UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Aplicación de un modelo de transformación digital rural en la región de Sumapaz para la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales

Gian Carlo Cuesta Nova

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

Bogotá D.C., Colombia

2021

Aplicación de un modelo de transformación digital rural en la región de Sumapaz para la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales

Gian Carlo Cuesta Nova

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería - Ingeniería de Sistemas y Computación

Director:

M.Sc. Juan Carlos Torres Pardo

Línea de Investigación:

Transformación Digital

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

Bogotá D.C., Colombia

2021

“El genio se compone de un 2% de talento y 98% de perseverancia.”

Ludwig van Beethoven

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Gian Carlo Cuesta Nova

05/04/2021

Fecha

Agradecimientos

Al profesor Juan Carlos Torres Pardo por su asesoría, colaboración y motivación en la idea del desarrollo de este trabajo. A la Universidad Nacional de Colombia, quién me levantó, enseño sueños colectivos y cambió para siempre permitiéndome dejar a un lado el egoísta pensamiento en el yo. A mi familia, principal motor en la persecución de este sueño. A Dios, siempre a Dios.

Resumen

Aplicación de un modelo de transformación digital rural orientado a la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales en la región de Sumapaz

El Páramo de Sumapaz es un ecosistema único emblemático de la geografía colombiana, es responsable del suministro de agua a millones de personas, por lo que debe ser protegido de amenazas ambientales que comprometen su integridad para las generaciones futuras. Problemáticas ambientales como los incendios forestales atentan contra la vegetación del páramo, dejando huellas irreparables y heridas culturales en su población.

El objetivo de este estudio es lograr aplicar un modelo de transformación digital ante esta amenaza latente sobre el Páramo de Sumapaz, para mitigar el impacto negativo de los incendios forestales. La metodología de desarrollo de este trabajo final de maestría se basa en un enfoque de investigación mixto realizado en varias fases, a partir de una rigurosa revisión literaria se identificaron las tendencias a nivel mundial referentes a apropiación tecnológica en entornos rurales para la atención de estas catástrofes ambientales, se realiza una contextualización de la problemática presentada en la región a partir de la caracterización biológica, socioeconómica y rural de la zona de estudio, seguida de una evaluación de los planes y acciones que se llevan a cabo en el páramo para atacar los incendios. Habiendo entendido el contexto de la región y comprendido sus debilidades, se articula un modelo exitosamente desplegado en otra parte del mundo, determinando las características que son aplicables en el páramo para consolidar su aplicación, que deberá tomarse como base para realizar una posterior implementación a corto plazo.

Mediante el uso y apropiación tecnológica en la región se puede mejorar notablemente el modo de vivir de sus habitantes, quienes a lo largo de los años han visto desde lejos como

los avances tecnológicos han ignorado en enorme medida al sector rural. A través de la aplicación de un modelo basado en redes de sensores inalámbricos (WSN) e internet de las cosas (IoT), se lleva a cabo una transformación digital en la región que cambia radicalmente el modo de proteger y observar al páramo. Esta aplicación es una iniciativa que contribuye al cierre de la brecha digital entre entornos urbanos y rurales, sirviendo como referencia para una futura implementación que contribuya al desarrollo de más proyectos en beneficio de la región.

Palabras clave: Transformación digital, WSN, incendios forestales, páramo.

Abstract

Application of a rural digital transformation model oriented to attending environmental emergencies caused by forest fires in the Sumapaz region

The Sumapaz Paramo is a unique and emblematic ecosystem of the Colombian geography, it is responsible for supplying water to millions of people, so it must be protected from environmental threats that compromise its integrity for future generations. Environmental problems such as forest fires threaten the vegetation of the moorland, leaving irreparable traces and cultural wounds in its population.

The objective of this study is to apply a digital transformation model to the specific case of the Sumapaz Paramo to mitigate the negative impact of forest fires. The development methodology of this final master's work is based on a mixed research approach carried out in several phases, based on a rigorous literary review, global trends were identified regarding technological appropriation in rural environments for the attention of these environmental catastrophes, a contextualization of the problematic presented in the region is carried out based on the biological, socioeconomic and rural characterization of the study area, followed by an evaluation of the plans and actions that are carried out in the paramo to attack the fires. Having understood the context of the region and understood its weaknesses, a model successfully deployed in another part of the world is articulated, determining its characteristics that are applicable in the paramo to consolidate an application of the model that allows a successful implementation in the future.

Through the use and appropriation of technology in the region, the way of life of its inhabitants can be notably improved, who over the years have seen from afar how technological advances have largely ignored the rural sector. Through the application of a model based on wireless sensor networks (WSN) and the internet of things (IoT), a digital transformation is carried out in the region that radically changes the way of protecting and

observing the paramo. This application is an initiative that contributes to closing the digital gap between urban and rural environments, serving as a reference for a future implementation that contributes to the development of more projects for the benefit of the region.

Keywords: Digital transformation, WSN, forest fires, moorland.

Este Trabajo Final de Maestría fue calificado en junio de 2021 por el siguiente evaluador:

PhD Jose Ismael Peña Reyes
Profesor Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XVII**

Lista de tablas ..... **XVIII**

Introducción **1**

1. Objetivos **5**
1.1 Objetivo general 5
1.2 Objetivos específicos 5
1.3 Alcance 5

2. Metodología **7**

3. Estado del arte **10**
3.1 Panorama general de la transformación digital rural 10
3.2 Panorama de la transformación digital orientada a la detección de incendios forestales 22
3.2.1 Sistemas satelitales 23
3.2.2 Sistemas ópticos 25
3.2.3 Redes de sensores inalámbricos 33

4. Contextualización de la problemática **43**
4.1 Contexto del Páramo de Sumapaz 45
4.1.1 Contexto geográfico y biológico 45
4.1.2 Contexto socioeconómico y cultural 51
4.2 El Páramo de Sumapaz frente a los incendios forestales 59

5. Articulación de la transformación digital organizacional **67**
5.1 Modelo Altimeter: Seis etapas para la transformación digital 67
5.2 Modelo MIT: Hoja de ruta para organizaciones billonarias 70
5.3 Modelo MinTIC: Modelo de madurez para la transformación digital 74
5.4 Modelo Deloitte: El viaje hacia la transformación digital gubernamental 78

6. Aplicación del modelo de transformación digital **85**
6.1 Selección de la tecnología 87
6.2 Selección del modelo tecnológico 91
6.3 Selección del modelo de transformación digital 93

6.4 Consolidación y aplicación del modelo de transformación digital 95
6.4.1 Consolidación de la tecnología 96
- Estructura física 97
- Modo de funcionamiento del sistema 103
- Consideraciones políticas de la aplicación del modelo 104
- Consideraciones tecnológicas adicionales 107

6.4.2 Aplicación de la transformación digital 110
- Madurez digital 111
- Estrategia 114
- Liderazgo 116
- Desarrollo de la fuerza laboral 119
- Enfoque en la población 120
- Cultura 124
- Seguimiento de preguntas orientadoras para la transformación digital 125
- Relación con otros modelos de transformación digital 128

7. Recapitulación y cumplimiento de objetivos 131

8. Conclusiones y recomendaciones 139
8.1 Conclusiones 139
8.2 Recomendaciones y trabajo futuro 140

A. Anexo: Estadístico de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz 143

Bibliografía 147

Lista de figuras

Pág.

Figura 3-1: Detección de incendios forestales con el sistema IQ FireWatch 28
Figura 3-2: Fuente de humo en escala dinámica de grises a 4 Km de distancia 29
Figura 3-3: Error en localización de incendios forestales con sistemas ópticos 30
Figura 3-4: Arquitectura del modelo FireBug 35
Figura 3-5: Esquema y concepto del modelo FireWxNet 36
Figura 3-6: Estructura del modelo FFSS..... 37
Figura 3-7: WSN con comunicación satelital 39
Figura 4-1: Causas de incendios forestales..... 44
Figura 4-2: Frailejones (Espeletia sp.) emblemáticos del ecosistema de páramo 46
Figura 4-3: Localización y áreas protegidas del Páramo de Sumapaz..... 48
Figura 4-4: Condiciones de vida en el Páramo de Sumapaz por subzona hidrográfica.. 54
Figura 4-5: Visualización del sistema FIRMS 63
Figura 4-6: Puntos de calor en el Páramo de Sumapaz entre 2012 y 2019. 64
Figura 4-7: Puntos de calor por año en el Páramo de Sumapaz entre 2012 y 2019 65
Figura 5-1: Bloques constructores de la transformación digital..... 71
Figura 5-2: Matriz de madurez digital del modelo MIT 73
Figura 5-3: Barreras para la apropiación de las TIC 74
Figura 5-4: Cadena de valor de una organización. 76
Figura 5-5: Marco de referencia de la madurez digital..... 79
Figura 5-6: Habilidades necesarias para la TD gubernamental 81
Figura 6-1: Diagrama general de la WSN para detección y verificación de incendios.... 96
Figura 6-2: Distribución de los dispositivos en el modelo aplicado..... 99
Figura 6-3: Sensor inalámbrico propuesto para la red 101
Figura 6-4: Paneles solares policristalinos para alimentación eléctrica de sensores 102
Figura 6-5: Diagrama de transmisión de mensajes del modelo aplicado 104
Figura 6-6: Ejes del Plan TIC 2018-2022.....106
Figura 6-7: Transformación del proceso de atención de incendios forestales.....116
Figura 6-8: Plan de capacitación digital para soportar el sistema. 118
Figura 8-1: Archivo de puntos de calor totales detectados por el sistema FIRMS.....143
Figura 8-2: Archivo puntos de calor por país año 2014 sistema FIRMS 144
Figura 8-3: Total de puntos de calor en Colombia detectados por FIRMS. 144

Lista de tablas

Pág.

Tabla 2-1: Tareas metodológicas del trabajo de grado. 7
Tabla 3-1: Comparación de sistemas ópticos en experimentación..... 31
Tabla 3-2: Cuadro comparativo de los sistemas de detección de incendios forestales ... 40
Tabla 4-1: Coordenadas geográficas Parque Nacional Natural Sumapaz (GMS) 47
Tabla 4-2: Subzonas hidrográficas del Páramo de Sumapaz 49
Tabla 4-3: Total de población del entorno regional del Páramo de Sumapaz 52
Tabla 4-4: Uso de leña, madera, material de desecho y carbón vegetal para cocinar 56
Tabla 5-1: Componentes de las etapas de la TD..... 69
Tabla 5-2: Procesos del modelo de madurez para la TD 76
Tabla 5-3: Niveles de digitalización de una organización..... 78
Tabla 5-4: Características de la madurez digital de una organización 80
Tabla 5-5: Preguntas clave para la TD gubernamental..... 84
Tabla 6-1: Comparación de métodos de detección de incendios forestales..... 88
Tabla 6-2: Elementos comunes de los modelos de TD..... 94
Tabla 6-3: Consideraciones de la aplicación de la red en zonas rurales..... 97
Tabla 6-4: Características recomendadas cámara IP 101
Tabla 6-5: Nivel de madurez digital actual en el Páramo de Sumapaz 111
Tabla 6-6: Nivel de madurez digital deseada en el Páramo de Sumapaz 113
Tabla 6-7: Respuestas a las preguntas orientadoras para la TD 126
Tabla 6-8: Nivel de transformación digital posible por tipo de modelo 130
Tabla 7-1: Problemáticas causantes de incendios en el Páramo de Sumapaz 131
Tabla 7-2: Ventajas del modelo tecnológico seleccionado..... 134
Tabla 7-3: Consideraciones adicionales de la aplicación del modelo tecnológico..... 135
Tabla 8-1: Coordenadas geográficas Parque Nacional Natural Sumapaz (GD)..... 145
Tabla 8-2: Puntos de calor por año detectados por FIRMS en el Páramo de Sumapaz 145

Introducción

A lo largo de la historia los incendios forestales han sido una catástrofe ambiental difícil de controlar, han sido los causantes de incalculables pérdidas económicas y humanas, y de graves consecuencias ambientales en la vegetación y en la atmósfera. Se estima que el 30% del dióxido de carbono en la atmósfera corresponde a incendios forestales (Dogra, Rani, & Sharma, 2020), generando afectaciones graves en la composición del aire. Además, el humo de los incendios es capaz de transportar células bacterianas o fúngicas que generan complicaciones críticas en la salud humana y en las demás especies.

A pesar de que los incendios forestales se han presentado desde hace varios siglos, en la segunda parte del siglo XX el incremento del uso de combustibles por parte del ser humano ha contribuido en el calentamiento global, lo cual ha aumentado de manera preocupante la cantidad y frecuencia de incendios forestales alrededor del mundo (Nasi, Dennis, Meijaard, Applegate, & Moore, 2002). El cambio climático global ha ocasionado un aumento en la frecuencia del fenómeno del Niño, lo cual para el caso colombiano alarga la temporada de sequías, haciendo el país más susceptible a incendios forestales. Hábitats emblemáticos de suma importancia son amenazados por esta problemática ambiental, como es el caso del Páramo de Sumapaz, un ecosistema único que además es considerado el páramo más grande del mundo. Entendido como fábrica de agua y fuente de vida, el páramo es irremplazable, por lo cual incendios en su territorio generarán consecuencias catastróficas a futuro en el balance hídrico de Colombia.

Es necesario elaborar planes y tomar acciones que contrarresten el efecto negativo del fuego en el Páramo de Sumapaz, no solo por su importancia biológica sino por su trascendencia cultural en la región. El cambio climático es una realidad que exige que se tomen nuevas medidas que mitiguen sus daños en ecosistemas clave como el páramo. Este territorio demanda metodologías fuera de lo tradicional que permitan detectar de manera oportuna incendios antes de que estos sean incontrolables y arrasen con hectáreas de vegetación irrecuperable.

Uno de los principales objetivos a nivel mundial con relación a incendios forestales, es la detección de estos en sus etapas iniciales, cuando aún son controlables y no han causado tanto daño sobre el medio ambiente. La principal problemática de ello es que muchos de los incendios son originados en áreas remotas difíciles de visualizar, por lo que cuando estos son identificados ya han consumido una cantidad significativa de vegetación. Cuanto más avanza un incendio, más difícil es controlarlo, para apagar las llamas de un incendio forestal que se originó hace un minuto se requiere un litro de agua, dos minutos requieren cien litros y diez minutos requieren más de mil litros (Alkhatib, 2014), por lo que hay que evitar a toda costa que un incendio llegue a etapas avanzadas para evitar esta lucha contrarreloj que minuto a minuto cobra hectáreas de valiosa vegetación.

En el contexto anterior, la Transformación Digital (TD), entendida como el uso y apropiación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar o cambiar radicalmente un determinado aspecto en la sociedad humana (IDOM, 2018), se convierte en una opción válida para abordar el problema. La TD cada vez toma más fuerza, sobre todo en el sector empresarial y organizacional, siendo aplicado principalmente para mejorar el desempeño del modelo de negocio de una organización, derivando en un incremento empresarial. En la ruralidad también se han llevado a cabo proyectos exitosos de TD, aunque estos son mucho menos frecuentes que los llevados a cabo en entornos urbanos. La utilización de elementos tecnológicos para la atención de emergencias causadas por incendios forestales y su aplicación a un determinado entorno geográfico y social, implica directamente una TD rural. Tradicionalmente los campos han estado atados a metodologías manuales para el desempeño de sus actividades, esto debido a que a través de los años los avances tecnológicos han sido aplicados principalmente en las grandes ciudades, llevando a que la población rural permanezca aislada de innovaciones tecnológicas que le permitan tener un mejoramiento en su diario vivir. El aplicar proyectos rurales basados principalmente en la tecnología genera una transformación en el vivir de las personas de campo, brindando herramientas para el mejoramiento de sus condiciones de vida y protección de su territorio, pieza clave en la cultura de la población rural.

Con el emergente crecimiento de las TIC a nivel global, se han tenido herramientas alternativas a la observación tradicional para la detección oportuna y monitoreo de incendios forestales. Son varias las implementaciones tecnológicas a nivel mundial orientadas a mitigar el impacto negativo de estas catástrofes ambientales, desembocando en una TD en la zona en las cuales se han desplegado. El desarrollo de este trabajo de

grado pretende tomar uno de estos modelos exitosamente implementados, entender las debilidades en el Páramo de Sumapaz relacionadas a incendios forestales, y aplicar el modelo escogido al ecosistema de páramo mediante la definición de lineamientos y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para que el modelo pueda articularse correctamente a la región. De esta manera se acotará el modelo seleccionado relacionándolo con las condiciones de la región. La aplicación del modelo al contexto del Páramo de Sumapaz es un estudio pionero en el área para el caso colombiano, con el que se sientan las bases para que en un futuro pueda llevarse a cabo una implementación satisfactoria y se impulsen más proyectos de TD en el sector rural.

Para lograr articular al contexto del páramo el modelo seleccionado, inicialmente se realizó una evaluación literaria rigurosa de casos exitosos de implementaciones de modelos de TD en el ámbito rural. Para ello se estudió el estado actual de la TD en entornos rurales, de modo que se tuviera un entendimiento del estado de proyectos tecnológicos llevados a cabo en los campos relacionados a tecnologías. Enseguida se realizó una evaluación de modelos orientados puntualmente a la detección de incendios forestales, de manera que se tuviera un contexto de los desarrollos tecnológicos en esta área alrededor del mundo. Esta revisión literaria se consolidó y resumió en aquellas implementaciones más importantes, lo cual se plasmó en el primer capítulo.

En el siguiente capítulo se ven reflejadas las investigaciones de caracterización y contextualización del problema para el Páramo de Sumapaz. A través de la caracterización geográfica, biológica, socioeconómica y cultural se logra entender el contexto actual del páramo, el cual se verá que forma una parte intrínseca de la cultura de su población y fuente de vida en el país. Se analizó la situación actual de la región en referencia a los incendios forestales, en donde se muestra una evaluación de los mecanismos y metodologías que utilizan las entidades con jurisdicción en la zona para detectar, alertar y monitorear estas catástrofes ambientales en la región, esto con el fin de determinar debilidades y falencias que puedan evitarse con la aplicación en la zona de un modelo de TD.

Luego de tener un contexto y panorama completo de la problemática identificada, se articula al estudio la revisión de varios modelos de TD organizacional que permita consolidar una transformación efectiva para la situación actual del páramo, acá se verán las tendencias a nivel global y características en común de la TD que deben considerarse

de manera que una futura implementación del modelo que se propone en este estudio vaya más allá de una inclusión tecnológica y resulte en un cambio positivo real de las condiciones en la región de estudio.

El capítulo que precede a lo anterior constituye la aplicación del modelo de TD en el contexto del Páramo de Sumapaz, para ello inicialmente se presenta una comparativa entre la tecnologías identificadas sobre las cuales están construidos los modelos evaluados, argumentando la aplicabilidad de determinada tecnología para el contexto de la región. Enseguida se realiza la selección del modelo basado en la tecnología escogida y se consolida el mismo, articulando las características de este que son aplicables al Páramo de Sumapaz. Aquí se aplicará el modelo brindando los lineamientos a nivel de estructura física tecnológica, modo de funcionamiento del sistema y las consideraciones políticas para que la aplicación de un modelo implementado en otra parte del mundo sea viable para el caso colombiano y puntualmente para el contexto de la región de Sumapaz. La consolidación tecnológica estará acompañada de una aplicación del concepto de TD para la resolución del problema, acá se selecciona el modelo de TD adecuado al contexto del páramo que posibilite un mejoramiento de la situación actual, para lo cual no se tienen en cuenta únicamente las consideraciones tecnológicas sino la construcción de una estrategia que resulte en una apropiación TIC adecuada. Se verá un relacionamiento entre los elementos clave el modelo de TD seleccionado con la situación del Páramo de Sumapaz, en el cual se observarán varias consideraciones en materia de involucramiento de su población, requerimientos de cultura digital, desarrollo de capacidades que permitan una adecuada apropiación tecnológica y consideraciones de políticas públicas que deben tenerse en cuenta para posibilitar un proyecto como el sugerido.

Finalmente, se presentarán las conclusiones de la investigación realizada y se darán algunas recomendaciones a tener en cuenta, de manera que en trabajos futuros pueda llevarse a cabo una implementación satisfactoria del modelo de TD en la región a partir de los lineamientos dados y de las bases sentadas en este estudio.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Aplicar un modelo de transformación digital rural orientado a la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales en el Páramo de Sumapaz.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar las problemáticas ambientales de la región de Sumapaz que originan los incendios forestales en la zona y puedan ser resueltas a partir de la aplicación de herramientas tecnológicas.

- Seleccionar el modelo de transformación digital que más se adapte a las necesidades ambientales identificadas de la región a partir de la revisión de casos exitosos de implementaciones tecnológicas orientadas al monitoreo y control de incendios forestales.

- Determinar las características del modelo de transformación digital escogido que son aplicables al Páramo de Sumapaz a partir de la relación del Modelo con las condiciones de la región.

1.3 Alcance

Este trabajo de grado pretende realizar la adecuación de un modelo de TD que sea capaz de mejorar la situación actual del Páramo de Sumapaz en relación con los incendios forestales. Partiendo de una caracterización de la región y sus habitantes, se identifican los principales problemas que se relacionan con la presencia de incendios en la región. Se

realiza la revisión rigurosa de casos de éxito de diseños e implementaciones de modelos de TD a nivel mundial orientados a la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales. A partir de lo anterior, se lleva a cabo la selección del modelo que mejor se adapte a las necesidades de la región objetivo, determinando las características de este que son aplicables en la región.

La aplicación del modelo de TD consiste en seleccionar y acotar un modelo exitosamente desplegado en otra parte del mundo, relacionándolo con el Páramo de Sumapaz, brindando los lineamientos que deben tenerse en cuenta para que en trabajos futuros pueda llevarse a cabo una implementación de manera satisfactoria.

2. Metodología

La metodología empleada para el desarrollo de este trabajo de grado está basada en un enfoque de investigación mixto, al tener este estudio una línea de investigación técnica que se ve acompañada de un componente social, se hace necesario no únicamente llevar a cabo diseños cuantitativos a través de estudios deductivos sino también incluir diseños cualitativos por medio de estudios inductivos. A continuación, se describen las tareas metodológicas llevadas a cabo asociadas a cada objetivo específico:

Tabla 2-1: Tareas metodológicas del trabajo de grado.

	Objetivo Específico	Tarea Metodológica
1	Identificar y caracterizar las problemáticas ambientales de la región de Sumapaz que originan los incendios forestales en la zona y puedan ser resueltas a partir de la aplicación de herramientas tecnológicas	Realizar revisión bibliográfica sobre estudios ambientales y sociales realizados sobre la zona de Sumapaz que permitan entender las características ambientales de la región (Geografía, topografía, ecosistema) junto con su situación política, económica y cultural
2		Examinar los reportes históricos de incendios forestales y problemas ambientales en la región de Sumapaz para elaborar un consolidado histórico de las principales emergencias ambientales en la zona, sus causas y consecuencias.
3		Colectar y analizar los resultados obtenidos con las revisiones bibliográficas y los reportes históricos de incendios forestales a fin de reconocer patrones que permitan identificar debilidades ambientales y en la

	Objetivo Específico	Tarea Metodológica
		infraestructura de las entidades encargadas de atender las emergencias de este tipo en la región.
4	Seleccionar el modelo de transformación digital que más se adapte a las necesidades ambientales identificadas de la región a partir de la revisión de casos exitosos de implementaciones tecnológicas orientadas al monitoreo y control de incendios forestales.	Realizar revisión bibliográfica relacionada a casos de éxito de aplicación de modelos de TD rural enfocados en solucionar problemas ambientales relacionados a la atención de incendios forestales.
5		A partir de las debilidades de la región identificadas en las actividades metodológicas del objetivo 1, relacionar estas con los modelos de TD seleccionados para realizar un primer filtrado de modelos candidatos a ser aplicados.
6		Realizar estudios hipotéticos de aplicaciones de elementos de los modelos de TD candidatos para identificar si con estas aplicaciones parciales mejoraría la situación actual de la zona y si esta nueva situación tiene una aproximación cercana a la situación deseada.
7	Determinar las características del Modelo de Transformación Digital escogido que son aplicables al Páramo de Sumapaz a partir de la relación del Modelo con las condiciones de la región.	Comparar la población objetivo del modelo de TD escogido con la población de la región de Sumapaz a fin de identificar qué aspectos sociales del modelo deben omitirse o reafirmarse.
8		Relacionar las necesidades y problemáticas identificadas en la región con el modelo de TD escogido con la finalidad de identificar las modificaciones que deban hacerse al modelo para asegurar una adecuada aplicabilidad en la región de Sumapaz.
9		Consolidar el modelo de transformación a aplicar realizando las modificaciones necesarias sobre el modelo original acorde a las necesidades de la zona,

	Objetivo Específico	Tarea Metodológica
		construyendo una serie de lineamientos que permitan resolver los problemas ambientales identificados y disminuir o mitigar las debilidades en la infraestructura de las entidades encargadas de atender las emergencias ambientales de la región.

