

Problemática

La necesidad de proveer conectividad con un adecuado índice de la calidad en los servicios (confiabilidad, flexibilidad, mayor velocidad de transmisión) fue más notorio a partir del 2011, al formalizarse la Cuarta Revolución Industrial (Ziegler y Arias, 2022). En adelante, las TIC se convirtieron en pieza fundamental para el crecimiento económico y el desarrollo social de cada país. Sin embargo, para que esta revolución tenga efecto, debe existir una integración entre las tecnologías y el entorno en el cual se desenvuelven; por ejemplo, la avanzada infraestructura de telecomunicaciones en países desarrollados permite una conectividad de mayor calidad y menor costo tanto en centros urbanos como zonas rurales. Por el contrario, en países subdesarrollados o emergentes solamente los centros urbanos disfrutaban de servicios con un alto nivel de conectividad, mientras en el campo la infraestructura de telecomunicaciones es incipiente. Estas diferencias influyen en el desarrollo de los países creando desigualdades entre sus habitantes y construyendo la llamada *brecha digital rural* (Soysal, D., Yasemin Nuhoglu y Strang, 1989). Este tipo de brecha digital se hizo presente inclusive desde la Tercera Revolución Industrial (Revolución Digital de inicio de los años 1990), lo que llevó en el año 2000 a los 189 estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (2000), a aprobar la llamada “Declaración del Milenio”; con la cual se acordaron los “Objetivos de Desarrollo del Milenio - (ODM)”. Así, la reducción de la brecha digital rural es uno de los propósitos de tener “un mundo más pacífico, más próspero y justo para todos sus habitantes”. Este propósito está enmarcado dentro del objetivo número ocho titulado “Fomentar una Sociedad Mundial para el Desarrollo”, en donde una

de sus metas invita a velar por el desarrollo global y cierre de las brechas digitales de cada país; estableciendo que, “En colaboración con el sector privado, velar por que se puedan aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías, en particular, los de las tecnologías de la información y de las comunicaciones” (CONPES, 2005).

Conforme aumenta la cobertura, cada vez es más necesario el uso de dispositivos electrónicos para servicios que anteriormente se requerían realizar presencialmente como la consulta bibliográfica, transacciones bancarias, el control de procesos industriales y recientemente la consulta médica. En este último, un paciente que requiere servicios hospitalarios se encuentra en un lugar muy lejano de un centro del nivel necesario para su debida atención. Así, los servicios de telemedicina ofrecen la asistencia a través de equipos controlados remotamente a través de un especialista a kilómetros de distancia del paciente. Otra aplicación de la asistencia remota a servicios hospitalarios consiste en la asistencia a pacientes infectados con SARS-CoV2 - conocido como CoViD19 (comprendido entre marzo de 2020 y agosto de 2021 en Colombia), quienes requieren una cantidad de equipos médicos, todos éstos conectados en una red de monitoreo hospitalaria y donde, a pesar de la asistencia directa de los enfermeros y personal médico de primera línea, es recomendable que se controle de forma remota.

La complejidad de la geografía y los problemas de orden público incrementan el costo de implementación y operación de un servicio de conectividad. Como toda red de telecomunicaciones depende de un suministro eléctrico para su funcionamiento, la prestación de servicios de conectividad es también dependiente, a diferencia del servicio de telefonía cableada, cuyo suministro está basado en bancos de baterías. Por esto, una caída en el suministro eléctrico lleva directamente a la caída del servicio de conectividad. Así como el problema de suministro eléctrico está solucionado para los centros urbanos, no es así para un gran porcentaje de la población rural. Tanto así, que hay una gran población que habita en zonas de difícil acceso, a dónde hay que llegar usando transporte marítimo o aéreo, y por tanto no cuentan con el acceso de redes nacionales de servicios como acueducto, alcantarillado, electricidad o telefonía. De este modo, como la red de conectividad está atada a la factibilidad de estos servicios, no existe forma de proveer conectividad a regiones apartadas.

Como efecto directo, las constantes fallas tanto en la plataforma tecnológica como en el suministro eléctrico han provocado bajos niveles de la calidad en el servicio

de conectividad para los centros poblados. Para reducir este efecto, las empresas de telecomunicaciones, que son las que proveen el servicio de conectividad, han intentado aumentar los niveles de calidad de sus servicios mediante la instalación de un número mayor de equipos de radiocomunicación. Esto les ha permitido, de una u otra forma, llegar a comunicar regiones apartadas a través de una red principal mediante redes de *acceso secundario*. Para ello se valen de la tecnología microondas o satélite para instalar una *red central* en un lugar que pueda cubrir la mayor cantidad de poblaciones alejadas posible. Sin embargo, el mantenimiento de esta red central requiere de una cuadrilla técnica, dirigida por un operario experto, además de un equipo de refacciones, software de monitoreo y suministro eléctrico alterno.

En especial para este tipo de redes, el suministro eléctrico está provisto por baterías, que deben recargarse y cambiarse constantemente. En consecuencia, la capacitación de la cuadrilla y del operario, el tratamiento de recarga, reciclaje y desecho las baterías, la licencia del software de monitoreo y el desplazamiento de la cuadrilla a la red central aumenta el costo de sostenimiento de la infraestructura, haciendo desistir a las empresas de seguir soportando el servicio. El requerimiento de desplazar una cuadrilla obedece a que no existe capacitación en conectividad empresarial por parte de los habitantes de la región en donde está ubicada la red central. Esta falta de capacitación ha conllevado a que las comunidades locales no puedan obtener empleos en el área de TIC.

Otro efecto directo tiene que ver con las escasas o nulas fuentes de trabajo basadas en el mantenimiento de dispositivos electrónicos, piezas fundamentales en proyectos de TIC. Una forma de incluir este proceso productivo es a través de la vinculación con planes basados en economía circular. En 2019, se dio inicio a la política para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos - RAEE, dentro de la Estrategia Nacional de Economía Circular - ENEC (Gobierno de la República de Colombia, 2019). Con la implementación del sistema de conectividad rural, la población se beneficia en capacitaciones en los siguientes temas de ENEC:

- Flujo de materiales industriales y productos de consumo masivo.
- Flujos de Materiales de envases y empaques.
- Flujos de Biomasa.

- Fuentes y flujos de energía.
- Flujo del agua.
- Flujos de Materiales de construcción.

Estos temas son pertinentes para que exista un desarrollo sostenible en tecnologías de la información en centros poblados, como es el caso de plantas piloto en centros urbanos con plataforma tecnológica implementada, como es el caso de Bogotá o Medellín.

Lugares seleccionados

El proyecto ‘Programa Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia’ seleccionó los municipios de Ovejas y Chalán, ubicados en la subregión Montes de María, departamento de Sucre en el caribe colombiano. Según el Registro Único de Víctimas (RUV) de la Red Nacional de Información (2017), entre las décadas de los años 90 y 2000, los territorios fueron afectados por el conflicto armado, con un porcentaje de víctimas entre el 82 y el 85% de la población. En 2009, el DANE presentó una proyección del municipio de Ovejas, con una extensión de 453 km², de 20 806 habitantes, de los cuales 12 067 habitan en el sector urbano y 8 739 en la zona rural. El mismo informe proyecta que el municipio de Chalán, de 80 km², cuenta con una población de 4 431 personas, de las cuales 2 792 viven en la cabecera municipal y 1 639 en la zona rural. La figura 1.1 ilustra la ubicación geográfica de estos municipios.

Figura 1.1. Municipios de Chalán (naranja) y Ovejas (lila), pertenecientes al departamento de Sucre, Colombia.



Fuente: la figura es una adaptación al mapa que se puede encontrar en Wikipedia: Sucre (Colombia).

De acuerdo con un reporte del Consejo Municipal de Planeación (2016, Ovejas y Chalán), la economía en los municipios de Ovejas y Chalán se basa principalmente en actividades agropecuarias constituidas por cultivos de ñame, yuca, maíz, aguacate, ajonjolí y ganadería, lo que genera ingresos para el 90% de la población. Este indicador optimista contrasta con la falta de recursos tecnológicos para la automatización de los procesos de cultivo, carencia de prácticas ambientales adecuadas, ausencia de capital financiero, vías y centros de acopio. A esta situación se aúna el cambio climático, lo cual genera un altos índices de pobreza, a pesar de la dinámica de producción, como indica el DANE (2019), que en el año 2018 la región Caribe contó con la tasa de incidencia de pobreza multidimensional más alta del país con un 34%. Aunado a lo anterior, las tasas de analfabetismo en mayores de 15 años están entre el 26% y el 34%, el cual es un índice preocupante, de acuerdo con otro informe del DANE (2007).

Un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2015), indica que la zona rural del municipio de Ovejas cuenta con una superficie de 36 hectáreas y una población de 400 familias que se destacan por su alto grado de escolaridad. A la luz del Decreto 893 del 28 de mayo de 2017, en orden de cumplir con los requerimientos definidos en los párrafos iniciales de este capítulo, la ubicación de la red de retorno dentro del municipio de Ovejas es el corregimiento La Peña, donde toda la población es reconocida como víctima del conflicto armado y hacen parte de un plan integral de reparación colectiva (Cortés Cortés y col., 2021). Análogamente, en el municipio de Chalán, el sector rural seleccionado para la instalación de la red de retorno es el corregimiento La Ceiba, un asentamiento localizado a 3 km de la cabecera, con una población de 150 personas. Este corregimiento cuenta con servicio de acueducto y dos centros educativos y está organizada mediante la Junta de Acción Comunal y la denominada Asociación de Pequeños Agricultores, integrada por alrededor de 40 socios.

En los territorios de Ovejas y Chalán se implementaron los Planes de Desarrollo con Enfoque Territorial (*Fundación PLAN, 2017*). Estos municipios hacen parte de los 170 municipios de Colombia beneficiarios de este plan de desarrollo, cuya concepción promueve el cierre de brechas entre el campo y la ciudad. La Agencia de Renovación del Territorio (2018) proyecta para el año 2028 que Montes de María será territorio innovador líder en producción agroecológica, con ‘desarrollo turístico comunitario y una población educada, organizada y empoderada que propicia la participación y la autonomía campesina’. Por tal razón, además de darle continuidad al plan de desarrollo, el proyecto ‘Programa Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia’ evaluó las necesidades de conectividad en los municipios seleccionados (Cortés Cortés y col., 2021); después de este proceso de estudio, el diseño e instalación de los enlaces para interconectar las tres poblaciones de estudio fueron las siguientes:

- Enlace *Chalán-Almagra*, entre la población de Chalán y la estación repetidora Cerro Almagra,
- Enlace *Almagra-La Peña*, entre la estación repetidora Cerro Almagra y la población de La Peña,
- Enlace *Almagra-La Ceiba*, con los puntos entre la Repetidora Cerro Almagra y el poblado La Ceiba.

Cada caso se presenta en secciones separadas debido a las variadas características de cada localidad. Por consiguiente, este estudio no es una comparación entre los enlaces. Por el contrario, cada escenario provee un conjunto de parámetros diferenciados, lo que hace que el simulador sea una herramienta fundamental para la predicción del comportamiento de los enlaces y diseño de los equipos transmisores y receptores, de acuerdo con la ubicación.

Elementos del sistema de conectividad rural

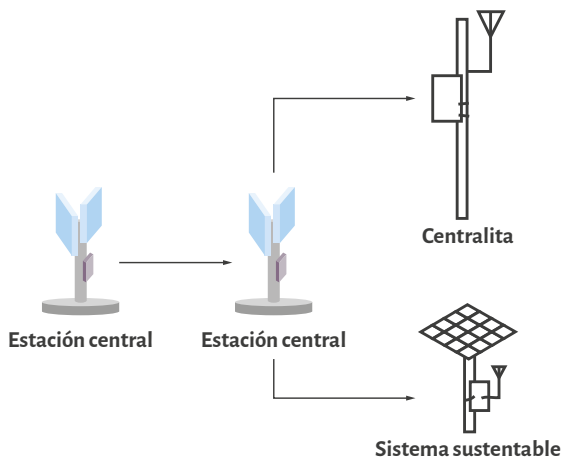
Este sistema se presenta como una solución eficaz para proveer conectividad en lugares con débil infraestructura de suministro eléctrico convencional, como el presentado en 2014 para el plan de acción del Findeter prioridad 9 - conectividad, en el municipio de San Andrés de Tumaco, Departamento de Nariño (*Findeter, 2015*). Adicionalmente, el sistema tiene como valor agregado, la ubicación en la vivienda donde reside la red central, de un centro de reciclaje electrónico y medición de obsolescencia, para reducir el impacto ambiental debido a la producción creciente de dispositivos. Por ejemplo, para los dispositivos usados en la red (antenas, transmisores), se requieren nuevos materiales y estructuras moleculares para mejorar la calidad en la conectividad. La necesidad de un centro de procesos en economía circular obedece a planes del gobierno nacional (como se comentó al final de la sección 2.1 con la ENEC), lo que abre la posibilidad de plantear modelos productivos, buscando el uso eficiente de recursos naturales (Dallos Loaiza, 2022). A continuación, se describen las partes que componen el sistema de conectividad rural:

1. La *red de retorno* es el conjunto de equipos (transmisores, fuentes de alimentación, antenas, enrutadores) necesarios para suministrar conectividad a centros poblados desde una red central. La red tiene dos accesos o puntos: el punto de acceso de la centralita (figura 1.2) y el punto de acceso del controlador del proceso productivo.
2. El sistema *sustentable* es un conjunto de elementos cuya función es operar de forma remota el proceso productivo, a través de un controlador conectado a la red de retorno (figura 1.3). Este sistema se encarga de mantener el proceso productivo libre de fallos. Estableciendo que el proceso productivo es el

agrícola, el sistema sustentable se ubica en la zona de cultivo de interés para el centro poblado. Uno de los elementos a considerar para el diseño de este sistema es la motobomba, cuya función es proveer riego sobre un cultivo administrado por la comunidad vulnerable.

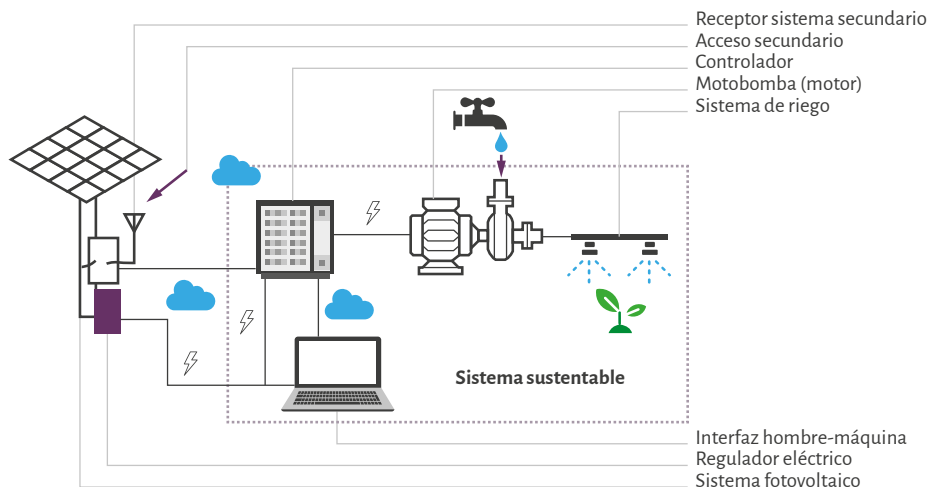
3. El sistema fotovoltaico, que provee el suministro eléctrico a los elementos eléctricos del sistema sustentable (figura 1.3). De acuerdo con la necesidad del centro poblado, puede suministrar energía eléctrica a otras instalaciones como la centralita. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el suministro eléctrico a la centralita proviene de la compañía distribuidora del servicio. Desde el panel solar que se encuentra en el sistema sustentable, es posible suministrar energía eléctrica a la estación que se encuentra alejada (centralita) mediante el protocolo potencia por Ethernet (PoE), según indicaciones de Maniktala (2013).
4. El control remoto y el monitoreo del sistema sustentable, además de la capacitación virtual, se integran en una interfaz de usuario denominado *gamificador* (Laboratorio de Electricidad y Electrónica, 2022). Un *gamificador* es una herramienta construida mediante el registro fotográfico (Pantallazos) de los procesos y videos explicativos de la instalación, puesta a prueba y monitoreo de cada una de las tres partes del sistema sustentable (sistema eléctrico fotovoltaico, red de retorno y control de motor). El gamificador se caracteriza por ser virtual, interactiva y didáctica, lo que permite un plan de capacitación, el cual tiene como objeto desarrollar habilidades en el alumno para la adecuada instalación, operación y mantenimiento del sistema sustentable. En este caso, la capacitación comprende la instalación de los paneles solares y las antenas, el proceso para establecer la conectividad desde la red central y la instalación y accionamiento del motor, con propiedades de conexión remota para controlar su velocidad y demostración virtual del funcionamiento de los elementos. Esto permite la implementación de los entornos virtuales de los casos de estudio y actividades de gamificación del proceso de diseño (Muñoz Ibarra y García-Álvarez, 2002).

Figura 1.2. Sistema de conectividad propuesto para comunidades rurales.



Fuente: bosquejo del autor.

Figura 1.3. Sistema sustentable conectado al sistema fotovoltaico.
El símbolo de rayo corresponde al suministro de electricidad. El símbolo nubes se relaciona con la transferencia de datos.



Fuente: bosquejo del autor.

Red de retorno

En adelante, tomaremos el término técnico de la red de retorno por su nombre en inglés: *backhaul*. La red backhaul permite la conectividad de las estaciones de acceso secundario a la red central utilizando la tecnología de telecomunicación conocida como WiBACK, la cual consiste en un conjunto de transmisores que se comunican inalámbricamente entre puntos de acceso, ubicados en las estaciones secundarias de las comunidades seleccionadas. El proceso por el cual la red backhaul permite la conectividad entre la red central y las redes de acceso secundario se denomina *enrutamiento*. El dispositivo enrutador asigna un código a la señal transmitida, de tal manera que llegue al receptor en el menor tiempo posible. Este código se denomina *dirección de enrutamiento* y es administrado por el controlador de la red central. Lo anterior significa que todas las señales que provienen de las redes de acceso secundario deben pasar primero por la red central, lo cual permite un mayor control y administración de los datos que pasan por la red backhaul (Aristizábal y Toro, 2021).

Las redes backhaul se diseñan bajo el concepto de sistema autogestionable. Esta tecnología fue presentada en 2016 por el Instituto Fraunhofer de Tecnología de Información Aplicada (FIT), con el algoritmo de autogestión basado en el modelo de Redes Definidas por Software (SDN) (Aristizábal y Toro, 2021). Otra ventaja de esta tecnología es que la estrategia de instalación permite que la red pueda instalarse en un tiempo menor a una red tradicional.

En cuanto a la conectividad, el requisito exigido para esta tecnología es su capacidad de conectarse a aquellas ya vigentes como Wi-Fi, GSM, UMTS o LTE (4G). Como antecedente sobre implementaciones de este tipo de tecnología, es conocido el proyecto de Google LLC, en el cual participaron Tiwari y col. (2016) con su proyecto Loon, la empresa de comunicaciones One Web (2019) con su proyecto One Web Satellite Constellation y el grupo liderado por Niephaus (2014) del Instituto Alemán Fraunhofer-Gesellschaft. Este último implementó la tecnología WiBACK como gestor superior de comunicación de los nodos de red implementados por los demás grupos. Como indicador de impacto, este proyecto pudo demostrar avances en el desarrollo de tecnologías que pueden facilitar el acceso a las TIC y reducir la brecha digital. Este indicador justifica la propuesta de implementar una red backhaul para la conexión de áreas rurales alrededor del mundo, proporcionando el rendimiento adecuado para un bajo costo de

implementación, consumo energético y tarifa de servicios de internet. El proceso de diseño de este sistema se explicará ampliamente en el capítulo 3.

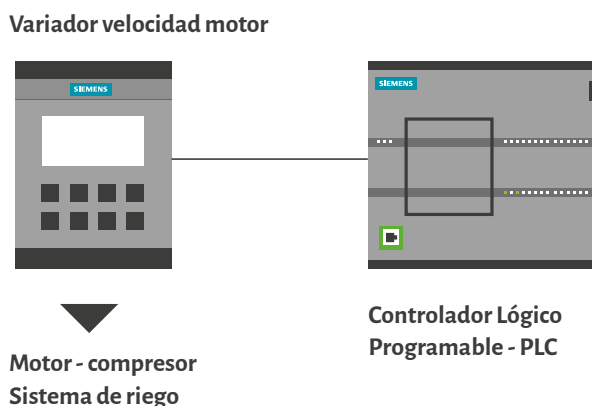
Sistema sustentable

Uno de los sectores de desarrollo más importantes en países en desarrollo es el agrario. La tecnificación de cultivos permite optimizar los recursos requeridos para el aumento de la producción de alimentos, de esta forma cumplir con el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) denominado por las Naciones Unidas como *hambre cero* “poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible” (Benjumea, 2020). Por ejemplo, la tecnificación permite la reducción de gastos en fertilizantes y maquinaria. Para el caso tratado aquí, los sistemas de riego automatizados cumplen con esta ODS, optimizando el consumo de recurso hídrico, promoviendo la productividad agrícola.

Debido a la importancia de implementar estrategias para la automatización de procesos relacionados con la tecnificación de cultivos como los sistemas de riego, la vigilancia de los procesos de cosecha y el control de plagas, la tecnología utilizada para este propósito es cada vez más económica y de mejor desempeño (Trujillo y col., 2019). Para el sistema sustentable a ser implementado en las comunidades de estudio, el control del motor de la bomba de riego ha sido un tema de detallada investigación, en especial porque este tipo de motores tienen como suministro un sistema eléctrico convencional, por lo que determinar su comportamiento en sistemas no-convencionales es necesario para prevenir el mal funcionamiento o daños. Por tal motivo, la inclusión de una interfaz virtual del arranque y control de velocidad del motor en la plataforma es importante, debido a que es posible ajustar los parámetros de control de acuerdo con las condiciones de tecnificación del cultivo (Toro-García y col., 2019). Además, la facilidad del uso de la interfaz es más importante en el contexto del aprendizaje y la cognición en comparación con la fluidez de navegación (Dallos, 2022). La modularidad y la personalización del sistema son importantes y los laboratorios virtuales deben atender las diferencias individuales en los estudiantes y sus niveles. Las funciones de ayuda pueden proporcionar orientación y apoyo en tiempo real. La automatización del sistema de riego se logra a través de la coordinación de cada componente, a saber:

- El motor que distribuye el flujo de agua para el riego.
- Un Programador Lógico Controlable - PLC, el cual es un dispositivo que maneja de forma autónoma los procesos que le sean programados. Se ilustra en el elemento de la izquierda en la figura 1.4.
- El variador de frecuencia, que regula la energía que se entrega al motor. Se ilustra en el elemento de la derecha en la figura 1.4.