Elaboración propia

3. Estado del arte

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) han tenido un crecimiento abrupto en los últimos años, la inclusión de estas en entornos colectivos ha llevado a la generación de una TD social resultante en el mejoramiento de condiciones para las personas y la automatización de procesos, estos cambios tecnológicos han tenido principal adopción en el sector urbano, en el cual conceptos como ciudad inteligente e internet de las cosas (IoT) son cada vez más frecuentes, sin embargo, el sector rural se ha visto alejado de la inclusión de estos desarrollos tecnológicos a causa de la centralización de la información en las ciudades. Son muchas las necesidades que se tienen en los campos, pero estas poca atención tienen en materia tecnológica. El caso del sector rural colombiano está presentando un cambio significativo en la actualidad debido al postconflicto, lo cual brinda grandes oportunidades en estas zonas, el momento por el que atraviesan los sectores rurales del país son la oportunidad para aplicar modelos tecnológicos en estos de manera que se lleve a cabo una TD exitosa.

A continuación, se presenta el desarrollo del estado del arte de los modelos de TD rural aplicados a nivel mundial presentado en dos panoramas, un panorama general en el cual se exponen varios casos de éxito de diversas aplicaciones tecnológicas rurales en el mundo, en Latinoamérica y en Colombia, con lo cual se observará que la inclusión de tecnologías en entornos rurales resulta cada vez más necesaria; y un panorama central en el cual se presentarán modelos de TD enfocados principalmente en el monitoreo, atención y detección de incendios forestales, la cual es la problemática en la cual se enfoca este trabajo de investigación.

3.1 Panorama general de la transformación digital rural

La sociedad actual está atravesando un momento de aceleración tecnológica que brinda cientos de oportunidades, se estima que la revolución digital va a tener un impacto cuatro veces mayor del que tuvo la revolución industrial (Martín, Suero, Suso, & Torres, 2019),

esto debido a que la implementación de las tecnologías en las grandes ciudades facilita procesos de automatización en la industria, los acercamientos tecnológicos como la implementación del internet de las cosas optimizan la utilización del tiempo de los ciudadanos, además, en un entorno envuelto por ambientes digitales pueden tenerse soluciones rápidas a problemas muy complejos en corto tiempo.

Las aplicaciones basadas en tecnología en entornos colectivos cuyas actividades se han desarrollado de manera tradicional suelen venir acompañadas de una transformación, la cual en el ámbito social deber velar inicialmente por el mejoramiento de las condiciones de la población en la cual se aplica, esta transformación basada en tecnología debe de estar alineada con las necesidades del grupo que la está experimentando. En los últimos años ha habido una explosión digital que ha generado miles de opciones tecnológicas para distintas aplicaciones, poniendo a disposición de las personas una enorme cantidad de tecnologías que en muchas ocasiones corresponden a más de las que necesitan, en poco tiempo se pasó de tener entornos basados netamente en actividades manuales tradicionales a tener un amplio catálogo tecnológico para diversos usos. La aplicación de estas tecnologías en grandes poblaciones requiere de un análisis inicial del entorno para enfocar determinada tecnología a la resolución puntual de un problema de la población, de nada sirve tener una determinada cantidad de tecnologías si ninguna de ellas es útil para las necesidades de la población objetivo.

Son cada vez más las aplicaciones tecnológicas que sin notarlo han hecho parte de la llamada sociedad de la información, estas concentraciones de modelos tecnológicos orientadas a medianas y grandes poblaciones consolidan el concepto de ciudad inteligente, entendiéndose como la aplicación de desarrollos tecnológicos para el mejoramiento de las condiciones y automatización de procesos en las urbanizaciones, no hay una definición única para ciudad inteligente, basado en sus requerimientos cada país define su propio concepto acorde a la ubicación geográfica, sus necesidades y sus condiciones económicas (Merline & Vimalathithan, 2017). Por lo anterior las aplicaciones tecnológicas y modelos de TD no deben aplicarse indistintamente de manera aleatoria, son las condiciones de la misma población las que marcan las necesidades y las pautas para la inclusión de modelos tecnológicos.

Si bien es cierto que las tecnologías y entornos digitales han brindado centenares de soluciones, estas están limitadas solo a un pequeño porcentaje de la población mundial.

Como se mencionó, usualmente las concentraciones tecnológicas se dan en grandes metrópolis al punto de construir redes de cooperación para la consolidación de ciudades inteligentes, los ciudadanos del común encuentran a diario nuevas tecnologías a su alrededor que facilitan muchas de las actividades que se desarrollan. A nivel de ciudad las adopciones tecnológicas han tenido un crecimiento significativo que ha resultado en el mejoramiento de las condiciones de sus habitantes en aspectos como movilidad, trámites y servicios, acceso a servicios básicos, digitalización de la información, entre otros, este crecimiento tecnológico urbano ocasiona un aumento en la centralización en las grandes urbes, con lo cual es en las grandes ciudades donde se concentran la mayor cantidad de actividades económicas e industriales y por ello donde se concentra el crecimiento demográfico a nivel global.

El mejoramiento de las condiciones para los ciudadanos ha sido un gran logro de la tecnología en los últimos años, sin embargo, estos avances suelen limitarse a espacios urbanos dejando de lado la atención hacia los espacios rurales. Las grandes ciudades tienen una dependencia significativa del sector rural, no hay ciudad sin campo en tanto que la gran mayoría de los recursos de las metrópolis provienen de pequeñas poblaciones, un ejercicio aritmético refleja que con el crecimiento que tienen las ciudades a causa de la tecnología va a aumentar su exigencia de recursos, con lo cual si se mantiene la misma producción rural actual en pocos años no se podrán suplir estas nuevas exigencias. Los espacios rurales no han tenido el mismo nivel de adopción tecnológica que han tenido las ciudades, y esto corresponde en gran parte a que no se han realizado muchos esfuerzos para la aplicación de modelos tecnológicos en los pequeños pueblos, muchas personas consideran que debido a que tradicionalmente el sector rural ha llevado sus actividades de manera manual y que los habitantes de estas zonas no tienen el nivel de cultura tecnológica, no necesitan de tecnología en sus ambientes, lo cual es un supuesto erróneo ya que, a pesar de no tener las mismas necesidades de las ciudades, los habitantes del campo requieren soluciones para la automatización de procesos, el mejoramiento de su actividad productiva y el acceso a servicios básicos como el agua y la electricidad que en muchas ocasiones no se tiene. Las cifras del Banco Mundial para el año 2018 indican que el 45% de las personas a nivel mundial vive en zonas rurales (Banco Mundial, 2018), con lo cual se entiende que es un amplio porcentaje de la población global el que está alejado

de los desarrollos tecnológicos precisamente por esta falta de atención al sector rural en materia digital.

El concepto de Transformación Digital puede definirse como la realineación o nueva inversión en tecnología, negocios modelos y procesos para generar un nuevo valor para los clientes, empleados y ciudadanos para competir eficazmente en un cambio constante de economía digital (Solis & Szimanski, 2016), es una definición dirigida principalmente al ámbito organizacional y económico, debido a que las grandes concentraciones tecnológicas suceden primeramente en estos ambientes, esta realineación tecnológica pensada en la administración pública o en ámbitos colectivos no necesariamente empresariales, permite expandir el termino hacia la resolución de problemas colectivos tradicionales mediante modelos tecnológicos capaces de brindar cambios radicales en pro de la automatización y la mejora en la calidad de vida de las personas.

Alineados con Solis y Szimanski, se tiene este concepto de TD, el cual está definido como el uso de tecnología para mejorar radicalmente el rendimiento o el alcance de las empresas y poblaciones (Westerman, Calmejane, Bonnet, Ferraris, & McAfee, 2011). Hay que notar el énfasis especial que ambos conceptos hacen sobre el término *radical*, para el cual se entiende que las implementaciones o aplicaciones tecnológicas deben transformar e impactar positivamente el ámbito poblacional donde se apliquen, no es simplemente aplicar la tecnología *x* en el entorno *y*, sino que esto debe ocasionar un impacto colectivo y social sobre el grupo social en el cual se aplique para poder hablar de una transformación.

A menudo, el concepto de TD en grandes poblaciones se ve acompañado de la idea de Ciudad Inteligente (Smart City), la cual a partir de la colección de aplicaciones tecnológicas mejora las actividades desarrolladas en una ciudad. En la actualidad, en la literatura se pueden encontrar decenas de descripciones diferentes de lo que es una ciudad inteligente, a pesar de la discusión en curso de los últimos años, no existe una definición acordada sobre las ciudades inteligentes, sin embargo la mayoría de estas definiciones coinciden en el mejoramiento y automatización de las actividades cotidianas urbanas a partir de aplicaciones tecnológicas, las cuales deben estar relacionadas una con la otra para la construcción de una red tecnológica inteligente (Angelidou, 2015), este mismo autor indica que las ciudades inteligentes representan un modelo urbano de desarrollo basado en la utilización de capital humano, colectivo y tecnológico para el desarrollo de aglomeraciones urbanas, hay que notar según esto que las aplicaciones tecnológicas por sí solas no son

capaces de llevar a cabo transformaciones o de construir la red tecnológica inteligente mencionada, es la convolución del capital humano, colectivo y tecnológico la que se encarga del desarrollo de esta red, este trabajo conjunto es responsable del acercamiento tecnológico a las poblaciones que depende en gran medida del ámbito social, cultural y político de la población en la cual se ve envuelta la tecnología.

La idea de ciudades inteligentes ha emergido y causado cada vez más impacto en los últimos años, son cada vez más la cantidad de gobiernos a nivel mundial que optan por las soluciones tecnológicas en la ciudad para mejorar el posicionamiento de esta y la calidad de vida de sus ciudadanos, sin embargo, esta idea requieres ser expandida sin limitarse únicamente a ámbitos urbanos, los entornos rurales tienen unas necesidades particulares que pueden ser tratadas mediante el uso de tecnología, es así que el concepto de ciudad inteligente debe extenderse y generalizarse para que sea aplicable a cualquier tipo de grupo poblacional. Desde 1969 el arquitecto Takis Zenetos concibió la idea de Urbanismo Electrónico como un modelo de población que abarca la red tecnológica en favor de la equidad social, y la creatividad, en conexión con el hábitat natural, economía de energía y tiempo y sostenibilidad (Kallipoliti, 2014). Esta idea de Urbanismo Electrónico no debe limitarse únicamente a entornos urbanos, evidentemente la equidad social, conexión con hábitats naturales y sostenibilidad son términos que también se aplican en entornos rurales, de manera que si se revisa la idea concebida por Zenetos se infiere que quizá el término urbanismo no es el mejor para ser utilizado, esta idea puede ser aplicada tanto para entornos urbanos y rurales. Es justo reconocer, en defensa del autor, que el concepto fue dado hace cincuenta años en una época en la cual no se tenían los desarrollos tecnológicos de hoy en día, de manera que imaginar este modelo poblacional basado en la tecnología era un pensamiento visionario que inicialmente se limitó a las grandes ciudades.

Articulando las definiciones dadas hasta el momento y orientándolas a entornos rurales, lo cual se alinea con la presente investigación, resulta necesario hablar de pequeñas poblaciones inteligentes, refiriéndose en el caso colombiano por ejemplo a municipios enmarcados en el ámbito rural. De esta manera algunos autores proponen el termino de Villa Inteligente, el cual está concebido como una tecnología avanzada y eficiente utilizada en la agricultura para resolver muchos obstáculos técnicos en tecnología de la información para un área amplia, asegurada con transmisión de datos confiable bajo un sistema

integrado (Subhakala, Muthulakshmi, Geetha, Dhanya, & Meenakshi Sundara Nath, 2017). Claramente la mayoría de actividades que se desarrollan en entornos rurales corresponden a la agricultura y ganadería, sin embargo este tipo de poblaciones tienen necesidades básicas que se deben suplir y no necesariamente están relacionadas a alguna de estas dos actividades, el termino dado por Subhakala et al. no debe ser limitado únicamente a la agricultura, la resolución de obstáculos técnicos de la cual hablan los autores debe expandirse a las necesidades de las poblaciones rurales, de manera qué, articulando los términos de Villa Inteligente y Urbanismo Electrónico, debe ampliarse la concepción tecnológica a aplicar para todas las actividades desarrolladas en los municipios, si bien es cierto estas no son tan complejas como algunas de las desarrolladas en las grandes ciudades, pero de igual manera se requieren automatizaciones y aplicaciones eficientes con el uso de la tecnología para lograr una TD capaz de brindar soluciones a los entornos rurales no solamente en el ámbito económico, sino también en el social.

Tener una visualización precisa sobre el estado de adopción tecnológica en los sectores rurales hace que primero sea necesario entender el contexto del área que se pretende evaluar, es decir, es diferente el contexto de un país del primer mundo en adopción tecnológica al contexto de América Latina y mucho más en zonas rurales, los métodos para identificar y clasificar el nivel tecnológico utilizado alrededor del mundo así como de implementación de modelos digitales no son aplicables en América Latina, estos están orientados en evaluar a los países de Europa y del hemisferio norte, por lo cual para Latinoamérica no pueden utilizarse debido a que no se consideran los factores políticos, culturales y sociales de la región (Marchetti, Oliveira, & Figueira, 2019). Otros autores coinciden en esta idea diciendo que, además de las condiciones tecnológicas que deben cumplirse para la aplicación de un modelo de TD en determinada región, deben analizarse las condiciones físicas, sociales y políticas, para lo cual un modelo o aplicación de tecnología implementada en determinada población se considera exitoso si, además de generar impactos tecnológicos genera impactos sociales que pueden desembocar en una transformación social (Parada, 2017). Junto a estas ideas se suma el concepto de otros autores en el cual la noción de ciudades, poblaciones y territorios inteligentes requiere tres dimensiones básicas: una tecnológica, una humana y una creatividad social y comunitaria (Nam & Pardo, 2011).

Mientras una cantidad considerable de estudios hacen únicamente énfasis en componentes digitales y tecnológicos en relación con la existencia de territorios inteligentes, transformaciones digitales e infraestructura de comunicaciones, otros autores resaltan y destacan la importancia y el papel crucial del capital humano y social que administra y opera estas tecnologías con una visión sostenible y de largo alcance (Vega, Britton, De la Puente, & Negrette, 2018). Komninos en (Komninos, 2015) declara que para que un territorio sea considerado inteligente deben estar involucrados procesos informacionales, cognitivos e innovativos, por lo cual las comunidades deberían estar capacitadas para combinar este capital intelectual, las instituciones para la colaboración con la infraestructura técnica para construir las funciones de conocimiento que les permiten un mejor uso de los recursos, en otras palabras, además de los recursos tecnológicos y de las instituciones involucradas en tecnología en determinado territorio, deben haber personas en la comunidad con habilidades cognitivas que administren y enriquezcan el funcionamiento y adopción tecnológica en la zona, de manera que la población debe articular a estos actores para un correcto desempeño de las actividades en materia tecnológica aplicadas en la población.

A pesar de no tener tanta implementación como en las grandes ciudades, existen alrededor del mundo casos de TD en zonas rurales que han dado resultados satisfactorios, si bien es cierto que falta ahondar en desarrollos tecnológicos rurales existen aplicaciones que han funcionado correctamente en pequeñas poblaciones. Al basarse las actividades productivas de las zonas rurales principalmente en agricultura y ganadería la mayoría de aplicaciones basadas en tecnología han sido orientadas hacia estas áreas, Doyle, Oliver y Whitworth en (Doyle, Oliver, & Whitworth, 2019) presentan el diseño de un sistema autónomo de cultivo en el este de África, el sistema diseñado está orientado a mejorar la calidad de los alimentos cultivados en esa región debido a que por las condiciones climáticas de la zona estos no se tratan como deberían, además del mejoramiento del proceso de cultivo para obtener productos de mejor calidad, el sistema realiza una optimización de las actividades regulares de cultivo, esto ocasionando que se haga menos uso de agua y se disminuya el uso de fertilizantes, entre otras cosas. De manera muy similar al caso anterior, un diseño de automatización de agricultura a partir de IoT desarrollado por Ferrández-Pastor et al. en (Ferrández-Pastor, García-Chamizo, Nieto Hidalgo, & Mora-Martínez, 2017) pretende de igual manera generar un método autónomo

del control de determinado cultivo, lo que hace este estudio interesante de debe a que utiliza una metodología de modelado centrado en el usuario (UCD por su nombre en inglés) en el cual los usuarios finales influyen en el proceso de cómo el diseño va tomando forma, de esta manera el especialista en agricultura tiene una participación activa en la etapa de diseño en la cual la experiencia del agricultor debe estar alejada de sus preferencias personales. Estos tipos de estudios en los cuales se tiene una retroalimentación directa permiten orientar el diseño del modelo en cualquier etapa del proceso, de manera que se cierra la brecha de incertidumbre en torno a la aceptación que el modelo de TD pueda tener en la comunidad.

Al considerar factores como el monitoreo, control de energía y predicción, las soluciones basadas en el internet de las cosas se han identificado para varias aplicaciones en el dominio de la agricultura (Nagaraju & Chawla, 2019). El factor de monitoreo es tratado por Aiello et al. en (Aiello, Giovino, Vallone, Catania, & Argento, 2018), donde inicialmente la obtención de datos paramétricos se hace a partir de sensores remotos y redes inalámbricas de sensores (WSN por su nombre en inglés *Wireless Sensor Networks*), el objetivo principal de este estudio es adquirir la información relacionada al cultivo sin que en ello se vean involucrados humanos para transmitir esa información a un servidor donde posteriormente sea procesada, esta aplicación fue posible aunque se identificó como principal falencia la alimentación de los sensores, ya que en campo abierto no resulta tan sencillo tener acceso a la electricidad como en las ciudades. En los estudios llevados a cabo por Kodandaramaiah en (Kodandaramaiah, 2015), Danita et al. en (Danita, Mathew, Shereen, Sharon, & Paul, 2019) y Raj y Sasipraba en (Raj & Sasipraba, 2019), se coincide en referenciar centros de procesamiento de datos basados en agricultura, los cuales son instituciones cuya especialidad es recibir los datos planos de los sensores y entregar al usuario la información consolidada que él requiere, en el ámbito de la agricultura y las llamadas *greenhouses* estos centros han tomado bastante popularidad ya que el problema se reduce a colectar datos que puedan ser enviadas a una entidad de este tipo.

Zamora-Izquierdo et al. en (Zamora-Izquierdo, Santa, Martínez, Martínez, & Skarmeta, 2019), Zhang et al. en (Zhang, Wang, Shi, & Zheng, 2018), Saville et al. en (Saville, Hatanaka, & Wada, 2016) y Goap et al. en (Goap, Sharma, Shukla, & Rama Krishna, 2018), presentan sistemas de predicción asociados a la agricultura basados en aplicaciones tecnológicas, estos últimos autores presentan, por ejemplo, el diseño de un método de

medición de la humedad del suelo, lo cual es vital en el campo de la agricultura para optimizar los métodos de irrigación de los cultivos, con la utilización del *Machine Learning* logran aplicar un método para la predicción de la humedad de los suelos del cultivo basado en mediciones previas con el internet de las cosas y relacionando la información con las predicciones meteorológicas disponibles a diario en la red. Las implementaciones tecnológicas y de TD enfocadas en la agricultura basan principalmente su desarrollo en la inclusión del internet de las cosas, esto es confirmado por Liu et al. en (Liu et al., 2016), quienes introducen el término de AIoT (Agriculture Internet of Things) relacionado a las implementaciones tecnológicas únicamente en aplicaciones agroindustriales.

A nivel de América Latina las implementaciones tecnológicas tienen en parte un comportamiento similar al descrito anteriormente, esto corresponde a que la mayor cantidad de esfuerzos en inversión tecnológica se concentran en las grandes ciudades. Un estudio llevado a cabo por Calderón, López y Marín en (Calderón, López, & Marín, 2017) y un análisis desarrollado por Lopes en (Lopes, 2017), coinciden en que en materia tecnológica a nivel ciudad están bien posicionadas en América Latina países como México, Colombia, Chile, Brasil y Argentina, sin embargo su panorama rural es diferente. Mientras en los países del primer mundo, aunque su concentración tecnológica está enfocada en mayor parte en las grandes ciudades, se están pensando e implementando desarrollos tecnológicos en aplicaciones agroindustriales en zonas rurales como se observó en párrafos anteriores, en América Latina los esfuerzos digitales en el sector rural son prácticamente nulos en comparación con el capital tecnológico que se invierte en las ciudades. Cedillo-Elias et al. en (Cedillo-Elias, Orizaga-Trejo, Larios, & Maciel Arellano, 2019) realizan un estudio tecnológico sobre la región metropolitana en Guadalajara encontrando que se ha tenido crecimiento significativo en materia de gobierno electrónico, sin embargo el estudio también muestra que municipios próximos a esta ciudad no presentan una inversión tecnológica cercana a la que presenta la capital del estado de Jalisco, este es un comportamiento que se evidencia en la mayoría de los país Latinoamericanos, los esfuerzos por mejorar las condiciones tecnológicas de las grandes ciudades hacen que se dejen de lado los sectores rurales, para lo cual la diferencia entre ciudades y pequeñas poblaciones resulta bastante grande. Mochi en (Mochi, 2009) realiza un estudio de dos ciudades "intermedias" latinoamericanas, realiza un análisis tecnológico de las ciudades de Mérida (Estado de Yucatán, México) y Rosario (Provincia de Santa Fe,

Argentina) en el cual se evidencia el esfuerzo por los gobiernos de esas ciudades de realizar implementaciones tecnológicos, a pesar de no ser grandes metrópolis como las capitales de estos países y desde luego no hacer parte de una zona rural, estas aplicaciones de tecnología en poblaciones cada vez más pequeñas hacen pensar que en algún momento se llegarán a aplicar modelos tecnológicos en el contexto latinoamericano para pequeñas poblaciones rurales.

En Colombia, la mayor parte de los esfuerzos tecnológicos se concentran en las grandes ciudades, los estudios presentados por Ochoa et al. en (Ochoa et al., 2019) y Salcedo et al. en (Salcedo, Pedraza, & Hernández, 2007) son sólo algunos de los ejemplos de centralización tecnológica en la capital colombiana en los cuales se realizan varios esfuerzos por el mejoramiento de las condiciones a partir de la tecnología, el primero presenta un prototipo de ciudad inteligente soportado en entornos virtuales que simula los espacios de la ciudad con implementaciones tecnológicas, mientras que el segundo estudio diseña un sistema de semaforización inteligente en Bogotá, el cual examina el tráfico existente en una vía principal de Bogotá a través de una serie de semáforos, y a partir de esto se sincroniza el tiempo de duración y de desfase de los semáforos, utilizando para ello el Sistema de Inferencia Difusa Basado en Redes Adaptativas. Como se ha venido observando, la mayoría de estudios de tecnología en el país y en el mundo tienen su foco en las grandes ciudades, Gallego et al. en (Gallego, Gutierrez, & Lee, 2015) por ejemplo realiza un estudio de adopción TIC orientado a las empresas de manufactura relacionando el tamaño de estas con el nivel de implementación tecnológica, también se encuentran trabajos como el desarrollado por Parra et al. en (Parra, Angulo, Sandoval, & Guerrero, 2019), el cual a pesar de enfocarse en el sector organizacional, realiza un análisis de la TD en Colombia para lo cual presentan 5 variables que deben tenerse en cuenta en todo proceso de análisis digital: Capacidad de absorción, Infraestructura TIC, Actividades de Investigación y desarrollo (I&D), Sector y Regulación; lo cual se ve reflejado a su vez en evaluaciones de la adopción tecnológica tanto urbana y rural en el contexto colombiano necesarias para identificar las principales falencias en materia tecnológica, es decir, son variables muy importantes a tener en cuenta que pueden y deben tenerse en cuenta independientemente si el sector estudiado corresponde a las ciudades o los campos. Maestre-Góngora y Bernal en (Maestre-Gongora & Bernal, 2019) presentan a su vez cinco dominios para el estudio de la capacidad de administración TIC como un habilitador de ciudades inteligentes, estas son una estrategia de gobierno electrónico,

innovación pública, administración de datos, servicios TIC e Infraestructura; dominios que se puede evidenciar están bastante alineados con las variables definidas por Parra et al. en (Parra et al., 2019), con lo cual puede verse que, al menos desde el contexto colombiano, en perspectivas diferentes se coincide en que las aplicaciones de tecnología se debe tener muy en cuenta la infraestructura TIC, legal y física de la zona a analizar.