Figura 1.4. Sistema de control de motobomba para el sistema de riego.

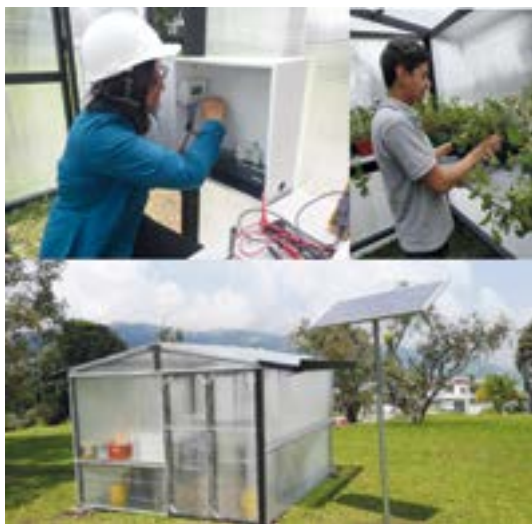


Sistema fotovoltaico

Debido a los altos costos y las consecuencias ambientales, la implementación de sistemas hidroeléctricos no logra tener la cobertura esperada, en especial hacia las comunidades seleccionadas. La situaciones de orden público y desigualdad social que ha provocado años de conflicto armado, estima como alto riesgo cualquier inversión de infraestructura de servicios, en especial el suministro de energía eléctrica. Como solución, se plantea el uso de sistemas no convencionales - aquellos que generan energía usando fuentes que no se usaban tradicionalmente, es decir, diferentes a las caídas de agua, el carbón y el petróleo. Entre estos sistemas, la energía fotovoltaica ha cobrado gran interés debido a su sencilla obtención (directamente del Sol en el día) y la autonomía de cualquier red de distribución eléctrica convencional. Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos no pueden llegar a las personas de bajo poder

adquisitivo debido al costo de los materiales requeridos para la fabricación de los dispositivos recolectores de energía fotovoltaica, denominados Paneles Solares, además de la capacitación requerida para su instalación, por lo que tradicionalmente este tipo de sistemas de energía se instala en comunidades de alto poder adquisitivo o grandes empresas. Además, actualmente no se tiene en cuenta el poder adquisitivo que representa este tipo de sistemas en la tarifa de energía (medido en kilovatio-hora - símbolo kW h) (Garcés-Gómez y col., 2021). No obstante, este tipo de sistema puede tener un efecto importante en el desarrollo de las comunidades, por lo que se propone el diseño de un sistema de iluminación y de suministro eléctrico a la red de retorno, mediante la instalación de paneles solares en las comunidades seleccionadas. Los recursos son obtenidos por la propia comunidad, brindando el proceso de acompañamiento, como se ilustra en la figura 1.4 con el caso del invernadero ubicado en el Bloque T del Laboratorio de Electricidad y Electrónica en la Universidad Nacional de Colombia (Laboratorio de Electricidad y Electrónica, 2022). Con esta estrategia se espera lograr un impacto satisfactorio mediante la integración entre los sectores productivos de la comunidad.

Figura 1.5. Instalación del controlador (arriba izquierda), disposición del cultivo (arriba derecha) e instalación final (abajo) del sistema sustentable instalado desde el 2018 en inmediaciones del Bloque T, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

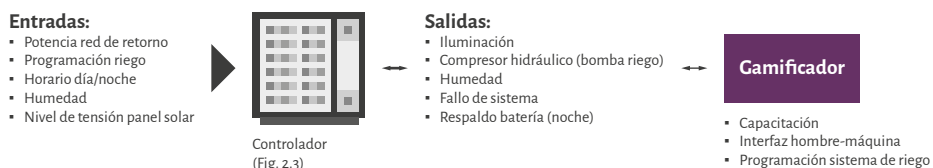


Fuente: fotos con autorización del autor.

Capacitación virtual

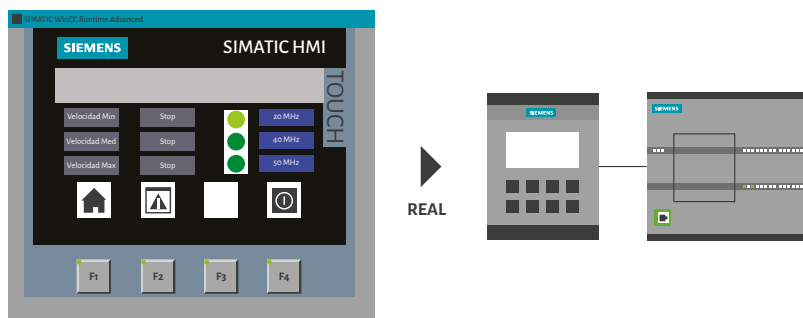
Con la implementación de la red de retorno y apoyado por la red eléctrica fotovoltaica (figura 1.5), se hace posible la instalación de una plataforma virtual de control, automatización y adquisición remota para la optimización del suministro energético de los paneles solares y el sistema de riego. El diagrama general de programación del controlador y flujo de datos entre la red de retorno y el gamificador se ilustra en la figura 1.6.

Figura 1.6. Diagrama de flujo de comunicación entre la red de retorno, el controlador y el gamificador, caso sistema sustentable de riego en invernadero.



Dado que el motor es controlado por el PLC y el variador de frecuencia, se construye la interfaz mediante el registro fotográfico del montaje físico, explicado paso a paso: instalación del motor, instalación y programación del PLC, instalación del variador de frecuencia y puesta en marcha. Este proceso es recreado a través de un entorno virtual denominado *Gamificador* (figura 1.7) del cual se explicará a continuación.

Figura 1.7. Pantallazo inicial del gamificador, para la capacitación en el control del sistema de riego.



Fuente: pantallazo gamificador (Laboratorio de Electricidad y Electrónica, 2021)

El gamificador es la base para la plataforma de capacitación virtual. Así, todos los elementos registrados en la interfaz son insumos, tanto para el gamificador como para el manual de operación. Con el desarrollo del gamificador, surge la necesidad de integrar las tecnologías tanto para la aplicación sobre los modelos productivos como para los procesos de enseñanza y aprendizaje definidos para la capacitación. Esto tiene como efecto, la necesidad de cambio en la metodología de la forma como debe realizarse la capacitación en las comunidades, ni completamente virtual, ni estrictamente presencial. Al ser la tecnología el mediador del proceso, se determinan nuevos roles para los profesores y los estudiantes; por ejemplo, es común en este tipo de capacitaciones la inclusión de un formulario al final de la capacitación, que permite al usuario aportar información sobre su forma de aprendizaje y su impacto, independiente de la valoración que se haga al instructor. Esta metodología de enseñanza híbrida se ha replicado en otras áreas del conocimiento, sirviendo como referencia para poder aplicarlo en campos como la arquitectura, la biología, energías renovables, entre otras.

Se ha notado el incremento en el uso de herramientas interactivas como los gamificadores, las cuales han llegado a entornos tales como los laboratorios de aprendizaje ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por su sigla en inglés 'Science, Technology, Engineering, Mathematics'). Este incremento demuestra que permanece el interés de los estudiantes por aprender, lo que conlleva a mejoras educativas que eran necesarias, en especial para regiones donde la población no tiene acceso a centros de educación superior, o los programas satélites universitarios que aún son incipientes o sin el impacto suficiente para impulsar su desarrollo social y tecnológico (Carmona, 2022). Este tipo de herramientas da ventajas competitivas, tales como permitir el soporte de ambientes educativos, para que los estudiantes en cualquier momento puedan realizar su capacitación, siempre y cuando dispongan de un nivel de conectividad mínima (García-Álvarez, 2018).

Objetivo de la capacitación

Comúnmente, se realizan talleres de capacitación en centros de cultivo con sistemas de riego automatizado. Estos talleres conllevan a la capacitación y reconocimiento de los sistemas energéticos alternativos como estrategia de apropiación social. Este proceso pedagógico identifica aspectos importantes en

el proceso de formación del alumno, alterno al proceso de capacitaciones con examen, donde el estado emocional puede afectar el desempeño de la evaluación (Garces-Gómez y col., 2023). Es por tanto importante definir nuevos métodos de enseñanza que les permita adicionalmente sobrellevar los efectos psicológicos y sociales del conflicto. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), a mediados de mayo de 2020: “más de 1200 millones de estudiantes de todos los niveles de enseñanza, en todo el mundo, habían dejado de tener clases presenciales en la escuela; de ellos, más de 160 millones eran estudiantes de América Latina y el Caribe” (CEPAL y col. 2020). Este indicador demuestra que existe una necesidad latente de implementar espacios de trabajos virtuales para mitigar el descenso en el acceso a la educación. Además, el efecto no disminuyó después de la pandemia, debido a la crisis económica mundial. A pesar que existieron programas para aportar a la virtualización educativa desde hace varias décadas antes de la contingencia por la pandemia, en países en desarrollo se había hecho evidente la carencia de recursos para implementar una infraestructura que permita el acceso del sistema educativo en lugares apartados de zonas urbanas. Específicamente en Colombia, los problemas de orden público o marginados por ausencia o fallos en la ejecución de planes gubernamentales agravan la situación. Esta situación se hizo más evidente conforme se implementaron planes de conectividad para el acceso a la educación como Colombia Vive Digital, Computadores para Educar o Conexión Total (Ministerio de Educación Nacional, 2023) que, como lo expresa Dallos (2022): ‘debido a la falta de infraestructura física para que los centros educativos en las condiciones de marginalidad mencionadas anteriormente pudieran tener acceso a las plataformas educativas virtuales como apoyo a la cátedra y procesos pedagógicos docentes’.

Metodología para las capacitaciones

Evidentemente, tanto el efecto de la propagación de la COVID-19, como las medidas de contingencia y restricciones para contrarrestarlo, trajo consigo cambios drásticos y retos tanto para las instituciones como para los estudiantes y docentes, pero al mismo tiempo abrió la posibilidad de cambiar la forma como aprendemos y cómo enseñamos. La capacitación presentada en este libro se desarrolló durante la pandemia, por lo que se pudo evaluar su impacto en medio de la restricciones por cuarentena y luego ver su efecto en prácticas semi presenciales, como en el curso

de Telemática Industrial que puede dictarse en el Laboratorio de Electricidad y Electrónica (2021) para el control de un motor trifásico en la mesa de accionamientos en la Sala de Máquinas. Esta nueva metodología de capacitación establece estrategias que reemplazan la asistencia a auditorios o salones de clase para la recepción de clases magistrales y de las prácticas presenciales dentro de un laboratorio. En este segundo aspecto, Dallos (2022) aclara que ‘la base del proceso cognitivo para los estudiantes de ingeniería es el conjunto de experimentos y prácticas que puedan realizar en el laboratorio; por tanto, el laboratorio es tan importante como la cátedra teórica; sin embargo, las instalaciones del laboratorio fueron cerradas debido a las medidas de contingencia y la infraestructura de red para las clases virtuales’. Así, la misma dinámica global en tiempos de pandemia produjo el incumplimiento de objetivos de aprendizaje por parte de los estudiantes, por ende, fallas en los objetivos pedagógicos de los programas académicos. De ahí que en ese periodo, las actividades de laboratorio virtual desempeñaron el rol de involucrar a habitantes de centros poblados en prácticas tanto investigativas como técnicas, con la visión que los estudiantes pudieran aproximarse a realizar experimentos sobre ingeniería y sistemas de riego, a pesar de la ausencia de la practicidad manual y sensorial directa. Sin embargo, el Gamificador les proporciona, a través de la experiencia del juego, una alternativa de capacitación en el manejo de equipos de control, riego y aplicaciones relacionadas con agricultura. Así, el Gamificador incluye capacitación en el manejo y programación de microcontroladores, construcción de una fuente de energía, instalación y calibración de sensores y actuadores. Con ello, se cumple con el objetivo de esta herramienta es introducir nuevas formas de aprender e investigar, mediante la capacitación a distancia y remota.

Capacitación en automatización de cultivos

La primera fase de la capacitación consiste en la construcción de un invernadero en el cual obtendrán aprendizajes en ingeniería y agricultura, pero a su vez podrán realizar experimentos de bajo costo y complejidad, relacionados con modelos productivos y economía circular, todo con un objetivo claro para comprender profundamente la esencia de los nuevos retos económicos y sociales, como por ejemplo la generación de energías limpias (Dallos, 2022). El aprendizaje por descubrimiento, el aprendizaje colaborativo y la experimentación, hacen parte de un concepto de enseñanza denominado *Educación 4.0*, el cual permite un aprendizaje flexible, adaptado al ritmo del estudiante, con la ventaja de realizar en

tiempo real un análisis propio de su proceso de aprendizaje. Ello sugiere nuevas alternativas de integración entre los procesos de enseñanza y la apropiación de las tecnologías de la información y las comunicaciones - TICs (Carmona, 2022). La *Educación 4.0* no se limita a utilizar las tecnologías sino que a su vez le permite al alumno apropiarse del conocimiento, independiente si es mediante una tutoría virtual, que en éste caso se realizó a través de plataformas digitales de video, o de un paso a paso interactivo, como el caso del proceso de enseñanza de armado de un invernadero a escala. La plataforma desarrollada incluye procedimientos de instalación del panel solar y el sistema de control y almacenamiento de energía, todo enmarcado en generar proyectos en ingeniería con aplicaciones de la vida real que permitan al estudiante conectar el conocimiento teórico con lo práctico. De esta forma, el aprendizaje colaborativo y la experimentación hacen que el alumno tenga cierta flexibilidad para aplicar un concepto, lo que se denomina *Aprendizaje Significativo*. En consecuencia, la adquisición de nuevos conocimientos se conecta con los conceptos, ya que los estudiantes pueden expresar lo aprendido con sus propias palabras, siendo así conscientes de lo que aprenden. Un aprendizaje significativo cumple así con la función de adaptar el proceso de enseñanza al ritmo del estudiante, además que puede evaluarse este proceso, lo cual sugiere nuevas alternativas de la aplicación de métodos de enseñanza-aprendizaje usando las TICs.

Capacitación en diseño e instalación de un sistema fotovoltaico

Otro de los objetivos del gamificador es enseñar, con las palabras más sencillas posibles, las etapas de diseño y los procedimientos de instalación de un sistema fotovoltaico, orientado a comunidades rurales. Para ello, se busca el equilibrio entre el aprendizaje multimedial (visual, auditivo, entre otros) tal que la capacitación se extienda al uso general, es decir, sin importar la forma como aprende el usuario. Al mismo tiempo, se debe cumplir el objetivo de comprender el proceso de diseño, sin conocimientos previos. El proceso de diseño se basa en la taxonomía de Bloom, el cual fue aplicado en el 2017 en los cursos de Seminario de Investigación y Telemática Industrial, de la Universidad Nacional de Colombia. Como resultado, se abrió la posibilidad de replicar esta metodología en múltiples áreas del conocimiento, como la arquitectura, la biología, energías renovables, entre otras.

Evidentemente la pandemia trajo consigo cambios drásticos y retos tanto para las instituciones como para los estudiantes y docentes, pero nos abrió la posibilidad

de poder retornar a cambiar la forma como aprendemos y cómo enseñamos. La herramienta se desarrolló a finales del año pasado durante la pandemia, por lo que la única práctica que se pudo ejecutar fue la que se realizó para la mesa de accionamientos en la Sala de Máquinas. Al reactivar la presencialidad, al final del 2021, se pudo evaluar la capacitación en un entorno presencial. La evaluación en ambas situaciones (pandemia y pos-pandemia) se hizo a través de un formulario que posteriormente puede ser contrastada con la metodología usual o tradicional.

Este módulo se basó en el modelo experimental realizado en 200 alumnos inscritos en la asignatura Cambio Climático y Uso de Energía (ACIA) (Jordan y col., 2018). En este caso, se evaluó el trabajo colaborativo antes de aplicar la herramienta. Así, el impacto de la herramienta pedagógica inmersiva se midió después de haberla aplicado con los mismos alumnos. Se recolectaron datos en forma secuencial (en distintos períodos de tiempo) y concurrente-simultáneamente, (Gericke, N. y col., 2019). Así, el gamificador responde a la búsqueda de metodologías que puedan ofrecer mejoras significativas en el aprendizaje, superando las limitaciones que los métodos tradicionales han demostrado, a través de la creación y desarrollo de actividades formativas basadas en el juego, tales como escapes rooms educativos y juegos de mesa (Sáenz-Nuño y Pérez-Mallada, 2019; M. R. Salas Labayen, 2018; R. Salas Labayen, 2020). Además, se promueve el desarrollo de habilidades requeridas para incorporarse al entorno laboral de la Industria 4.0

Capacitación en control de motores

Otro módulo de capacitación consiste en la instalación de los elementos que componen el sistema sustentable. Teniendo en cuenta que el motor eléctrico es el corazón del sistema de riego, es necesario hacer entender al estudiante que esta máquina debe abordarse desde el punto de vista técnico y desde su aporte en el proceso agroindustrial. El reto consiste en integrar estos dos puntos de vista en las herramientas lúdicas y prácticas, para así promover en las comunidades beneficiarias el interés por trabajar en aplicaciones relacionadas con ingeniería y agricultura. Además, esta integración fomenta la creatividad y la motivación para investigar, aprovechando el trabajo autónomo. Siendo el sistema de riego el elemento integrador entre la tecnología y los modelos productivos de cultivo, será este elemento la parte principal de la interfaz gráfica. El reto para los habitantes seleccionados como capacitados, será poder interactuar con el motor, accediendo

remotamente y realizando las prácticas de laboratorio sin requerir una práctica presencial. La idea es que los capacitados tengan un apoyo práctico para su formación como profesionales, mediante el control de un variador de velocidad del motor de riego, lo que permite seleccionar diferentes técnicas de distribución del riego (Toro y col, 2022). El motor hace parte del espacio físico (invernadero), el cual puede accederse desde cualquier lugar del país y ser analizado y parametrizado usando técnicas de procesamiento digital, como las desarrolladas por Toro y colaboradores (2020, diciembre). Finalmente, la interfaz permite el desarrollo de habilidades del pensamiento a través de la metodología de resolución de problemas mediante el juego. El Gamificador se convierte así en un entorno que pretende enseñar sobre el papel que juega el motor dentro del diseño del sistema sustentable. En este proyecto se implementan retos y juegos que ejercitan las habilidades de pensamiento como atención, concentración, observación, pensamiento lateral, percepción visual y espacial, pensamiento estratégico, pensamiento hipotético deductivo entre otros. A pesar de que el pretexto pedagógico es el juego y el reto, el ejercicio central se encuentra en el descubrimiento del motor como parte de los sistemas sustentables, a través de un análisis dirigido de nuestras propias acciones en el juego para encontrar procesos de pensamiento diferenciales.

A photograph of three people standing on a grassy hill, looking out over a vast, green valley under a clear blue sky. The person on the left is wearing a tan shirt and a blue cap, holding a camera. The person in the center is wearing a blue and yellow shirt with 'COLOMBIA CIENTIFICA' on the back and a blue cap. The person on the right is wearing a blue shirt with a circular logo on the back. A semi-transparent white box with the text 'Capítulo 2' is overlaid on the image.

Capítulo 2

Diseño de la red de retorno y el sistema fotovoltaico

Del capítulo anterior, se estableció que el sistema de conectividad tiene como objeto el monitoreo remoto de un sistema de riego sustentable, desde la centralita. Además, que en las comunidades seleccionadas se pueda llevar a cabo las capacitaciones, a través del uso de la interfaz y la capacitación mediante el gamificador. Considerando la red backhaul como la estructura principal del sistema de conectividad, en este capítulo se presenta el sistema de conectividad con énfasis en el diseño de la red. En las primeras secciones, se definen algunos conceptos importantes para la comprensión del proceso de diseño de la red backhaul, basado en la propuesta de Cortés-Cortés y colaboradores (2021) utilizada en el proyecto. Luego se presenta el diseño y la instalación del sistema fotovoltaico, basado en el trabajo de Carmona-Castañeda (2022), del cual se transcriben los aspectos básicos para el diseño del gamificador.

Sistema de comunicaciones electrónico

Las redes de acceso secundario son un conjunto de elementos que permiten la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares, llamados comúnmente estaciones, a través de uno o varios enlaces hacia una red central (Cedeño, 2007). La información puede consistir de texto, sonidos, imágenes y videos entre otros (García, Martínez y Herranz, 2004), pero debe ser convertida en señales electromagnéticas para ser propagada a través de la red, mediante dispositivos electrónicos (García-Álvarez, 2024). Por tanto, las estaciones o nodos de una red de comunicaciones, que pueden ser transmisores, receptores o

repetidores, están compuestos principalmente por este tipo de dispositivos (Murcia y García-Álvarez, 2004). Específicamente, una estación repetidora consiste de un receptor y al menos un transmisor.

Como sistema de comunicaciones electrónico, una red de acceso, sea secundaria o central, consta de los siguientes elementos: un transmisor, un medio de propagación y un receptor (Stremmler, 1989). El primero convierte la información original en un tipo de señal apropiada para ser enviada por el medio de propagación. Las señales se transportan por el medio de propagación hasta la estación receptora o receptor, mediante un mecanismo denominado *Enlace* (Castillo, Rodríguez y García-Álvarez, 2001; García-Alvarez y Rogriguez, 2002; García-Álvarez, 2024). Finalmente, la señal que llega al receptor es convertida de nuevo en la información original. Los medios de propagación permiten el transporte de señales electromagnéticas; como medios adecuados se tiene la tensión eléctrica por cable de cobre, las ondas de radiofrecuencia en el espacio libre o la luz por cables de fibra óptica (Ali Hamed, 2007; Méndez Quintero, Machado Rodríguez y García -Álvarez, 2002).

Frecuencias de Transmisión

La señal a transmitir tiene un amplio rango de componentes, denominadas *Ondas*, donde cada una de ellas transporta energía en función de la frecuencia. La frecuencia establece el número de veces que se repite un movimiento periódico o ciclo de la onda en un segundo (cuyo símbolo es s), la unidad básica de frecuencia es el hertz (símbolo Hz) que es igual a un ciclo por segundo (símbolo 1/s). Por ejemplo, la voz humana está compuesta de ondas que van en el rango de frecuencias entre 30 Hz a 3 000 Hz. Para pasar adecuadamente por el medio, el transmisor agrupa las ondas que componen la señal en una onda mayoritaria denominada *portadora*. Este mecanismo, denominado *modulación*, permite que la señal pueda pasar por el espacio libre sin interferir con las demás señales que pasan por la red (Couch II, 1997). La frecuencia de la señal portadora puede ser cualquiera en un rango casi infinito de frecuencias, denominado *espectro electromagnético*. Normalmente, se utilizan prefijos para representar escalas de magnitud superiores como km (kilómetro) para definir que esa cantidad está multiplicada por mil, por ejemplo, 3 km equivale a 3 000 m. De la misma forma se expresan los megahertz (MHz) para representar la cantidad presente, multiplicada por 1000000 (10^6 en notación científica), GHz (giga Hertz) para 10^9 Hz, etc. En comunicaciones, el espectro de

frecuencias se divide en secciones o bandas con nombre y límites, por ejemplo el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) denominó banda de frecuencias ultra altas UHF al rango de frecuencias con límite inferior 0.3 GHz y límite superior 3 GHz (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2009). Una de las frecuencias de operación de la tecnología WiBACK es de $f_{wb} = 5.725$ GHz, lo que equivale a $f_{wb} = 5.725 \cdot 10^9 = 5725000000$ Hz. Esta frecuencia pertenece a la banda de Frecuencia Super Alta (SHF por su expresión en inglés Super-High-Frequency).

Longitud de onda

Cuando tratamos con la transmisión de ondas de radio-frecuencia, es común calcular la longitud de la onda que está siendo transmitida. El objetivo de este parámetro de la onda, es determinar la dimensión de los obstáculos que pueden afectar la transmisión de los enlaces y la dimensión de los equipos. Por ejemplo, para la banda UHF la longitud de onda transmitida se encuentra en el rango entre los 1 y los 0.1 m, por lo que los obstáculos a considerar son aquellos que tengan una magnitud equivalente, como los edificios y los árboles. Lo mismo sucede en la banda SHF con las gotas de lluvia. La longitud de onda, representada por el símbolo λ , es la longitud de un ciclo de onda electromagnética, medido en metros, equivalente a la distancia entre dos puntos similares en una onda periódica. De acuerdo a la anterior definición, la longitud de onda es la relación entre la frecuencia de la onda y la velocidad con la que viaja (asumiendo la velocidad de la luz), por lo que su unidad es metro. En efecto, la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia f . Del mismo modo, la longitud de onda es directamente proporcional a la velocidad de propagación de la onda en el espacio libre c , asumida como la velocidad de la luz (la luz es una onda electromagnética), aproximadamente 3×10^8 m/s. La siguiente ecuación muestra la relación entre frecuencia, velocidad y longitud de onda (Britannica, 2023).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

A continuación se demuestra que la unidad de la longitud de onda es el metro

$$[\lambda] = \left[\frac{c}{f} \right] = \frac{[\text{m}]}{\text{s} \cdot \text{Hz}} = [\text{m}]$$

Ejemplo 3.1 Determine la longitud de onda de una señal electromagnética radiada a una frecuencia de 5.725 GHz.

Solución Dado que el prefijo giga (G) define multiplicar la cantidad por 1000000000, la frecuencia de la señal electromagnética equivale a $5.725 \times 1000000000 = 5725000000 \text{ Hz}$. Reemplazando los valores de frecuencia (f) y velocidad de la luz (c) en la ecuación (2.1), se obtiene:

$$\text{longitud de onda} = 300000000 \text{ [m/s]} / 5725000000 \text{ [Hz]} = 52.4 \text{ mm}$$

La unidad mm significa ‘milimetro’ y equivale a dividir la cantidad presente por 1 000 (prefijo mili - m), es decir, 52.4 mm equivale a 0.0524 m. De acuerdo con este resultado, la señal portadora WiBack está ubicada en la banda SHF (longitud de onda entre 100 y 10 mm).

Bandas libres y licenciadas. Las bandas libres son aquellas bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas bajo los lineamientos o especificaciones que establezca la agencia reguladora del espectro en cada país, sin necesidad de concesión o autorización. Las bandas licenciadas son asignadas mediante un permiso dado por la agencia reguladora del espectro en cada país (ITU, 2008).

Antenas

Una antena es un conductor metálico con la capacidad de radiar y recibir ondas electromagnéticas. Una antena se usa como interfaz entre un transmisor y el espacio libre o entre el espacio libre y un receptor. Este dispositivo envía la energía electromagnética de salida de un transmisor a la atmósfera de la tierra o de la atmósfera a un receptor. Las antenas se comportan de igual forma en las direcciones de transmisión y recepción, característica conocida como reciprocidad (Balanis, 2005). Aunque los parámetros de la antena pueden calcularse teóricamente, normalmente éstos son medidos en laboratorio o simulados mediante herramientas digitales (García-Álvarez, 2023). Los laboratorios que se encargan de la medición de los parámetros de las antenas también son usados para medir la radiación electromagnética proveniente de equipos electrónicos en Cámaras Anecoicas. En Colombia se cuentan con escasos laboratorios de este tipo, como la Cámara Anecoica

de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes (2020), donde se evaluó el nivel de emisión radiada para algunos ventiladores mecánicos, fabricado por distintas ideas colombianas que buscaban atender la emergencia por COVID 19. Estos ensayos se han realizado de acuerdo con la norma IEC 60601-1-2 y son: inmunidad radiada en banda de 80 MHz a 1000 MHz, según la norma genérica IEC 61000-4-3; inmunidad radiada a frecuencias puntuales de 385 MHz, 450 MHz, 710 MHz, 745 MHz, 780 MHz, 810 MHz, 870 MHz y 930 MHz según la norma genérica IEC 61000-4-3; emisiones conducidas de acuerdo con la norma CISPR 11 y emisiones radiadas de acuerdo con la norma CISPR 11 (ITU, 2019). A continuación se ilustran los parámetros de las antenas, utilizados para el diseño de los radioenlaces

- **Radiador isotrópico** Es una fuente puntual de radiación que transmite energía uniformemente en todas las direcciones, la densidad de potencia a una distancia de d metros de una radiador isotrópico que emite con una potencia P_t está dado por la siguiente expresión (Balanis, 2005),

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (3.2)$$

Este parámetro es usado para evaluar el nivel de contaminación por radiación electromagnética. De acuerdo con la Norma IEC 61000-6-3, todo equipo médico podría emitir un nivel de radiación electromagnética, denominado emisiones radiadas, que no afecte los equipos médicos o electrónicos circundantes ni el estado de salud del paciente. Hay estudios que evidencian la necesidad de minimizar estos riesgos debido a que la exposición a estas ondas de radiación electromagnética trae graves consecuencias sobre la salud (IEC, 2019).

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)

La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) es la potencia efectiva emitida en el lóbulo principal de una antena transmisora relativa a un radiador isotrópico que tiene 0dB de ganancia (Balanis, 2005). Se expresa matemáticamente como:

$$PIRE = P_{Tx} * G_A \quad (3.3)$$

Donde P_{Tx} es la potencia de salida del transmisor, medido en vatios (símbolo W), con G_A es la ganancia numérica de la antena transmisora. El último parámetro

tiene unidad adimensional (relación de unidades iguales) y depende de la forma de la antena y de los elementos eléctricos que la componen. Para efectos prácticos, el PIRE se expresa normalmente en términos logarítmicos y es igual a la suma de la ganancia de la antena (medido en dBi) más la potencia (medido en dBm) que sale del transmisor a la antena menos la atenuación del cable de conexión entre el transmisor y la antena (Lehpamer, 2010). La ecuación 3.4 da la expresión para el PIRE en decibeles.

$$PIRE(dB) = P'_{Tx} + G'_A - L \quad (2.4)$$

Donde P'_{Tx} es la potencia de salida del transmisor, medido en decibel-watt (dBW), L es el valor estimado o medido de pérdidas en los cables y conectores entre el transmisor y la antena (dB). Para la ecuación 2.4, la ganancia de la antena G'_A se mide en dBi (Balanis, 2005).

Sensibilidad del receptor

La sensibilidad o umbral del receptor es la mínima potencia de señal (C_{min}) que un receptor puede tener a la entrada para producir una salida útil. La sensibilidad del receptor depende de la potencia del ruido a la entrada, el ruido interno y la sensibilidad al ruido del detector de banda base (voz y datos). La expresión del umbral del receptor C_{min} se da expresa en dBm (García-Álvarez 2024).

$$C_{min} = S/N + N_T \quad (2.5)$$

Con $N_T = KTB$, ruido térmico de fondo del receptor, S/N la relación señal ruido a la entrada del receptor, K es la constante de Boltzman (equivalente a $1.38 \cdot 10^{-23} J/K$), T es la temperatura de receptor en grados Kelvin y B es el ancho de banda del receptor en Hz.

Avances sobre la fabricación de las antenas

Alrededor del año 2000, se desarrollaron nuevos materiales como el grafeno y metamateriales, cuyas características novedosas permiten la fabricación de dispositivos y desarrollos electrónicos de menor tamaño y mejor desempeño. En el

caso de los equipos de transmisión, el diseño con nuevos materiales permite mejorar la compatibilidad electromagnética de dispositivos electrónicos que coexisten en un mismo espacio (Cuasquer y col., 2021; Perruisseau-Carrier, 2012; Kumar y col., 2021; Huang y col., 2012). Los metamateriales son elementos elaborados artificialmente, cuyo propósito es obtener características, especialmente electromagnéticas, no obtenibles en la naturaleza, como es el caso de un valor negativo de permitividad eléctrica o de permeabilidad magnética. Como aplicación específica, se pueden fabricar lentes con índice de refracción negativo o que se conoce como la inversión de la ley de Snell, la desviación del efecto Doppler y la radiación Cherenkov (Li, 2011). Todas estas características han dado paso a aplicaciones tales como cubiertas de invisibilidad electromagnética, cámaras que registran imágenes de súper resolución, paneles almacenadores de radiación solar y paredes absorbentes de ondas electromagnéticas. En el caso de este último dispositivo, Castellanos y colaboradores (2016) obtuvieron absorbentes en la región de microonda, que puede incidir en una frecuencia de 12 GHz encerrando totalmente la señal incidente con una reflexión prácticamente nula.

Radio enlace

El radioenlace es la ruta que sigue una onda electromagnética desde la antena de la estación transmisora hasta la antena de la estación receptora (Paternina y Palacio, 2001). En el espacio libre, se estima que la trayectoria es una línea recta u onda directa. No obstante, la señal transmitida sufre distorsiones al pasar por obstáculos, proporcionales a la longitud de onda de la señal portadora. En consecuencia, al pasar la señal por un obstáculo, ésta se divide en una componente de onda directa, otra porción se dirige hacia la superficie de la tierra donde es reflejada y capturada por la antena receptora; una tercera parte de la señal es enviada al cielo y reflejada por la ionosfera para retornar a la superficie terrestre; otra parte de la señal rodea los obstáculos y eventualmente es también capturada por la antena receptora (Rappaport, 2002). Todas las trayectorias existen en un sistema de radiocomunicaciones, pero algunas son despreciables en determinadas bandas de frecuencias. Las porciones de señal transmitida que no logran alcanzar la antena receptora, por diferentes causas, se estiman como pérdidas (Fernández González, 2007).

Para evaluar la calidad del radioenlace, se utilizan parámetros como la *ganancia del sistema*, que se calcula mediante la diferencia entre la potencia nominal de salida de la estación emisora y la mínima potencia de entrada requerida por la estación receptora en un radioenlace (Torres, 2004). Al igual que el PIRE, la ganancia del sistema se ubica en el espacio logarítmico, por lo que su cálculo se refiere a una suma de potencias:

$$G_s = P_{Tx} - C_{min} \quad (2.5)$$

Donde G_s es la Ganancia de sistema (dB), P_{Tx} se refiere a la potencia de transmisión (dBm) y C_{min} es la sensibilidad especificada para el receptor, medida en dBm.

Además de las pérdidas de potencia que se presentan en el enlace debido a los obstáculos durante la propagación de la onda, se presentan pérdidas debido a las imperfecciones del medio de transmisión en el enlace. El aire de la atmósfera está compuesto de moléculas que, si bien nos provee el oxígeno para respirar y facilita la circulación del agua vital para la vida, son un obstáculo microscópico para las ondas electromagnéticas. La atenuación de una señal electromagnética, a medida que se propaga en línea recta por esta atmósfera no homogénea se llama *pérdida en el espacio libre* (Escobar, 2005). Comparando con las pérdidas por obstáculos, las de espacio libre representan la mayor parte de la atenuación total. La siguiente ecuación, denominado modelo de pérdida en el espacio libre, es usada para calcular la intensidad de señal que llega a la estación receptora cuando el transmisor y el receptor tienen una trayectoria de línea de vista libre de obstáculos sin considerar la absorción o reflexión de la energía por elementos cercanos al enlace. La expresión para la pérdida en el espacio libre Lp como una relación, está dada por

$$Lp = 4\pi d^2/\lambda = 4\pi f d^2/c \quad (2.6)$$

donde d es la distancia entre los extremos del enlace y las variables c y f son la velocidad de propagación de la onda y su frecuencia de oscilación, como se definieron en la ecuación 2.1. Siendo la pérdida una relación, igual que la ganancia, podemos expresarla en dB. Esto se obtiene al aplicar la función logaritmo a ambos lados de la ecuación anterior, obteniendo

$$Lp (dB) = 20 \log \frac{4\pi f d}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

Un valor con menos cálculos se obtiene si se convierten las unidades de frecuencia en MHz y la de la distancia en km,

$$L_{p(dB)} = 32.4 + 20\log f_{[MHz]} + 20\log d_{[Km]} \quad (2.7)$$

Lo anterior indica que las pérdidas dependen enteramente de la frecuencia de transmisión y de la distancia entre los extremos del enlace.

Además de las pérdidas por obstáculos en el enlace y por la simple distancia entre los puntos de transmisión, se incluye el *margen de desvanecimiento* en la ecuación de la ganancia del sistema. Este margen nos permite considerar las variaciones de la intensidad de la señal debidas a características no lineales e impredecibles en la propagación de ondas de radio tales como: propagación multitrayecto (por reflexión de la tierra y de la atmósfera), características del terreno (refracción y difracción) y condiciones atmosféricas (nubosidad, lluvia, polvo). Estas características varían el nivel de pérdidas de espacio libre y deterioran el comportamiento general del sistema, incluida en la ecuación 2.7 como una pérdida y depende de la longitud del enlace.

Diseño de enlaces de microondas

En el diseño de las redes de comunicaciones electrónicas, las estaciones o nodos y enlaces se especifican de acuerdo con los servicios a cubrir, capacidad y tráfico de información, tipo de usuarios, calidad requerida y características topográficas de la zona de ubicación. La ubicación de las estaciones para comunicaciones en microondas debe permitir una línea de vista clara y libre de obstáculos entre ellas, al menos la distancia entre un obstáculo y la zona de Fresnel. Las coordenadas de cada nodo deben tener la precisión adecuada para lograr un buen desempeño de los enlaces electromagnéticos (Driessen, 2000).

Actualmente se cuenta con herramientas digitales que son de gran ayuda en la determinación del modelo de propagación, para el cálculo de la ganancia y pérdida de potencia a través del enlace, de acuerdo con la ubicación de los diferentes nodos de la red backhaul tales como programas computacionales para mapas interactivos, software de simulación de radio enlaces y dispositivos de posicionamiento global

(GPS). Una vez se han determinado los puntos de las estaciones se usa el programa de mapa interactivo para conocer los rasgos geográficos de la zona, es decir la *topografía*, con el objeto de ubicar los puntos más elevados para la ubicación de los soportes de las antenas. Esta primera observación nos permite determinar, de forma preliminar, si existe una línea de vista entre las estaciones y sea necesaria la reubicación de nodos o la inclusión de estaciones repetidoras (Nosratinia, 2004). Con la información topográfica, la longitud del enlace y la calidad o intensidad requerida de la señal en emisión y recepción se simula y determina la viabilidad del enlace mediante el software de simulación. Lo anterior constituye la proyección teórica luego de la cual se debe realizar un estudio de campo con la ayuda de un GPS para confirmar el mapa de red obtenido o repetir el proceso en caso de ser necesario.

El proceso de diseño de una red de microondas es iterativo (Chien 1999). Para realizar este proceso, se utiliza la *prueba de campo*, el cual es un método empírico de ubicación de los puntos más apropiados para la instalación de las estaciones. Usando la propiedad de enrutamiento autogestionable de la tecnología WiBACK, se realizó de forma preliminar una prueba de campo en la zona seleccionada, trazando recorridos entre las poblaciones. Así, mediante un analizador de potencia de la señal en la banda de frecuencia asignada para esta tecnología, se pudo determinar la frecuencia óptima de trabajo. El analizador utiliza un proceso iterativo de barrido del espectro electromagnético, adaptándose a la mejor frecuencia de trabajo disponible y cambiándola cuando haya otro enlace ajeno usando la misma frecuencia que cree interferencia (Cortés Cortés y col., 2021). Este barrido dió como resultado la frecuencia de trabajo $f_{wb} = 5.725$ GHz. Del mismo modo, esta prueba de campo pudo determinar la ubicación del nodo principal de la red backhaul rural, el cual es el punto donde la señal puede llegar a una mayor cantidad de poblaciones, lo que da como resultado una mayor cobertura. Esta prueba de campo arrojó como resultado que el nodo central WiBACK se ubica en la cabecera municipal del municipio de Chalán.

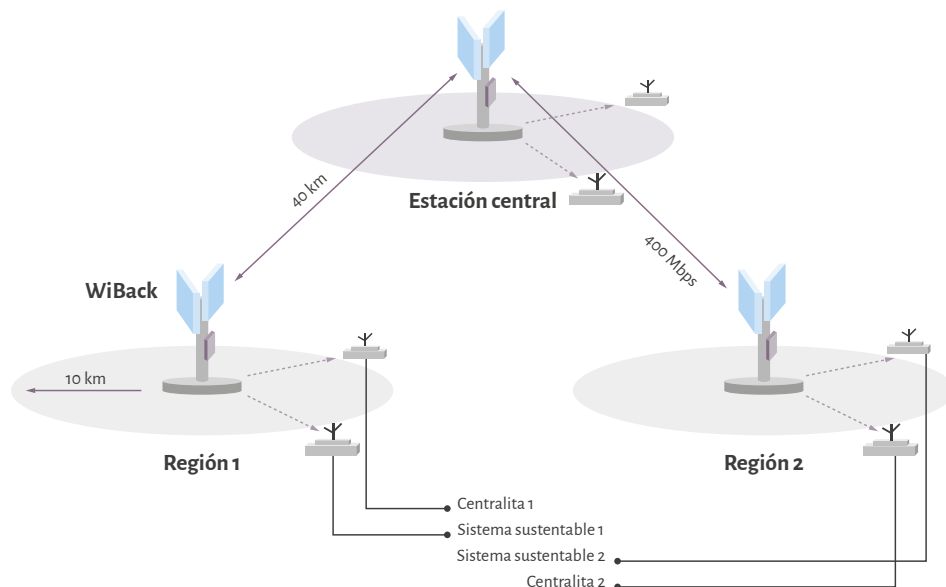
Redes backhaul autogestionables

La solución presentada en este libro se basa en el desarrollo de técnicas de “*backhauling*” inteligentes. Las redes backhaul son capaces de detectar las condiciones del modelo de propagación del enlace (ecuación 2.7) para optimizar los

recursos de red, el cual fue definido anteriormente como "enrutamiento" (Caballero y col., 2014). La tecnología que permite que la red sea autogestionable se llama WiBACK, el cual complementa la red de internet que provee la red central y mejora la cobertura. En la figura 2.1 se presenta la propuesta de red de telecomunicaciones backhaul para conectividad rural utilizando la tecnología WiBACK.

Estableciendo los puntos de transmisión con el apoyo de los enlaces, se realiza el diseño de las antenas. Uno de los parámetros para este tipo de elementos es su alta ganancia en dirección del enlace (ver ecuación 2.4); esto permite definir una configuración espacial, denominado *Topología de red*, como una malla que puede cubrir distancias de cientos de kilómetros. Esta topología también permite ser tolerante a fallos ya que, si algún enlace presenta fallas, el sistema de autogestión tiene la capacidad de trazar enlaces alternativos para mantener la potencia de transmisión. Además, los equipos pueden ser conectados a la red eléctrica o por medio de paneles solares, lo cual brinda menores costos y acceso a lugares donde la energía eléctrica es escasa (Niephaus y col., 2014). Como casos de estudio sobre sistemas sustentables, además de la propuesta para San Andrés de Tumaco, Departamento de Nariño (Findeter, 2015), se cuenta con la experiencia de instalación de estaciones operativas y infraestructuras piloto en regiones que cumplen con los criterios definidos en el capítulo 1 como Maseru - Lesoto en África, Theishohn - Hennef en Alemania y Bunda - Tanzania (Cortés Cortés y col., 2022). En Colombia, la implementación de una red backhaul en la comunidad de Jagua de Iribico Cesar fue pionera, con la participación con la compañía BlazingSoft, Bruneck - Italia (Fraunhofer FIT, 2014).

Figura 2.1: Red de telecomunicaciones Backhaul para conectividad rural.



Fuente: Recreación del modelo ilustrado por Niephaus et al. (2014).

A continuación, se especificará el diseño de una red backhaul para ampliar la conectividad en las áreas rurales seleccionadas, mediante la estrategia tecnológica WiBACK, la cual comprende de dos etapas: i) la proyección teórica, basada en el estudio previo de campo, para presupuestar la cantidad de nodos de red y los enlaces necesarios para la ubicación de los transmisores en poblaciones definidos en el capítulo 1; ii) el cálculo de parámetros previo a las simulaciones de los enlaces según los requerimientos técnicos de la tecnología WiBACK.