Dejando un poco de lado las zonas urbanas Colombianas y con un enfoque más detallado en el sector rural, se encuentran estudios como el de Parada en (Parada, 2017), en el cual se hace un análisis sobre la costa Caribe colombiana relacionando los factores sociales, culturales, económicos y políticos con el bajo nivel de adopción tecnológica que se tiene en la región, con esto se evidencia la clara dependencia de las políticas y regulaciones para poder en algún futuro hablar de inversiones tecnológicas en la zona, en la región Caribe se presentan a menudo problemas como el acceso a la energía eléctrica por el caso Electricaribe que disminuyen las posibilidades de implementar modelos digitales. Paralelo al estudio anterior, Muñoz et al. en (Muñoz, Carrillo, Serrano, Carrillo, & Guerrero, 2017) proponen una metodología para evaluar la situación actual y encontrar soluciones para optimizar la eficiencia de la energía eléctrica, a partir de un estudio sobre el municipio de Inírida en el departamento de Guainía proponen un modelo de optimización energética basado en iluminación LED y aplicación de tecnologías para generar energía eléctrica renovable, el cual, según los autores, tendrá un retorno de la inversión en un periodo de dos años.

Colombia es un país rico en biodiversidad y en materia prima de exportación, las actividades agrícolas para el cultivo y cosecha de varios de los productos del campo colombiano podrían ser mejoradas en gran medida con la inclusión de aplicaciones tecnológicas, Álvarez et al. en (Álvarez Albanés, González Gordon, Sánchez Torres, & Castañeda Sánchez, 2019) presentan un estudio basado en una metodología de encuestas en torno al manejo de cultivos de banano en la zona del Urabá y el suroeste antioqueño, en base a los resultados evalúa la necesidad de inclusión de modelos tecnológicos en esta actividad de manera que se optimicen los procesos de cultivo para mejorar la calidad de vida de los trabajadores e impulsar el crecimiento económico en este sector, a pesar de haber una buena actividad productiva del fruto en la zona los autores concluyen que la inclusión de tecnologías es necesaria en tanto que la productividad

crecería en un gran porcentaje tanto que podría competir con la producción costarricense y centroamericana.

Por el otro lado, a pesar de las dificultades y limitantes geográficas y económicas que puedan presentarse en el país, Viteri et al. (Viteri, Henao, Cherni, & Dyner, 2019) presentan un caso exitoso de aplicación de herramientas tecnológicas llevando a cabo una TD en la comunidad de Playa Potes en el departamento del Chocó, el modelo implementado tenía como objetivo principal brindar a la comunidad acceso a energía eléctrica ya que anteriormente la poca electricidad con la cual se podía contar correspondía a la generada a partir de combustibles fósiles, el 52% del territorio colombiano no está conectado a la red eléctrica nacional y el caso de Playa Potes no es la excepción, a partir de la aplicación de un sistema eléctrico basado en energía solar y almacenamiento a través de baterías se proyectó satisfacer las necesidades eléctricas de la comunidad con energía limpia.

En torno a lo anterior se ha observado que a pesar de las limitantes que pueda presentar una determinada comunidad, es posible aplicar modelos tecnológicos que satisfagan ciertas necesidades de la población, sin embargo, es claro que las políticas gubernamentales son de gran importancia para mejorar los esfuerzos en brindar acercamientos tecnológicos a las zonas rurales. Una lectura general de los apartados de Pacto por la TD de Colombia: Gobierno, empresas y hogares conectados con la era del conocimiento y Pacto por la descentralización: conectar territorios, gobiernos y poblaciones presentes en el Plan Nacional de Desarrollo del Periodo 2018-2022 (Gobierno de Colombia, 2018), hacen notar en una primera instancia que aunque con esta documentación presentada en el inicio del periodo del Presidente Duque se promueve la inclusión de medios digitales para lograr una TD alineada con MinTIC y la el Plan TIC 2018-2022, no se hace referencia a la inclusión de las TIC en sectores rurales, el documento hace notar una incoherencia en lo propuesto por el Departamento Nacional de Planeación en tanto que el apartado referente a la TD que está haciendo énfasis sobre las grandes ciudades y poblaciones así el sector empresarial y educativo, propone una "inclusión digital de todos los colombianos" pero no hace énfasis ni propone metodologías de innovación digital para el sector rural. De igual manera en el apartado de descentralización y conexión de territorios se postulan estrategias para acercar a los municipios más alejados de las grandes urbes y a las zonas más vulnerables, pero sin hacer énfasis en la inclusión tecnológica de estas regiones, es decir, aunque el plan nacional de desarrollo contempla

dos apartados uno especializado en TD y otro en descentralización, no vincula las ideas del uno con el otro, por lo cual inicialmente puede pensarse que dentro del desarrollo del plan no está la inclusión de modelos de TD en sectores rurales.

3.2 Panorama de la transformación digital orientada a la detección de incendios forestales

Después de tener una visión general de aplicaciones de modelos de TD en entornos rurales a nivel mundial, resulta conveniente acotar y centralizar el análisis en aquellas aplicaciones tecnológicas enfocadas en la atención, monitoreo, control y detección de incendios forestales.

La detección temprana de incendios forestales es una de las preocupaciones esenciales que se atienden con más afán en distintos países del mundo, la identificación de los llamados fuegos superficiales merece toda la atención de las investigaciones para así evitar tragedias mayores. Esta actividad está dividida en dos grupos básicos (Alkhatib, 2014):

a) Reportes públicos voluntarios de incendios, aeronaves públicas, personal de campo en tierra.

b) Sistemas de detección operacionales: Torres de control, aeronaves no tripuladas, detectores electrónicos de rayos y sistemas automáticos de detección.

El primer grupo es el método tradicional de monitoreo y control de incendios, un sistema que puede considerarse independiente de herramientas tecnológicas y que durante siglos se ha realizado a partir de manualidades y actividades humanas, mientras que el segundo está enteramente relacionado con la aplicación de tecnologías que permitan servir de herramienta para la detección oportuna de los incendios, la aplicación de elementos catalogados dentro de este segundo grupo, más puntualmente dentro de la categoría de sistemas automáticos de detección, son los que pueden permitir una TD que brinden las facilidades para controlar oportunamente fuegos que puedan causar daños irreversibles en un ecosistema.

3.2.1 Sistemas satelitales

Los satélites y otros dispositivos aéreos se han utilizado para la detección de fuegos forestales desde hace años, las imágenes satelitales de algunos satélites diseñados y lanzados a órbita con el propósito principal de monitorear incendios forestales son ampliamente utilizadas alrededor del mundo por entidades públicas y privadas para la detección de incendios, el más popular es el Espectrorradiómetro de Imágenes de Media Resolución MODIS, puesto en órbita por la NASA en 1999 (Nakau et al., 2006), de igual manera el Radiómetro Avanzado de muy alta Resolución AVHRR del Servicio Geológico de los Estados Unidos es utilizado desde hace más de dos décadas para diversas actividades climáticas y geológicas, entre las cuales se encuentra la detección de incendios forestales (Eidenshink & Faundeen, 1994). A pesar de brindar información con imágenes de resolución media-alta, estos métodos de detección satelital tienen un gran inconveniente, el cual es que suministran imágenes cada dos días, un tiempo demasiado extenso para la detección oportuna de incendios en ecosistemas aislados, además de esto las imágenes obtenidas pueden verse afectadas y no presentar la calidad deseada debido a las condiciones climáticas (Aslan, Korpeoglu, & Ulusoy, 2012).

Los satélites de control climático y monitoreo de incendios forestales están a una altitud de más de 35.000 km, por lo cual la radiación óptica e infrarroja producida por incendios forestales en sus etapas tempranas puede ser demasiado débil para ser detectada por este tipo de satélites (Kudoh & Hosoi, 2003), de manera que esta es otra consideración a tener en cuenta al emplear detección satelital sumado a lo indicado en el párrafo anterior, el monitoreo satelital brinda herramientas útiles para monitorear la evolución y estado de un incendio forestal, pero se encuentra en desventaja a la hora de detectar incendios en sus etapas iniciales, por lo cual no es inteligente ceñirse únicamente a la detección satelital para prevenir y evitar el crecimiento y propagación de fuegos en zonas rurales.

Los sistemas satelitales presentan ventajas a la hora de monitorear el comportamiento y evolución de un incendio. A pesar de no ser muy útiles para detecciones iniciales de ellos, pueden servir de buena herramienta para visualizar la tendencia de incendios muy extensos que, debido a su amplia cobertura, no son posibles de observar desde la tierra. La disponibilidad de los datos y acceso a ellos es evidentemente una ventaja de estos sistemas, ejemplo de ello es el sistema FIRMS (Fire Information of Resource Management System Active Fire Data), el cual es un sistema de la NASA que suministra los datos

recolectados por MODIS. El sistema tiene un portal en internet de acceso público a todo el mundo que permite visualizar el histórico de focos de calor detectados por el satélite. A pesar de las limitantes de los sistemas satelitales, esta facilidad de acceso es una buena funcionalidad que permite que varias organizaciones en el mundo puedan monitorear la evolución de un incendio en su zona de jurisdicción, sin embargo, no debe tenerse total confianza en la información suministrada por estos sistemas ya que es altamente probable la omisión de incendios, sobre todo en sus primeras etapas, por lo que este tipo de controles deben ir acompañados siempre de otros mecanismos de detección.

Parte del lento avance en la detección de incendios a través de sistemas satelitales se debe a los elevados costos de este tipo de sistemas, lanzar a órbita un satélite y mantenerlo funcional es bastante costoso, por lo que estos son diseñados principalmente para telecomunicaciones u otras aplicaciones que representen buenos ingresos que amortigüen este gasto. Los sistemas satelitales con la capacidad de detectar y monitorear puntos de calor suelen tener esto como una funcionalidad adicional, por lo que la orientación y diseño del satélite no está enfocado en este tipo de aplicaciones principalmente. No es rentable el despliegue de sistemas satelitales diseñados principalmente para este fin, por lo que la investigación en este campo se desarrolla a un ritmo mucho más lento que otras áreas.

En la actualidad no existe una plataforma satelital capaz de cumplir todos los requerimientos para detección y monitoreo de incendios forestales, de emplearse sistemas satelitales en este contexto la mejor estrategia es emplear una estrategia multisensorial, en la cual otros métodos se empleen para la detección inicial de incendios y se usen los sistemas satelitales para monitorear la evolución de un incendio ya identificado (Soo Chin, 2001).

Con relación a lo anterior, se identifican las siguientes desventajas del uso de sistemas satelitales para la detección de incendios forestales:

- Al tratarse de proyectos desplegados para cobertura a escala global, se pierde el nivel de detalle sobre una región en específico, lo cual puede ocasionar que varios puntos de calor se pasen por alto.

- La dificultad de detectar incendios forestales en sus etapas iniciales debido a la baja radiación que ellos emiten hace que este no sea un mecanismo apropiado para la detección inicial de incendios.

- El tiempo de retardo de disponibilidad de la información captada por los satélites es crítico, los dos días que tarda en estar disponible una alerta hace que en ese tiempo se hayan perdido varias hectáreas de valiosa vegetación.

- Es poco probable que en el momento en el cual el satélite observe determinada zona sea capaz de captar un incendio en etapas visibles para él, esto sumado al tiempo de retraso por la rotación del satélite hace que en el momento que este vuelva a observar la región y detecte el incendio ya hayan pasado varios días desde que este se originó, generando pérdidas devastadoras en el área antes de siquiera detectarlo.

- La detección de incendios forestales a través de sistemas satelitales depende completamente de las condiciones atmosféricas de la región, por lo cual es posible que un incendio forestal no sea detectado por el satélite debido a la nubosidad y condiciones de tiempo en la región.

- A pesar de ser una herramienta útil para monitorear el avance y comportamiento de un incendio forestal, su debilidad en la detección de incendios en etapas iniciales hace que sea un sistema que no deba usarse solo, sino que la utilización de esta tecnología exige que haya un mecanismo alterno dirigido especialmente para detectar y alertar los incendios en sus inicios, por lo que los sistemas satelitales deben usarse como complemento para visualizar el comportamiento de las llamas.

3.2.2 Sistemas ópticos

En la tecnología actual varios sensores están disponibles para la detección de incendios. La detección óptica automática junto con su sistema de alarmas, presentan alternativas muy interesantes para la detección de incendios forestales en sus etapas iniciales. Existen diferentes tipos de sensores que pueden ser utilizados para esta aplicación (EUFOFINET Project, 2011):

- Cámaras de video: Sensibles al espectro visible del humo reconocible durante el día y del fuego reconocible en la noche.
- Infrarrojo: Cámaras de imagen térmica basadas en la detección del flujo de calor del fuego.
- Espectrómetros infrarrojos para identificar las características espectrales del humo.
- Sistemas de detección de luz y rango LIDAR, capaces de medir los rayos láser reflejados por las partículas de humo

Los sistemas ópticos mencionados, a pesar de que trabajan con diferentes tecnologías con sus ventajas y desventajas, trabajan bajo el mismo concepto general de detección de fuego y humo en diferentes rangos de frecuencias. Una cámara o arreglo de cámaras capturan imágenes cada cierto tiempo, las cuales al aplicarle un respectivo algoritmo a través de una determinada unidad de procesamiento pueden resultar en la identificación de pixeles que representen el brillo o humo emitido por algún incendio forestal. La utilización de un determinado tipo de sistema óptico, además de las condiciones de la región a monitorear dependen de los recursos económicos y la capacidad de talento humano disponible para operarlo.

Uno de los sistemas ópticos utilizados para detección y monitoreo de incendios forestales es EYEfi SPARC Telstra (en adelante EYEfi), el cual es una plataforma para monitoreo remoto a través de sistemas de video y mapeo espacial y de campo, es un sistema que permite visualizar en tiempo real imágenes relacionadas a la emergencia ambiental causada por incendios forestales (EYEfi, 2019). El sistema, además de las cámaras que captan las imágenes, se compone de una estación de control, sistema de alimentación y línea de comunicación para la recepción de alertas en tiempo real, a pesar de brindar la facilidad de acceso a las imágenes con baja latencia tiene la limitante de que por sí solo no ofrece la detección automática de humo. El sistema es utilizado por los entes de control de la región asociada para localizar la posición del incendio y así atender la emergencia con más precisión.

Otro sistema ampliamente utilizado es ForestWatch, el cual proporciona una detección semiautomática de incendios a través de cámaras ubicadas en torres de control, estas

torres están diseñadas para localizar humo en el día y luz emitida por el incendio en las noches en un rango de 16 a 20 Km (Hough, 2007). ForestWatch está compuesto por los siguientes elementos:

- Cámara con rotación de 360° con zoom óptico de 24x.
- Motor de muestreo de imágenes.
- Sistema de comunicaciones (Satelital, microondas y 3G).
- Software propio de ForestWatch para procesamiento de imágenes, generación de alarmas y suministración de información para el operador.

IQ FireWatch es otro popular sistema óptico de detección de incendios forestales capaz de identificar humo en un rango de hasta 10 Km a través de un sistema triple de detección óptico basado en cámaras de Circuito Cerrado de Televisión, espectroscopia y detección térmica infrarroja que procesa imágenes en formato RAW para un espectro de longitud de onda entre los 400 a 1100nm (IQ FireWatch, 2020), el sistema es capaz de detectar humo de incendios en el día en distancias de hasta 60 Km en condiciones perfectas y de 10Km en condiciones atmosféricas aceptables, esto asumiendo que la visión de las cámaras no esté obstruida por ningún objeto, la detección en el día se realiza identificando humo y en la noche la luz emitida por el fuego, de igual manera el sistema tiene la capacidad de indicar la distancia a la cual se encuentra el foco del incendio de la cámara, lo cual puede observarse a través de la Figura 3-1.

Figura 3-1: Detección de incendios forestales con el sistema IQ FireWatch

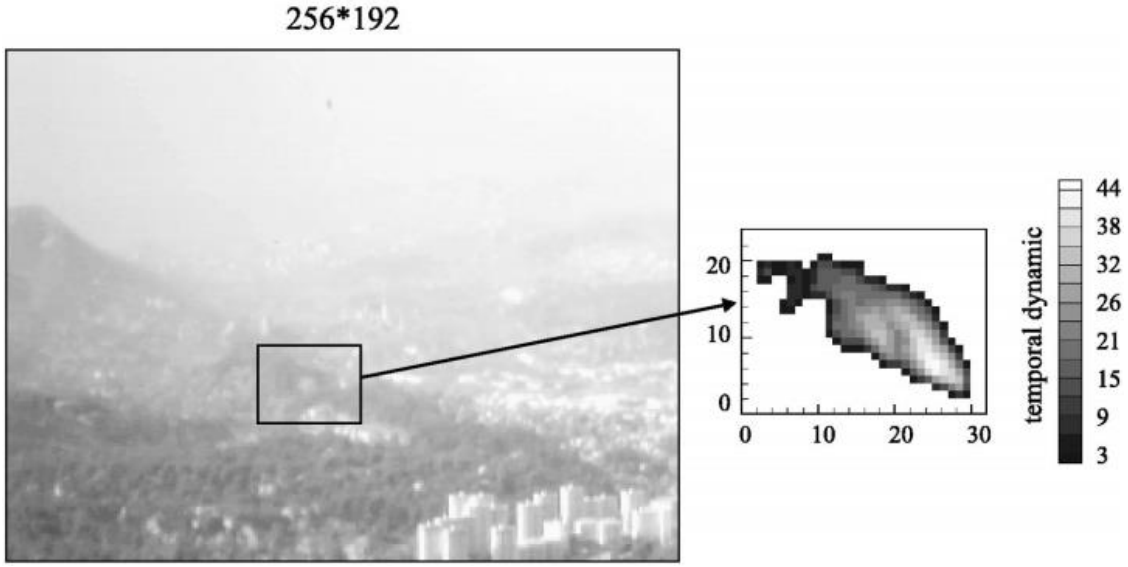
Tomado de (IQ FireWatch, 2020)

Eligiendo el sistema adecuado al ecosistema que se pretende monitorear pueden obtenerse resultados muy satisfactorios que permitan identificar rápidamente incendios forestales en sus primeras etapas, es el caso de una implementación llevada a cabo en Australia y detallada por Matthews et al. en (Matthews et al., 2012) en la cual se articularon los sistemas FireWatch y ForestWatch, el primero utiliza imágenes de un sensor de banda ancha monocromático para la detección de fuegos, mientras que el segundo utiliza imágenes a color de cámaras de circuito cerrado de televisión, los dos sistemas en conjunto se emplearon combinando la operación humana junto con alertas generadas a partir de algoritmos de decisión computarizados, logrando detectar incendios medios-altos a largas distancias de 70 kilómetros e incendios pequeños a distancias moderadas de 10 a 20 kilómetros, fuera de estas distancias los incendios no fueron detectados, con lo cual

se puede inferir que distribuir estos sistemas de cámaras uniformemente puede representar una mayor área de cobertura para la detección y monitoreo.

La detección automática de incendios forestales utilizando cámaras de circuito cerrado de televisión pueden producir una cantidad no deseada de falsas alarmas debido a varios fenómenos dinámicos como el movimiento de los árboles causado por el viento, las sombras de las nubes, reflexiones de otras fuentes de luz, actividades humanas, entre otras. Teniendo en cuenta esto, existe una dificultad para los sistemas ópticos en identificar incendios reales debido a las variaciones que pueden presentarse en una imagen debido a los eventos dinámicos que pueden presentarse bajo varias condiciones lumínicas, dependiendo de las condiciones climáticas, distancia, hora del día, objetos adicionales presentes en la imagen, etcétera. Teniendo en cuenta que varios de los sistemas ópticos de detección monocromáticos capturan imágenes y las almacenan en escalas de grises representando su evolución en el tiempo para evitar el almacenamiento de video, varias de estas imágenes no siempre representan incendios reales y pueden generar falsas alarmas, una representación de la manera como se almacenan las imágenes en escalas dinámicas de grises puede observarse a través de la Figura 3-2.

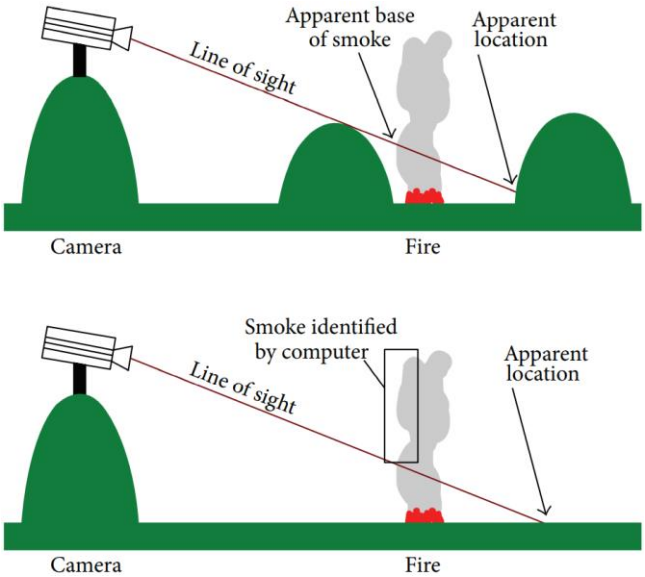
Figura 3-2: Fuente de humo en escala dinámica de grises a 4 Km de distancia



Tomado de (Guillemant & Vicente, 2001)

Guillemant y Vicente en (Guillemant & Vicente, 2001) presentan la elaboración de un sistema capaz de aplicar un algoritmo de diferenciación para tomar estas imágenes y discriminar el humo de incendios reales de otros fenómenos lumínicos, con lo cual pudieron reducir la cantidad de falsas alarmas generadas por sistemas ópticos de detección automática, sin embargo, recalcan una de las principales desventajas de sistemas ópticos en la detección de incendios, la cual es que estos sistemas suministran una sola línea de visión, en la cual las montañas y condiciones geográficas de la zona pueden bloquear la observación, por lo que puede ser imposible obtener imágenes del lugar exacto de la ignición, la Figura 3-3 presenta una representación del error de localización de incendios forestales presentado en los sistemas ópticos.

Figura 3-3: Error en localización de incendios forestales con sistemas ópticos



Tomado de (Alkhatib, 2014)

Matthews et al. en (Matthews et al., 2010) realizaron una comparación individual entre los sistemas EYEfi, ForestWatch y FireWatch, los autores realizaron instalaciones de los tres sistemas en torres de control distribuidas en una región con vegetación árida en Australia, en la investigación se tenía conocimiento de quemas controladas programadas para fines de agricultura, el objetivo del estudio fue determinar cuántos de los incendios conocidos serían capaces de detectar los 3 sistemas de manera individual. De igual manera en las torres de control se ubicaron guardabosques experimentados en la detección tradicional

de incendios forestales por observación humana para así comparar los sistemas automáticos entre sí y con la observación tradicional, los resultados de este experimento se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Comparación de sistemas ópticos en experimentación.