Cálculo de potencia mediante datos topográficos

El objeto de determinar con precisión la topografía de la zona es minimizar la proporción de obstáculos que puedan presentarse por cada enlace. En consecuencia, hay un ahorro de energía en los transmisores y habrán técnicas menos complejas para mejorar la ganancia de las antenas y el enrutamiento de la red central. La

información topográfica consiste en un arreglo de datos de las coordenadas exactas de la ubicación de los puntos seleccionados, adquiridas en campo mediante un dispositivo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés). Estos datos son almacenados y ordenados utilizando el programa de digitalización de mapas interactivo Google Earth Pro, de la compañía Google LLC (2020). Este programa, de licencia gratuita y de uso libre, permite al usuario generar el *perfil de elevación*, el cual es el registro topográfico bajo la línea imaginaria trazada entre dos sitios georreferenciados, que simula ser la trayectoria del enlace.

Los datos del perfil de elevación se usan como entradas para el cálculo de la ganancia/pérdida de potencia en el enlace. Este cálculo, para cada uno de los tres enlaces se hace en tiempo reducido y de forma simultánea, gracias al programa *Radio Movable*, el cual es una aplicación en línea (que requiere conexión a internet para su funcionamiento) que toma los datos del mapa generado en Google Earth Pro para calcular la ganancia/pérdida de la potencia en los enlaces que se seleccionan sobre el mismo mapa. El programa Radio Movable utiliza modelos de propagación más precisos que el presentado en la ecuación (2.7), obteniendo una mejor estimación del comportamiento de cada enlace. Específicamente, este programa identifica si hay línea de vista u obstáculos entre la ubicación de los puntos seleccionados para la instalación de las torres (Coudé, 2019). Los datos que entrega este programa son los siguientes:

- Imagen con el perfil de elevación entre cada estación y línea de vista entre ellas,
- Cálculo de ganancia/pérdida de cada enlace.

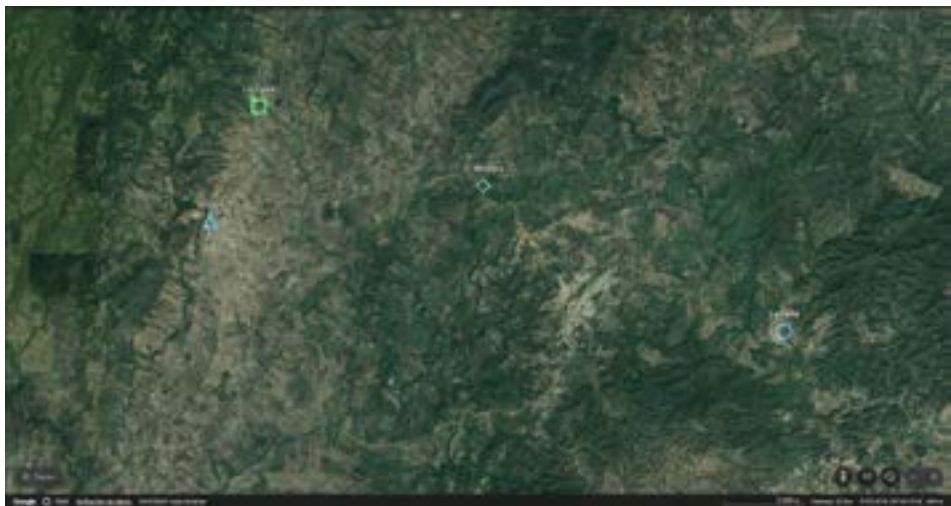
Así, con esta herramienta se tiene una estimación más precisa sobre el comportamiento de los enlaces usando los siguientes parámetros básicos (ver capítulo 2): la frecuencia de operación de los transmisores WiBACK y la distancia de cada uno de los enlaces establecidos. La estimación da como resultado la simulación de los enlaces para interconectar las estaciones en los puntos seleccionados en el capítulo 1. Este programa también ilustra el mapa con la misma interfaz desde Google Earth Pro, con la topografía digitalizada de los sitios seleccionados y los datos de la altura sobre cualquier punto del enlace. Luego de tener las líneas de los enlaces sobre el mapa y levantados los respectivos perfiles de elevación, el programa Radio Movable calcula los valores de ganancia/pérdida de potencia para

cada enlace. Además de la ubicación geográfica con coordenadas de los sitios y la altura de las estructuras (torre o mástil) que soporta las antenas, el programa permite modificar los parámetros de los equipos de transmisión (como la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor de la ecuación 2.5) y de las antenas (sección Antenas, pág. 58). Esto tiene como desventaja que ciertos parámetros están por defecto en el programa, por lo que es necesario hacer una simulación preliminar, para luego ajustar nuevamente, de acuerdo con los parámetros reales, que se obtienen de los catálogos de los equipos y antenas. En el siguiente ejemplo ilustraremos el caso de un enlace que no presenta línea de vista directa entre los puntos, por lo que se realiza un rediseño de la red, comenzando por la instalación de una estación repetidora.

Ejemplo 2.1

En la figura 2.2 se presenta el mapa de la región de análisis, detallando con figuras geométricas de color amarillo la ubicación geográfica de las poblaciones seleccionadas Del capítulo 1. En la Tabla 2.1 se presentan las coordenadas de la cabecera municipal del municipio de Chalán, el corregimiento La Ceiba y el corregimiento La Peña, con sus respectivos símbolos. En la figura 2.2 se ilustra con una línea de color blanco sobre el mapa, el enlace cabecera municipal de Chalán (Triángulo) y el corregimiento La Peña (Círculo). En esa misma figura, se observa el perfil de elevación, generado por el programa Radio Mobile, donde se detalla la falta de línea de vista directa obstaculizada por el Cerro Santafé (Flecha hacia abajo) localizado en las coordenadas 9.535129° latitud y -75.252183° longitud en un predio privado. Esto indica que es necesario instalar una estación repetidora en esas coordenadas. La altitud de las poblaciones se presenta en la Tabla 2.1. Según el estudio de campo, el lugar más apropiado para la instalación de la antena repetidora es el cerro Almagra referenciado en la tabla 2.1 y la figura 2.3 - Rombo. El cerro Almagra está ubicado a 2.15 km del cerro Santafé. Por su ubicación y elevación (380.3 msnm), permite interconectar a Chalán con La Peña, y tiene línea de vista con el corregimiento La Ceiba.

Figura 2.2: Ubicación geográfica de las poblaciones, ubicando las figuras geométricas en los puntos de mayor altura.



Fuente: Réplica del trabajo realizado por Cortés-Cortés (2021).

Tabla 2.1: Coordenadas y referencias de las poblaciones ubicadas en la figura 2.2.

Población	Latitud	Longitud	Símbolo
C. Almagra	9.554300°	-75.251303°	Rombo
Chalán	9.546590°	-75.313040°	Triángulo
La Ceiba	9.569739°	-75.302666°	Cuadrado
La Peña	9.521850°	-75.182983°	Círculo

Cálculo de la altura de las torres en las estaciones

Uno de los parámetros del programa Radio Móvil es la altura de las torres donde se ubican las antenas, ya que entre más elevadas puedan instalarse las torres que soportan los equipos de comunicación, mayor será la distancia de cobertura. Este parámetro de diseño de las estructuras se determina según la proporción del obstáculo que requiere ser evitado de la línea del enlace. De esta forma, aunque no exista línea de vista, la pérdida en el enlace no es significativa como para

determinar que sea necesaria la instalación de una estación repetidora sobre el obstáculo. La altura de la torre es uno de los parámetros para el cálculo de la *zona de Fresnel* (Pareek, 2006), el cual consiste de un área con forma de elipse trazada de forma imaginaria en sentido transversal al obstáculo (corta el obstáculo), con su superficie en plano perpendicular a la línea del enlace. Al dibujar esta zona, se observa que los dos extremos del enlace la ven como si fuese un lente en forma de elipse. Se esperaría que, observándola desde alguno de estos dos puntos, esta elipse imaginaria debería estar completamente despejada para que haya una buena calidad de transmisión; sin embargo, es suficiente con un usando el 60% de despeje. El radio r de la elipse de la zona de Fresnel, medido en metros, se puede calcular con la siguiente ecuación (Tomasi, 2003).

$$r = 0.5\sqrt{\lambda * d} \quad (2.3)$$

Donde λ es la longitud de onda transmitida, medido también en metros. Sin embargo, para esta ecuación, la distancia entre las antenas, variable d , se mide en kilómetros.

Ejemplo 2.2. Tomando los datos del Ejemplo 2.1, La longitud de onda de la señal portadora WiBACK es igual a 52.4 mm. De la figura 2.4, el programa Radio Movable calcula una distancia entre el cerro Almagra (rombo) y La Ceiba (cuadrado) de $d = 8.315$ km. El radio de la elipse de la zona de Fresnel es, reemplazando en la ecuación 2.1, es de $r = 10.43m$. Así, la altura óptima de la torre de la antena (h_t) es:

$$h_t = (60\%)r = 0.6 * 10.43 = 6.26m$$

Para efectos prácticos y de seguridad se establece como parámetro de entrada de estimación del enlace, una altura de la torre de $h'_t = 9$ m.

Diseño de las estaciones

Además de la altura de la torre de la antena por estación, el conjunto de información de entrada para el cálculo de la potencia del enlace consiste en las especificaciones técnicas de los equipos de transmisión WiBACK y de las antenas utilizadas (Brand y

Aghvami, 2002). Al definir de forma inicial el parámetro de frecuencia de operación, los demás parámetros dependen exclusivamente de la hoja técnica de los equipos y de la antena. Siendo más específicos a, los equipos que constituyen el sistema de comunicaciones electrónicas para microondas son las antenas, transmisores, receptores, controladores, fuentes de alimentación y estructuras de soporte o torres (García-Álvarez, 2024). Los parámetros a tener en cuenta en la selección de los equipos son:

- Frecuencia de operación (ver ejemplo 2.1)
- Ganancia de las antenas (ver sección 2.2)
- Longitud de enlaces (ver sección 2.3)
- Potencia de Transmisión
- Sensibilidad de Recepción

También es importante considerar los costos de los equipos, los costos de mantenimiento y operación y el consumo de energía. En este último punto, los controladores y las fuentes de alimentación mencionadas anteriormente juegan un papel fundamental en el diseño de la red.

Para los siguientes ejemplos, se usará el valor de 1 W de potencia (equivalente a 30 dBm) ajustado al límite exigido por la regulación de las comunicaciones en Colombia para enlaces que trabajen bajo la frecuencia de seleccionada de 5.725 MHz (MARS Antennas and RF Systems LTD, 2018). Con base en los valores de Señal Recibida y PIRE se determina el valor de la ganancia del sistema, definido por la Ecuación (2.5) (Tomasi, 2003):

$$G_S = P_{Tx} - C_{min}$$

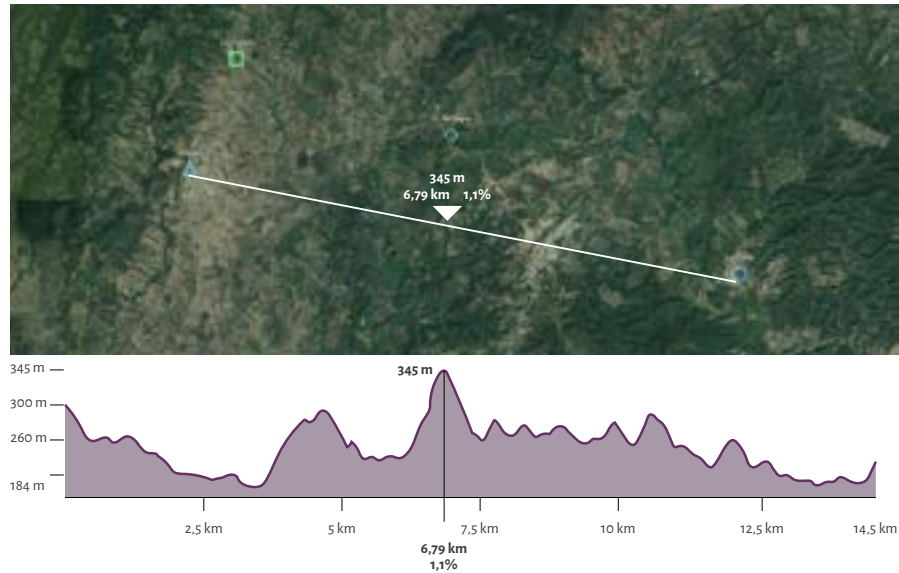
La potencia de transmisión P_{Tx} puede estimarse mediante una variación de la ecuación 2.4

$$P_{Tx} = PIRE + L - G_A \quad (3.2)$$

El valor L es el valor calculado por el software Radio Mobile, añadiendo las pérdidas que comúnmente se dan en los cables y conectores, que pueden variar en torno a la calidad de los mismos. La ganancia de la antena GA se obtiene de la hoja de datos técnicos de la antena a utilizar

Ejemplo 2.3. Para la instalación de la red sobre las localidades ubicadas en el mapa de la figura 2.3, se tiene la hoja de datos de los equipos de la compañía Blazing Soft (2014) y el FIT (2017). De esa hoja, se extrajeron los parámetros técnicos de los equipos WiBACK requeridos para el programa Radio Mobile, los cuales se presentan en las tabla 2.2, junto con los valores de elevación de la tabla 2.3. Con estos datos, se ajustan los parámetros de simulación de los enlaces, arrojando una reconfiguración de los mismos. En la figura 2.4 se presenta la nueva proyección de los enlaces para realizar la interconexión de las poblaciones, a los cuales se les ha asignado una nomenclatura como se describe en la tabla 2.4.

Figura 2.3: Perfil de elevación entre el municipio de Chalán (izquierda) y el corregimiento La Peña (derecha); en medio el Cerro Santafé (flecha hacia abajo) Ovejas, Sucre - Colombia.



Fuente: Réplica del trabajo realizado por Cortés-Cortés (2021).

Tabla 2.2: Características de los equipos WiBACK

Característica	Valor	Unidad
Rango de frecuencias	5180-5800	MHz
Potencia de transmisión	30	dBm
Ganancia de antena	23	dBi
C. Sensibilidad de recepción	-96	dB

Tabla 2.3: Altitud poblaciones referente al perfil de elevación de la figura 2.3

Población	Altitud	Símbolo
Chalan	294.4 msnm	Triángulo
C. Santafé	345 msnm	Flecha hacia abajo
La Peña	224.6 msnm	Círculo
C. Almagra	380.3 msnm	Rombo
La Ceiba	308.9 msnm	Cuadrado

Figura 2.4: Ubicación de sitios y enlaces inalámbricos.



Fuente: Réplica del trabajo realizado por Cortés-Cortés (2021).

Tabla 2.4: Origen y destino enlaces red backhaul referenciados en la figura 2.4.

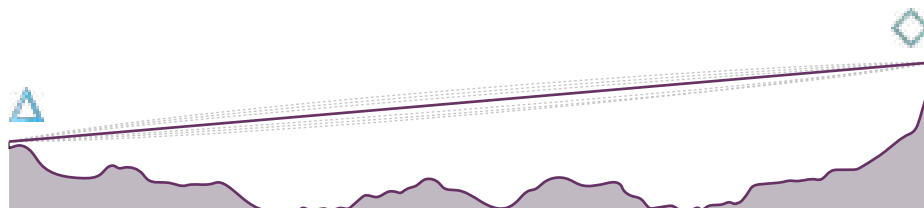
Enlace	Origen	Destino	Color
1	Chalán	C. Almagra	Cian
2	C. Almagra	La Ceiba	Amarillo
3	C. Almagra	La Peña	Verde

Ejemplo 3.4 Enlace 1: Chalán - Repetidora Cerro Almagra

El primer enlace tiene una distancia de 6.824 km desde la ubicación del nodo en la cabecera municipal del municipio de Chalán hasta la torre repetidora ubicada en el cerro Almagra. Localizado junto al polideportivo de la plaza del municipio de Chalán se ubican el nodo principal WiBACK y la antena de panel, para los que se calculó la elevación del mástil en 9 m sobre el nivel del suelo. Con una elevación de 30 m sobre el nivel del suelo se calculó la elevación de la torre repetidora ubicada en el cerro Almagra; elevación suficiente para instalar la repetidora y hacer posible el enlace hacia los corregimientos de La Peña (Ovejas) y La Ceiba (Chalán), y contemplar además la posibilidad de escalar la red a futuro.

En la figura 2.5 se presenta la representación del enlace entre la cabecera municipal del municipio Chalán (triángulo) y la repetidora ubicada en el cerro Almagra (rombo), y la línea de vista clara entre ambas ubicaciones.

**Figura 2.5: Perfil de elevación y línea de vista Enlace 1:
Chalán - Repetidora Cerro Almagra.**



Fuente: Réplica del trabajo realizado por Cortés-Cortés et. al (2021).

El desempeño teórico del comportamiento de las señales simulado en el software Radio Mobile para el Enlace 1, indica una transmisión exitosa según los valores teóricos presentados en la Tabla 2.5. El valor del parámetro de Señal recibida (-81.67 dBm) supera a la sensibilidad de -96 dBi para los receptores WiBACK desarrollados en el FIT (2017). En conjunto, la potencia transmitida y la sensibilidad nominal del receptor son suficientes para una transmisión exitosa, incluso con un margen de escucha de 14.33 dBm, que es la diferencia entre estos dos valores. Es decir, que con el nivel de señal que llega al receptor (-81.67 dBm), hay un margen de error para pérdidas no previstas de 14.33 dBm, que es la diferencia para llegar al nivel mínimo que puede detectar el receptor (-96 dBi).

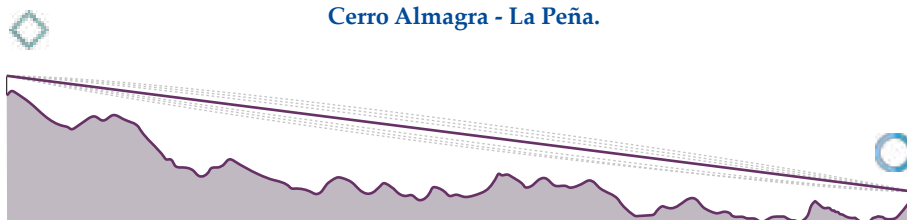
Tabla 2.5: Valores teóricos del comportamiento de la señal del enlace Chalán - Almagra. Generados por Radio Mobile.

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia	6,824	Km
Precisión	10	m
Frecuencia	5725	MHz
PIRE	1	W
Ganancia del Sistema	146,00	dB
Fiabilidad	70	%
Señal Recibida	-81,67	dBm
Margen de Escucha	14,33	dB

Ejemplo 2.5 Enlace 2: Repetidora Cerro Almagra - La Peña

El segundo enlace está conformado por los nodos de la Repetidora del cerro Almagra y el corregimiento La Peña, ambos pertenecientes al municipio de Ovejas. Se calculó una distancia de 8.315 km entre nodos y finaliza en una estructura elevada de 9 m sobre el nivel del suelo, ubicada en el corregimiento La Peña. El nodo ubicado en el corregimiento soportará el nodo WiBACK y los equipos de acceso a la red por parte de los usuarios, por ejemplo, una antena omnidireccional o varias sectoriales que cubren un radio de 2 km en la banda de 2.4 GHz para facilitar la conexión de todos los dispositivos que cuenten con acceso a WiFi.

Figura 2.6: Perfil de elevación y línea de vista Enlace 2: Repetidora Cerro Almagra - La Peña.



Fuente: Réplica del trabajo realizado por Cortés-Cortés et. al (2021).

En la figura 2.6 se presenta el enlace entre la repetidora ubicada en el cerro Almagra (rombo) y el corregimiento La Peña (círculo), y la línea de vista clara entre ambas ubicaciones.

En el segundo enlace se prevé una Señal recibida de -78.50 dBm, valor que se encuentra dentro del rango de escucha admisible de los receptores (-96 dBi) que, de acuerdo con la guía del FIT (2017), es lo que se espera en un enlace inalámbrico. Observando la diferencia de valores entre la señal recibida y la sensibilidad del receptor, se determina el margen de escucha de 17.50 dB, como se especifica en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Valores teóricos del comportamiento de la señal del enlace Almagra - La Peña. Generados por Radio Mobile.

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia	8,315	Km
Precisión	10	m
Frecuencia	5725	MHz
PIRE	1	W
Ganancia del Sistema	146,00	dB
Fiabilidad	70	%
Señal Recibida	-78,50	dBm
Margen de Escucha	17,50	dB

El corregimiento La Peña no cuenta con acceso a la red de distribución de energía eléctrica comercial en el punto escogido para la instalación, por lo tanto, se instalará un sistema de generación de energía solar fotovoltaica para la alimentación de los equipos.

Ejemplo 2.6 Enlace 3: Repetidora Cerro Almagro – La Ceiba

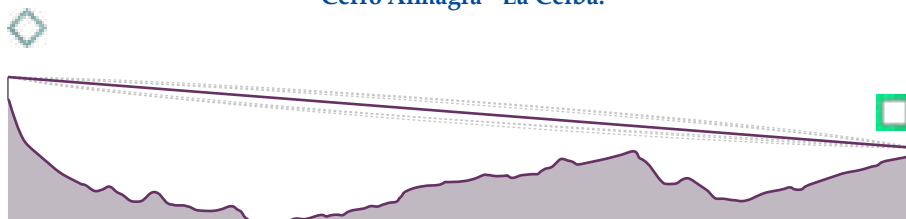
Por último, el tercer enlace, planeado desde la estación repetidora hacia La Ceiba (Corregimiento de Chalán) tiene una longitud calculada de alrededor de 6 km. En este sitio se debe concretar un enlace con una antena instalada a 9 m de altura sobre el suelo. En la figura 2.7 se observa la representación del enlace entre la repetidora ubicada en el cerro Almagra (rombo) y el corregimiento La Ceiba (cuadrado), y la línea de vista clara entre ambas ubicaciones. En esta tercera simulación, el valor de la Señal recibida (-79.99 dBm) es intermedio entre los enlaces 1 y 2, calculados en -81.66 dBm y -78.50 dBm, respectivamente. Por ende, también lo es el margen de escucha (16.01 dB), debido a que el valor de -96 dBi de sensibilidad del receptor

se mantiene al ser la misma referencia del equipo. En la Tabla 2.7 se presentan los valores calculados.

Tabla 2.7: Valores teóricos del comportamiento de la señal del enlace Almagra – La Ceiba. Generados por Radio Mobile.