Tipo de prueba	Cantidad de incendios detectados			
	EYEfi	**ForestWatch**	**FireWatch**	**Observador Humano**
6 incendios pequeños en el día	0	0	1	5
6 incendios pequeños en la noche	0	3	3	1

Tomado de (Matthews et al., 2010)

El experimentó mostró al comparar los tres sistemas automáticos, que el que mejores resultados presentó fue FireWatch, de hecho, fue el único de los tres sistemas que detectó incendios tanto de día como de noche, sin embargo, los tres sistemas de detección son más lentos y menos confiables en comparación con la observación humana de un guardabosques entrenado. La detección automática más rápida tuvo un retraso de 35 minutos en comparación con la detección por observación humana, de igual manera en el experimento se encontró que los incendios detectados por los sistemas automáticos ya se encontraban en un estado avanzado, por lo que ninguno de ellos fue capaz de detectar incendios en sus etapas iniciales. Debido a lo anterior, no es recomendable confiar la tarea de detección de incendios únicamente a las cámaras, sin embargo, estos sistemas son de utilidad como herramienta para mejorar el desempeño de los observadores humanos, ya que les permiten visualizar en tiempo real las imágenes capturadas para que ellos mismos puedan detectar incendios que posiblemente no sean alertados de manera automática por los sistemas ópticos.

Los sistemas ópticos de esta manera presentan uno de los mismos problemas presentados en la detección satelital, el cual es su dificultad en la detección de incendios en las etapas iniciales. Recordando que uno de los objetivos principales en la atención de emergencias por incendios forestales es detectar estos en el menor tiempo posible, preferiblemente en

sus primeras etapas y cuando aún las llamas son controlables, los sistemas ópticos son una útil herramienta que complementa otros tipos de observación y detección, pero no es recomendable dejar la tarea de detección de incendios únicamente a este tipo de sistemas.

Recapitulando lo anterior, teniendo en cuenta que existen variedades de sistemas ópticos a pesar de que todos trabajan bajo el mismo principio de detección de imágenes, estos presentan las siguientes desventajas:

- Las cámaras y sistemas ópticos son una buena herramienta y un útil complemento para otro tipo de observaciones, sin embargo, no son reemplazos recomendables para la observación tradicional humana.

- Los sistemas ópticos presentan tiempos de respuesta muy largos para la detección de incendios, de hecho, es solo hasta que el incendio está en una etapa avanzada que los sistemas son capaces de identificar el humo producido por los incendios y el brillo emitido por las llamas.

- Las condiciones atmosféricas y topografía de la zona juegan un importante papel en la detección a través de sistemas ópticos, en condiciones con mal tiempo climático o paisajes montañosos con relieves irregulares hay muchos ángulos de visión que las cámaras son incapaces de alcanzar.

- Los sistemas ópticos tienen que ser mejorados de manera que se reduzca la cantidad de falsas alarmas que estos presentan. Estos sistemas no son del todo confiables en tanto que hay ocasiones en las cuales no detectan incendios forestales que están dentro de su rango de cobertura, y hay otras en las cuales emite falsas alarmas por otro tipo de imágenes o movimientos en los cuales realmente no hay llamas presentes.

- A pesar de los tiempos de retraso en la detección de incendios a través de sistemas ópticos, estos son una mejor alternativa en comparación con los sistemas satelitales, ambos presentan retrasos que implican que el incendio detectado esté en etapas avanzadas, sin embargo, el retraso de los sistemas ópticos es del orden de minutos u horas, mientras que el retraso de los sistemas satelitales es de días.

3.2.3 Redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son redes construidas a partir de varios nodos desplegados principalmente en áreas de difícil acceso para medir y capturar información relacionada al medio en el cual están instaladas para enviar de manera inmediata la información colectada a un centro de procesamiento de datos (Verma, Sood, & Sharma, 2019). Desde su desarrollo, las WSN han desempeñado un importante rol en el monitoreo y medición de varios parámetros que permitan detectar y predecir eventos relacionados a algún tipo de anomalía en la zona en la cual se instalan, la colección de información de manera continua a través de varios nodos permite que en el centro de datos se construya un histórico que, a modo de referencia y utilizando modelos de datos para autoaprendizaje de la información consolidada, permita identificar posibles problemas o emergencias rápidamente tan pronto se recibe un valor atípico en las mediciones. Este centro de datos tiene de esta manera la capacidad de enviar de manera inmediata las alarmas correspondientes a los organismos de socorro para que la emergencia sea atendida en el menor tiempo posible.

Cada uno de los nodos de las WSN puede tener varios sensores que le permiten capturar distintos tipos de datos para determinado fin, por lo cual las aplicaciones pueden ser muy variadas. Estos nodos se componen principalmente de sensores, procesadores de información, sistemas de comunicación y unidad de alimentación, debido a la facilidad en el desarrollo e instalación de estos componentes, tienen la facilidad de ser instalados dentro del mismo circuito impreso (Al-Karaki & Kamal, 2004). Los sensores que pueden instalarse en cada uno de los nodos de la WSN pueden ser de temperatura, humedad, composición química del aire (monóxido de carbono, dióxido de carbono y dióxido de nitrógeno), vibración, intensidad lumínica, etc. Por lo cual su aplicación en la detección de anomalías para la atención de emergencias ambientales es ampliamente utilizada alrededor del mundo. Una vez instalados y configurados los respectivos nodos, estos pueden comunicarse entre ellos para llevar a cabo el enrutamiento de datos de una manera más eficiente, por lo cual una de las ventajas más atractivas de esta tecnología es la fácil instalación que, al tener naturaleza inalámbrica, no requiere como prerrequisito el desarrollo de un complicado sistema de comunicación.

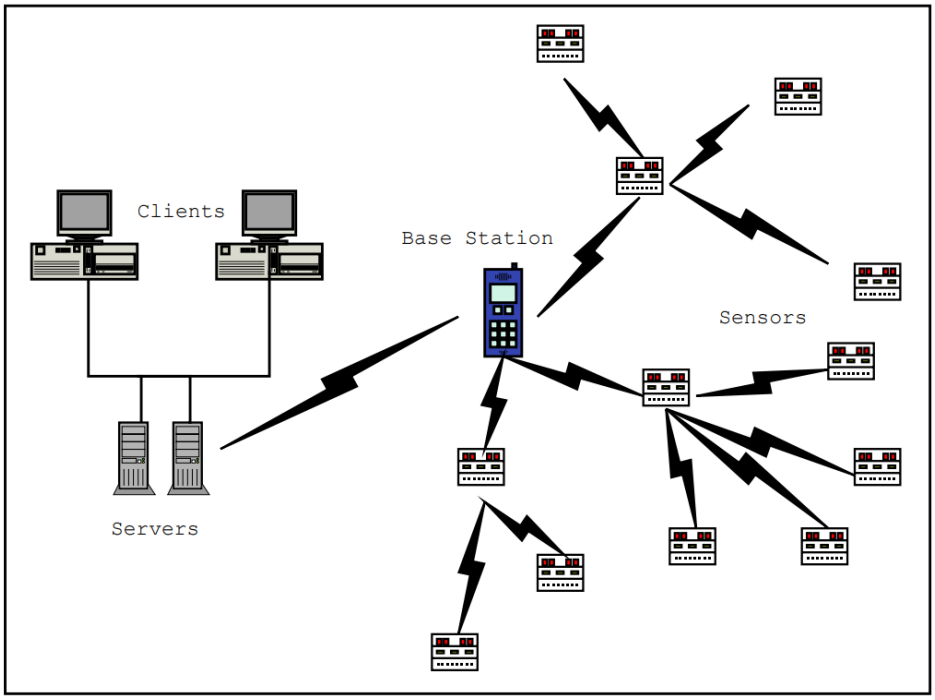
Los nodos de la WSN están diseñados para transmitir la información colectada rápidamente al centro de datos, por lo cual cada uno de ellos además de actuar como

receptor de información continuo, tiene un importante rol al generar una red de comunicación con sus nodos vecinos, es esta operación y comunicación colaborativa la que permite el acceso rápido a la información en tiempo real en grandes porciones de territorio para la generación oportuna de alarmas (Koga, Toyoda, & Sasase, 2014).

Para el caso de la detección de incendios forestales, las WSN presentan enormes ventajas en tanto que varios de los tipos de sensores son aplicables, por lo cual los incendios en sus etapas iniciales tienen una buena probabilidad de ser identificados. El sensor térmico es al cual mayor uso se le da, pero este se complementa con los sensores lumínicos, de composición del aire y de humedad para hacer posible alertar rápidamente cambios en estos parámetros en determinada zona (Dubey, Kumar, & Chauhan, 2019). Los eventos capturados por los sensores de los nodos de la red, en operación normal deberían manejar cifras similares, es cuando se supera determinado umbral que una alarma es generada para validar nuevamente el estado en la zona. De igual manera en cuanto mayor sea el tiempo que se tenga funcional la red, más precisa será la detección y predicción de eventos relacionados a incendios forestales, cuanta más información recopilen los sensores y se almacene en el correspondiente centro de datos, se tendrá una caracterización e histórico detallados que contribuyan a la construcción de un perfil en la zona, con lo cual los valores atípicos generarán alarmas más confiables cuando más información en el tiempo se tenga.

La revolución de la tecnología basada en WSN en los últimos años ha hecho posible orientar esta tecnología para la detección y monitoreo de incendios forestales. Varios estudios han propuesto y recomendado aplicar las Redes de Sensores Inalámbricos como tecnología para la detección de este tipo de catástrofes. Un ejemplo de lo anterior es el sistema FireBug (Doolin & Sitar, 2005), los autores proponen un sistema basado en WSN para el monitoreo de incendios forestales. El diseño del sistema está basado en sensores ubicados mediante GPS, su objetivo es obtener parámetros ambientales como temperatura, humedad relativa y presión cuando hay un incendio activo. Los nodos se comunican con una estación base y la información es almacenada en la base de datos de un servidor. Para acceder a la información basta con acceder a un aplicativo web a través de internet o de otro tipo de aplicación capaz de comunicarse con el servidor. La arquitectura del sistema que proponen los autores se presenta en la Figura 3-4.

Figura 3-4: Arquitectura del modelo FireBug



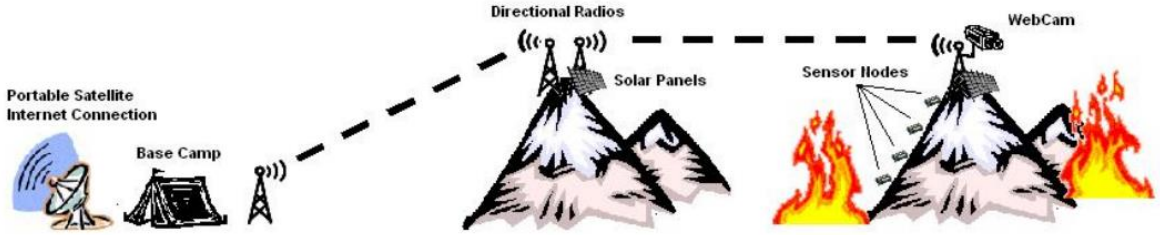
Tomado de (Doolin & Sitar, 2005)

Sha et al. en (Sha, Shi, & Watkins, 2006) proponen el uso de WSN para aplicaciones de rescate, diseñan un sistema llamado FireNet. En el diseño del sistema, sus autores indican que no hay que contar únicamente con el modelo tecnológico a aplicar sino se deben tener en cuenta factores como la disponibilidad de funcionarios que reciben las alertas, el nivel de educación tecnológica de quienes atienden las emergencias, los recursos con los que se cuenta en la implementación y la integración entre plataformas para el acceso de información. El sistema propuesto se basa en una arquitectura de sensores inalámbricos distribuidos en vehículos móviles, formando una red heterogénea de trabajo en conjunto con los bomberos que atienden la emergencia, es un sistema que tiene en cuenta la percepción tecnológica de los bomberos que físicamente se enfrentan a las llamas, brindándoles la información necesaria para entender el comportamiento del fuego y elaborar la estrategia deseada para mitigarlo, sin embargo, es un sistema principalmente dedicado a monitorear y servir de herramienta para evaluar el progreso de un incendio, no está concebido ni diseñado para detectar incendios y emitir alertas iniciales.

Con una operación similar al FireNet, Hartung et al. en (Hartung, Han, Seielstad, & Holbrook, 2006) proponen e implementan el modelo tecnológico FireWxNet en Estados

Unidos. Este sistema trabaja bajo el mismo concepto de servir de herramienta para los guardabosques y bomberos en la obtención de información para la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales. Al igual que Sha et al., entendiendo la necesidad de los bomberos y guardabosques de estar en constante movimiento, proponen una arquitectura móvil, con la diferencia que los sensores se mantienen estáticos mientras que es el centro de colección de datos el que se mantiene en movimiento. Un esquema del modelo FireWxNet se presenta en la Figura 3-5.

Figura 3-5: Esquema y concepto del modelo FireWxNet



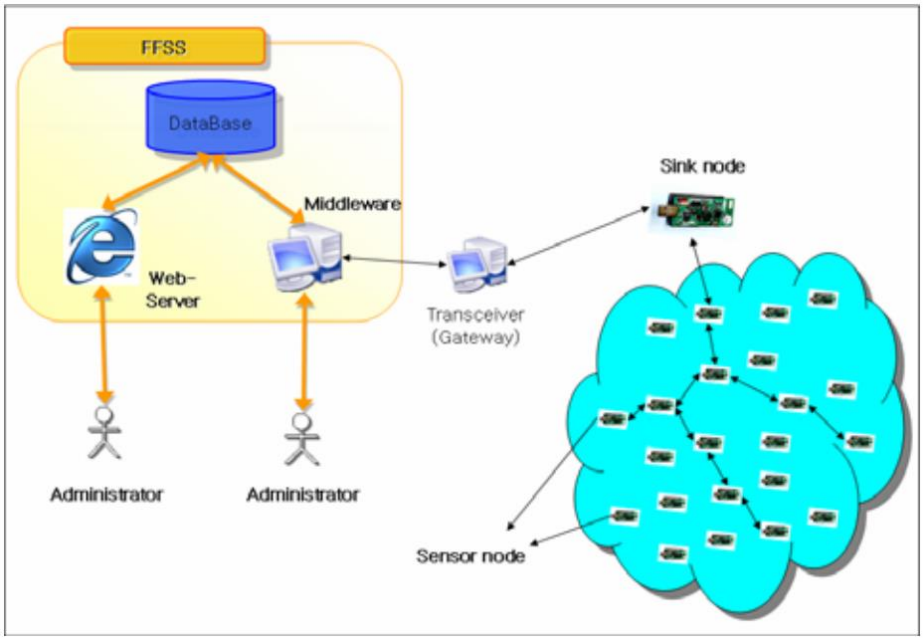
Tomado de (Hartung et al., 2006).

La estructura de FireWxNet resulta bastante interesante en tanto que no sólo tiene sensores en su red, sino que también articula cámaras web para obtener imágenes remotas en tiempo real. El modelo diseñado propone ubicar antenas de comunicación en la parte alta de las montañas para que no haya interferencias relacionadas a objetos físicos, de igual manera ubica paneles solares que sirven de fuente de alimentación para las antenas, los sensores inalámbricos y las cámaras. Con esta arquitectura, el grupo de rescatistas que se encuentra en movimiento lleva consigo una central de comunicación que permite conectarse a las antenas ubicadas a las montañas y, a través de una conexión satelital de internet, transmitir la información a otros lugares del mundo. Este diseño permite acortar las distancias de exploración de los guardabosques haciendo que puedan obtener los datos requeridos para el análisis del incendio con solo acercarse y establecer una conexión estable con las antenas transmisoras. Es un concepto muy interesante que es de gran utilidad para la atención de emergencias por parte de los organismos de socorro, y para la obtención de información relacionada a un incendio forestal ya

identificado, sin embargo, al igual que con el sistema FireNet, presenta la desventaja de que, al tratarse de una estructura costosa y de difícil instalación, no está orientada a la detección temprana de incendios, lo cual es esencial para evitar que estos alcancen estados más avanzados.

Un modelo tecnológico que sí está orientado a la detección de incendios más que a su uso como herramienta en la evolución de estos es el Forest Fires Surveillance System (FFSS) propuesto para aplicaciones en Corea del Sur por Son et al. en (Son, Her, & Kim, 2006). El sistema propuesto no difiere mucho de la mayoría de los sistemas basados en WSN, él colecta datos relacionados a temperatura, humedad e iluminación, la diferencia del FFSS es que su arquitectura está compuesta por dos tipos de nodos: nodon satélite, que son aquellos cuyos sensores captan la información, y los nodos embudo, los cuales consolidan la información de los nodos satélite para ser enviada de manera consolidada al centro de datos. El sistema indicado está diseñado de manera que cuando se detecte un valor atípico correspondiente a un potencial incendio, esta alarma se emita rápidamente al calcular el camino más corto de envío de la notificación a través de los correspondientes nodos de embudo. La estructura del modelo FFSS se presenta en la Figura 3-6.

Figura 3-6: Estructura del modelo FFSS



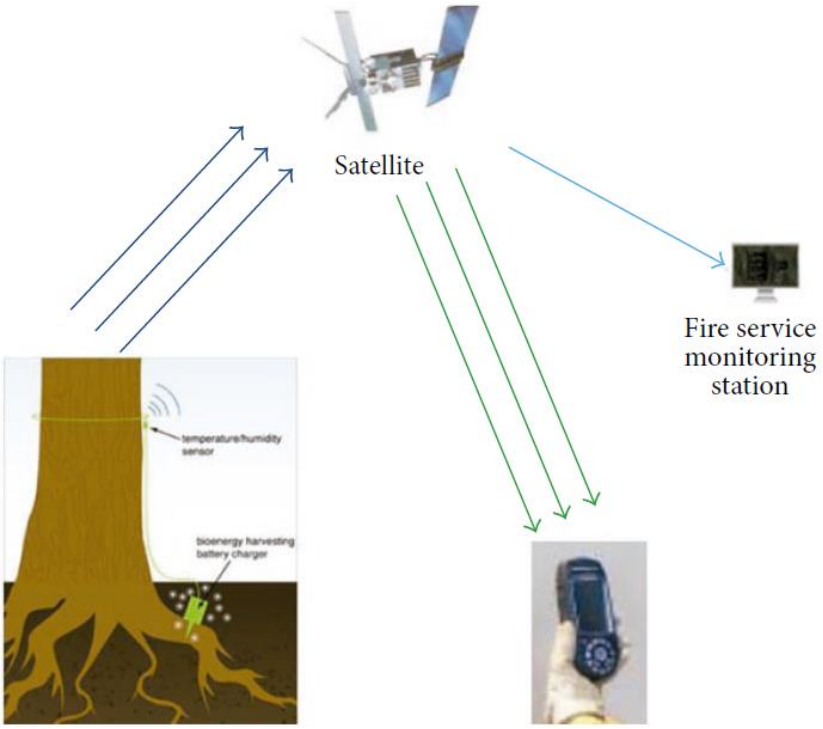
Tomado de (Son et al., 2006)

Puede observarse que la estructura de los sistemas FireBug y FFSS es bastante similar, diferenciándose el uno del otro en que FFSS tiene la capacidad de tener varios nodos de embudo para regiones amplias en las cuales sea más complejo obtener una ruta de flujo de información, mientras que FireBug relega la tarea de consolidación de la información a un único centro de datos, por lo cual sus tiempos de respuesta son mayores.

Una de las ventajas de las WSN es la posibilidad de construirse bajo diferentes arquitecturas dependiendo del lugar y de los resultados que se esperan obtener, un modo de comunicación distinto en una red propuesta es referenciado por Alkhatib en (Alkhatib, 2014). En este modelo los autores instalan en la región de Pennsylvania determinados sensores para la colección de información que permita identificar anomalías en la zona y detectar incendios. El modelo propuesto anula todo tipo de comunicación entre los sensores, por lo cual, a pesar de tratarse de una Red de Sensores Inalámbricos, pierde sus características de trabajo en malla, la obtención de los valores captados por los sensores se realiza a partir de comunicación satelital. Cuando uno de los sensores detecta la presencia de humo, le envía la señal de alarma al satélite al cual está vinculado, el cual a su vez transmite ésta a los organismos de socorro encargados de atender la emergencia. Esta arquitectura se ve representada a través de la Figura 3-7.

Este tipo de arquitectura tiene la ventaja de enviar las alertas de manera simultánea a cualquier dispositivo capaz de conectarse al satélite (teléfono satelital, estación de monitoreo, etc.), por lo cual puede al mismo tiempo enviar alarmas a las instalaciones físicas del centro de control y a los guardabosques que se encuentren ejerciendo sus labores en campo. Sin embargo, presenta varias desventajas como por ejemplo la dependencia directa de las condiciones climáticas. Hay ocasiones en la cual no es posible obtener comunicación con el satélite debido a la nubosidad y demás condiciones atmosféricas, de hecho, teniendo en cuenta esta debilidad se presenta un doble riesgo, puede presentarse que un sensor detecte un parámetro propio de un incendio pero no sea capaz de enviar la alarma al satélite, y también puede presentarse el escenario en el cual el sensor sí envíe la alarma al satélite, pero los receptores en tierra no sean capaces de obtener esta información debido a afectaciones climáticas. Sumado a lo anterior la gran limitante de este modelo es su costo, ya que desplegar un sistema satelital requiere una inversión muy grande, inversiones que usualmente no se realizan para aplicaciones de este tipo.

Figura 3-7: WSN con comunicación satelital



Tomado de (Alkhatib, 2014)

La revisión literaria de casos exitosos de implementaciones tecnológicas para el monitoreo y detección de incendios forestales muestra una tendencia a aplicar redes de sensores inalámbricos en el futuro. Hasta este punto se han expuesto en este documento solo algunas de las implementaciones que en la investigación se han validado. Son muchas las aplicaciones basadas en esta tecnología a nivel mundial, las cuales principalmente difieren una de la otra en modos de operación y distribución de los sensores.

Para dar cierre a este capítulo, es conveniente referenciar un último modelo implementado que tiene características particulares que hacen que sea conveniente considerarlo. Lloret et al. en (Lloret, Garcia, Bri, & Sendra, 2009) presentan un modelo construido sobre redes de sensores inalámbricos que, al igual que la mayoría de modelos de este tipo, a través de la medición continua de distintos parámetros físicos en una zona emiten una alarma cuando valores atípicos se registran correspondientes a un posible incendio. Lo que hace tan particular el sistema implementado por los autores es su estrategia para reducción de falsas alarmas. En su estudio, los diseñadores implementaron un sistema de verificación

de las alertas a través de cámaras de video que les permita comprobar si una alarma emitida por un sensor corresponde a un incendio real o no, de esta manera se reducen las probabilidades de emitir falsas alarmas. Cuando el sistema recibe de un determinado sensor un mensaje de alarma correspondiente a un probable incendio, envía una orden a cámaras rotativas, estratégicamente ubicadas para tener cobertura de varios sensores de la red, para que se orienten enfocando la ubicación del sensor alarmado. De esta manera, los guardabosques tienen la opción de ver en tiempo real lo que está sucediendo en la ubicación de un sensor alarmado para verificar si se trata de un incendio real o una falsa alarma, con lo cual se evita desplegar unidades antiincendios en determinada ubicación si no es necesario.

Luego de haber abordado las principales tendencias tecnológicas en detección y monitoreo de incendios forestales, resulta conveniente realizar un comparativo entre los principales tipos de tecnologías que se utilizan a nivel mundial. Este cuadro comparativo se puede observar a través de la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Cuadro comparativo de los sistemas de detección de incendios forestales

Tecnología	Característica
Sistemas satelitales	▪ Bajo nivel de detalle sobre una región puede ocasionar que varios puntos de calor se pasen por alto. ▪ Dificultad de detección de incendios forestales en etapas iniciales. ▪ Tiempos demasiado largos en la disponibilidad de la información captada. ▪ Baja probabilidad en la detección de incendios antes de que sean reconocidos por otro mecanismo. ▪ Dependencia de las condiciones atmosféricas de la región. ▪ Exige ser complementado con otros mecanismos para presentar resultados aceptables.