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia	5,888	Km
Precisión	10	m
Frecuencia	5725	MHz
PIRE	1	W
Ganancia del Sistema	146,00	dB
Fiabilidad	70	%
Señal Recibida	-79,99	dBm
Margen de Escucha	16,01	dB

Figura 2.7: Perfil de elevación y línea de vista Enlace 3: Repetidora Cerro Almagra - La Ceiba.



Fuente: Réplica del trabajo realizado por Cortés-Cortés et. al (2021).

Hasta este momento, se han definido los mecanismos para el diseño de la red backhaul según las necesidades de cobertura sobre las poblaciones seleccionadas. Así, basado en una proyección teórica, se ha determinado el número de estaciones necesarias para mantener la potencia en los enlaces de cada red inalámbrica backhaul. Así, esta proyección entrega como resultado la cantidad y la ubicación de puntos para realizar la interconexión entre las poblaciones objeto del proyecto (capítulo 1): la cabecera municipal y el corregimiento La Ceiba en el municipio de Chalán y el corregimiento La Peña en el municipio de Ovejas. A continuación, se ilustra el proceso de diseño del sistema sustentable.

Diseño del sistema fotovoltaico

A continuación se ilustra un ejemplo de diseño del panel solar en un sistema fotovoltaico, usualmente detallado en varias herramientas virtuales en línea (Carmona y col., 2021). La solución con procedimientos de resolución se ilustra a continuación.

Caso de estudio: panel solar

Se requiere diseñar un sistema que suministre energía eléctrica a una población de 4 500 personas mediante paneles solares. Estime el área en acres requerido para una configuración (array) de celdas solares para almacenar y proveer suficiente energía diaria para esta población.

Nodo de Decisión 1: Reconocer y entender el problema.

Para solucionar el problema, se debe considerar si este problema tiene la información completa. Para esto, se solicita al alumno que seleccione alguna de las siguientes opciones:

Opción A. Consulta sobre las variables del problema, y si son competencia de su disciplina profesional.

Opción B. Acepta la propuesta sin consultar sobre la situación del problema.

Opción C. Determina que es más económico conectar esta población a la Red Eléctrica regional.

Cuando se consulta sobre las variables del problema (respuesta correcta - Opción A), reconoce el nivel de complejidad y determina su capacidad para resolverlo. Se recolecta la siguiente información: Las 4 500 personas viven en una comunidad con poco acceso a vías de transporte, alejado de fuentes generadoras de energía eléctrica (hidroeléctrica, termoeléctrica). El sector productivo de la comunidad es el agrícola, por lo que hay opción de utilizar generadores usando biodigestores. Sin embargo, la población está geolocalizada favorablemente para que se pueda proveer luz solar durante 8 horas al día y tiene terrenos donde puede ubicarse

una granja de paneles solares. El problema requiere un ingeniero electricista, que sea competente con su área de trabajo. Como resultado, se le indica al capacitado, que puede continuar con el diseño en el Nodo de Decisión 2.

En el caso que se acepte la propuesta sin consultar sobre la situación de la población (respuesta incorrecta - Opción B), se decide comprar los paneles solares y equipos que considera sirven para proveer electricidad a esa comunidad con los recursos otorgados. Eso implica que debe hacer ajustes en el montaje y sobrecostos por los imprevistos y correcciones. Debe responder ante las autoridades correspondientes, por lo que el diseño es inviable ante los propósitos del proyecto. Al determinar que es más económico conectar la población a la Red Eléctrica Regional (respuesta incorrecta - Opción C), soluciona el problema, pero esta solución requiere de sobrecostos de conexión que excedan el presupuesto del proyecto, que probablemente usted debe asumir. Debe responder ante las autoridades correspondientes. Igual resultado que la Opción B.

Nodo de decisión 2: Acumular datos y verificar exactitud

Es importante conocer el contexto del problema, así como sus costos. Frente a esto, Se confronta al estudiante para que seleccione alguna de las siguientes opciones:

Opción D. Contrata directamente para la compra de varios paneles solares que suministran la cantidad de energía requerida.

Opción E. Recoge información sobre los hábitos de consumo de la población.

Opción F. Asume un valor de potencia y se ajusta a un presupuesto.

Al contratar directamente la compra de varios paneles, determina un valor de potencia que estos paneles pueden entregar (respuesta incorrecta - Opción D), usted contrata con un proveedor para instalar un sistema que entregue una potencia de acuerdo con el número de paneles asumidos. Al no conocer la demanda de potencia de la población, puede que la instalación sea sobredimensionada para el consumo diario, o por el contrario se requiere otro contrato para instalar paneles adicionales para suplir la demanda. Debe responder ante las autoridades correspondientes, por lo que el diseño es inviable ante los propósitos del proyecto.

Al decidir recoger información sobre los hábitos de consumo (respuesta correcta - Opción E), de acuerdo a un reporte del Ministerio de Minas y Energía, se obtiene que la energía que consume un hogar al año es de 13000 kW·h, y que en promedio hay tres personas por hogar. Por lo tanto, 4 500 personas equivalen a 1 500 hogares. El consumo anual es: $E_t = (13\ 000\ \text{kW}\cdot\text{h} / (\text{hogar}\cdot\text{año})) * 1\ 500\ \text{hogares} = 19.5\cdot 10^6\ \text{kW}\cdot\text{h} / \text{año}$. En un día, requiere suministrar a las 4 500 personas el equivalente a:

$$E_d = (19.5 \cdot 10^6\ \text{kW} \cdot \text{h} / \text{año}) / (365\ \text{días/año}) = 53\ 425\ \text{kW} \cdot \text{h} / \text{día}$$

Como resultado, se puede ir al Nodo de Decisión 3.

Al asumir un valor de potencia (opción incorrecta - F) sin conocer el consumo real de la población, por lo que compra un sistema de panel solar que se ajuste a ese valor de potencia. Al no conocer la demanda de potencia de la población, puede que la instalación sea sobredimensionada para el consumo diario, o por el contrario se requiere comprar paneles adicionales para suplir la demanda. Debe responder ante las autoridades correspondientes, por lo que el diseño es inviable ante los propósitos del proyecto.

Nodo de decisión 3: Seleccionar la teoría o principio adecuado.

Conociendo el valor diario de energía que consume una población de 45 mil personas, el estudiante selecciona alguna de las siguientes opciones:

Opción G. Puede contratar una empresa que realice la instalación.

Opción H. Estudia la teoría requerida para proceder con la solución.

Cuando usted contrata una empresa para realizar la instalación (Opción G), gran parte de los recursos del proyecto irán destinados a los requerimientos de la empresa para la instalación, llegando al caso de sobrecostos operativos que usted debe asumir. El sistema instalado satisface las condiciones del problema, más su proceso de experticia no fue realizado (falta en el test ético de Virtud), algo parecido a que usted mande a hacer las tareas que le asignan.

Si usted decide estudiar y prepararse para realizar el diseño (Opción H), toma asignaturas relacionadas con la solución del problema, en especial debe conocer los siguientes conceptos: semiconductores, panel solar, inversor, batería, circuito eléctrico, voltaje, corriente eléctrica, conductores. Además, comprender los diferentes fenómenos que suceden en el panel solar, a modo de entender por qué la eficiencia en un panel es bajo (solo alrededor del 12% de la energía que llega del sol se utiliza). Acto seguido, consulte en el mercado sobre un panel solar que tenga la mayor eficiencia, económico y que pueda producir la mayor cantidad de potencia posible. Se le propone al alumno que elija una de las siguientes propuestas:

- Eficiencia 16% Potencia 250 W
- Eficiencia 14% Potencia 200 W
- Eficiencia 15% Potencia 300 W

Procede por consiguiente a resolver el problema: diferentes tamaños de paneles solares producen diferente cantidad de potencia. Para encontrar el tamaño del panel, se requiere la energía requerida diaria (El calculado en el nodo de decisión anterior) para la población y un “factor de generación” (GF) que depende de la ubicación geográfica y factores climáticos de la población.

- Paso 1. Calcular el nivel de potencia máximo para los paneles (P_m), al dividir P_{max} entre GF.
- Paso 2. Calcular el número de paneles solares requeridos. Divida P_m por la potencia que entrega cada panel.
- Paso 3. Redondee hacia el entero más alto. Si se instalan más paneles habrá un mejor desempeño y mayor duración de la batería.

Aspectos sobre la implementación del sistema

A pesar de realizar el diseño con paneles solares, en ciertos casos se tomó la Opción C. Por ejemplo, la alimentación de los equipos en La Ceiba es tomada

de la red de distribución eléctrica comercial, ya que la torre está ubicada dentro del casco urbano, en donde hay cobertura de la red central. Sin embargo, en geografías diversas como la de Colombia, donde se necesita llevar conectividad, WiBACK es una herramienta que puede utilizar sistemas energéticos diferentes a la red convencional. Esta ventaja se debe a las características que ofrece, como la capacidad de autoajustar su frecuencia y el bajo consumo de energía. Se destaca en esta última característica, que los nodos WiBACK son eficientes en el consumo de energía porque autorregulan la potencia de transmisión, lo que hace a esta tecnología ideal para funcionar con fuentes de energía no convencional como la energía solar fotovoltaica (Fraunhofer Institute for Applied Information Technology - FIT, 2020). El uso de energía no convencional hace de esta tecnología el candidato para instalaciones rurales, en zonas donde no hay acceso a la red de distribución de energía eléctrica comercial o la prestación del servicio es inestable. La alimentación de los equipos de la torre repetidora en el cerro Almagra y los ubicados en La Peña, se planea obtener mediante energía solar, ya que están ubicados en cerros y el acceso a la red comercial se hace más difícil. Mientras que los de Chalán y La Ceiba sí se alimentarán de la red comercial, al estar éstos en ubicaciones de fácil acceso dentro de áreas pobladas. Todas éstas características, sumadas a la condición de territorios como los municipios de Ovejas y Chalán, que han sido zonas afectadas por el conflicto armado en Colombia por años, hacen que la implementación de una red backhaul sea una oportunidad para que estas poblaciones den un paso hacia adelante para aminorar la brecha digital a la que se han visto relegados debido al poco alcance de la cobertura de conectividad por parte de operadores comerciales; alejados por el dominio de grupos armados al margen de la ley. Adicional a las capacidades técnicas de esta tecnología, como la opción de poder usar bandas de frecuencia de uso libre, otra ventaja de WiBACK es la capacidad de reducir costos de instalación gracias a la versatilidad que tienen los nodos para ser instalados, no sólo en torres, sino también en otros tipos de estructuras como mástiles, edificios o estructuras elevadas. Si a esto se le suma un adecuado trabajo de campo para visitar los sitios candidatos y un estudio de previsión teórica, ayudado por software de uso libre, se pueden reducir aún más los costos de implementación, con el correspondiente ahorro en los pagos de licencias de los mismos. Con estas ventajas, se obtiene una reducción en la cantidad de desplazamientos en zonas rurales, que pueden llegar a ser elevados dependiendo de la dificultad de acceso en las zonas.

A photograph of two men in a server room. The man on the left is wearing a white hard hat and a white shirt. The man on the right is wearing a black face mask, a light-colored long-sleeved shirt, and a black watch. He is holding a black server component. In the background, there are server racks with blue cables and a window with a metal mesh. A semi-transparent white banner with the text 'Capítulo 3' is overlaid on the image.

Capítulo 3

Desarrollo de la plataforma de capacitación virtual

Este capítulo presenta los conceptos técnicos y pedagógicos que conllevaron a la creación de la plataforma de capacitación. Para llevar la tecnología al conocimiento de las comunidades, se propuso un modelo de simulación de psicología del aprendizaje, planteada para la mejora de la enseñanza en programas técnicos y tecnológicos (García-Álvarez y Guerrero, 2005). Esta metodología se ha implementado para diferentes escenarios, de tal manera que sea adaptable a las diferentes necesidades de capacitación. El modelo consiste en un proceso iterativo de pensamiento crítico, entendido como la capacidad de un individuo para creer, pensar o hacer algo y se fundamenta en la elaboración de juicios a la hora de tomar decisiones, como se hace actualmente para entrenar las plataformas de Inteligencia Artificial - AI. Esta habilidad congrega una gran variedad de otras capacidades del pensamiento, incluidas las habilidades creativas, de interpretación y comprensión, las cuales pueden fortalecerse a partir de estrategias pedagógicas que estimulen a los estudiantes a tomar decisiones y evaluar las posibles consecuencias de sus actos. Como tal, esta habilidad se limita al nivel de conocimientos de los estudiantes y se potencia con la edad y los conocimientos adquiridos por la persona a lo largo de su vida (García-Álvarez, 2018). En ese sentido, elementos tales como la objetividad y pertinencia de un juicio sobre una situación, decisión o argumento en el campo científico, dependen exclusivamente del nivel de formación del individuo sobre aquello sobre lo cual pretende ejercer su crítica.

Aspectos preliminares

Se considera la implementación de estas capacitaciones como un desafío, porque se pretende implementar una pedagogía de innovación que permita fortalecer habilidades críticas y creativas en la comunidad rural, cuyos núcleos de conocimiento y antecedentes epistémicos son bastante diferentes. Con el fin de poder dar alcance a los objetivos del proyecto, es necesario pensar en estrategias pedagógicas que sean fácilmente replicables en distintas disciplinas y campos del saber, con el fin de obtener resultados similares en cuanto al desarrollo de las habilidades se refiere. Así mismo, es importante reconocer el reto que supone la implementación de un nuevo modelo pedagógico sin menguar en la calidad educativa y mantener el rigor de la academia. Para ello, es importante tener en cuenta que no es posible replicar de manera exacta cada uno de los ejercicios propuestos, pero sí es posible generar dispositivos similares que, aplicados a cada uno de los campos del conocimiento, podamos ver los avances del estudiante y el desarrollo de sus habilidades.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que esta metodología puede aplicarse tanto a ambientes de aprendizaje físicos como virtuales, es la que se desarrolla con el modelo de la escuela activa-conectivista y bajo la metodología de escuela nueva. En ella, los estudiantes son gestores de su propia formación y, a partir de la orientación de los profesores, aprenden y fortalecen sus habilidades por medio de la solución de problemas (Garcés-Gómez, y col., 2021), que los invitan a seguir aprendiendo y a evaluar las dificultades con las cuales se podrían encontrar, a la hora de tomar decisiones que tengan que ver con su formación profesional.

Metodología de resolución de problemas

En el área de ingeniería es común aplicar la Taxonomía de Bloom para el proceso de diseño (Eide y col., 2023). Desarrollado por Benjamin Bloom por la década de los 1950s como un paralelo al Método Científico, esta Taxonomía permite formular preguntas de acuerdo con el nivel cognitivo que se desea alcanzar por parte del estudiante. De acuerdo con la gráfica, las preguntas determinan el nivel metacognitivo que se espera alcanzar por parte del estudiante, permitiéndole dar una visión sobre la forma de diseñar las soluciones a problemas relacionados con

los casos de estudio. Esta taxonomía está compuesta de dos grupos: en el grupo de pensamiento convergente (recolección de información, comprensión, aplicación y análisis), el estudiante filtra y acota el problema, permitiéndole un análisis directo y claro sobre el problema, además de la aplicabilidad del caso de estudio en el problema; en el grupo de pensamiento divergente (síntesis y evaluación), el estudiante procesa la información y produce/crea nuevos aspectos y hallazgos que no hacen parte de la información inicial. En la síntesis, el estudiante reúne y relaciona las alternativas que surgen para la solución del problema.

En la etapa evaluativa de la Taxonomía utilizamos *test éticos* (Drake, 2005), ya que se busca un enfoque humanístico en la resolución de problemas. Los Test Éticos (Ethical Decision Test) son una serie de preguntas orientadas a evaluar la capacidad del diseñador o estudiante sobre el objeto real de la solución de problemas. Este proyecto se enfoca en dos de ellos para el área de ingeniería: evaluación de virtud (Virtue test) -¿En qué me convertiría si escogiera esta opción frecuentemente? y evaluación profesional (Professional test)- ¿Qué podría decir mi comité de ética profesional sobre esta opción?

La proyección para final del 2020 y principio de 2021 fue la elaboración de una herramienta de virtualización de una de las salas del Laboratorio de Electricidad y Electrónica de la Sede Manizales (2021) que evalúe el proceso cognitivo de los estudiantes. Esto posibilita el uso del laboratorio de forma remota. Esta meta se logró al implementar dos mesas automatizadas en la Sala de Máquinas y Accionamientos del Laboratorio de Electricidad y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, además de la creación de una herramienta virtual de aprendizaje, que se basa en aprender jugando o gamificador que cumple con las funciones de interfaz hombre máquina, denominado HMI, de una de las mesas automatizadas.

Frente a lo realizado, el gamificador fue diseñado a través de un proceso cognitivo y metacognitivo, aplicando la taxonomía de Bloom. En esta ocasión la herramienta realizada permitió comunicar el conocimiento en el área de ingeniería eléctrica y electrónica de una forma más comprensiva, apoyándose en las TICs, que va desde los conceptos básicos, pasando por la autoevaluación, un paso a paso de un montaje práctico, terminando con un video de la práctica real. Este entorno permitió establecer un mecanismo que acerca a los estudiantes, que en sus carreras requieren prácticas en laboratorio, pero que por motivos de fuerza mayor no

pueden tener acceso a los espacios presenciales, el cual fue utilizado durante el periodo de confinamiento entre el 2020 y el 2021. La herramienta también permite tener un aprendizaje teórico- práctico de forma virtual, aportando así a su formación integral.

Ejemplo de aplicación de la metodología de enseñanza

Un año antes de la situación de confinamiento por la pandemia (marzo 2019), el Laboratorio de Electricidad y Electrónica implementó un plan de Guías Oficiales de Laboratorio que permitió a los estudiantes realizar prácticas relacionadas con un tema en común, en lugar de una asignatura. Esto hizo que se crearan varios proyectos, denominados transversales, que involucran varias prácticas oficiales en la elaboración de un prototipo o experimento, denominado *caso de estudio*. Durante la situación de confinamiento (2020), estos proyectos transversales fueron forzados a ser presentados en la virtualidad o en modalidad de acceso remoto de equipos. La primera solución fue la más efectiva, debido a que hubo una reducción de gasto y medidas de austeridad que impidieron que se pudieran conseguir los equipos necesarios para el acceso remoto de los experimentos. Como resultado, las herramientas virtuales implementadas evidenciaron los efectos de los cursos no-presenciales: para el primer caso de estudio -Control de velocidad de motores, la primera herramienta virtual implementada consistió en un juego de aprendizaje sobre la selección de un dispositivo para la protección eléctrica de un circuito de accionamiento de motor; la segunda, presentada en el Congreso Nacional de Iniciativas de Innovación Pedagógica en la Universidad Nacional de Colombia (Dallos Loaiza y col., 2021), consiste en la capacitación para la instalación de un variador de velocidad sobre un circuito de accionamiento de motor. Esta segunda tuvo un gran impacto, con comentarios favorables en el foro del congreso. De los registros de comentarios más relevantes hasta el 10 de marzo de 2021 se extraen las siguientes:

“Este proyecto me parece muy importante porque está orientado por procesos de investigación, y está destinado a cursos de Educación Superior en el campo de la Ingeniería. Es una propuesta interesante para abordar el desarrollo y uso de herramientas pedagógicas basadas en las tecnologías.” Luis Alexander Jiménez Hernández martes, 16 de febrero de 2021, 11:00

“(…) Considero que las herramientas digitales que desarrollan son muy completas y (...) sé cuánto ayudan estos videos con explicaciones concisas, texto, señales y fotografías reales del tema tratado, a cualquier estudiante de cualquier carrera, por lo que aplaudo su iniciativa.” Inés María Méndez Álvarez - martes, 16 de febrero de 2021, 11:11

“(…) se puede replicar en otros campos de estudio que también requieren un aprendizaje práctico y metodológico y que por temas de pandemia o por distancia, recursos, etc. no pueden acceder a las herramientas de manera física.” Ariana Valentina Cuellar Lopez - martes, 16 de febrero de 2021, 17:08

“(…) en estos momentos, de más virtualidad que presencialidad, ésta puede ser una herramienta bastante útil, para el caso de los laboratorios, donde se requiere que el estudiante tenga un acercamiento directo con los equipos, para el desarrollo de sus trabajos de grado e investigación, para lo cual se necesita de cierta experticia para su manejo. (...) poder contar con simuladores, para algunos de los equipos especializados en primera instancia.” Maria Enith Arias Jaramillo - jueves, 18 de febrero de 2021, 09:09

“Creo que la pandemia fue el catalizador para presionar el desarrollo de herramientas digitales muy completas como la expuesta en esta iniciativa que se pueden utilizar en otras áreas, cuando no es posible disponer de los recursos.” Maria Cecilia Carvajal Barbosa - viernes, 19 de febrero de 2021, 15:28

“Muy buena herramienta, sobre todo para la familiarización de los estudiantes con los equipos antes de interactuar con los mismos y el fortalecimiento de los conocimientos teóricos en la medida que se avanza en la aplicación (...)”. Juan Camilo Delgado Saavedra - domingo, 7 de marzo de 2021, 23:31

“Las herramientas y estrategias compartidas en este espacio aunque provienen de una disciplina distinta a la propia me hacen pensar en posibilidades de innovación para mi campo de acción educativa.” Monica Marcell Romero Sanchez - sábado, 20 de febrero de 2021, 07:26

Módulo de capacitación sobre el control del motor

La implementación de la interfaz del control de velocidad de motores trifásicos brinda como resultado, la facilidad del uso de la interfaz es más importante en el contexto del aprendizaje y la cognición en comparación con la fluidez de navegación (Budhu,2000). La modularidad y la personalización del sistema son importantes y los laboratorios virtuales deben atender las diferencias individuales en los estudiantes y sus niveles. Las funciones de ayuda pueden proporcionar orientación y apoyo en tiempo real (Keller y Keller, 2005). El gamificador describe de cada componente del sistema (Motor, PLC, variador de frecuencia e interfaz gráfica), además de la carga del programa en las demás mesas del laboratorio de máquinas del laboratorio de electricidad y electrónica, sede Manizales. Posterior a la puesta en marcha del motor controlado por el PLC y el variador Sinamic V20, se procedió a hacer un registro fotográfico del montaje físico, explicado paso a paso (con el objetivo de ser replicada y virtualizado a través de Gamificación). Además, también se realizó un registro fotográfico (pantallazos) y explicativo de cada una de las partes de la interfaz gráfica realizada en TIA PORTAL V15. Todo lo anterior quedó consignado en un documento en línea denominado “Conexión control de velocidad motor”. Estas actividades son complementarias a las realizadas el mes de septiembre de 2020: instalación de dos mesas de accionamiento de motores DC y trifásicos, con propiedades de conexión remota para controlar la velocidad de los motores y demostración virtual del funcionamiento de los motores conectados a la mesa. Esto permite la implementación de los entornos virtuales de los caso de estudio y actividades de gamificación del proceso de diseño.

En los procesos de enseñanza y aprendizaje, la integración de tecnologías replantea las metodologías tradicionales al repensar el accionar educativo, lo que comporta retos y novedades a todos los actores, determinando nuevos roles para los profesores y los estudiantes, soportados por el papel mediador que juega la tecnología.

Evaluación y Retroalimentación. Por parte del grupo de profesores y el equipo del proyecto, además de los estudiantes que participaron en las asignaturas y actividades realizadas. La herramienta interactiva cuenta con un formulario al final, que permite al usuario aportar información sobre su forma de aprendizaje y sobre cómo la herramienta impactó en su aprendizaje. Se recibió retroalimentación por parte de los usuarios en especial en el Congreso Nacional de Iniciativas de innovación pedagógica de la Universidad Nacional, además que funcionó como

motivador entre los participantes, quienes manifestaron la replicabilidad de la metodología y de la herramienta en otras áreas del conocimiento, además de la posibilidad de llevarla a otros entornos como laboratorios virtuales de aprendizaje. La experiencia con los cursos fue satisfactoria pues permitió en la marcha realizar correcciones a la herramienta que facilitarían el aprendizaje de los estudiantes en la forma en cómo se organizaban y evaluaban los contenidos presentados.

Proceso de diseño del gamificador

Como resultado del trabajo colaborativo adelantado por parte del equipo del proyecto y sus estudiantes, se obtiene el desarrollo de una herramienta interactiva tipo gamificador, facilitada a través de plataformas como Genially. Esto permite organizar el contenido técnico de forma entendible para quienes no tienen conocimientos previos de un tema determinado, como en este caso temas relacionados con ingeniería eléctrica. Consideramos que se está cumpliendo con el objetivo propuesto, pues esta herramienta no solo sirve para quienes estudian ingeniería, sino se espera que el conocimiento sea para todos, con semejanza o acercamiento a una práctica real. En eventos como el Congreso Internacional Dokuma 2020 y a las versiones del Congreso Internacional de Innovación Educativa CIIE 2018, 2020 y 2022, se obtuvieron conocimientos y experiencias en los temas relacionados con educación virtual, herramientas de juego virtual aplicados en la enseñanza y didáctica para entornos virtuales. Las siguientes fueron las experiencias adquiridas a lo largo del proceso de diseño del gamificador:

- En el congreso Dokuma, se exploraron los siguientes aspectos: Innovación en educación, reunir sectores que generen transformaciones desde la robótica, desde el STEM, el E-Learning, realidad aumentada, aprendizaje virtual, diseño de herramientas pedagógicas aplicando las TICs. Como realimentación, se considera en el diseño que los currículos deben formularse, formando redes de aprendizaje, trabajo colaborativo y redes de maestros. Estos cambios metodológicos se basan en el modelo de pensamiento computacional, integrados a varios currículos educativos a nivel internacional (Quiroz-Vallejo y col., 2021) permitiendo desarrollar modelos de aprendizaje, inclusión educativa, educación e innovación tiene un espectro más amplio. Se espera que el gamificador involucre estudiantes,

profesores, instituciones, mediante relaciones colaborativas con la sociedad en general.

- En el CIIE-2018, la implementación del Modelo Educativo Tec21 pretende preparar a los estudiantes para ser líderes y enfrentar los retos y oportunidades del siglo XXI por medio de vivencias retadoras, innovadoras y vinculantes entre teoría y práctica, como las generadas en cursos de laboratorio. En la práctica, sin embargo, la carencia de espacios, recursos materiales y humanos, limitan el acceso a estas experiencias.
- En el CIIE-2020, se dió una visión sobre las posibles soluciones educativas adaptadas a un ecosistema virtual, facilitando diversas herramientas y recursos para la implementación de tecnología educativa, que va desde informática hasta robótica. Específicamente, la visión sobre el gamificador se basó en las experiencias en los temas relacionados con educación virtual, herramientas de juego virtual aplicados en la enseñanza y didáctica para entornos virtuales. Así, se considera que el gamificador se encuentra como una de las diferentes soluciones educativas adaptadas a un ecosistema virtual, facilitando diversas herramientas y recursos para la implementación de tecnología educativa, que va desde informática hasta robótica (Carvallo y Osorio, 2022).
- Durante el CIIE-2022 se enfatizó en el uso de laboratorios virtuales, donde los alumnos desarrollan sensibilidad y comprensión de los fenómenos físicos, además de habilidades específicas. Este enfoque representa una parte medular de la enseñanza de las ciencias y la ingeniería.

De estas experiencias, las tecnologías emergentes, como la realidad aumentada y virtual, surgen como alternativas para posibilitar el acceso a laboratorios a estudiantes en ubicaciones geográficas que carecen de ellos, además de poseer el potencial de fomentar el interés y atención de los estudiantes. Por ejemplo, el diseño de la virtualización de una práctica de elaboración de biodiésel dirigida a alumnos del curso IQ1001 Balance de materia, así como la experiencia de su implementación y la evaluación de los resultados en términos de “enganchamiento” del estudiante y aprendizaje (Vanoye y col., 2020). Por otro lado, la mayoría de las instituciones han adoptado tecnologías educativas y sistemas de aprendizaje digital. Sin embargo, la transformación digital no es tan fácil en los cursos de ciencia y tecnología,

que involucran laboratorio de prácticas, y donde los ejercicios prácticos de los estudiantes y el trabajo de laboratorio forman aspectos cruciales de su aprendizaje. En estas áreas, los laboratorios virtuales, simuladores y herramientas interactivas son esenciales para proporcionar a los estudiantes prácticas virtuales efectivas (Soriano y col., 2020; Potkonjak y col., 2016). Entre ellas, el video-tutorial se posiciona como una de las herramientas de aprendizaje virtual más utilizadas y de impacto entre los estudiantes (Giannakos, 2013).

Basado en las experiencias presentadas anteriormente, la fase inicial de diseño de este gamificador tiene como meta la integración de competencias disciplinares y transversales. Sin embargo, se espera que esta integración no utilice herramientas interactivas de realidad aumentada. Lo anterior obedece a que por el momento las salidas de campo siguen siendo una metodología exitosa para realizar prácticas, en este caso, relacionadas con el aprendizaje de la gestión sostenible de los recursos hídricos. Como caso particular, puede afirmarse que el estudiante aprende más con una visita a una hidroeléctrica, que con una demostración de un módulo virtual de la misma. Es por esto que el gamificador busca ser un espacio integrador de competencias, como es el caso de los espacios educativos Media Scape Learn Lab (MSLL), donde se visualiza en la pantalla de la mesa de cada equipo la evolución de las actividades y de sus proyectos, a la vez que es posible debatir y tomar decisiones en trabajo colaborativo (Vargas Mendoza, 2016). Así, el salón donde reside la centralita se convierte en un espacio donde se puede retroalimentar de manera efectiva e innovadora a cada equipo y dar un acompañamiento a lo largo de su proyecto.

La siguiente etapa de diseño tiene la siguiente meta: desarrollar la competencia investigativa del estudiante. Para ello, se realizó un método prospectivo en dos etapas: (1) exploración del nivel de conocimiento por parte de profesores de educación superior sobre lo que es la industria 4.0 y sus alcances; (2) aplicación del Método Delphi para realizar entrevistas a expertos seleccionados de entre los participantes de la primera etapa. La técnica utilizada en esta etapa fue la encuesta en línea, y para el caso de entrevistas con expertos se utilizó un cuestionario estructurado. Resultado de la consulta a expertos se identificaron y categorizaron las siguientes habilidades requeridas para los estudiantes de educación superior para lograr una incorporación más eficiente en el entorno de la Industria 4.0 (Lucio-Nieto y González-Bañales, 2019):

- Habilidades de enseñanza-aprendizaje: aprendizaje activo, matemáticas y pensamiento crítico.
- Innovación: creatividad, pensamiento analítico e innovación.
- Tecnología: diseño, Instalación y mantenimiento.

La etapa final de diseño involucra la capacidad para enseñar o capacitar en emprendimiento, integrando la sala presencial de clase (Encarnación y Legañoa Ferrá, 2013). Los efectos de la pandemia han llevado hacia “el uso de las plataformas o campus virtuales es básicamente la virtualización del proceso de aprendizaje a través del uso de equipos informáticos; es una actividad que ya realizaban los profesores antes de instalar la WebCT o más recientemente el Moodle. Este uso facilita el aprendizaje del alumnado a través de la utilización de herramientas tecnológicas, de Internet y de otras que pueden ser realizadas sin límites de horario, tiempo y distancia” (Imbermón Muñoz y col., 2011). Lo anterior justifica el espacio presencial para las capacitaciones, a pesar que la herramienta sea del tipo virtual. Esta modalidad de clase se denomina *híbrida*.

Alcances y limitaciones del gamificador

Como resultado del proceso inicial de diseño, el gamificador permite la integración entre plataformas didácticas digitales y el acceso remoto a los equipos conectados. Esto permite el equilibrio entre el aprendizaje audiovisual tipo inmersión y el manejo de la herramienta, independiente del nivel de preparación del alumno. Como ventaja principal, el alumno puede comprender, en corto plazo, el proceso de diseño e implementación del sistema sustentable sin requerir de una preparación previa. Durante la experiencia adquirida con los cursos, se realizaron correcciones a la herramienta que faciliten el aprendizaje de los estudiantes en la forma en cómo se organizaban y evaluaban los contenidos presentados (Dallos y col., 2021).

De las correcciones realizadas a la herramienta, se evidenció la necesidad de apoyo presencial al módulo virtual en la ejecución del proyecto, siendo relevante la aplicación de una sinergia entre la metodología de enseñanza aplicada y la comprensión del caso de estudio definido en la capacitación. En especial, las

actividades entre laboratorios de diferentes campus tuvieron que realizarse de manera independiente. Sin embargo, se recomienda realizar un encuentro con las propuestas para demostrar que es posible el aprendizaje en diferentes disciplinas, demostrando así que este proyecto, en su perspectiva interdisciplinaria, puede dar resultados pedagógicos efectivos, con metodologías y aprendizaje significativo.

Para el caso aplicado, la construcción del sistema sustentable en el invernadero, los mismos equipos son entregados como una especie de módulo, incluyendo la instrumentación remota de los elementos en el sistema de control de riego que utiliza la energía solar como suministro. Se argumenta la importancia de la utilización de tecnologías de la información y las comunicaciones en la educación virtual, ya que sus beneficios de disminución de costos, mayor alcance e impacto son factibles. Conforme la utilización de laboratorios virtuales se convierte en algo frecuente, se hace más relevante garantizar una mejor calidad en el servicio de conectividad. Ello establece una dependencia de la herramienta con sistemas de acceso remotos a internet, dentro del cual debería también tener múltiples niveles que permitan que no sea repetitiva la práctica. Dicho lo anterior, el Decreto 1330 de 2019, expedido por el Gobierno Nacional, establece la posibilidad de ofrecer programas académicos de educación superior en diferentes modalidades. En concreto, el decreto establece las siguientes: presencial, a distancia, virtual, dual u otros desarrollos que combinen o integren las anteriores.

Es evidente que las tecnologías digitales facilitan el establecimiento de la flexibilidad espacio-temporal en los contextos educativos. Específicamente, nos permite establecer un proceso continuo de formación, más allá de situarse únicamente en una modalidad de aprendizaje, ya que este proceso combina las modalidades bajo un mismo escenario de aula (Osorio Gómez y Duarte, 2011). El Ministerio de Educación Nacional recomienda que exista coherencia entre la modalidad seleccionada (virtual), los planes de desarrollo y las condiciones institucionales para el correcto despliegue.

Se debe tener en cuenta el perfil de los estudiantes, que cuenten con acceso de conexión y tengan habilidades digitales. Las recomendaciones son las siguientes:

- Diseñar ambientes de aprendizaje, materiales educativos digitales y prácticas innovadoras como vehículos para la generación de nuevos conocimientos y aprendizajes en las diversas áreas de estudio.

- Aprovechar las ventajas que ofrece la tecnología para mejorar la interacción, el aprendizaje activo, ubicuo y colaborativo.
- Explorar e implementar actividades con el uso de tecnología para potenciar los sentidos de cada uno de sus estudiantes, en coherencia con su estilo de aprendizaje

Estudiantes y profesores necesitan acompañamiento en los procesos de apropiación de los usos de la tecnología en educación superior. El apoyo puede ser institucional, del contexto o de la administración educativa y debe ir dirigido a la mejora de las estrategias de aprendizaje y a la reducción o eliminación de barreras emocionales y contextuales.

Si este tipo de enseñanza se evalúa desde el punto de vista en que la educación virtual ha afectado a todos, en la época actual la solución sigue siendo buena y viable porque esta herramienta permite realizar prácticas desde la casa, lo que ayuda a afianzar los conocimientos teóricos obtenidos en las clases. Así, un laboratorio remoto debe incluir un escenario de la vida real del cual el estudiante pueda recolectar datos en un entorno realista (Fensel y col., 2013). Un enfoque de un laboratorio virtual hace que las mediciones se aproximen a las realizadas en un laboratorio presencial. Sin embargo los laboratorios virtuales tienen algunos valores agregados tales como videos de instrucción del experimento, los estudiantes pueden controlar de forma remota el sistema y recopilar datos en varios puntos de la simulación, técnicas de animación, que ayudan a que el sistema sea más atractivo para los estudiantes (Babateen, 2011).

Entre los desarrollos o innovaciones relacionadas con educación virtual se encuentran Skolmi, que ofrece educación primaria, educación Secundaria y plataformas educativas, especialistas en la generación de propuestas de educación a distancia, y gracias a su naturaleza innovadora se ha convertido en una alternativa para la formación integral y afectiva, favorece el desarrollo de competencias útiles para habitar y construir prácticas, por medio de una metodología que se adapta a las características diversas de sus estudiantes.

De igual forma cada una de las herramientas deben ser de utilidad a los estudiantes para ser autodidactas y al docente le sirva como mecanismo para analizar la calidad de su enseñanza permitiéndole tomar decisiones en que debe profundizar, en

donde hay debilidades y fortalezas en su pedagogía. Las siguientes son las fases realizadas para alcanzar la instrumentalización remota, como opción para hacer prácticas que permita evaluaciones más acordes con los procesos cognitivos:

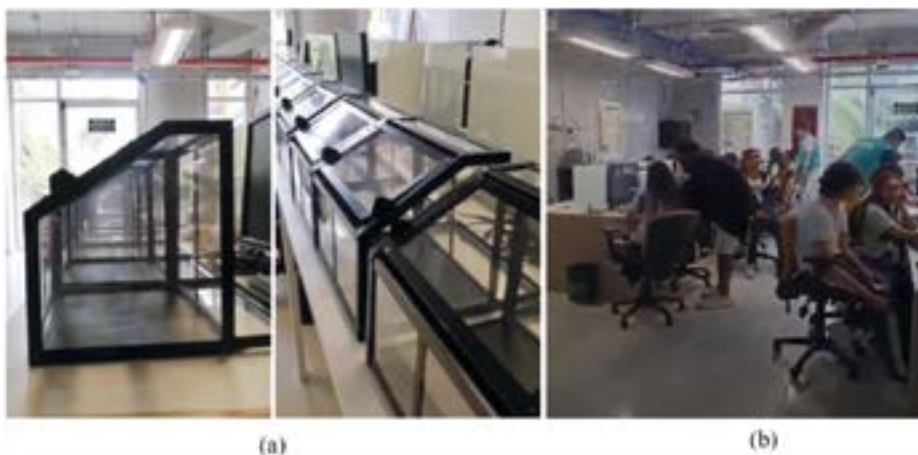
- Fase 1. Luz en la tierra (2015). Este proyecto consiste en la generación eléctrica mediante el aprovechamiento del proceso de fotosíntesis de las plantas, El proyecto se presentó en la Feria INNOVA 2016, captando el interés en el sector empresarial.
- Fase 2. Ruta emprendedora (2018). Luz en la Tierra fue presentado en Manizales a través de concursos Pitch, siendo beneficiarios de la convocatoria Curso Concurso Manizales 100% emprendedora.
- Fase 3. Emprendimiento social y ambiental (2019).
- Fase 4. Innovación pedagógica y educación híbrida (2020). Durante la pandemia, la empresa realizó una experiencia de extensión solidaria para 10 estudiantes de la sede Manizales, quienes no tuvieron acceso a laboratorios de forma presencial. El grupo suministró un total de 10 kits para el curso de Aprendizajes en Ingeniería y Agricultura.
- Fase 5. Educación en plataformas digitales, a inicio del 2022.

Como resultado, este proyecto se escaló internacionalmente con el lanzamiento del curso en Coursera (Carmona Castañeda y col., 2021) donde de julio a octubre del 2022, iniciando con alrededor de 400 personas inscritas

Varias capacitaciones fueron desarrolladas dentro del Laboratorio de Propagación Electromagnética Aplicada Sede Manizales (ver figura 3.1), adscrito a la Universidad Nacional de Colombia. En este caso se alcanzó la integración entre un curso teórico, una aplicación experimental concreta y una aplicación industrial. Con base en los trabajos realizados en sobre simulación de elementos finitos (García-Álvarez y Álvarez-Miño 2001; González y García, 2005) y guías realizadas para prácticas de laboratorio (Carmona y col., 2021; Libreros, 2003), se realizó una aplicación que permite el diseño a partir de los parámetros constitutivos del dispositivo, como de su fabricación y prototipado.

Por último, el caso de estudio establece un problema concreto a ser solucionado por el estudiante o participante. Estos casos de estudios han incursionado al mundo virtual solo hace algunas décadas, debido a que requiere tanto desarrollo computacional avanzado como una plataforma sostenible para las demandas de soluciones del mundo real que se plantean. Aquí son los problemas de industria los que priman sobre el conocimiento teórico; así, el estudiante es desafiado a resolver un problema de industria a partir de sus conocimientos teóricos y sus destrezas adquiridas en la práctica.

Figura 3.1. Desarrollo del curso de tecnología agrícola para comunidades vulnerables, como producto del proyecto “Ingeniería aplicada al desarrollo, formación y sostenibilidad de comunidades vulnerables en Caldas” (Hermes-UN 61555). (a): módulos didácticos fabricados en laboratorio. (b) capacitación realizada en marzo de 2025 con estudiantes del barrio SINAI de Manizales.



Fuente: registro fotográfico del autor

La primera etapa del gamificador consiste en una plataforma de casos de estudio virtuales, tal como se presentan en las páginas de las compañías proveedoras de las herramientas. Sin embargo, también existen plataformas libres como la del enlace <https://fenicsproject.org/>. Esta plataforma, denominada Laboratorio Remoto Embebido (LRE) pretende acercar al estudiante o participante a aplicaciones reales desde el aula de clase. Esta innovación comprende las estructuras que se describen a continuación:

1. La Estructura Multimedia de Contenidos (EMC) permite la transmisión de datos multimedia relacionado con los tres entornos mediante el uso de protocolos multimediales como MPEG7 y MPEG21, los cuales han sido implementados en proyectos previos (Garcia-Alvarez y col., 2006; García-Alvarez y col., 2007; Ibarra y col., 2007). Estas estructuras permiten el uso de realidad aumentada y otros entornos interactivos de impacto en el ámbito académico.
2. La Valoración de Calidad de Servicio (QoS por sus siglas en inglés, quality of service) permite distribuir el tráfico de los datos multimedia relacionado con los tres entornos, utilizando indicadores de calidad de servicio tanto de red de datos como perceptuales, a modo de obtener la mejor experiencia de usuario en el momento de interactuar o visualizar los contenidos. Este módulo es el resultado de una línea de trabajos realizados en la Universidad Nacional de Colombia, con el objetivo de desarrollar codificadores con mejor desempeño en velocidad de transmisión (requisito para este tipo de módulos) y definición de la imagen. Entre estos trabajos se destacan: Garcia-Alvarez y Diaz-Solarte (2013), Garcia-Alvarez y colaboradores (2013), Garcia-Alvarez y colaboradores (2008), Garcia-Alvarez y Castellanos-Domínguez (2009), Garcia-Alvarez y colaboradores (2010, artículo), García-Alvarez y colaboradores (2013), García-Álvarez (2011), García-Álvarez y colaboradores (2014), García-Álvarez, Führ y colaboradores (2009), García-Álvarez y Castellanos-Domínguez (2008), García-Álvarez, Castellanos-Domínguez y Ortiz-Jaramillo (2009), García-Álvarez y colaboradores (2010, conferencia).
3. La Red de Sensores (RS) transmite la información del estado del experimento que se encuentra ubicado en el laboratorio especializado, hacia el LRE en el que se encuentra actualmente el observador o participante. Actualmente esta Red de Sensores toma provecho de las actuales tecnologías de Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés, Internet of Things) e Industria 4.0. Esta etapa es la más recursos requiere, tanto de infraestructura como de cómputo para el control de las variables. Hasta el momento se han realizado trabajos de acercamiento a un sistema remoto que pueda ser flexible para cualquier aplicación (García-Álvarez y col., 2003; Acevedo y García-Álvarez, 2004; Trejo y García-Álvarez, 2004; Muñoz y García-Álvarez, 2002).