	▪ Los sistemas ya desplegados suelen ser de acceso gratuito. ▪ Costos demasiado altos para desplegar un sistema satelital dedicado propio.
Sistemas ópticos	▪ Buena herramienta y útil complemento para otro tipo de observaciones, sin embargo, no son reemplazos recomendables para la observación tradicional humana. ▪ Tiempos de muy largos en la detección de incendios, de hecho, es solo hasta que el incendio está en una etapa avanzada que los sistemas son capaces de identificar el humo producido o brillo de las llamas. ▪ Dependencia de las condiciones atmosféricas y topografía de la región. Ángulos de visión difíciles de alcanzar. ▪ Emisión frecuente de falsas alarmas. ▪ Precios moderadamente altos. ▪ Buenos complementos de otras tecnologías o de la observación tradicional humana
Redes de sensores inalámbricos	▪ Fácil instalación prácticamente en cualquier zona. ▪ Pueden medir varios parámetros físicos. ▪ Suelen ser sistemas escalables. ▪ No son tan costosos, su valor va ligado a funcionalidades y cobertura. ▪ Detección de incendios en cortos periodos de tiempo debido a la variedad de parámetros medibles.

	▪ Su naturaleza inalámbrica no requiere una infraestructura tecnológica muy compleja. ▪ Pueden ser reemplazados o mejorados incluso después de ser instalados. ▪ Datos utilizables para otras aplicaciones.

Elaboración propia.

4. Contextualización de la problemática

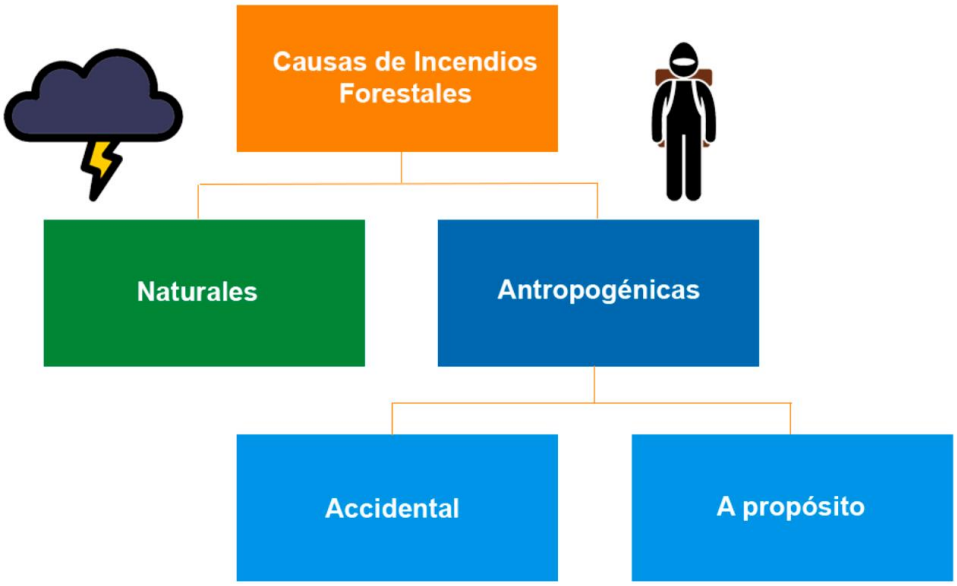
Las zonas rurales colombianas tienen un nivel de adopción tecnológica muy bajo y en varios casos nulo, a pesar de llevar varias décadas desarrollando sus actividades productivas acostumbrados a los métodos tradicionales, las crecientes necesidades de hoy en día sumado a las exigencias de las grandes ciudades, quienes demandan una mayor cantidad de productos, hacen necesario aplicar modelos basados en tecnología (Gallego et al., 2015) (Parra et al., 2019) (Maestre-Gongora & Bernal, 2019). Sumado a las diferencias geográficas, sociales y económicas de los campos del país respecto a las grandes ciudades se ve el poco esfuerzo del Gobierno en incluir soluciones tecnológicas en el sector rural, a pesar de que el Plan Nacional de Desarrollo de la administración actual contempla un apartado enfocado en Descentralización y otro orientado hacia la TD, estos no se ven relacionados en tanto que el fomento de aplicaciones tecnológicas va orientado principalmente al sector empresarial en lugar de grupos sociales más vulnerables como la población rural (Gobierno de Colombia, 2018).

La situación actual en materia de adopción tecnológica en las zonas rurales colombianas es bastante desalentadora en tanto que no se tienen en cuenta soluciones tecnológicas a fin de satisfacer necesidades de los habitantes de los campos ni a resolver problemas de índole ambiental y social en las regiones más apartadas de las grandes ciudades. Si se siguen ignorando las zonas rurales colombianas, en tanto que no se reconocen las necesidades de aplicar modelos tecnológicos en ellas, va a ser cada vez más grande y notoria la brecha económica, educativa y de calidad de vida en general entre estas regiones y las áreas metropolitanas.

Los incendios son causados por tres elementos esenciales que actúan juntos en la generación de los mismos, estos elementos son aire, combustible y alguna fuente de ignición. En el caso de los incendios forestales, el combustible presente en la generación de las llamas es la vegetación de la región que fácilmente puede propagar el fuego a su alrededor. La clasificación de los factores causantes de incendios forestales puede verse

representada a través de la Figura 4-1, las causas naturales son aquellas que originan incendios y no están bajo el control del ser humano, estas pueden ser por ejemplo a partir de rayos o a causa de altas temperaturas en una temporada de sequía; mientras que las causas antropogénicas son aquellas cuyo origen está basado en la actividad humana, estas a su vez se dividen en accidentales, las cuales son aquellas que a pesar de tener su origen en actividades humanas no son intencionales (el fragmento de una botella de vidrio o la ceniza de una fogata), y en causas a propósito, las cuales se originan por actividades humanas con el objetivo de causar un incendio. En todo caso, cualquiera que sea la causa de origen de los incendios, la meta y gran reto de las autoridades y gobiernos para atender los incendios forestales es detectarlos en el menor tiempo posible, cuando sus llamas aún son controlables.

Figura 4-1: Causas de incendios forestales



Elaboración Propia

La vegetación del Páramo de Sumapaz es bastante frágil y afectaciones ambientales en ella causan daños irreversibles en su ecosistema, lamentablemente los tiempos de atención de las entidades encargadas de atender los incendios forestales en la región son muy largos, por lo cual las llamas consumen miles de hectáreas de un ecosistema único en el mundo rápidamente, incluso se han identificado casos en los últimos meses en los

cuales los mismos campesinos habitantes de la región han hecho intentos de controlar los incendios con sus propias manos al ver que las entidades gubernamentales no atienden las emergencias oportunamente. La aplicación de herramientas tecnológicas que permitan detectar y alertar oportunamente a los organismos de socorro sobre emergencias ambientales es una oportunidad que debe aprovecharse, de esta manera podría reducirse el impacto ambiental negativo de las llamas al poder atender oportunamente los desastres ambientales sobre uno de los ecosistemas que suministran agua a millones de colombianos.

Para tener un entendimiento general de la importancia del Páramo de Sumapaz y de su contexto se presenta a continuación una visión a nivel geográfico, biológico, socioeconómico y cultural del mismo, de manera que se entienda el panorama del ecosistema, la importancia de protegerlo y la necesidad de aplicar las herramientas necesarias para preservarlo. De igual manera se presenta la situación actual del Páramo frente a los incendios forestales, los cuales son una amenaza que año a año comprometen la vegetación de un ecosistema único en el mundo, al final de esta sección se habrá identificado la necesidad de aplicar un modelo tecnológico que permita mitigar el impacto de los incendios forestales sobre el páramo a partir de la detección oportuna de estos.

4.1 Contexto del Páramo de Sumapaz

4.1.1 Contexto geográfico y biológico

El Páramo de Sumapaz está ubicado sobre la Cordillera Oriental, al suroeste del departamento de Cundinamarca, al noroeste del Meta y una pequeña parte del norte del Huila. Tiene una extensión de 334.147,78 hectáreas en las que se incluyen 25 municipios, su altitud está entre los 3.250 y 4.230 metros sobre el nivel del mar. Según el Atlas de Páramos de Colombia (Morales et al., 2007) la zona pertenece a los orobiomas andino, altoandino y de páramo de la Cordillera Oriental, con 22 ecosistemas naturales distintos entre los que se destaca y predomina la vegetación de páramo y subpáramo.

El Páramo de Sumapaz es considerado como área prioritaria dentro de los ecosistemas estratégicos de páramos, se estima que es el segundo centro biogeográfico de la Cordillera Oriental, después de El Cocuy. La diversificación comunitaria es muy alta ya que se encuentran casi todos los tipos de vegetación, aunque predominan los frailejones

(especies de Espeletia), quienes son especies clave en el proceso de recolección de agua de la atmósfera para su condensación en ríos y quebradas, una típica distribución de frailejones en el Páramo de Sumapaz puede verse en la Figura 4-2.

Figura 4-2: Frailejones (Espeletia sp.) emblemáticos del ecosistema de páramo

Tomado de (Morales et al., 2007)

La localización del Páramo constituye la línea divisoria entre aguas de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, que van hacia los Llanos Orientales, y la vertiente occidental que va hacia el valle del río Magdalena, contribuyendo significativamente en el sistema de ríos y quebradas que suministran agua a una gran cantidad de la población colombiana.

Con respecto a las condiciones actuales del área, se tiene que el grado de alteración del complejo llega a un poco más del 15%, más de 45.000 Hectáreas se encuentran en cultivos, pastos para ganadería o vegetación secundaria.

El patrón de riqueza floral tiene registros de 1640 especies, 605 géneros y 212 familias, lo cual confirma que este complejo de páramos es uno de los sitios de alta montaña más ricos en géneros y especies de flora de Colombia y el mundo (Franco & Betancur, 1999).

El Páramo de Sumapaz ha sido un sistema natural ampliamente estudiado por su alto valor ecosistémico y la oferta de bienes y servicios que suministra a la región en la cual se localiza, no obstante sólo hasta el año 1977 la Junta Directiva del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente (Inderena) reservó, alinderó y declaró el Parque Nacional Natural de Sumapaz con un área de 154.000 Hectáreas, el objeto de su creación fue la conservación de la flora, la fauna, las bellezas escénicas, los complejos geomorfológicos, las manifestaciones históricas o culturales, con fines científicos, educativos, recreativos o estéticos (CEERCCO, 2015). Según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, en la actualidad, la Unidad de Parques Nacionales Naturales ha realizado un proceso de precisión cartográfica a partir de la aplicación de sistemas de información geográfica en el Parque Nacional Natural Sumapaz, estableciendo que el área del parque es de 223.179,29 Hectáreas.

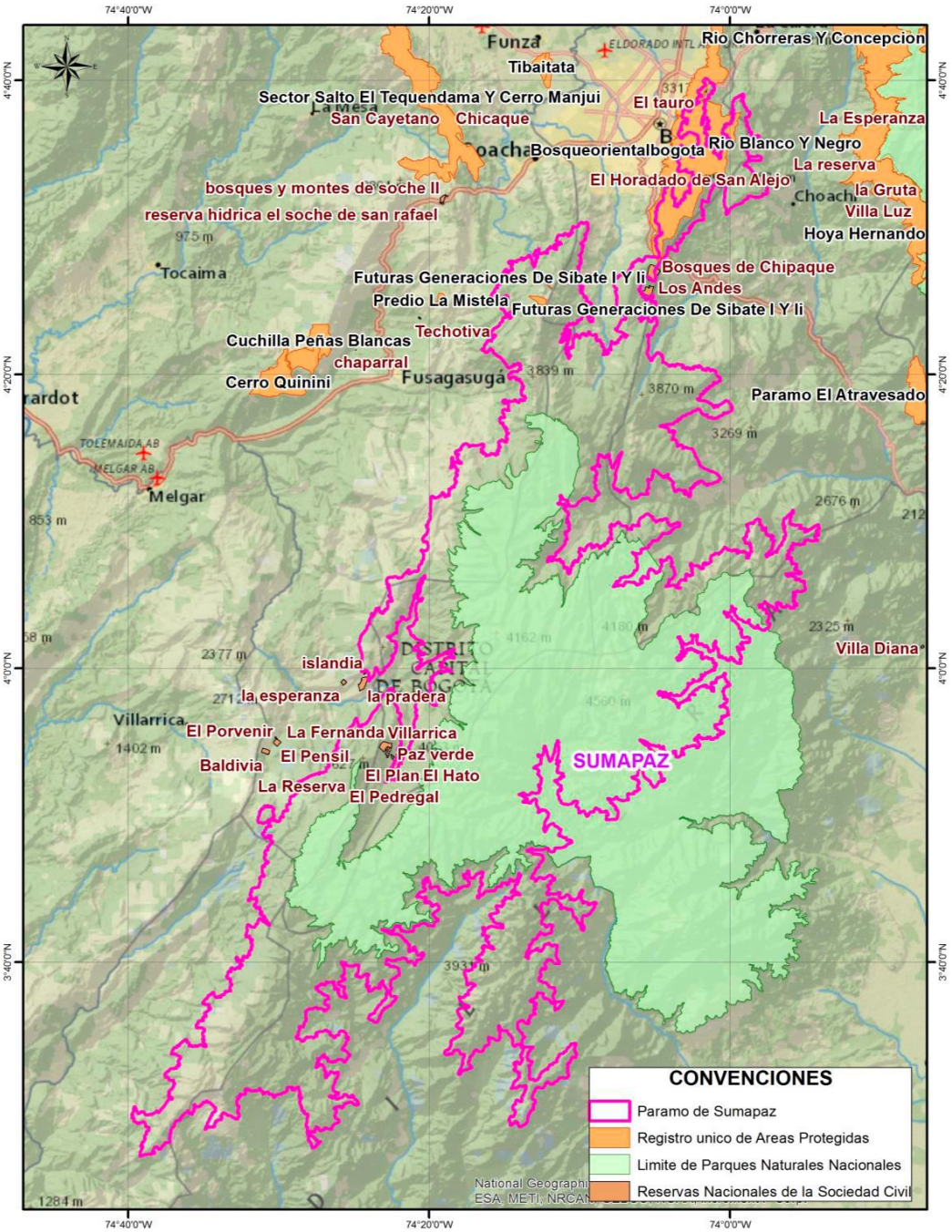
La mayor parte del área del complejo de Páramos de Sumapaz se encuentra como área protegida bajo la categoría de Parque Nacional Natural Sumapaz, para el cual existe un Plan Básico de Manejo, formulado por la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia en el año 2005. Teniendo en cuenta esto, el área protegida que se estudiará está localizada en las coordenadas geográficas dadas en grados, minutos y segundos (GMS) indicadas en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Coordenadas geográficas Parque Nacional Natural Sumapaz (GMS)

Límite	Latitud	Longitud
Norte	4º 17`' 23,568" N	74º 12' 27,072" W
Este	3º 46`' 14,281" N	73º 54' 04,449" W
Sur	3º 35`' 07,916" N	74º 03' 07,946" W
Oeste	3º 44`' 29,639" N	74º 29' 35,755" W

Elaboración propia.

Figura 4-3: Localización y áreas protegidas del Páramo de Sumapaz



Tomado de (CEERCCO, 2015)

La información existente en las entidades con incidencia en el manejo de información sobre áreas protegidas, específicamente la registrada en el Sistema de Información de Alertas Tempranas, indica que el complejo de páramos se traslapa visiblemente con el Parque

Nacional Natural Sumapaz, en su sector occidental, que corresponde en su mayor parte al eje central de la cordillera en Cundinamarca y el Distrito Capital, el área del Páramo de Sumapaz y su correspondencia con el Parque Nacional Natural de Sumapaz, puede verse representado a través de la Figura 4-3.

En el Páramo de Sumapaz se genera uno de los más importantes recursos hídricos de Colombia, que hace parte de las cuencas de los ríos Magdalena y Orinoco. De las 78.096 hectáreas de la localidad de Sumapaz, se distribuyen en 35.928 hectáreas de pajonal, 25.017 hectáreas de frailejón y pajonal, 5.402 hectáreas de bosque natural, 1.856 hectáreas de turbera y 106 hectáreas de lagunas. Además, la localidad de Sumapaz cuenta con 1.128 kilómetros de ríos y quebradas, que conforman un conjunto natural que cumple un importante papel en el ciclo del agua, tanto regulando los flujos desde la montaña, como alimentando los depósitos subterráneos (CEERCCO, 2015).

La red hidrográfica dentro del entorno local del Páramo de Sumapaz comprende principalmente las zonas hidrográficas del Guaviare, Meta y Alto Magdalena, en las cuales contribuye de manera significativa a las corrientes o subzonas hidrográficas definidas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM que se indican a partir de la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Subzonas hidrográficas del Páramo de Sumapaz

Subzona Hidrográfica	Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica
Río Guayabero	Río Orinoco	Río Guaviare
Río Ariari	Río Orinoco	Río Guaviare
Río Guejar	Río Orinoco	Río Guaviare
Río Metica	Río Orinoco	Río Meta
Río Negro	Río Orinoco	Río Meta
Río Guayuriba	Río Orinoco	Río Meta

Subzona Hidrográfica	Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica
Río Cabrera	Magdalena/Cauca	Alto Magdalena
Río Sumapaz	Magdalena/Cauca	Alto Magdalena
Río Bogotá	Magdalena/Cauca	Alto Magdalena

Tomado de (CEERCCO, 2015).

Los páramos en Colombia, además de su importante participación activa en el ciclo del agua sobre los torrentes fluviales antes mencionados, permiten el almacenamiento de agua y su redistribución de distintas formas junto con una gran cantidad de funciones adicionales entre las cuales se destacan las siguientes (Cleef, 1977):

- Aportar a la recarga y descarga de aguas subterráneas.
- Controlar el flujo.
- Controlar la erosión.
- Retener nutrientes, sedimentos y sustancias tóxicas.
- Regular los regímenes climáticos regionales y locales.
- Retener y capturar carbono atmosférico (regulación biogeoquímica).
- Soportar cadenas tróficas.
- Ser hábitat para la vida silvestre.

El Páramo de Sumapaz, catalogado como el más grande del mundo, es un ecosistema único, clave en el balance biológico de Colombia, se ha observado su papel crucial en los sistemas hídricos de la cordillera oriental colombiana, por lo que alteraciones en su biología a causa de amenazas externas pueden ocasionar graves consecuencias a mediano plazo, es por ello que deben emplearse todas las herramientas disponibles para garantizar la conservación de este ecosistema de manera que no hallan perturbaciones en este que generen consecuencias catastróficas en la red hídrica del país.

4.1.2 Contexto socioeconómico y cultural

El Páramo de Sumapaz se extiende en la Cordillera Oriental de Colombia, está ubicado al sureste del departamento de Cundinamarca, noroeste del departamento del Meta e incluye una pequeña extensión al norte del departamento del Huila, posee una superficie total de 334.147,78 hectáreas. El Páramo tiene una importancia hídrica para la región por la gran cantidad de lagunas que enmarcan su territorio, igual que por los embalses de Chisacá y La Regadera, los cuales abastecen con sus aguas al Distrito Capital. De igual forma, posee una importancia social enmarcada por las características culturales y tradicionales de la población ubicada tanto en el páramo como en su área de influencia, las alteraciones del ecosistema se deben principalmente por labores agropecuarias como el cultivo de papa y ganadería de leche (CEERCCO, 2015).

En general, la población que habita el entorno local del complejo es predominantemente campesina y habita zonas rurales por debajo de la línea del páramo, particularmente en su sector norte que corresponde a las cuencas de los ríos Bogotá, Sumapaz y Blanco-Negro-Guayuriba, donde predominan los predios dedicados a usos agropecuarios. Por el contrario, en sectores de la vertiente oriental y el sector sur del páramo, el número de centros poblados es escaso y la población aledaña a los páramos es muy baja debido a las condiciones de inaccesibilidad, por lo cual su incidencia sobre los recursos naturales y los ecosistemas es menos significativa.

Las condiciones climáticas de la región hacen que la vida para el ser humano en el ecosistema de páramo sea muy difícil, por esto el límite de altura para la vida normal de los habitantes de la región está alrededor de los 3.500 metros sobre el nivel del mar, de esta manera la mayor extensión del páramo no es apta como espacio habitacional permanente, sin embargo, es apta como espacio económico aprovechable, utilizado en pequeñas extensiones para cultivo de papa y ganadería.

Teniendo en cuenta el número de habitantes por municipio o localidad se observa un marcado predominio demográfico del departamento de Cundinamarca a través de sus municipios, evidenciando la mayor concentración de habitantes hacia el norte del páramo. La siguiente tabla fue construida a partir de cifras oficiales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, obtenidas a partir de los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2018 (DANE, 2020), a partir de ella se estima que el

entorno regional del Páramo de Sumapaz tiene una población de 1.169.706 habitantes, distribuidos según lo indicado en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Total de población del entorno regional del Páramo de Sumapaz

Departamento	Municipio o localidad	Número de Habitantes	Subtotal Población
Bogotá D.C.	Sumapaz	7.457	7.457
Cundinamarca	Arbeláez	10.005	940.273
	Cabrera	4.512	
	Cáqueza	15.595	
	Chipaque	8.633	
	Choachí	10.397	
	Fosca	5.578	
	Fusagasugá	134.658	
	Guayabetal	5.809	
	Gutiérrez	3.311	
	Pandi	4.735	
	Pasca	8.686	
	Quetame	4.929	
	San Bernardo	7.417	
	Sibaté	32.803	
	Silvania	20.581	
	Soacha	645.202	
	Ubaque	6.390	
	Une	6.902	
	Venecia	4.130	
Meta	Acacías	78.199	214.936
	Cubarral	6.377	
	El Castillo	7.397	
	El Dorado	3.699	
	Fuente de Oro	11.599	
	Granada	64.932	
	Guamal	13.857	
	Lejanías	10.576	
	Mesetas	9.751	
	Uribe	8.549	
Huila	Colombia	7.040	7.040
Total Población			**1.169.706**

Elaboración propia.

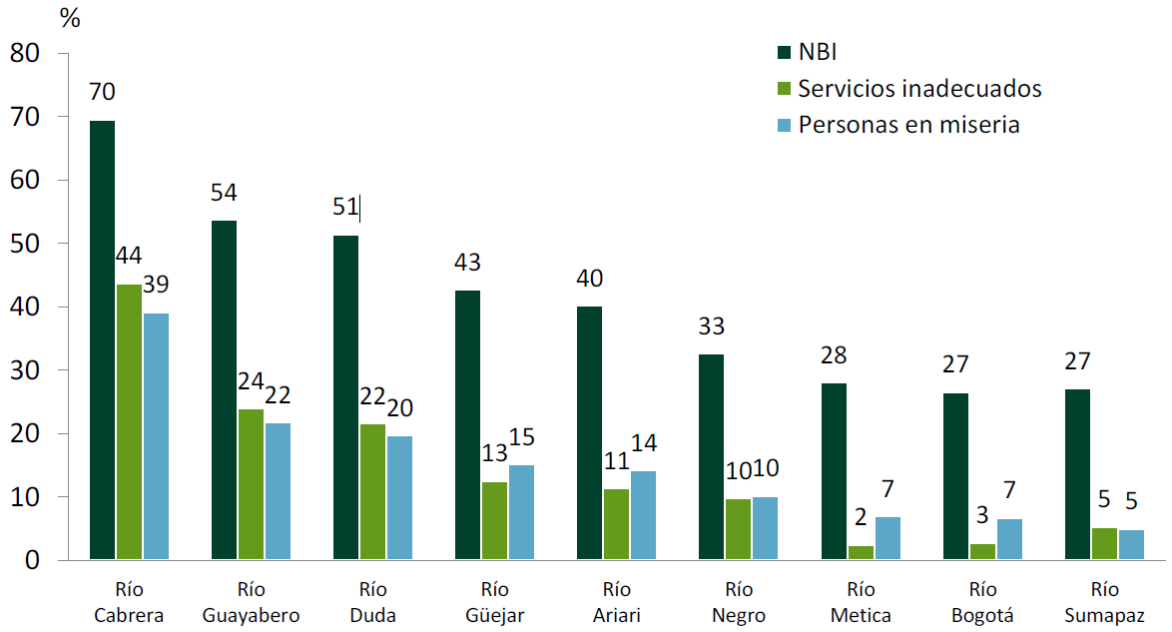
La densidad poblacional del entorno regional del páramo es baja en razón a que la mayor parte se ubica en el rango entre 0 y 0,5 habitantes por hectárea en municipios menores como Colombia, Uribe, Mesetas, Lejanías, El Castillo, Cubarral, Guamal, Cabrera, Venecia, San Bernardo, Gutierrez, Guayabetal, Une y Pasca, mientras que en Soacha y Bogotá es alta ya que relaciona la mayor densidad entre 100 y 300 habitantes por hectárea. De esta manera, a nivel del entorno regional, la mayor densidad poblacional la presenta Bogotá Distrito Capital con 14,65 habitantes por hectárea, seguida respectivamente por Cundinamarca con 1,99 hab/ha, Meta con 0,24 hab/ha y finalmente Huila con 0,08 hab/ha, cifras relacionadas estrechamente con la proporción de área que ocupa cada departamento en el entorno regional (DANE, 2020).