A continuación, el diseño del módulo planteado se basa en la emulación de sistemas de comunicación, el cual buscó permitir el acceso a participantes a equipo

especializado. Particularmente, los cursos tenían un promedio de asistencia de 40 por semestre y solo se contaba con un equipo especializado, el cual cumplía con todas las prácticas. Eso significa que el equipo cambia su configuración de acuerdo a cada práctica, no permitiendo que pudiera ser utilizado por otro grupo al mismo tiempo. En consecuencia, cumpliendo con la restricción de tres participantes por grupo, se distribuían las prácticas en horarios distintos a los de clase, comprometiendo las actividades académicas del curso (exámenes y distribución adecuada de las clases magistrales). El módulo desarrollado que se ilustra en la figura 3.2 integra las tres estructuras (EMC, QoS y RS) utilizando protocolos de transmisión de datos en tiempo real y un lenguaje de programación compatible con las variadas plataformas de redes de sensores

Para la evaluación de resultados, se basó en la valoración de la calidad de la experiencia (García-Alvarez y Díaz-Solarte, 2013; García-Álvarez y Guerrero 2005). El módulo LRE fue evaluado al final de cada curso, solicitando al estudiante o participante una evaluación de 1 a 5 sobre su experiencia obtenida con respecto a los siguientes indicadores: navegabilidad, sincronización entre contenidos y claridad en los contenidos. Esta evaluación se realizó durante tres períodos académicos comprendidos entre 2015 y 2016; con un promedio de 40 estudiantes por periodo. En la fase final del diseño, hacia la implementación, se selecciona la herramienta interactiva tipo gamificador Genially, debido a que permite la organización de contenido técnico de forma entendible para quienes no tienen conocimientos previos de un tema determinado. Para tratar temas relacionados con ingeniería eléctrica, ha sido para los integrantes del grupo una herramienta adecuada. Consideramos que se está cumpliendo con el objetivo propuesto, pues esta herramienta no solo sirve para quienes estudian ingeniería, sino se espera que el conocimiento sea para todos, con semejanza o acercamiento a una práctica real.

Perspectivas sobre la aplicación de la capacitación

Dicho lo anterior, el Decreto 1330 de 2019, expedido por el Gobierno Nacional, establece la posibilidad de ofrecer programas académicos de educación superior en diferentes modalidades. En concreto, el Decreto establece las siguientes: presencial, a distancia, virtual, dual u otros desarrollos que combinen o integren las anteriores. Las tecnologías digitales nos facilitan el establecimiento de la

flexibilidad espacio-temporal en los contextos educativos. De hecho, nos permiten establecer un continuo formativo que va más allá incluso de situarse únicamente en una modalidad, ya que permite evaluar el mismo curso bajo diferentes modalidades de enseñanza (Volungevičienė y col., 2021). El ministerio de educación recomienda, que exista coherencia entre la modalidad seleccionada (como la virtual), los planes de desarrollo y las condiciones institucionales para el correcto despliegue. Se debe tener en cuenta el perfil de los estudiantes, que cuenten con acceso de conexión y tengan habilidades digitales. Las recomendaciones son:

- Diseñar ambientes de aprendizaje, materiales educativos digitales y prácticas innovadoras como vehículos para la generación de nuevos conocimientos y aprendizajes en las diversas áreas de estudio.
- Aprovechar las ventajas que ofrece la tecnología para mejorar la interacción, el aprendizaje activo, ubicuo y colaborativo.
- Explorar e implementar actividades con el uso de tecnología para potenciar los sentidos de cada uno de sus estudiantes, en coherencia con su estilo de aprendizaje.

Conclusión

En los capítulos anteriores se explicó la implementación del sistema sustentable de riego, controlado desde una estación en centro poblado, usando una red backhaul. Con esto se afronta el desafío planteado al inicio de este libro, el cual es proveer el servicio de conectividad en centros poblados situados en comunidades rurales. Esta solución busca beneficiar tanto a la comunidad del centro poblado como del resto del país. El aspecto clave es la instalación de los equipos de telecomunicación en un salón privado denominado centralita, que a la vez estaría cumpliendo con el objetivo de capacitación de la población en el área de electrónica y telecomunicaciones. Así, el sistema presentado en este libro comprende los siguientes avances:

- Actualización de la tecnología (4G a 5G), lo que permite una infraestructura flexible, de bajo costo de instalación y reducido consumo de energía eléctrica.
- Implementación de un valor agregado de prestación de servicio de mayor impacto, que es el de cultivos con sistemas de riego automatizados.

Para garantizar la capacitación local en el mantenimiento y desarrollo tecnológico del sistema, se añade una plataforma educativa virtual con adecuación pedagógica de los recursos educativos digitales, que garantice la interactividad, el trabajo colaborativo y el aprendizaje activo de la población. La implementación de este tipo de plataformas permite una formación de mayor impacto en comunidades. Se sugiere también la utilización de herramientas como Genially para gamificación, pero sin dejarse de considerar herramientas como Unity 3D para el desarrollo de laboratorios virtuales. Esta opción si se evalúa desde el punto de vista técnico de daño o peligro por manejo de equipos eléctricos, permite que se entrene antes de ir a hacer una práctica real. Se argumenta la importancia de la utilización de

tecnologías de la información y las comunicaciones en la educación virtual, ya que sus beneficios de disminución de costos, mayor alcance e impacto son factibles. Si la utilización de laboratorios virtuales, se convierte en algo frecuente, debería existir una buena conectividad en caso de que esta herramienta sea remota o que necesite totalmente internet, debería también tener múltiples niveles que permitan que no sea repetitiva la práctica. Estudiantes y profesores necesitan acompañamiento en los procesos de apropiación de los usos de la tecnología en educación superior. El apoyo puede ser institucional, del contexto o de la administración educativa y debe ir dirigido a la mejora de las estrategias de aprendizaje y a la reducción o eliminación de barreras emocionales y en contexto. Si este tipo de enseñanza se evalúa desde el punto de vista en que la educación virtual ha afectado a todos, en la época actual, la solución sigue siendo viable porque esta herramienta permite realizar prácticas desde la casa, lo que ayuda a afianzar los conocimientos teóricos obtenidos en las clases. Sin embargo, los docentes en Colombia no han sido capacitados en evaluar sus procesos pedagógicos, menos utilizando métodos normalizados como encuestas, foros ó indicadores cognitivos como el ánimo, los gustos del usuario a la hora de aprender y su estilo de aprendizaje. Esto no permite ver el progreso de los estudiantes a medida que van avanzando en su aprendizaje, es por tanto importante la inclusión de modelos pedagógicos en la metodología del curso. En consecuencia, existen diferentes vertientes donde los estudiantes, planifican y evalúan los logros obtenidos en el curso o práctica que realicen, uno de ellos se conoce como el paradigma de enseñanza, que se basa en la competencia y el individualismo y en el cual el aprendizaje es automático, el docente dosifica la información y lo estudiantes adquieren los conocimientos (memorizan). Por otro lado, el paradigma de aprendizaje se basa en el cooperativismo y colaboración, donde su filosofía es que el logro y el éxito son el resultado del trabajo en equipo, reconoce que el principal agente en el proceso es el que aprende, los estudiantes deben ser exploradores y constructores de su propio aprendizaje, por lo cual el paradigma de aprendizaje asume la meta de promover lo que Garner llama “educación para la comprensión” (Carrillo García y López López, 2014).

Otro aspecto a mejorar es la necesidad de espacios virtuales y de simulación que permitan que las vertientes puedan aplicarse eficientemente. Esos espacios virtuales deben tener características para la orientación, el apoyo, el monitoreo y la evaluación de los estudiantes (Keller y Keller, 2005). Por lo tanto existe una necesidad de evaluar cómo la virtualidad ha transformado los modelos educativos actuales, es pertinente destacar la concepción. La UNESCO se refiere

a esta modalidad como “un método complementario, alternativo a la educación presencial, para proporcionar formación a todos aquellos colectivos que por diversos motivos no tienen acceso al aula convencional” (Ramírez Valbuena, 2017).

El uso de herramientas de virtualización es posible gracias al trabajo mancomunado de profesores, expertos técnicos y científicos, que pueden proyectar el trabajo de experimentación de campo a través de aplicaciones. Como ejemplo está la plataforma PhET de la Universidad de Colorado (Hensberry y col., 2018). Es por tanto importante recomendar una fase de análisis de los resultados de la evaluación que arroja el gamificador al principio y al final del curso. Para ello, se debe disponer de material de investigación en los temas de desarrollo pedagógico y acorde a las capacitaciones realizadas para el trabajo y simulación. Se obtiene así un material orientado a diseñar las clases y las actividades propias según lo propuesto con el fin de evaluar las habilidades de pensamiento comprensivo, crítico y creativo acorde a los objetivos propuestos en este proyecto de incubadora. Esta estrategia se basa en los resultados obtenidos por parte de la componente de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá en el Grupo 10, según el informe parcial entregado el 20 de noviembre de 2020. Los siguientes son los resultados obtenidos por el lado de Ingeniería Eléctrica, Sede Manizales: la metodología de enseñanza implementada para los estudiantes de la Sede Manizales se basó en el desarrollo cognitivo de solución de problemas a través de la Taxonomía de Bloom; para ello, se implementaron las herramientas virtuales basadas en la experiencia del juego (gamificadores) utilizando una estructura basada en Árbol de Decisiones.

Por consiguiente, cada etapa de la Taxonomía de Bloom se supera cada vez que se pudiera alcanzar un resultado (alcanzar una rama del Árbol de Decisión). Dado que la primera etapa consiste en recolectar información suficiente para reconocer la dimensión y parámetros del problema, el árbol de decisión se refiere a enfrentar al estudiante contra sus propios conocimientos. Así, al cumplir con los resultados del árbol relacionado con cada etapa de la Taxonomía, el siguiente árbol hará que el estudiante cumpla con los retos establecidos para la siguiente etapa.

Para este caso se buscará una adecuación pedagógica de los recursos educativos digitales, que garantice la interactividad, el trabajo colaborativo y el aprendizaje activo de los estudiantes, permitiendo mejorar los niveles de eficacia y eficiencia en la formación. Se sugiere la utilización de herramientas con un mayor nivel de interactividad como Unity 3D para el desarrollo de laboratorios virtuales.

Por tanto, se espera que con proyectos finales de estudiantes de Maestría en ingeniería Eléctrica se desarrollen entornos virtuales y/ o interactivos de energía solar. Entornos automatizados para acceso remoto a laboratorios en aplicaciones de invernadero del bloque T del Campus la Nubia.

De esta forma, la capacitación genera un entorno de inclusión entre diferentes territorios, estudiantes, profesores y comunidades. Es importante resaltar que la situación coyuntural, generada por la emergencia sanitaria del COVID 19, aceleró los procesos de formulación de preguntas, establecimiento de retos y satisfacción de necesidades en comunidades vulnerables. En otras palabras, la emergencia sanitaria presionó a la sociedad hacia decisiones imperiosas de hacer ajustes desde lo educativo, lo económico y lo social. Aquella sociedad que no pueda cambiar para enfrentar las nuevas situaciones a las que ha conllevado el distanciamiento social y la imposibilidad de realizar intercambios culturales, caerá en recesión y estallido social, como el sucedido el 28 de abril de 2021 en Colombia (Moscote Martínez y col., 2022). Es así como se ha acuñado, dentro de los preceptos centrales del plan global de desarrollo de universidades como la Universidad Nacional de Colombia, la necesidad de ajustar las condiciones de la educación virtual para el conjunto de responsabilidades y exigencias actuales. Esto permite, por un lado, la necesidad de disciplina y autonomía por parte de docentes y estudiantes para el éxito de esta metodología, bajo el contexto de distanciamiento; por otro lado, la apremiante urgencia de desarrollar estrategias educativas que permitan adelantar procesos académicos que anteriormente tenían lugar en la presencialidad. La importancia de estos retos es tal, que su solución no se reduce a la situación de contingencia a raíz de la pandemia, sino que puede generalizarse a situaciones actuales como a la subsecuente etapa de reactivación económica. Además, es importante pensar en las posibilidades que el gamificador aporta para planear nuevas técnicas de educación, por ejemplo, el intercambio cultural para la nación. De esta forma un problema de aprendizaje concreto, como lo es el hecho de no poder enseñar de forma presencial, se ha convertido en una oportunidad para reflexionar acerca de nuevos rumbos y nuevas posibilidades para enseñar en la distancia y en la virtualidad.

Bibliografía

- Acevedo Villada, J. H., y García-Álvarez, J.-C. (2004). Laboratorio remoto de comunicaciones (trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 59).
- Agencia de Renovación del Territorio. (2018). Plan de Acción para la Transformación Regional - PATR Subregión Montes de María. (Véase página 16).
- Alcaldía-de-Ovejas. (2016). Plan de Desarrollo Municipal de Ovejas 2016-2019. Oportunidades para la Paz y el Buen Vivir. (Véase página 16).
- Ali Hamed, S. M. (2017). Time-Varying Electromagnetic Fields. En *Electromagnetics for Engineering Students* (Páginas 465-520). BENTHAM SCIENCE PUBLISHERS. DOI:10.2174/9781681085043117010009. (Véase página 28)
- Aristizábal Q, L. A., y Toro G., N. (2021). Multilayer representation and multiscale analysis on data networks. *International Journal of Computer Networks and Communications*, 13 (3), 41-55. <https://doi.org/10.5121/ijcnc.2021.13303> (Véase página 19)
- Babateen, H. M. (2011). The role of virtual laboratories in science education. 5th international conference on distance learning and education IPCSIT (Véase página 56)
- Balanis, C. A. (2005). *Radiation Integrals and Auxiliary Potential Functions* (3a edición). *Antenna Theory: Analysis and Design*, 133-150 (Véanse páginas 30, 31).
- Benjumea Lizarazo, N. E. (2020). Planteamiento de un modelo de base de indicadores de sostenibilidad para presentación de informes anuales para tres entidades de desarrollo y un acuerdo financiero regional de América Latina y el Caribe centrado en los objetivos de desarrollo sostenible (Tesis doctoral). EAFIT. (Véase página 20).
- Blazing-Soft. (2014). WiBACK. (Véase página 39).
- Brand, A., y Aghvami, H. (2002). *Multiple Access Protocols for Mobile Communications. GPRS, UMTS and Beyond*. John Wiley; Sons. (Véase página 38).

- Britannica. (2023). wavelength. (Véase página 29).
- Budhu, M. (2000). Virtual laboratories for engineering education. International Conference on Engineering Education, 334 (Véase página 52).
- Caballero, A., Borkowski, R., de Miguel, I., Duran, R. J., Aguado, J. C., Fernandez, N., y 16 col. (2014). Cognitive, Heterogeneous and Reconfigurable Optical Networks: The CHRON Project. Journal of Lightwave Technology, 32 (13), 2308-2323 (Véase página 34).
- Carmona Castañeda, P. (2022). Herramienta cognitiva tipo virtual enfocada en el aprendizaje de energía solar (Tesis maestría). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véanse páginas 24, 26, 28).
- Carmona Castañeda, P., Dallos Loaiza, C. y García Álvarez, J. C. (2021). Aprendizajes en Ingeniería y Agricultura con Arduino: Construcción y automatización de un invernadero | Coursera. (Véanse páginas 45, 57).
- Carrillo García, M. E., y López López, A. (2014). La teoría de las inteligencias múltiples en la enseñanza de las lenguas. Contextos Educativos. Revista de Educación, (17), 79. <https://doi.org/10.18172/con.2594> (véase página 62)
- Carvalho, C., y Osorio, H. (2022). Gamification and Improvement of Teaching in Engineering Courses at the Federico Santa María Technical University. En Technology-Enabled Innovations in Education: Select Proceedings of CIIIE 2020 (Páginas 241-253). Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-3383-7\ }19>. (Véase página 54)
- Castellanos, L. M., López, F., y Reyes-Vera, E. (2016). Metamateriales: principales características y aplicaciones. Revista de la Academia Colombiana de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 40 (156), 395-401. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.345> (Véase página 32)
- Castillo, J., Rodríguez, O., y García-Alvarez, J.-C. (2001). Estudio de modelos de propagación para comunicación móvil (trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 28).
- Cedeño, C. A., Silva, D. A., y Calderón, O. J. (2007). Papel de la Desagregación en el Contexto de las Redes de Nueva Generación. Congreso Colombiano de Comunicaciones IEEE - COLCOM 2007 (Véase página 28).
- CEPAL, OREALC & UNESCO. (2020). La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19. (Véase página 24).

- Chien, C. (1999). Adaptive Radio for Multimedia Wireless Links. *IEEE JSAC*, 17 (5), 793-813 (Véase página 34).
- CONPES. (2005). Documento Conpes Social 91 - Metas y Estrategias de Colombia para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. (Véase página 13).
- Cortés Cortés, C. L., Montaña-Argote, M. A., Osorio, A. M., y Guerrero-González, N. (2021). Diseño de una red backhaul autogestionable para conectividad rural en Sucre -Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 20 (1), 67-78. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021006> (véanse páginas 12, 16, 28, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 50, 54, 56, 57, 59)
- Cortés Cortés, C. L., Montaña Argote, M. A., Osorio, A. M., y Guerrero González, N. (2022). Diseño y análisis sistémico de una red backhaul autogestionable en topologías estrella y anillo para conectividad rural en Caldas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32 (1), 43-57. <https://doi.org/10.18359/rcin.5531> (Véase página 34)
- Couch II, L. W. (1997). *Digital and Analog Communication Systems*. Prentice Hall. (Véase página 29).
- Coudé, R. (2019). Página de información de Radio Mobile Online. (Véase página 36).
- Cuasquer Mora, M. E., García-Alvarez, J. C., & Guerrero-González, N. (2021). 'Mejoramiento de ensayos de compatibilidad electromagnética usando metamateriales. *LATAM 2021*, 84 (Véase página 32).
- Dallos Loaiza, C. D. (2022). Enseñanzas en ingeniería, ciencia y tecnología con un enfoque social. 4 Congreso Internacional de Innovación Social (véanse páginas 9, 17, 20, 25).
- Dallos Loaiza, C. D., Carmona Castañeda, P., y García-Alvarez, J.-C. (2021). Descripción de Herramientas Virtuales de Diseño aplicados en Casos de Estudio en Ingeniería Eléctrica. Congreso Nacional de Iniciativas de Innovación Pedagógica en la Universidad Nacional de Colombia (Véanse páginas 10, 51, 55).
- DANE. (2007). Censo General 2005. (Véase página 16)
- DANE. (2009). Proyecciones nacionales y Departamentales de población 2005- 2020. (Véase página 15).
- DANE. (2019). Boletín Técnico Pobreza Multidimensional en Colombia Año 2018. (Véase página 16).
- Drake, M. J., Griffin, P. M., Kirkman, R., & Swann, J. L. (2005). Engineering Ethical Curricula: Assessment and Comparison of Two Approaches. *Journal of Engineering Education*, (94), 223-231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00843.x> (Véase página 50)

- Driessen, P. F. (2000). Prediction of multipath delay profiles in mountainous terrain. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 18 (3), 336-346. <https://doi.org/10.1109/49.840193> (Véase página 34)
- Eide, A., Mickelson, S., Eide, C. L., Jenison, R., & Northup, L. (2023). *Engineering Fundamentals and Problem Solving* (8.a edición). McGraw Hill. (Véase página 50).
- Encarnación Encarnación, E. K., y Legañoa Ferrá, M. d. I. Á. (2013). Estrategia para favorecer el desarrollo de la interactividad cognitiva en entornos virtuales de enseñanza aprendizaje. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (42), 129-142 (véase página 55)
- Escobar, J. S. (2005). Análisis de un escenario de propagación electromagnética para la corrección de terrenos (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 33).
- Fensel, A., Tomic, S., Kumar, V., Stefanovic, M., Aleshin, S. V., & Novikov, D. O. (2013). SESAME-S: Semantic smart home system for energy efficiency. *Informatik-Spektrum*, 36(1), 46-57. <https://doi.org/10.1007/s00287-012-0665-9> (véase página 56)
- Fernández González, F. A. (2007). Análisis del desvanecimiento selectivo por múltiple trayectoria (multipath) y su aplicación en el diseño de radioenlaces digitales (Tesis doctoral Número 1). Universidad Nacional de Colombia. (Véase página 32).
- Findeter (2015) Plan de Acción 2015 Tumaco. (Véanse páginas 17, 35).
- Fraunhofer-FIT. (2014). Introducing Fraunhofer's Wireless Backhaul Technology. (Véase página 35).
- Fraunhofer-FIT. (2017). WiBACK Node-2-Connect II Datasheet. (Véanse páginas 39, 42, 43).
- Fraunhofer-FIT. (2020). WiBACK Solar. (Véase página 47).
- Fundación-Plan. (2017). Decreto 893, 28 de Mayo de 2017, por el cual se crean los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial - PDET. (Véase página 16).
- Garces-Gomez, Y. A., Lara-Escobar, R. D., López-Jimenez, P. A., Toro-García, N., Cardenas-Jimenez, J. I., Gonzalez-Correa, C. H., y Gonzalez-Correa, C. A. (2023). Exploring students' emotional state during a test-related task using wearable electroencephalogram. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 13 (1), 307-314. <https://doi.org/10.11591/IJECE.V13I1.PP307-314> (Véase página 24)

- Garcés-Gómez, Y. A., Henao-Céspedes, V., Sánchez, D. M. G., Trujillo, A. A. L., y Toro García, N. (2021). Social impact of renewable energy systems: Solar energy system in vulnerable community case study. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10 (5), 2337-2344. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i5.3149> (véanse páginas 21, 49)
- García, A., Martínez, J. M., y Herranz, L. (2004). Universal and personalized access to content via J2ME terminals in the DYMAS system. *International Conference on Image and Video Retrieval*, 225-233. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-27814-6\29> (Véase página 28)
- García-Alvarez, J. C., y Díaz-Solarte, P. C. (2013). Correlation analysis for quality assessment of Region-of-Interest-coded images. *2013 8th Computing Colombian Conference (8CCC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ColombianCC.2013.6637521> (véanse páginas 58, 59)
- García-Alvarez, J.-C., y Rogriguez, O.-A. (2002). Desempeño de Modelos de Propagación en Comunicación Móvil para la zona de Caldas Parte 1: Modelos para áreas urbanas. *X Congreso Internacional de Telecomunicaciones* (véase página 28).
- García-Alvarez, J. C., Rodríguez, J. E., y Führ, H. (2013). Evaluation of detection methods in an image edge error measure. *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision / Computer Graphics Collaboration Techniques and Applications*, 1-6. <https://doi.org/10.1145/2466715.2466725> (véase página 58)
- García-Alvarez, J. C., Führ, H., y Castellanos-Dominguez, G. (2013). Evaluation of Region-of-Interest coders using perceptual image quality assessments. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 24(8), 1316-1327. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2013.09.003> (véase página 58)
- García-Alvarez, J. C., y Guerrero-González, N. (2005). Modelo Preliminar para simulación de la psicología del aprendizaje. *XI Convención INFORMÁTICA 2005* (Véanse páginas 49, 59).
- García-Alvarez, J.-C. (2018). Un acercamiento a laboratorios remotos embebidos en el aula de clase. *5 Congreso Internacional de Innovación Educativa CIIE*, 1459-1465 (véanse páginas 24, 49)
- García-Álvarez, J.-C. (2023). *Electromagnetismo computacional*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-505-344-1. (Véase página 30).
- García-Álvarez, J.-C. (2024). *Digital Electronic Communications*. Cham: Springer Nature Switzerland. ISBN: 978-3-031-53117-0. DOI: 10.1007/978-3-031-53118-7 (Véase página 28)