El Páramo de Sumapaz es una de las principales “fábricas” de agua de Colombia y de América. Allí no solo se forman los ríos Sumapaz y Cuja, que abastecen de agua a 10 municipios de Cundinamarca y Tolima, también nacen caudales como el Meta, el Ariari y el Guayabero (afluentes del río Orinoco), unas 20 lagunas y la cuenca del río Tunjuelo, de la que toman el agua dos millones de personas de cinco localidades de Bogotá. Según la información proporcionada por el DANE, la población total de los municipios del entorno local, por zonas hidrográficas que hacen parte del Páramo de Sumapaz es de 8.700.000 personas, es decir el 18% de la población total de Colombia tiene relación directa o indirecta con los recursos hídricos suministrados por el Páramo de Sumapaz. Todos estos recursos, de los cuales 212 mil hectáreas son un Parque Nacional Natural, están en peligro inminente por las modificaciones en el ecosistema a causa de la actividad del hombre y afectaciones sobre el páramo debido a problemas ambientales como incendios forestales, este tipo de incidencias influyen negativa y directamente en este importante ecosistema estratégico del centro del país. De acuerdo con los datos aportados por el DANE, para el entorno regional del Páramo de Sumapaz, la cobertura de servicios públicos no abarca la totalidad de la población, lo que implica que los habitantes busquen alternativas poco amigables con el medio ambiente, con el propósito de suplir la carencia de servicios públicos (leña, pozos sépticos y pozos de agua que afectan el balance hídrico de la zona).

Con respecto a las condiciones de vida de la población rural en el Páramo, se pueden evidenciar condiciones preocupantes, el indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) busca determinar, con ayuda de algunos indicadores simples, si las necesidades básicas de la población se encuentran cubiertas, los indicadores simples son: viviendas

inadecuadas, viviendas con hacinamiento crítico, viviendas con servicios inadecuados, viviendas con alta dependencia económica, viviendas con niños en edad escolar que no asisten a la escuela. Cuando un hogar presenta dos o más carencias, es considerado en estado de miseria. La Figura 4-4 representa las condiciones de vida de la población rural por subzona hidrográfica, la cual utiliza el NBI del censo 2005 del DANE, en ella se presentan el indicador NBI global, el indicador simple de vivienda con servicios inadecuados que, en el caso de las zonas rurales, mide la carencia de servicios sanitario y de acueducto que se aprovisionan de agua de río, nacimiento o de lluvia, y la proporción de personas en estado de miseria (Universidad Externado de Colombia, 2015).

Figura 4-4: Condiciones de vida en el Páramo de Sumapaz por subzona hidrográfica



Tomado de (Universidad Externado de Colombia, 2015).

En las zonas localizadas a mayor altitud y en cercanía al ecosistema de páramo, las actividades agropecuarias no son diversas, se encuentran principalmente el cultivo de papa y la ganadería bobina. Se encuentran también en menor medida otros tipos de actividades agropecuarias como el cultivo de cebolla, zanahoria, mora y el ganado ovino o equino; pero estas son muy reducidas en comparación con el sistema predominante papa-ganado. La especialización económica de las zonas aleñadas al páramo se explica en

primer lugar por las condiciones climatológicas, que impiden que se practiquen muchas otras actividades agropecuarias. Hay también que ver que el cultivo de papa y la ganadería son actividades complementarias en la medida en que se practican en los mismos terrenos a través de un sistema de rotación de la tierra (Jaller, 2010).

Se mencionó anteriormente que las bajas condiciones de vida para los habitantes de la región tienen efectos negativos también en el ecosistema del páramo, generando afectaciones ambientales en la zona. En adición a las actividades humanas con incidencia negativa en el páramo a causa de carencia de servicios públicos, hay actividades humanas de carácter económico y comercial que generan de igual manera afectación sobre el ecosistema, algunas de estas actividades se listan se listan a continuación:

- Cultivos de Papa.
- Ganadería.
- Contaminación de ríos y quebradas.
- Minería de materiales de construcción.
- Expansión urbana.
- Contaminación del aire por fábricas y plantas de producción.
- Erosión ocasionada por el mal uso del suelo (exceso de agroquímicos, sobrepastoreo, etc.)
- Nacederos de agua desprotegidos y deforestados que generan escasez de agua en época de verano produciendo incendios difíciles de controlar.

Debido a la cercanía con la capital del país, a la proximidad con demás centros urbanos de importancia para el centro de Colombia y a las condiciones ambientales favorables para la práctica de actividades agropecuarias, la región de Sumapaz representa un centro económico de notable importancia para suplir diversas necesidades de la zona, esto si bien representa fuente de empleo e ingresos para los habitantes de la región, también incide negativamente en la estructura biológica de la región, recordando que el ecosistema

de Páramo es único en el mundo y de gran fragilidad e importancia para el suministro de agua de un porcentaje considerable de la población colombiana.

Haciendo énfasis en las actividades humanas que inciden de manera directa en la contaminación del aire y en actividades desencadenantes de incendios forestales en la región, a pesar de la facilidad del uso de gas natural en actividades cotidianas y de las campañas de educación ambiental para disminuir el uso de leña, madera, material de desecho y carbón vegetal para cocinar, las cifras presentadas por el DANE relacionadas al uso de este tipo de combustibles son alarmantes. La contaminación del aire por humo incide de manera negativa en el proceso de condensación de agua que lleva a cabo la flora del páramo, haciendo que la vegetación en la región sea más propensa a quemas e inicios de incendios. De igual manera las malas prácticas en el manejo del fuego como brasas sin apagar, fuentes de calor abandonadas y manejo de material inflamable sin cuidado, son potenciales peligros que desencadenan fácilmente incendios forestales en la región. El uso de leña y fuentes de calor peligrosas y no amigables con el medio ambiente se presenta en la Tabla 4-4 (DANE, 2020):

Tabla 4-4: Uso de leña, madera, material de desecho y carbón vegetal para cocinar

Subzona Hidrográfica	Zona Rural	Zona Urbana
Río Cabrera	90%	38,8%
Río Duda	76%	24,1%
Río Guejar	73%	12,6%
Río Guayabero	73%	9,2%
Río Ariari	59%	7,7%
Río Negro	53%	1,6%
Río Sumapaz	46%	0,9%

Subzona Hidrográfica	Zona Rural	Zona Urbana
Río Bogotá	27%	0,1%
Río Metica	24%	0,9%
Total	**58%**	**10,6%**

Elaboración propia.

El Páramo de Sumapaz a lo largo de su proceso en el tiempo ha tenido usos sagrados, de hábitat, de comunicación y refugio a diferentes grupos humanos. El origen cosmogónico de varios grupos indígenas se encuentra en los páramos de lo cual son claro ejemplo los mitos muiscas.

Los habitantes de la región de Sumapaz en su relación con el páramo han construido su identidad y actualmente lo reconocen como el elemento que posibilita su vida y permanencia en los territorios. El páramo se asocia con la vida y el agua, se considera un lugar de belleza, paz y tranquilidad; por tanto, para sus habitantes existe un amplio deseo de defender este territorio, que también es considerado un territorio del cual se vive y en el que se desarrollan actividades productivas. Es importante destacar que, a lo largo de los años, algunos habitantes de la región han llevado a cabo por iniciativa propia acciones tendientes a la conservación del páramo, lo que guarda relación con la conciencia del páramo como fuente de vida y legado para las futuras generaciones. Este territorio desde el punto de vista de la percepción de sus habitantes, la memoria y la valoración simbólica, lleva huellas de un uso y ocupación de muchos siglos en la que poblaciones han ido transformando este espacio y han aprendido además a defenderlo. La riqueza cultural de la población de la zona, que entiende que el páramo es fuente de vida, trabajo y alimento, hacen que este mantenga su valoración simbólica de sagrado.

Se ha mencionado de la importancia del Páramo de Sumapaz por sus características biológicas y su ubicación clave en el centro del país, de igual manera se resalta su papel como centro económico en el cual confluyen varios actores con intereses y formas de pensar particulares, se habló en párrafos anteriores de la percepción del páramo por gran parte de sus habitantes como lugar sagrado y fuente de vida, sin embargo, debido a las características y a los recursos aprovechables de la zona, existen distintas culturas de

operación en el sector por cada uno de los actores que intervienen en él, estas lógicas culturales se presentan a continuación (Universidad Externado de Colombia, 2015):

- **Cultura urbana regulada:** Se rige por las normas y lo técnico científico y los principios de la planeación, asociada a modelos de desarrollo globales desde donde se generan una diversidad de propuestas de desarrollo sostenible como, por ejemplo, la lectura de los servicios ecosistémicos y los incentivos a la conservación o la tecnología limpia, que está más articulada a un deber ser del territorio que a las dinámicas y necesidades particulares de tipo locales. Desde esta lógica se tiene una percepción del territorio en términos de servicios ecosistémicos, ofrece una herramienta neutral que permite mediar entre los distintos intereses, por medio de las compensaciones y pagos.

- **Cultura agroindustrial y extractiva:** Se rige por los principios de rentabilidad económica y las oportunidades del mercado globalizado desterritorializado, dentro de la cual funcionan actores formales e informales en la interfase de procesos productivos y extractivos y cadenas de distribución. Si en la agenda de delimitación se van a reconocer los servicios ecosistémicos quisieran que estos se expresaran en términos de su lógica, es decir, en valores monetarios y el libre comercio.

- **Cultura campesina con anclaje social e histórico con el territorio:** Se rige por normas culturales de solidaridad, seguridad y permanencia de su sistema de vida, que dependen de las ofertas institucionales y laborales que les proponen las dos lógicas anteriores, pero buscan incluir la conservación como un aspecto transversal de su sistema de producción, aportando desde sus iniciativas propias como las reservas de la sociedad civil o acuerdos locales de conservación de lugares de valor local. Una expresión especial o particular de esta lógica es la de los indígenas (tanto muiscas como de grupos indígenas asentados en los municipios de la región) que además proponen formas más colectivas de manejo del territorio. Confrontado con la noción de servicios ecosistémicos, requiere que estos se lean en términos que permitan su permanencia y la continuidad de su sistema de vida o proyecto de vida.

En esta última lógica cultural mencionada, la cual acoge a la mayor parte de la población de la región de Sumapaz, se evidencia un modo de vivir y habitar el páramo que va más allá de los intereses económicos y del aprovechamiento de recursos para subsistir, se tiene una noción de respeto hacia el páramo entendiéndolo como fuente de vida que debe ser cuidado para posibilitar su existencia y la de todos los seres que dependen de él. A lo largo de los años se han aprovechado los recursos que brinda el páramo para satisfacer diversas necesidades del hombre, las tres lógicas de cultura mencionadas se alimentan, abastecen y benefician de las bondades de los recursos que este frágil ecosistema ofrece, los proyectos, acciones e implementaciones que se lleven a cabo en la región deben regirse por estos tres pensamientos, asegurando que para cada uno de ellos se preserve el valor deseado. Sin embargo, a pesar de que deban satisfacerse las necesidades con relación a los tres tipos de cultura, debe darse especial prioridad a la lógica cultural campesina, esto ya que los objetivos económicos no son lo esencial en ella y, al tenerse como objetivo principal la vida y conservación del páramo, se asegura que los proyectos y acciones implementadas con especial énfasis esta cultura trasciendan en el tiempo y beneficien, no solo a sus habitantes con retribuciones económicas, sino a todas las especies que se nutren del páramo y a las generaciones futuras que dependerán de la zona.

4.2 El Páramo de Sumapaz frente a los incendios forestales

Uno de los fenómenos que causan perturbaciones físicas más severas al ecosistema del Páramo de Sumapaz son los incendios forestales y las quemas que se presentan en las zonas rurales, generando efectos directos a la fauna, la flora, el agua, el suelo, el aire, el paisaje y el hombre. Este último no solo ve afectada su integridad física, sino que tiene que realizar una movilización de personas y herramientas con el fin de minimizar su afectación limitando las posibilidades de desarrollo. El fuego retrasa o impide la autorregulación de los ecosistemas existentes llegando a la destrucción de una buena parte del componente ambiental de esta zona de gran importancia en el centro de Colombia y de demás regiones del país debido a la dependencia de los flujos de aguas de la red hidrográfica de la nación.

La categoría de Zona Protegida del Páramo y de Parque Nacional Natural hace que resulte bastante complicada la detección, atención y control de incendios forestales, a pesar de estar ubicado en el centro del país y tener cercanía con la capital de la República, la

naturaleza de su ecosistema y la fragilidad de este dificultan las acciones humanas de preservación del páramo frente a estas amenazas. Ha habido varios casos en los cuales han sido los mismos habitantes de la zona quienes intentan controlar los incendios por sus propias manos al no haber atención oportuna de estas emergencias por parte de las entidades gubernamentales, esta tardanza en la atención de las emergencias y control de los incendios por parte de los organismos de control causan la pérdida de varias hectáreas de flora clave en el balance climático de Colombia. Desafortunadamente, los incendios forestales sólo son observados cuando ya se han propagado en una gran área, haciendo su control y detención muy difíciles y en algunas ocasiones imposible, el resultado de eso son pérdidas devastadoras y daños irreparables al ambiente y a la atmósfera. Se estima que el 30% del dióxido de carbono que se libera en la atmósfera corresponde a incendios forestales (Alkhatib, 2014), lo cual claramente en el caso del páramo no afecta únicamente a las especies consumidas por las llamas sino al ciclo natural del agua al afectar la composición química del aire a causa del humo generado por el incendio, el cual al ser afectado causa un desbalance en el sistema hídrico del Páramo.

Parques Nacionales Naturales de Colombia y en particular el Parque Nacional Natural de Sumapaz tiene entre sus funciones detectar incendios forestales y generar las alarmas correspondientes al organismo de socorro encargado de atender la emergencia. En el desarrollo de la presente investigación se ha consultado el registro de incendios forestales en el Páramo en la web sin encontrar información disponible para consulta, por lo cual se consultó directamente a Parques Nacionales Naturales sobre los métodos de detección de incendios en el Páramo de Sumapaz y sobre un registro de eventos de incendios en los últimos años que permita tener un estadístico sobre las emergencias atendidas, sin embargo, fue hasta varios meses después de la consulta realizada a través del mecanismo de PQRSD de la entidad que se recibió una respuesta oficial por parte de la Dirección Territorial Orinoquía de Parques Nacionales Naturales correspondiente al Parque Nacional Natural Sumapaz, en la respuesta se indicó que el área protegida realiza la revisión de series temporales de focos activos o anomalías térmicas detectadas por el sensor MODIS de la NASA y procesadas a través del sistema FIRMS (Fire Information of Resource Management System Active Fire Data), esta fuente de información es usada por Parques Nacionales Naturales como una herramienta de monitoreo para la detección de puntos de calor y potenciales incendios, y de la cual, es posible obtener fecha y localización de dichos

puntos, se indicó de igual manera en la respuesta que el histórico requerido puede ser consultado a través de las bases de datos disponibles del sistema de la NASA en mención.

El sistema de información utilizado por Parques Nacionales Naturales para el monitoreo y detección de incendios forestales es un sistema satelital descrito en el capítulo 3, el cual a pesar de ser gratuito y globalmente accesible presenta varios problemas como el hecho de entregar información con 2 días de retraso, por lo cual la información que se consulta en el sistema permite identificar incendios forestales hasta 2 días después de que estos son detectados por el sistema satelital, habiendo consumido ya una gran cantidad de hectáreas de flora de la región. Además del grave problema del retraso en la disponibilidad de la información, los sistemas satelitales no son del todo fiables y útiles para el caso del Páramo debido a que los satélites de control climático y monitoreo de incendios forestales están a una altitud de más de 35.000 km, por lo cual la radiación óptica e infrarroja producida por incendios forestales en sus etapas tempranas puede ser demasiado débil para ser detectada por este tipo de satélites (Kudoh & Hosoi, 2003), además de esto la visualización y detección de incendios por el satélite puede verse comprometida por las condiciones atmosféricas de la región, por lo que en situaciones de alta nubosidad el satélite puede ignorar un incendio que en esos momentos no sea visible para él.

Recapitulando lo anteriormente indicado, el sistema que se emplea por Parques Nacionales Naturales para la detección y control de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz presenta las siguientes desventajas clave:

1. Disponibilidad de la información para consulta con 2 días de retraso.

2. Dificultad de detección de incendios en etapas iniciales debido a la débil radiación emitida por estos para el sistema satelital.

3. Dependencia en la detección de las condiciones climáticas y atmosféricas de la región.

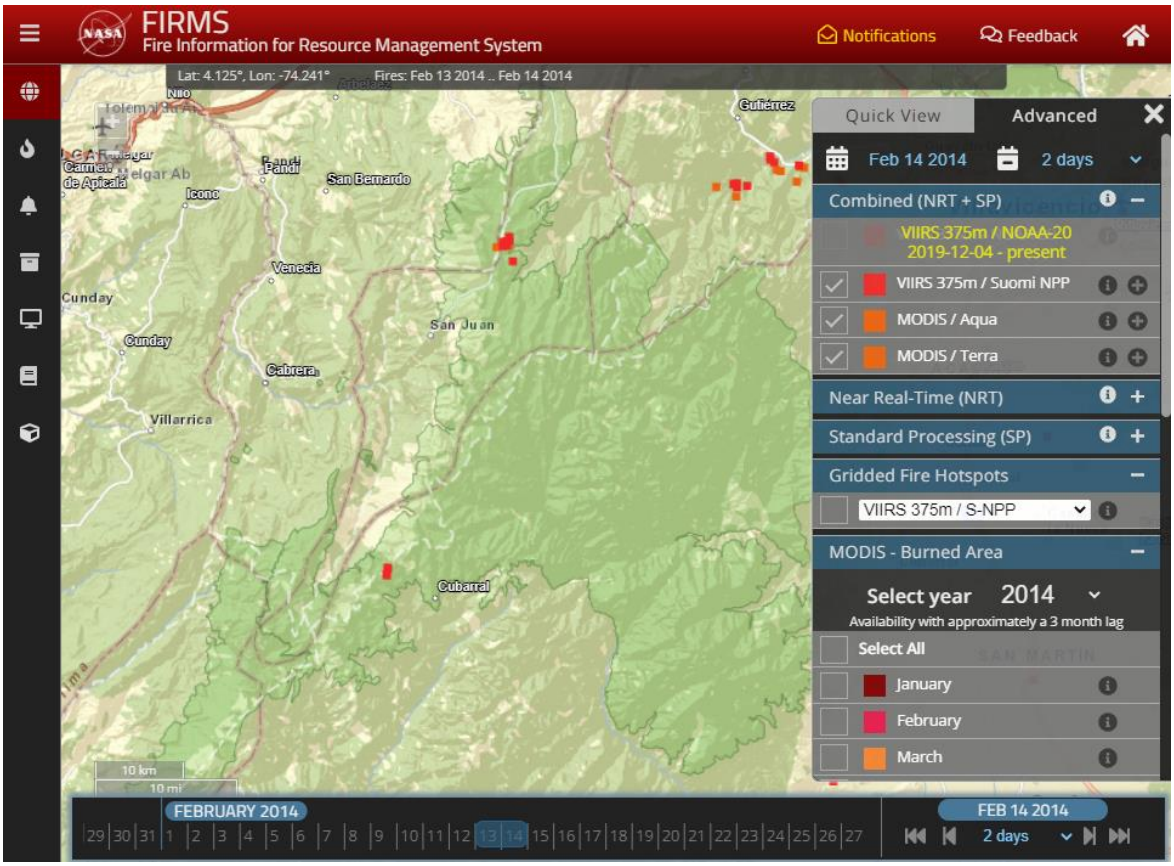
Estas debilidades en conjunto pueden causar que un incendio forestal en el Páramo sea detectado y alertado por Parques Nacionales Naturales varios días después de su inicio, habiendo consumido en este transcurso de tiempo cientos de hectáreas de un ecosistema único e irremplazable. Además, este retraso que perfectamente podría ser de una semana hace que al momento que la alerta sea emitida y que el organismo de socorro tome las

acciones correspondientes, las llamas sean incontrolables y muy difíciles de apagar debido al avanzado estado del incendio.

En relación a la respuesta recibida por Parques Nacionales Naturales indicada párrafos atrás, preocupa también el hecho de que la entidad no tenga un registro consolidado de emergencias ambientales causadas por incendios forestales y que remita al consultante a la base de datos del sistema FIRMS, esto hace pensar que la organización no maneja un registro estadístico de los incendios y tiene desconocimiento del comportamiento de estos en los últimos años, por lo cual, además de usar un sistema que no es el más adecuado para la detección y monitoreo de incendios en la zona, se da a entender que al no contar con un registro de elaboración propia de los incendios la entidad no tiene identificadas causas de origen de los mismos, comportamiento de los incendios en relación a la época del año, estadístico de las hectáreas consumidas a lo largo del tiempo y demás información que permita elaborar planes de prevención para evitar la generación de nuevos incendios en el futuro.

Como parte de la presente investigación, se ha accedido al portal del sistema FIRMS para consultar el registro de focos de calor e incendios en el Páramo de Sumapaz, la Figura 4-5 muestra la pantalla de visualización del sistema, en la cual se ajustó la visualización para la región del Páramo de Sumapaz para el 14 de febrero de 2014, fecha para la cual el sistema tiene el mayor registro de focos de calor en la zona en la última década.

Figura 4-5: Visualización del sistema FIRMS



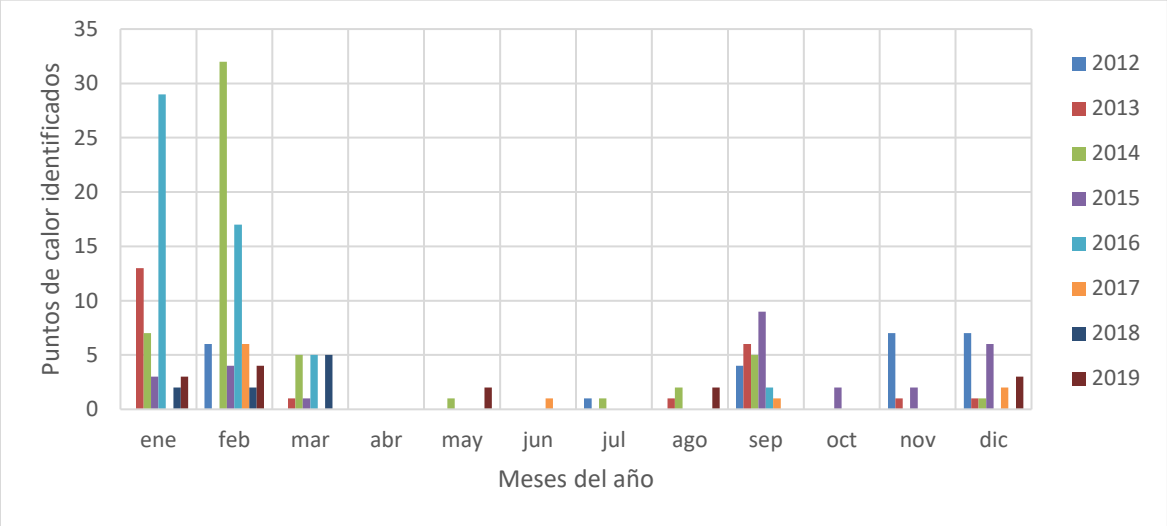
Elaboración propia

Como puede observarse, el sistema imprime en pantalla la ubicación de los puntos de calor en el mapa, de manera que el observador pueda conocer la localización de incendios forestales detectados hace dos días a través del satélite.

Al no haber un registro oficial consolidado y construido por Parques Nacionales Naturales relacionado a los incendios forestales en el Páramo de Sumapaz, se accedió al repositorio de archivado del sistema FIRMS de la NASA, el cual tiene el histórico de puntos de calor e incendios detectados por el sistema entre los años 2012 y 2019 para todos los países, el sistema da la opción de descargar estos datos a nivel global o individual para cada país. El archivo que suministra el repositorio es un archivo de valores separados por coma (.CSV) en el cual cada uno de sus registros corresponde a un evento de punto de calor detectado por el sistema, el archivo tiene en sus columnas iniciales las coordenadas del punto de calor identificado y presenta en el caso de cada país el total de eventos registrados durante el año seleccionado para la totalidad de su territorio.

Se realizó la descarga de la totalidad de archivos disponibles para Colombia, esto es el periodo comprendido entre 2012 y 2019, y se filtraron los valores de los archivos acotando el rango de coordenadas de puntos de calor a seleccionar acorde a las coordenadas de localización del Páramo indicadas en la Tabla 2-1. Una vez identificados los puntos de calor detectados por el sistema FIRMS en el Páramo de Sumapaz, se construyó el histórico presentado en la Figura 4-6.

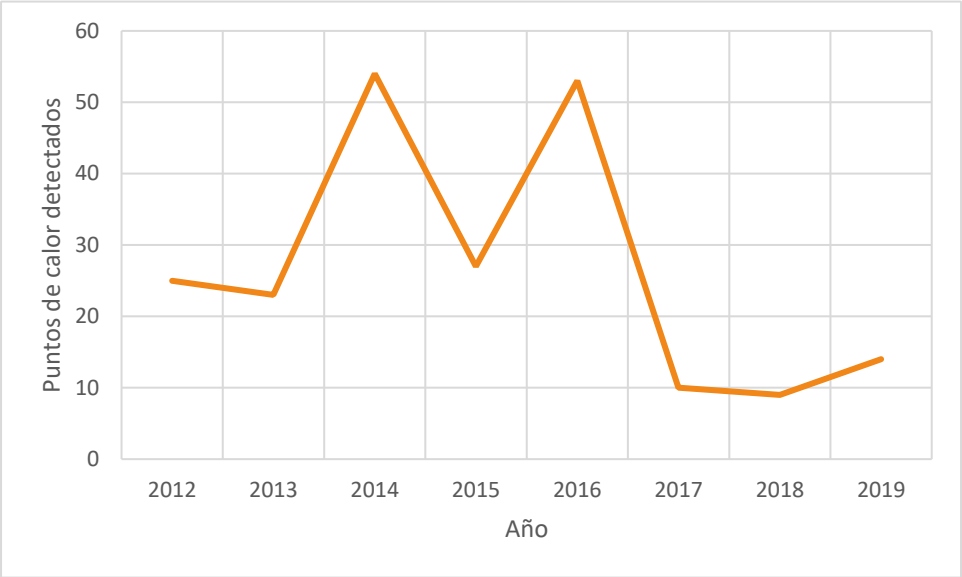
Figura 4-6: Puntos de calor en el Páramo de Sumapaz entre 2012 y 2019.



Elaboración propia

A partir de los puntos de calor registrados por el sistema FIRMS en el Páramo de Sumapaz entre 2012 y 2019 puede observarse que la mayor cantidad de eventos identificados está principalmente en los meses de enero y febrero, asociado a la temporada de sequía en la región, de igual manera los meses en los cuales se presentan las temporadas de invierno del año (abril y octubre) presentan una cantidad de eventos identificados prácticamente nula en comparación con el resto de los meses del año. Recordando que los datos recopilados por el sistema no son 100% confiables ni precisos debido a las desventajas mencionadas párrafos más arriba, inicialmente no se observa una tendencia al incremento o disminución de los incendios en el Páramo con el transcurso del tiempo, esto puede verse a través de la Figura 4-7.

Figura 4-7: Puntos de calor por año en el Páramo de Sumapaz entre 2012 y 2019



Elaboración propia

Puede observarse que la mayor cantidad de eventos detectados por el sistema se registraron en los años 2014 y 2016 mientras que los puntos mínimos están en los años 2017 y 2018, sin embargo, no se tiene la certeza de que el sistema sea capaz de detectar la totalidad de eventos presentados, por lo cual es posible que la tendencia general de incendios reales presentados sea distinta.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta evidente la necesidad de emplear un método de detección y monitoreo de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz que sea más preciso y confiable, un sistema que trascienda a las desventajas del sistema satelital actualmente utilizado, se requiere utilizar un método capaz de detectar incendios forestales rápidamente y en sus etapas iniciales, no únicamente cuando este se encuentre en un estado avanzado y ya haya consumido varias hectáreas. Considerando la fragilidad de la vegetación del páramo y su importancia en los ciclos ecosistémicos y balance biológico, es clave brindar a las entidades responsables las herramientas para poder identificar oportunamente posibles amenazas de incendios para poder atenderlas oportunamente y no varios días después como actualmente está ocurriendo. Además de lo anterior, es requerido adoptar un método capaz de registrar eventos térmicos en la región de manera que pueda consolidarse un histórico detallado de los mismos para identificar épocas

críticas y demás factores que permitan elaborar planes de prevención que disminuyan las probabilidades de que se originen nuevos incendios en la zona.

A partir de la revisión de casos exitosos de modelos tecnológicos a nivel mundial orientados a la detección de incendios forestales tratada en la sección 3.2, junto con la necesidad clara de adoptar un modelo de este tipo al Páramo de Sumapaz tratada en el presente capítulo, el siguiente paso de la presente investigación comprende relacionar el modelo de TD que mejor se adecúe al contexto del Páramo, de manera que al brindar los lineamientos clave de adopción del modelo pueda en un futuro cercano adoptarse los criterios y estudios realizados en esta investigación para implementar el modelo referenciado de tal modo que el nuevo método que se implemente no solo anule las debilidades identificadas del actual método empleado, sino que permita atender emergencias ambientales de manera inmediata asegurando la preservación y protección de un ecosistema valioso para todos los colombianos, clave en el balance térmico de la región y único en el mundo.

5. Articulación de la transformación digital organizacional

La TD se entiende como un proceso de reinvención o modificación en la estrategia o modelo del negocio, que responde a necesidades de supervivencia de las organizaciones y se apoya en el uso de TIC (MinTIC, 2019). A pesar de ser un término empleado principalmente para el sector empresarial, su uso puede extenderse hacia el sector público y, en este caso al sector rural, para transformar la manera de actuar en el páramo y puntualmente frente a los incendios forestales.

Los modelos de TD utilizados alrededor del mundo han sido desarrollados e implementados principalmente para fines organizacionales y comerciales, por lo que es necesario tener un entendimiento de ellos en el contexto en el cual fueron diseñados para lograr una aplicación correcta al caso del Páramo de Sumapaz. A continuación, se presentan algunos de estos modelos que, tomando las consideraciones necesarias, pueden aplicarse de manera adecuada a la resolución de la problemática identificada.

5.1 Modelo Altimeter: Seis etapas para la transformación digital

La consolidación de una TD es un proceso progresivo que exige un esfuerzo en varios departamentos de una entidad. Altimeter ha establecido que las organizaciones que se enrutan en el camino de la TD se clasifican dentro de las siguientes seis etapas a medida que avanzan en la consolidación de una cultura innovativa (Solis & Szimanski, 2016):

1. **Negocio tradicional:** Organizaciones en esta etapa son bastante temerosas al riesgo, su cultura y modelo de negocio inhibe la innovación, experimentación y crecimiento. Cualquier necesidad y oportunidad de cambio es fácilmente rechazada.

2. **Presente y activo:** Estas organizaciones están evolucionando gracias a agentes de cambio que reconocen nuevas oportunidades y luchan por liderar experimentos dentro de sus respectivos departamentos. Las nuevas tendencias en lo digital, móvil, social, Internet de las cosas (IoT), etc., motivan a un grupo pequeño empleados a experimentar con nuevas posibilidades.

3. **Formalizado:** El sentido de urgencia para modernizar la experiencia del cliente se acelera. Los agentes de cambio y primeros empleados interesados en el cambio se unen para contribuir en la colaboración y la experimentación. Los esfuerzos de TD se centran en áreas clave de exploración y experimentación.

4. **Estratégico:** Los impulsadores de cambio han creado con éxito una necesidad de transformación, se han ganado el patrocinio ejecutivo y ahora cuentan con la atención de la alta dirección. Los esfuerzos en la TD se convierten en una prioridad de la organización. La hoja de ruta se enfoca y refina mediante objetivos específicos a corto y largo plazo que requieren cambios y producen resultados clave

5. **Convergente:** El camino hacia la TD ya está en marcha, se crean nuevos modelos operativos y equipos mientras se optimizan las operaciones para brindar experiencias al usuario. La tecnología tiene un propósito tanto en la integración de cara al usuario como en los procedimientos internos de la organización. La TD se expande y ahora afecta a toda la organización y a todas las facetas del negocio.

6. **Innovativo y adaptativo:** La cultura de innovación se convierte en prioridad, y la organización se consolida como transformada, innovadora y adaptada. La innovación se convierte en parte del ADN de la empresa con el establecimiento de equipos formales y los esfuerzos para satisfacer las necesidades de los usuarios se apoyan en la articulación de nuevas tecnologías.

A partir de lo anterior, la Tabla 5-1 presenta las seis etapas de la TD, permitiendo un entendimiento completo de cada una de ellas a través la evaluación de seis componentes.

Tabla 5-1: Componentes de las etapas de la TD

Etapa	Gobernanza y liderazgo	Personas y operaciones	Experiencia del usuario	Datos y analítica	Integración tecnológica	Capacita-ción digital
1	No colaborativas	Procesos no formalizados	Enfoque en las necesidades actuales del cliente	Esfuerzos aislados y perfil del cliente incompleto	Estrategias fragmentadas en los depar-tamentos de la organización	Formación atada a normatividad existente
2	Se empiezan a introducir tecnologías disruptivas	Jerarquía y procesos existentes	Se experimenta con nuevas estrategias	El marketing y lo digital empiezan a enfocarse en el análisis de experiencia del cliente	Se empiezan a explorar nuevas plataformas, canales y programas	Colaboración con otras organizacion es para programas de capacitación
3	Optimización de esfuerzos en equipo	Se da inicio a programas piloto colaborativos	Se revelan oportunida-des de TD a partir de las necesidades del cliente	Se identifican brechas en las mediciones	Se compran soluciones tecnológicas de otros proveedores	Se da prioridad al aprendizaje continuo.
4	Toda la organización reconoce la necesidad de un cambio formalmente organizado	La experien-cia interde-partamental es prioridad oficial	Se consolidan grupos de estudio multi-funcionales	La organización avanza a la integración de experiencias en todos los canales y dispositivos	Se integran varios canales para crear una única fuente de datos para el análisis	Se implementa capacitación digital obligatoria
5	Los esfuerzos de TD crean nuevos modelos de negocio en la organización	Se incluye el control de la línea de vida del negocio	Se consolida un mapa de experiencias del usuario para contribuir en la estrategia de TD	Se combinan datos de distintas fuentes para consolidar un perfil del cliente	Se integra computación en la nube para optimizar la colaboración en la organización	Todos los empleados se entrenan digitalmente y las contra-taciones se basan en la capacidad de soportar la nueva infra-estructura
6	Los nuevos modelos, roles e inversiones se enfocan en la innovación para impulsar la TD y opor-tunidades de crecimiento	Los nuevos roles y operaciones se centran en tecnologías que actúen como catalizadores de cambio	Se implementa una cultura de innovación continua en todas las áreas de la organización	Hay métricas tangibles que permiten medir el impacto en los usuarios en una perspectiva de 360 grados	Se integran las herramientas en la nube a todas las tecnologías, contribu-yendo así a la innovación	Todos los empleados tienen la capacidad de entender y soportar la in-fraestructura tecnológica de la organización, teniendo también habilidades para innovar

Elaboración propia.

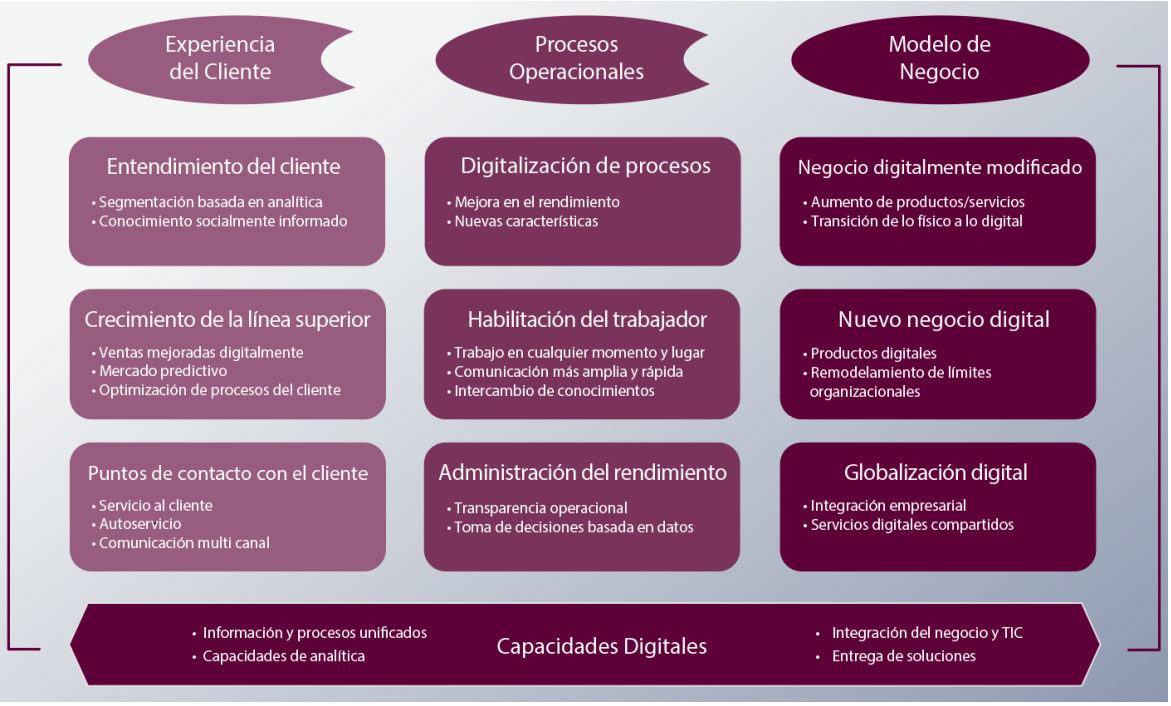
El modelo de Altimeter propone que, para cualquier tipo de organización independientemente de su sector, es posible consolidar una estrategia de TD que permita que el negocio alcance el estado de innovativo y adaptativo. El marco de referencia propuesto posibilita sacar a una compañía del estado tradicional en el cual las soluciones tecnológicas no forman parte del modelo de negocio de la organización, la comodidad de los procesos actuales impide su crecimiento y su evasión del riesgo imposibilitan la innovación. De esta manera se sugiere un crecimiento progresivo de la compañía, haciendo que su clasificación en cada una de las etapas posibilite que ella gane valor y se posicione mejor en el mercado a medida que avanza su modelo de negocio alrededor de soluciones tecnológicas.

5.2 Modelo MIT: Hoja de ruta para organizaciones billonarias

El departamento del MIT para negocios digitales presenta en (Westerman et al., 2011) el modelo de TD que ellos mismos denominan una hoja de ruta para organizaciones billonarias. Este es un modelo enfocado principalmente para el mejoramiento en los ingresos de compañías con planes de expansión tecnológica y su posicionamiento en la competencia. Mediante la apropiación de tecnologías y el seguimiento de lineamientos para moldear su modelo de negocio, los autores presentan una hoja de ruta que posibilite una TD en este tipo de organizaciones.

El modelo MIT expone la necesidad de un cambio de cultura urgente en las organizaciones debido a dos puntos de presión constantes: las exigencias de los clientes y la competencia con otras compañías. Por ello propone a las empresas interesadas un cambio estructural en ellas que amplíe el abanico de opciones a sus clientes a través de la implementación y apropiación tecnológica. A través de la Figura 5-1 se presentan los bloques constructores de la TD propuestos en el modelo.

Figura 5-1: Bloques constructores de la transformación digital



Tomado de (Westerman et al., 2011).

Como puede verse, la estructura de TD propuesta por el MIT está construida sobre tres pilares fundamentales: La experiencia en el cliente, los procesos operacionales y el modelo de negocio. En cada uno de estos pilares hay elementos que deben cambiar para adaptarse a las tendencias tecnológicas y así generar una TD real en la organización. Para lograr cambiarlos, MIT propone ejecutar los tres procesos iterativos que se presentan a continuación (Westerman et al., 2011):

- **Visualizar el futuro digital de la compañía:** Muchas iniciativas de TD no logran capturar todo el valor disponible porque su visión no es transformadora. Solo los altos cargos de la empresa pueden crear una visión convincente del futuro y comunicarla a toda la organización. Las grandes empresas sobreviven a las grandes transiciones no reemplazando radicalmente lo antiguo por lo nuevo, sino más bien transformando algunos de sus recursos y competencias existentes para el nuevo entorno. Esto a veces implica cambiar el liderazgo o reemplazar activos, por lo que se requiere comprender cuándo los activos tradicionales ya no proporcionan valor. De igual manera la estrategia de la organización no debe únicamente orientarse hacia el mejoramiento de lo actualmente llevado a cabo, sino

que debe adelantarse a las necesidades y proponer elementos que garanticen un crecimiento de la compañía con el pasar de los años.

- **Invertir en iniciativas y habilidades digitales:** Al igual que con cualquier inversión, la TD requiere comprender la necesidad de ella, administrar el riesgo y realizar los cambios necesarios para capitalizar el cambio. Al implementar una nueva tecnología, a menudo es más fácil contratar proveedores que contratar personas, sin embargo, no debe cometerse el error de dejar todas las tareas tecnológicas a un tercero. Para lograr una adecuada TD debe realizarse una transición progresiva de la fuerza laboral, por lo que tercerizar al principio estas actividades es recomendable pero también debe capacitarse digitalmente a los empleados directos de la compañía para que en un mediano plazo sean quienes soporten toda la infraestructura tecnológica y así dejar de depender de agentes externos. Son muy pocas las aplicaciones de TD que se planificaron por completo con anticipación. En la mayoría de los casos la estrategia de TD es construida a partir de capacidades básicas para una necesidad y luego se agregan capacidades de manera incremental conforme nuevas necesidades son identificadas. Esta es una buena práctica que permite llevar a cabo una inversión controlada mediante la toma de riesgos pequeños en lugar de una transformación radical de manera repentina.

- **Liderar el cambio desde arriba:** Como en la mayoría de las transformaciones empresariales, el papel de la comunicación es fundamental para lograr cambios y reducir la resistencia organizacional. Las personas pueden ser un obstáculo mucho mayor para una TD exitosa que cualquier tecnología compleja, por lo cual la cultura de cambio debe promoverse desde los cargos más altos de la organización, enviando el mensaje a divisiones más pequeñas de que una transformación orientada tecnológicamente es una prioridad. Pasar de la información en cascada a través de los canales jerárquicos tradicionales hacia la comunicación a gran escala en toda la empresa posibilita una visión más clara del mensaje. Además de herramientas tradicionales como el correo electrónico, la evolución de las herramientas digitales presenta distintas posibilidades de difusión como videoconferencias y comunicación a través de redes sociales. Debe de igual manera permitirse la comunicación en el sentido opuesto, es decir, pasar de un

modelo de comunicación de unidireccional a ofrecer a las personas de la organización la oportunidad de entablar un diálogo real sobre la transformación, esto puede lograrse a través de medios como wikis, foros de discusión y blogs.

Figura 5-2: Matriz de madurez digital del modelo MIT

Tomado de (Westerman et al., 2011).

Al igual que el modelo anterior, el modelo MIT presenta también una metodología para calificar el nivel de TD de una organización. A través de la intensidad digital y la intensidad de la gestión de la transformación, entendidas como nivel de inclusión de TIC y nivel de la estrategia para la apropiación de la tecnología, se construye la matriz de madurez digital que se presenta en la Figura 5-2. En ella se observan cuatro categorías, en las cuales puede evidenciarse que para que una TD presente buenos resultados en una compañía, deben tomarse acciones por igual por igual en la intensidad digital y en la intensidad de la gestión de la transformación. Acá se observa que el nivel de madurez digital deseado de

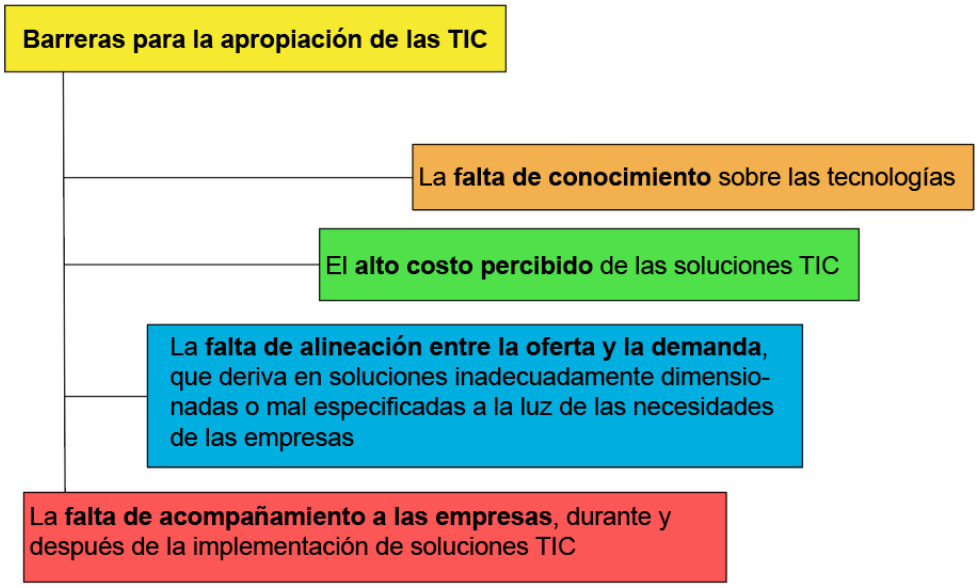
toda organización es digirati, en el cual hay fuertes esfuerzos en ambos ejes que posibilitan una TD efectiva en toda la compañía.

5.3 Modelo MinTIC: Modelo de madurez para la transformación digital

El objetivo de MinTIC e iNNpulsa Colombia es promover la innovación como instrumento para el desarrollo y la competitividad, y para ello se enfoca en la innovación empresarial y el emprendimiento que genere alto impacto en términos de crecimiento, prosperidad y empleo de calidad (IDOM, 2018). Para lograr lo anterior construyeron el modelo de madurez para la TD, en el cual a través de distintos elementos se posibilita modificar el modelo de negocio de una organización para que esta tenga un crecimiento favorable apoyado en las herramientas tecnológicas de la industria 4.0.

Consolidar una TD resulta una tarea complicada en la mayoría de las ocasiones debido a las cuatro barreras en apropiación de las TIC que se describen a través de la Figura 5-3. El reto para lograr una adecuada TD consiste en entender estas barreras y superarlas para que, a pesar de ellas, se logre una apropiación tecnológica adecuada en la organización.

Figura 5-3: Barreras para la apropiación de las TIC



Elaboración propia.

El modelo de madurez para la TD se centra en el concepto de cadena de valor de una organización, representada a través de la Figura 5-4. Ella se agrupa en las cinco categorías de procesos que se describen a continuación (IDOM, 2018):

- **Producto/Servicio inteligente:** Define los procesos destinados a desarrollar nuevos productos/servicios o a mejorar los existentes, incorporándoles nuevas funcionalidades más “inteligentes”, de forma que cubran mejor las necesidades de los clientes o generen información relevante para crear nuevos servicios de valor añadido.