- García-Álvarez, J.-C., Castellanos-Domínguez, G., y Ortiz-Jaramillo, B. (2008). Image information access using Wedgelet filters. 2008 First International Symposium on Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies, (6), 1-4. <https://doi.org/10.1109/ISABEL.2008.4712614> (véase página 58)
- García-Alvarez, J.-C., y Castellanos-Domínguez, G. (2009). Region of Interest Extraction Method using Wavelets. Second International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service, 119-124. <https://doi.org/10.1109/CTRQ.2009.28> (véase página 58)
- García-Alvarez, J.-C., Führ, H., y Castellanos-Domínguez, G. (2010). Wavelet-based Entropy Measure for Rate-Distortion Optimization in Image Coding. International Journal of Electronics and Telecommunications, 56(1), 25-32. <https://doi.org/10.2478/v10177-010-0003-6> (véase página 58)
- García-Álvarez, J.-C., Maya, A. L., y Villota Álvarez, D. E. (2003). Sistema Automatizado de Medición de Parámetros de RF. IX Taller IBERCHIP (véase página 59).
- García-Alvarez, J.-C., Ibarra-Ortiz, O.-D., y Rodríguez, A. (2006). Descripción de la Calidad del Servicio en una Cabecera LAN integrada. XII Congreso Internacional de Telecomunicaciones SENACITEL, 1-5 (véase página 10).
- García-Álvarez, J.-C. (2011). Image quality assessment based on full-referenced perceptual measures (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia. (Véase página 58)
- García-Álvarez, J.-C., Aguirre-Ordoñez, S.-E., y Díaz-Solarte, P.-C. (2014). Perceptual audio quality assessment for coder evaluation. 2014 IEEE Fourth International Conference on Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin), 2015-Feb(February), 408-410. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Berlin.2014.7034281> (véase página 58)
- García-Álvarez, J.-C., Führ, H., Ortiz-Jaramillo, B., & Castellanos-Domínguez, G. (2009). Image Distortion Measure Mappings in Wavelet Representation Space. Fourth International Conference on Broadband Communications, Information Technology and Biomedical Applications, 1-6 (véase página 58).
- García-Alvarez, J.-C., y Álvarez-Miño, L. (2001). Caracterización de una línea de transmisión microstrip diseñada por el método de Rozenbrock. Revista Colombiana de Física, 32(2), 248-253 (véase página 57)
- García-Álvarez, J.-C., y Castellanos-Domínguez, G. (2008). Estimación de tasas de compresión de imágenes mediante métricas de distorsión completamente referenciadas.
- Ingeniería y Competitividad, 10(1), 73-83 (véase página 58)

- García-Álvarez, J.-C., Castellanos-Domínguez, G., y Ortiz-Jaramillo, B. (2009). Information Quantity measure mapped in Wavelet Space. International Conference on BroadBand Communications, Information Technology and Biomedical Applications BroadBandComm2009, 1-8 (véase página 58).
- García-Álvarez, J.-C., Führ, H., Ortiz-Jaramillo, B., & Castellanos-Domínguez, G. (2010). On Improving Calculation of Wavelet Contrast Sensitivity Function. 6th International Seminar on Medical Image Processing and Analysis SIPAIM (véase página 58)
- García-Álvarez, J.-C., Oscar-Daniel Ibarra-Tobar, Rodríguez, Á., y Villacís, S. (2007). Estructura de compresión para integración de servicios en redes. XII Convención INFORMÁTICA, La Habana, Cuba, 1-8 (véase página 58).
- Gericke, N., Boeve-de Pauw, J., Berglund, T., & Olsson, D. (2019). The Sustainability Consciousness Questionnaire: The theoretical development and empirical validation of an evaluation instrument for stakeholders working with sustainable development. *Sustainable Development*, 27(1), 35-49. <https://doi.org/10.1002/sd.1859> (véase página 27)
- Giannakos, M. N. (2013). Enjoy and learn with educational games: Examining factors affecting learning performance. *Computers and Education*, 68, 429-439. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.06.005> (Véase página 54)
- González, C., y García, J. C. (2005). Método de Diferencias Finitas en el dominio del tiempo (FDTD) para cavidades resonantes (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 57).
- Google-LLC. (2020). Google Earth: El globo terráqueo más completo. (Véanse páginas 35, 36).
- Hensberry, K. K. R., Whitacre, I., Findley, K., Schellinger, J., & Wheeler, M. B. (2018). Engaging Students with Mathematics through Play. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 24(3), 179-183. <https://doi.org/10.5951/mathteacmidscho.24.3.0179> (véase página 62)
- Huang, Y., Li, J., & Yang, W. (2012). Solving metamaterial Maxwell's equations via a vector wave integro-differential equation. *Computers and Mathematics with Applications*, 63 (12), 1597-1606. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2012.03.035> (Véase página 32)
- Ibarra, O., Ortiz Jaramillo, B., Reinoso, J.-A., Henao, V., y Garcia-Alvarez, J.-C. (2007). Evaluación de la Calidad del Servicio en un Sistema Integrado Duo-Play de Ludoteca Multimedia. Congreso Colombiano de Comunicaciones IEEE COLCOM 2007

(véase página 58).

Imbermón Muñoz, F., Silva García, P., y Guzmán Valenzuela, C. (2011). Competencias en los procesos de enseñanza-aprendizaje virtual y semipresencial. *Comunicar*, 18(36), 107-114. <https://doi.org/10.3916/C36-2011-03-01> (véase página 55)

ITU (2008). Regulaciones de Radio - Art. 1, Definiciones de Servicios de Radio, Art. 1.2 Administración: (informe técnico). ITU. (Véase página 30).

ITU (2019). CISPR 11:2015+AMD1:2016+AMD2:2019 CSV. Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement (informe técnico). (Véase página 30).

Jordan, A., Huitema, D., van Asselt, H., y Forster, J. (2018). *Governing Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108284646>. (Véase página 26)

Keller, H., y Keller, E. (2005). Making real virtual laboratories. *The Science Education Review*, 4 (1), 2-11 (Véanse páginas 52, 62).

Kumar, P., Ali, T., y Pai, M. M. (2021). Electromagnetic metamaterials: A new paradigm of antenna design. *IEEE Access*, 9, 18722-18751. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3053100> (Véase página 32)

Laboratorio-de-Electricidad-y-Electrónica. (2021). Interfaz gráfica TIA Portal Siemens. (Véase página 50).

Laboratorio-de-Electricidad-y-Electrónica. (2022). Invernadero Sustentable Bloque T. (Véase página 18).

Laboratorio-de-Electricidad-y-Electrónica. (2023). Variador Velocidad - Diseño de Ingeniería. (Véase página 52).

Lehpamer, H. (2010). *Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment* (2.a edición). McGraw-Hill Education. (Véase página 31).

Li, J. (2011). Development of discontinuous Galerkin methods for Maxwell's equations in metamaterials and perfectly matched layers. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 236 (5), 950-961. <https://doi.org/10.1016/J.CAM.2011.04.040> (Véase página 32)

Libreros, J. (2003). Desarrollo de prácticas de laboratorio en medición de parámetros de paso en dispositivos de alta frecuencia (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 57).

Lucio-Nieto, T., y González-Bañales, D. L. (2019). Exploring ITIL® implementation challenges in Latin American companies. *International Journal of Information*

- Technologies and Systems Approach. 12(1), 73-86. <https://doi.org/10.4018/IJITSA.2019010105> (véase página 54).
- Maniktala, S. (2013). Power over Ethernet Interoperability (1.a edición). McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.26537/neutroaterra.v0i12.388>. (Véase página 18)
- MARS. (2018). MARS 5GHz Dual Polarized Antenna: Features and Specifications. (Véase página 39).
- Mendez Quintero, G. L., Machado Rodriguez, J. D., & García Alvarez, J. C. (2002). Optimizacion del equipo transmisor y receptor para localizacion de fallas en enlace de fibra optica (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia. (Véase página 28)
- Minambiente. (2019). Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. (Véase página 14).
- Ministerio-de-Educación-Nacional. (2023). Conectividad Escolar 2023. Educación para la vida (informe técnico). Ministerio de Educación Nacional. (Véase página 17).
- MinTIC. (2009). Resolución 2544 de 2009, por la cual se atribuyen unas bandas de frecuencias para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado. (Véase página 29).
- Moscote Martínez, J. Y., Rodríguez Monsalve, Y., Guerrero López, N. L. (2022) Responsabilidad del estado frente a las violaciones de derechos humanos en el marco de las protestas sociales de abril 2021 en Colombia. Repositorio Universidad Simón Bolívar URL: <https://bonga.unisimon.edu.co/handle/20.500.12442/9734> (Véase página 63)
- Muñoz Ibarra, J. J., y García-Álvarez, J.-C. (2002). Desarrollo de un sistema virtual para acceso remoto de instrumentación por medio de interfaz GPIB (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. (Véase página 18)
- Murcia, R., & Garcia-Alvarez, J.-C. (2004). Simulación de la capa física para sistemas de comunicaciones móviles CDMA2000 1X (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 28).
- Musumeci, F. (2019). An Overview on Application of Machine Learning Techniques in Optical Networks. IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol 21 (Num 2), 1383-1408 (Véase página 9).
- Niephaus, C. (2014). WiBACK: A Back-haul network architecture for 5G networks. Int. Conf. on Front. of Commun. Net. and Appl. (ICFCNA 2014 - Malaysia), Vol 32

- (Num 13), 1-6 (véanse páginas 12, 19, 34, 35).
- Nosratinia, A. (2004). Cooperative Communication in Wireless Networks. (Véase página 34).
- Oneweb. (2019). Bridging The Digital Divide. (Véase página 20).
- ONU. (2000). Declaración del Milenio. (Véase página 13).
- Osorio-Gómez, L. A., y Duart, J. M. (2011). Interaction Analysis in Hybrid Learning Environment. *Comunicar*, 19(37), 65-72. <https://doi.org/10.3916/C37-2011-02-06> (véase página 56)
- Pareek, D. (2006). The business of WiMax. John Wiley; Sons Ltd. (Véase página 38).
- Paternina, C., y Palacio, C. (2001). Validación de un modelo de propagación para radioenlaces mediante un sistema de información geográfico (SIG) (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 32).
- Perruisseau-Carrier, J. (2012). Graphene for antenna applications: Opportunities and challenges from microwaves to THz. LAPC 2012 - 2012 Loughborough Antennas and Propagation Conference, (November), 12-15. <https://doi.org/10.1109/LAPC.2012.6402934> (Véase página 32)
- PNUD. (2015). Perfil productivo Municipio Ovejas. (Véase página 16).
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers and Education*, 95, 309-327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002> (Véase página 54)
- Quiroz-Vallejo, D. A., Carmona-Mesa, J. A., Castrillón Yépes, A., & Alexander, V.-O. (2021). Integración del Pensamiento Computacional en la educación primaria y secundaria en Latinoamérica: una revisión sistemática de literatura. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 21 (68). <https://doi.org/10.6018/red.485321> (Véase página 53)
- Rafique, D., y Velasco, L. (2018). Machine Learning for Network Automation: Overview, Architecture and Application [Invited Tutorial]. *Journal of Optical Communication Network*, Vol 10 (Num 10), D126-D143 (Véase página 9).
- Ramírez Valbuena, W. Á. (2017). La inclusión: una historia de exclusión en el proceso de enseñanza aprendizaje. *Cuadernos de Lingüística Hispánica*, (30), 211-230. <https://doi.org/10.19053/0121053X.n30.0.6195> (véase página 62)
- Rappaport, T. S. (2002). Wireless communications: Principles and practice. Prentice Hall communications engineering; emerging technologies series. (Véase página 32).

- Registro Único de Víctimas - Unidad de víctimas. (2017). (Véase página 15). ‘
- Sáenz-Nuño, A., y Pérez-Mallada, N. (2019). Metrología Gamificada. E-medida. Revista española de metrología (véase página 27).
- Salas Labayen, M. R. (2018). ¡¡¡Bienvenidos al apasionante mundo del emprendimiento educativo!!! Una experiencia innovadora para plantar la semilla del emprendimiento educativo en los futuros profesores. *Padres y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, (375), 58-63. <https://doi.org/10.14422/pym.i375.y2018.009> (véase página 27)
- Salas Labayen, R. (2020). Espacios de creación o -makerspaces- en la formación de profesores del Grado de Educación Infantil y Primaria. *Padres y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, (381), 61-68. <https://doi.org/10.14422/pym.i381.y2020.009> (véase página 27)
- Serrano Santoyo, A., y Martínez, E. M. (2003). La brecha digital: mitos y realidades (1a edición). Editorial Universitaria Universidad Autónoma de Baja California. (Véase página 9).
- Soriano, J. G., Pérez-Fuentes, M. d. C., Molero-Jurado, M. d. M., G´azquez, J. J., & Tortosa, B. M. (2020). Beneficios de las intervenciones basadas en la atención plena para el tratamiento de síntomas ansiosos en niños y adolescentes: Metaanálisis. *Revista iberoamericana de psicología y salud*, 11 (1), 42-53. <https://doi.org/10.23923/j.rips.2020.01.034> (Véase página 54)
- Soysal, D., Yasemin Nuhoglu; Strang. (1989). Construction of the First Mass Education Systems in Nineteenth-Century Europe. *Sociology of Education*, 62 (4), 277-288 (Véase página 13).
- Stremmler, F. G. (1989). *Sistemas de Comunicación*. Alfa-Omega. (Véase página 28).
- Tiwari, R. M. (2016). Study on Google’s Loon Project. *Int. J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol*, Vol 5 (Num 5), 1373-2278 (véase página 10).
- Tomasi, W. (2003). *Electronic Communications Systems*. (fifth). Prentice Hall. (Véanse páginas 38, 39).
- Toro García, N., Garcés-Gomez, Y. A., y Henao-Cespedes, V. (2022). Robust control technique in power converter with linear induction motor. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 13 (1), 340-347. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v13.i1.pp340-347> (Véase página 27)
- Toro-García, N., Garcés-Gómez, Y. A., y Hoyos, F. E. (2019). Discrete and continuous model of three-phase linear induction motors “Lims” considering attraction force.

- Energies, 12 (4), 655. <https://doi.org/10.3390/en12040655> (Véase página 20)
- Toro-García, N., Garcés-Gómez, Y. A., y Hoyos, F. E. (2020). Discrete and continuous model of three-phase linear induction motors considering attraction force and end-effects. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11 (4), 1737-1749. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i4.pp1737-1749> (Véase página 27)
- Torres, A. (2004). Ampliación de cobertura de una señal de radiodifusión transmitida en frecuencia modulada para la Zona Norte del Departamento del Tolima (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 32)
- Trejo, R., y García-Álvarez, J.-C. (2004). Desarrollo de módulos didácticos en medición de parámetros de desempeño en equipos de radiocomunicación (informe técnico). Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (Véase página 59)
- Trujillo, O. A., Toro-García, N., y Hoyos, F. E. (2019). PID controller using rapid control prototyping techniques. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9 (3), 1645-1655. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i3.pp1645-1655> (Véase página 20)
- Universidad de los Andes. (2023). Ensayos de Compatibilidad Electromagnética (CEM) para Ventiladores Mecánicos en Uniandes. (Véase página 30).
- Vanoye, A. Y., (Monterrey, T. d., Carrera, E., (Monterrey, T. d., Romero Ogawa, T. d., Miguel Angel (Monterrey, & Torres, G. (2020). Produciendo biodiesel con realidad virtual. VII Congreso Internacional de Innovación Educativa (Véase página 54)
- Vargas-Mendoza, L. (2016). Schoology y Media Scape: una combinación exitosa para apoyar el aprendizaje mediado por tecnología. Congreso Internacional de Innovación Educativa 2016 (véase página 54).
- Volungevičienė, A., Naujokaitienė, J., Tamoliūnė, G., & Duarte, J. M. (2021). Synthesis and the Model of Application of Learning Analytics as a Metacognitive Tool to Enhance Student Academic Success. En *Learning Analytics: a Metacognitive Tool to Engage Students* (Páginas 171-179). Sciendo. <https://doi.org/10.2478/9788366675643-006>. (Véase página 60)
- Ziegler, S., y Arias Segura, J. (2022). Conectividad rural en América Latina y el Caribe - Estado de situación, retos y acciones para la digitalización y el desarrollo sostenible (informe técnico). IICA. (Véase página 12).

Autores

Julio César García Álvarez

Ingeniero Electrónico en 1998, Magister en Ingeniería Electrónica y de Computadores en 2000 y Doctor en Ingeniería - Línea Automática en 2012. Profesor desde el año 2000 de la Universidad Nacional de Colombia, en asignaturas como Sistemas de Comunicaciones, Comunicaciones Digitales, Electrónica Analógica, Campos Electromagnéticos, Propagación Electromagnética, Introducción a la Ingeniería Electrónica, Redes Neuronales, Compatibilidad Electromagnética y Telemática Industrial. Alrededor de esta última asignatura, el profesor García ha desarrollado proyectos de extensión solidaria, donde los objetivos han sido primordialmente el diseño de sistemas sustentables para comunidades vulnerables, además del acondicionamiento de una Sala de Automatización Industrial en la Universidad Nacional de Colombia en 2020. El profesor García es director del grupo de investigación Propagación Electromagnética Aplicada (PROPELA), avalado por la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, categoría C (2024). En este grupo de investigación, creado en 2002, se han desarrollado tecnologías en antenas para microondas, sistemas de comunicación digital, ensayos de compatibilidad electromagnética, análisis de calidad del servicio en redes multimedia, medición de la calidad en imágenes

Neil Guerrero Gonzalez

Ingeniero Electrónico y Magíster en Ingeniería - Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Doctor en Fotonica de la Universidad Técnica de Dinamarca. Investigador Senior en las líneas de investigación de Telecomunicaciones, Fibra óptica y Procesamiento Digital de

Señales. Amplia experiencia profesional e investigativa a nivel internacional en diferentes países como Dinamarca, Brasil, Alemania y Colombia.

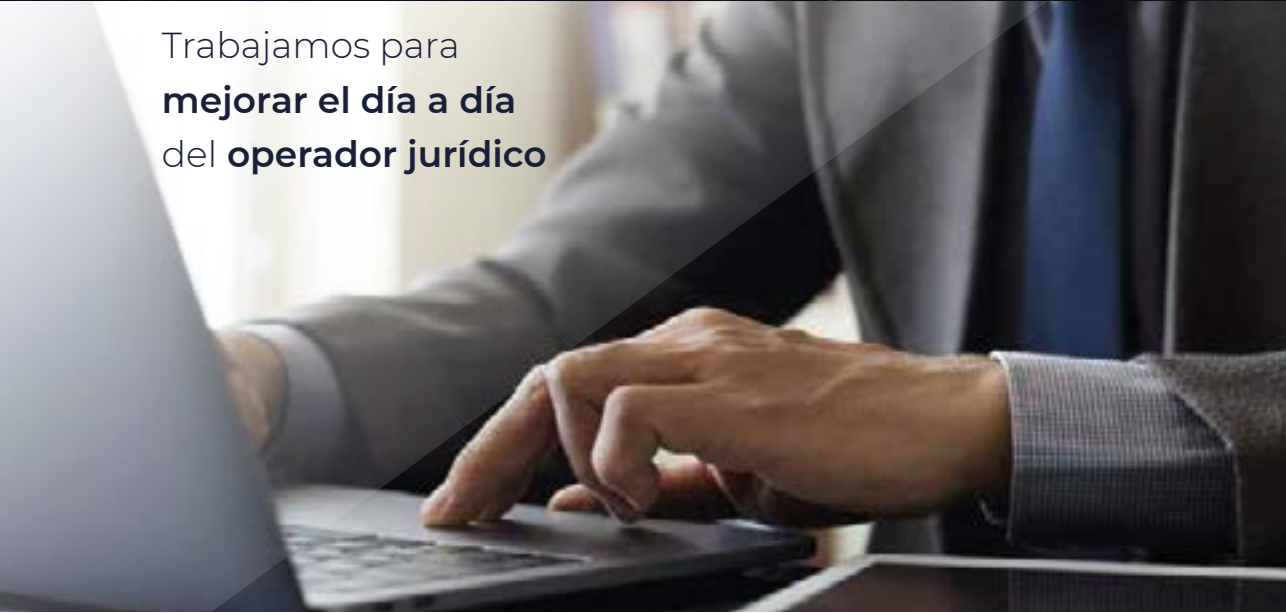
Nicolas Toro García

Investigador Senior de Minciencias. Doctorado Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales Doctorado en ingeniería, Maestría/Magister Universidad
Tecnológica de Pereira Maestría en Sistemas Automáticos de Producción



Inteligencia jurídica en expansión

Trabajamos para
mejorar el día a día
del **operador jurídico**

A close-up photograph of a person's hands in a grey suit typing on a laptop keyboard. The image is partially obscured by a diagonal white and grey overlay.

Descubre el universo
de **soluciones jurídicas**

✉ atencionalcliente@tirantonline.com

prime.tirant.com/co/



PROGRAMA COLOMBIA CIENTÍFICA

RECONSTRUCCIÓN DEL TEJIDO SOCIAL EN
ZONAS DE POSCONFLICTO EN COLOMBIA

En este libro se explica de manera técnica y social como es posible proveer el servicio de conectividad en centros poblados situados en comunidades rurales. Esta solución busca beneficiar tanto a la comunidad del centro poblado como del resto del país. El aspecto clave es la instalación de los equipos de telecomunicación en un salón privado denominado centralita, que a la vez estaría cumpliendo con el objetivo de capacitación de la población en el área de electrónica y telecomunicaciones.

Así, el sistema presentado en este libro comprende los siguientes avances:

- Actualización de la tecnología (4G a 5G), lo que permite una infraestructura flexible, de bajo costo de instalación y reducido consumo de energía eléctrica.
- Implementación de un valor agregado de prestación de servicio de mayor impacto, que es el de cultivos con sistemas de riego automatizados.



Sede Manizales



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