- **Relación con el cliente:** Abarca todos los procesos de relación con el cliente, desde la fase de aproximación al mercado buscando notoriedad (marketing), hasta la captación de nuevos clientes y pedidos (ventas), y la fidelización posterior.

- **Operaciones y producción:** Esta categoría engloba la utilización de las tecnologías digitales para la gestión de todas las operaciones internas de la organización con el fin de fabricar el producto o generar el servicio, desde su planificación, todas las fases del proceso de fabricación y la logística de salida.

- **Cadena de suministro colaborativa:** Se compone de todos los procesos de relación con proveedores y subcontratistas en los que se apoya la organización para alimentar sus propios procesos, de forma que se pueda tener mayor fiabilidad, trazabilidad y aportación de valor por parte de los suministradores.

- **Gestión inteligente:** Engloba el uso de las tecnologías en la mejora de la eficiencia, la calidad y la explotación de la información para obtener conocimiento de todos los procesos internos de gestión que dan soporte a los procesos operativos.

Figura 5-4: Cadena de valor de una organización.

Tomado de (IDOM, 2018)

En total, hay 16 procesos en la cadena de valor que se agrupan en las cinco categorías como se muestra en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Procesos del modelo de madurez para la TD

Categoría	Proceso
Producto/Servicio inteligente	Diseño y desarrollo de P/S más adecuados a las necesidades de los clientes
	Diseño y desarrollo de procesos más eficientes
Relación con el cliente	Relación con la red de ventas/distribución
	Captación de clientes y pedidos
	Atención y fidelización de clientes
Operaciones y producción	Planificación de la producción
	Gestión de la calidad
	Proceso productivo
	Mantenimiento
	Logística de salida

Categoría	Proceso
Cadena de suministro colaborativa	Proceso de compra
	Gestión del aprovisionamiento
	Colaboración con aliados
Gestion inteligente	Gestión de personas
	Gestión de personas
	Gestión de la tecnología y la seguridad

Tomado de (IDOM, 2018).

Luego de definir los procesos que conforman la cadena de valor de una organización, resulta necesario comprender que estos se apoyan en unos habilitadores para la TD, los cuales son unos elementos que facilitan y aceleran la TD de una entidad. Las empresas necesitan de estos elementos, que se diferencian de los puramente tecnológicos, para alcanzar puntos elevados de TD. Estos habilitadores se describen a continuación:

- **Estrategia de TD:** Hace referencia a la visión que tiene la organización de las oportunidades que las tecnologías digitales pueden aportar al negocio, lo cual es concretado en la definición de un plan, un portafolio de proyectos y los recursos necesarios que permiten su desarrollo.

- **Cultura de TD:** Se refiere todo lo relacionado al desarrollo de las competencias digitales de las personas de la organización tales como conocimientos, habilidades y actitudes. De igual manera, se refiere a los mecanismos utilizados para generar innovación orientada a la TD.

- **Vigilancia y seguimiento de la tecnología:** Trata de la capacidad de la organización para identificar e incorporar las tecnologías digitales capaces de mejorar a su negocio. También hace referencia a la realimentación tecnológica en todo el proceso de transformación, evaluando la necesidad de adoptar nuevas tecnologías y de descartar las actualmente implementadas.

Finalmente, para lograr consolidar una TD digital en una organización, lo que se busca es que esta adquiera un nivel de digitalización adecuado, de esta manera los procesos de la entidad pueden cumplir mejor su función, son más eficientes, se anticipan a las necesidades de la situación, aportan información de valor añadido y mejoran la interacción con los usuarios. Los niveles de digitalización en los cuales se cataloga la organización se presentan a través de la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Niveles de digitalización de una organización

Nivel de digitalización	Interacción	Mecanización	Inteligencia
1.0	Física / material	Manual	Sólo humana
2.0	Pasiva / reactiva	Documentos / datos digitales	Analítica a posteriori
3.0	Proactiva	Flujos automatizados / Integrados dentro de la organización	Analítica en tiempo real
4.0	Interactiva / colaborativa	Procesos flexibles / Integrados con otras empresas	Sistemas predictivos / identificación de patrones

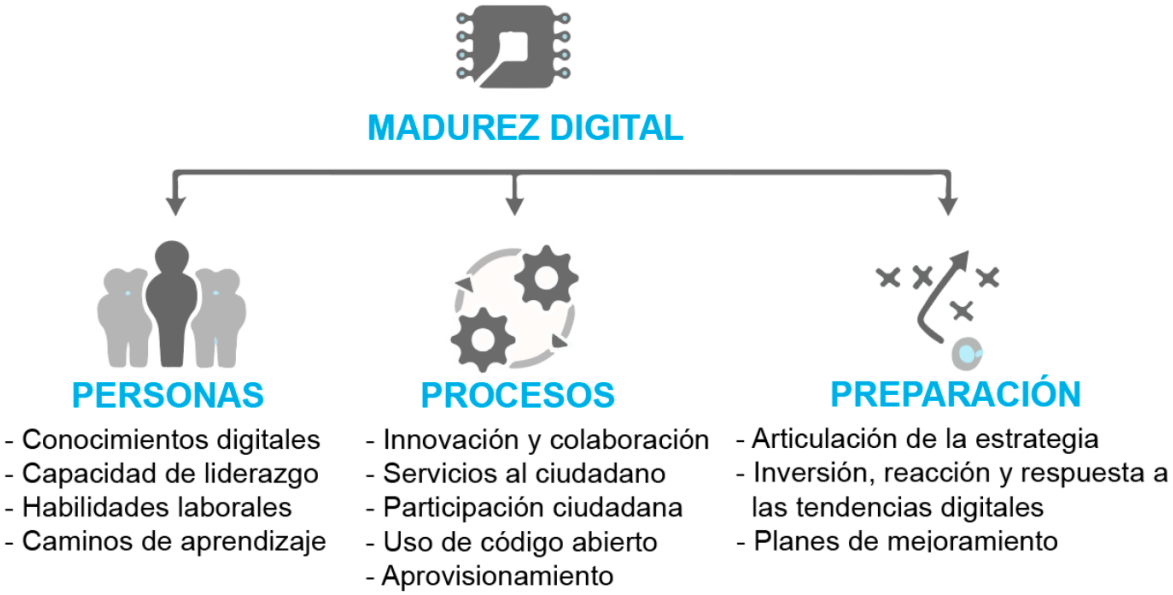
Tomado de (IDOM, 2018).

5.4 Modelo Deloitte: El viaje hacia la transformación digital gubernamental

Se ha hablado que la mayoría de los modelos de TD alrededor del mundo han sido diseñados y llevados a cabo en entornos empresariales, dando especial énfasis al sector productivo. Es por ello que el modelo propuesto por Deloitte (Eggers & Bellman, 2015) da cierre a este capítulo, por tratarse de un modelo diseñado para el sector gubernamental, en el cual el énfasis no es aumentar los ingresos al enfocarse en el cliente sino articular soluciones tecnológicas para beneficiar a los ciudadanos.

Este modelo se basa en el concepto de madurez digital, entendida como el grado en que las tecnologías digitales han transformado los procesos de una organización, la participación del talento y los modelos de servicio al ciudadano. Esta madurez digital se compone de los tres elementos que se presentan en la Figura 5-5.

Figura 5-5: Marco de referencia de la madurez digital



Tomado de (Eggers & Bellman, 2015)

Lo que diferencia a organizaciones líderes en la TD del resto es una clara estrategia digital combinado con una cultura de apropiación tecnológica y capacidades de liderazgo para impulsar la transformación y crecimiento en una entidad. Esto no es sorpresivo teniendo en cuenta la gran cantidad de proyectos tecnológicos fracasados debido a que únicamente se realiza un despliegue tecnológico y no se hacen inversiones necesarias en capacidades organizacionales que aseguren su impacto al establecer una cultura tecnológica en la organización, las entidades públicas alrededor del mundo suelen caer en este error, lo cual representa un freno para su TD.

Con relación a la madurez digital, concepto central en el modelo, Deloitte presenta una clasificación en tres tipos de madurez para las organizaciones, estos junto con sus características se presentan en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Características de la madurez digital de una organización

Característica	Madurez temprana	Madurez en desarrollo	Madura
Estrategia	Enfocada en reducción de costos	Enfocada en mejorar la experiencia del ciudadano y la toma de decisiones	Enfocada en la transformación fundamental de procesos
Liderazgo	Falta de conciencia y habilidades	Digitalmente consciente	Digitalmente sofisticada
Desarrollo de la fuerza laboral	Inversión insuficiente	Inversión moderada	Inversión adecuada
Enfoque en el ciudadano	Ausente	Tenido en cuenta	Es central en la TD
Cultura	Aversión al riesgo, desintegrada	Tolerante al riesgo, integra la innovación y la colaboración	Receptiva al riesgo, fomenta la innovación y la colaboración

Tomado de (Eggers & Bellman, 2015)

La TD en organizaciones gubernamentales presenta una serie de barreras que dificultan el tomar ventaja de las tendencias digitales en este sector, estas barreras se presentan a continuación:

- Financiación insuficiente.
- Preocupaciones de seguridad.
- Falta de una estrategia global.
- Falta de agilidad organizacional.
- Insuficientes habilidades técnicas.

- Falta de espíritu de emprendimiento y toma de riesgos.
- Falta de entendimiento.
- Falta de colaboración.
- Restricciones legales y legislativas.

La implementación de tecnologías por sí sola no es suficiente para consolidar una TD en una organización, evidentemente un conocimiento tecnológico es clave en la elaboración de una estrategia, pero esta debe complementarse con una visión global del negocio que permita mejorar la experiencia del ciudadano, es necesaria una reorganización de la entidad que garantice la colaboración entre departamentos y adoptar metodologías ágiles para responder a las necesidades en el proceso de transformación. Evidentemente, para que estas habilidades puedan confluir debe dejarse a un lado la aversión al riesgo, es cierto que en entidades de carácter público los riesgos suelen ser evitados ya que son organizaciones que siempre están bajo la lupa, sin embargo, teniendo en cuenta que una TD bien implementada genera beneficios significativos para la entidad y los ciudadanos, vale la pena dejar los métodos tradicionales y adoptar una mentalidad emprendedora capaz de generar un crecimiento positivo en la organización. A través de la Figura 5-6 se ven las habilidades necesarias para lograr una TD gubernamental.

Figura 5-6: Habilidades necesarias para la TD gubernamental

Tomado de (Eggers & Bellman, 2015)

A partir de lo indicado, una buena estrategia de TD en el sector público debe tener en cuenta las cinco áreas que se presentan a continuación:

- **Estrategia:** Ofrecer una visión no solo del presente sino del futuro. Articular los atributos de una organización en la era digital, gobierno centrado en el ciudadano, procesos que aprovechan el potencial de los datos y comunicación clara de esta visión a la fuerza laboral. Desarrollar capacidades organizativas, prepararse para la TD abordando las brechas de habilidades digitales e invirtiendo en recursos y tecnologías para ayudar a construir una cultura y capacidades que respalden la transición digital. Atacar las barreras, identificar los procesos, la legislación y los elementos culturales que podrían obstaculizar la TD y diseñar estrategias para superar cada una de estas barreras.

- **Enfoque en el ciudadano:** Hacer del ciudadano el punto focal, para impulsar de manera eficaz una agenda de TD, los gobiernos deben centrarse en el ciudadano. Crear planes de participación del ciudadano, los cuales establecen el proceso de adquisición y participación de usuarios, las tres fases incluyen atraer, involucrar y extender. Empezar con el desarrollo ágil, los líderes del sector público pueden comenzar, a través de talleres y capacitación, familiarizándose con el concepto de ágil y luego buscar oportunidades para usarlo en proyectos más pequeños y realizar su escalamiento progresivo.

- **Cultura:** Cambiar el entorno de trabajo para estimular la colaboración e impactar al sistema, incluir la mejora de las tecnologías del día a día al reducir las restricciones de los computadores de escritorio, introducir opciones de tabletas o dispositivos móviles, o cambiar a mejores tecnologías de telefonía, conferencias y colaboración. Estos cambios en el entorno laboral envían una fuerte señal de que una cultura debe actualizarse, aprovechan la buena voluntad, mejoran la productividad y alimentan los impulsores de la economía digital, como la colaboración y la flexibilidad. Los gobiernos deben centrarse más en la gestión del cambio y la formación en el uso de herramientas digitales para dar a los trabajadores las herramientas y capacidades para hacer mejor su trabajo.

- **Habilidades de fuerza laboral:** La contratación del talento adecuado puede requerir buscar nuevas fuentes de contratación, como la creación de programas de pasantías y becas, la experimentación con competencias, el crowdsourcing y la contratación de equipos basados en asignaciones a corto plazo. Uno de los primeros pasos para preparar a la fuerza laboral digital es invertir en mejorar las habilidades del personal. Ya sea que una organización facilite la mejora de las habilidades a través de centros de capacitación internos o talleres externos, es importante desarrollar un mecanismo de retroalimentación e iterar los requisitos de capacitación. Acceder a habilidades en la comunidad en general a través de datos abiertos, transparencia y creación conjunta. Los gobiernos de vanguardia reconocen que su misión no termina en los límites de su organización, al aprovechar las habilidades de los ciudadanos, las empresas y las comunidades locales no solo pueden lograr más, sino que también pueden impulsar resultados de servicio público más amplios para la participación cívica y el compromiso democrático. Las organizaciones que antes hubieran hecho todo por sí mismas ahora ponen los datos sin procesar en el dominio público y permiten que otros apliquen sus habilidades para mejorar los servicios.

- **Aprovisionamiento:** Simplificar el proceso de aprovisionamiento con el objetivo de atraer a los proveedores con las mejores soluciones, no solo a aquellos familiarizados con el proceso de calificación de ofertas. Emplear estrategias para reducir el tiempo de selección de proveedores y permitir períodos de contrato más cortos. Cambiar a estándares abiertos para datos e interfaces, los niveles de rigidez y dependencia de los proveedores existentes aumentan drásticamente cuando un organismo público no puede extraer fácilmente sus datos o compartir datos entre diferentes servicios o sistemas de TI. En casos extremos, las organizaciones apenas tienen acceso a sus propios datos sin pasar por sus proveedores y tienen que pagar un excedente por cualquier solicitud no estándar. Hacer que los estándares de datos abiertos sean una alta prioridad para las adquisiciones puede reducir estos riesgos. Las organizaciones que hacen esto están en mejores condiciones de mejorar los servicios públicos mediante el uso de las mejores innovaciones. Llevar a cabo procesos periódicos de realimentación que permitan identificar si el aprovisionamiento tecnológico es el adecuado para mantenerlo o cambiarlo, debe ser una tarea frecuente en la organización.

Complementando lo anterior, en la apropiación de una estrategia de TD deben tenerse en cuenta las preguntas clave asociadas a cada área que se describen en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5: Preguntas clave para la TD gubernamental

Área	Pregunta clave
Estrategia	¿Se tiene una estrategia digital clara y coherente que aborde los elementos clave de la TD?
Enfoque en el ciudadano	¿Cómo pueden los ciudadanos ser parte de la TD?
Cultura	¿Qué se ha hecho para fortalecer la cultura innovadora y colaborativa de la organización?
Habilidades de fuerza laboral	¿Se ha analizado el talento laboral y planeado de dónde vendrán sus habilidades?
Aprovisionamiento	¿Son los procesos de aprovisionamiento existentes adecuados para adquirir soluciones digitales?

Elaboración propia.

6. Aplicación del modelo de transformación digital

En los capítulos anteriores se llevó a cabo la exploración y análisis de dos puntos clave para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo, el primero de ellos relacionado a una rigurosa evaluación literaria de modelos de TD utilizados para la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales alrededor del mundo, esta revisión permitió tener una visión general de los modelos actualmente utilizados como alternativa y propuesta de innovación a los tradicionales métodos de observación, permitiendo identificar tendencias en cuanto a hacia donde se han estado orientando los avances tecnológicos e investigaciones que permitan mitigar el negativo impacto en el ecosistema de los incendios forestales en distintas partes del planeta. El segundo punto tratado consistió en contextualizar la problemática evidenciada, permitiendo tener una visión y entendimiento de los ámbitos biológicos, geográficos, socioeconómicos y culturales del páramo más grande del mundo, el Páramo de Sumapaz. Esta caracterización es vital y absolutamente necesaria de manera que permite no solo entender y valorar la importancia del páramo, sino comprender que no se pueden tomar acciones indiscriminadas en él, sin importar los resultados que se esperen encontrar con una aplicación y probable implementación sobre este delicado ecosistema, hay que tener presente el popular refrán “el fin no justifica los medios”. Por esto, luego de caracterizar y entender estos ámbitos en la región objetivo, hay que saber escoger la metodología que se puede emplear para mejorar el estado actual de atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales en la zona, es importante seleccionar y adaptar el modelo que se pretende utilizar, de manera que cause mínimo impacto ambiental en el ecosistema y que además resulte en beneficio para los habitantes de la región. De esta manera, al entender el estado actual y la cultura de quienes habitan el páramo, se puede llevar a cabo una TD en el sector, asegurando la protección y preservación de este rico paisaje que desde hace varias generaciones hace parte de la memoria histórica de sus habitantes.

Con el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, los proyectos, estudios, aplicaciones e implementaciones en el Páramo de Sumapaz que son llevados a cabo en armonía con el medio ambiente, que permitan mejorar las condiciones en la región y, por ende, de sus habitantes, resultan en la generación una TD que contribuye en el progreso del sector manteniendo vivo al histórico paisaje y a toda la cultura que a lo largo del tiempo se ha construido en torno a él.

En la sección 4.2, luego de haber realizado la caracterización de la zona de estudio y entendimiento de su cultura, se analizó y explicó la situación actual del páramo frente a los incendios forestales. Fue complicado tener acceso a información relacionada al estado actual de las estrategias que se llevan a cabo para mitigar el impacto de las llamas en la región en ciertas épocas del año, lamentablemente esta dificultad en lograr tener respuesta por parte de las entidades correspondientes se ve reflejada en los pobres métodos que estas utilizan actualmente para la detección y monitoreo de incendios forestales en el páramo.

La metodología empleada por Parques Nacionales Naturales para la detección oportuna de incendios forestales no es la mejor, de hecho, como se observó en los capítulos anteriores, los sistemas satelitales, que son aquellos en los que la entidad basa su detección, presentan tiempos de retraso altísimos que desembocan en pérdidas desastrosas para el medio ambiente. A pesar de tratarse de una herramienta tecnológica, su efectividad en cuanto a la detección de incendios en etapas iniciales es muy baja, puede sacarse provecho de esta tecnología cuando se tengan incendios identificados y se quiera monitorear su progreso, pero en lugares en los cuales no se tiene un método alterno para la detección inicial de las llamas es muy poco el aporte que la tecnología satelital tiene para la generación de alarmas. La observación tradicional humana que se ha llevado a cabo alrededor del mundo desde hace varias décadas, muchos años antes de que se empezara a utilizar la tecnología en la detección y monitoreo de incendios forestales, es una opción aceptable en casos en los cuales no se pueda contar con aplicaciones tecnológicas, mediante ella los guardabosques usualmente ubicados en torres de control realizan una observación periódica de la zona, de manera que se detecten los incendios tan pronto como el ojo humano lo permita, mediante esta metodología manual también es posible llevar el registro de los incendios forestales que se han presentado, de forma que se identifiquen patrones y temporadas en las cuales los incendios son más recurrentes.

Tristemente la observación tradicional humana tampoco es una metodología considerada por Parques Nacionales Naturales, su dependencia del sistema FIRMS es un grave error que año tras año afecta la vida y estructura de un ecosistema único en el mundo.

Sumado a lo anteriormente dicho, preocupa la falta de interés por parte de las entidades en llevar un control y la falta de planes de prevención para la detección, atención y reducción de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz, el hecho de que el Parque Nacional Natural de Sumapaz no tenga ni siquiera un estadístico o registro consolidado propio de los incendios presentados en la zona bajo su jurisdicción, refleja la falta de importancia y la baja prioridad que la entidad le da a este grave problema ambiental que amenaza un centro biológico y económico y cultural de extrema importancia para la población colombiana.

En concordancia con lo expuesto anteriormente, resulta evidente la necesidad de adoptar herramientas que mitiguen el efecto negativo de los incendios en el Páramo de Sumapaz, resulta vital tomar acciones inmediatas para consolidar un mecanismo que permita detectar rápidamente incendios forestales en la zona antes de que este tenga fuerza y haya consumido varias hectáreas. Habiendo descrito las falencias de Parques Nacionales Naturales en relación a este tema, habiendo identificado y caracterizado las problemática ambientales que causa el no adoptar un modelo apropiado para la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales en el páramo y habiendo expuesto las debilidades que presenta el actual método utilizado por la entidad, es apropiado decir que cualquier mecanismo que se proponga, aplique, diseñe o implemente en pro de solventar el problema de incendios en la región, es ganancia y brindará mejores resultados que los generados por el mecanismo que actualmente se utiliza en la zona. Sin embargo, el desarrollo de este trabajo pretende aplicar aquel mecanismo que sea más apropiado, que brinde mejores resultados en la atención oportuna de incendios y que contribuya a una TD en la región al velar por la integridad de un ecosistema que hace parte fundamental de la historia cultural de sus habitantes.

6.1 Selección de la tecnología

A partir de la revisión de casos exitosos de aplicación de modelos de transformación orientados a la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales alrededor del mundo llevada a cabo en la sección 3.2, en la cual se identificaron

principalmente tres tipos de tecnologías, resulta conveniente hacer la selección del modelo a aplicar en el caso del Páramo de Sumapaz mediante una inicial comparación entre las tecnologías y la observación tradicional humana, con el fin de determinar aquel modelo que brinde mejores resultados en la detección oportuna y monitoreo de incendios forestales. A través de la Tabla 6-1 se realiza un comparativo entre estas tecnologías y la observación tradicional humana:

Tabla 6-1: Comparación de métodos de detección de incendios forestales

Parámetro	Observación humana	Sistemas satelitales	Sistemas ópticos	WSN
Costo	Bajo	Muy alto	Alto	Medio
Eficiencia	Baja	Baja	Media	Alta
Repetición de alarmas	Baja	Baja	Media	Media
Precisión en la detección	Baja	Baja	Media	Alta
Retardo en la detección	Alto	Muy alto	Medio	Bajo
Información sobre el comportamiento de los incendios	Impreciso	Parcial	Parcial	Sí
Uso en otras aplicaciones	No	Sí	No	Sí

Elaboración propia.

En la comparación se tuvieron en cuenta siete factores: inicialmente se realizó un comparativo en cuanto a costos de la metodología aplicada, esto para descartar los modelos que sean muy costosos ya que debido al contexto del Páramo de Sumapaz no es una opción llevar a cabo una inversión que se salga del presupuesto colombiano, aquí se observa que desplegar sistemas satelitales propios requiere de una inversión multimillonaria y, de hecho, los satélites puestos en órbita tienen otros objetivos debido a sus altos costos, algunos de ellos tienen la opción de monitorear incendios forestales pero

no es una prioridad dentro de su diseño. Una vez desplegados los sistemas satelitales, el acceso a la información suministrada por algunos de ellos es gratuito, como es el caso del sistema utilizado actualmente para el Páramo de Sumapaz, sin embargo, este bajo costo se refleja también en los bajos resultados que trae, presentando las desventajas descritas a lo largo del presente texto. Los sistemas ópticos tienen un precio alto, ya que para poder tener una observación completa de la zona a monitorear es necesario instalar una cantidad enorme de cámaras, las cuales a su vez deben tener características especiales para ser capaces de distinguir entre incendios reales y falsas alarmas. Las redes de sensores inalámbricos no presentan precios tan elevados, esto debido a que los sensores que se instalan no son tan costosos de elaborar o adquirir, de igual manera su naturaleza inalámbrica hace que no sea necesario instalar complicados sistemas físicos de comunicación. La observación tradicional humana es ventajosa en cuanto a costos, ya que únicamente requiere la inversión de las torres de observación y el salario de los guardabosques.

En cuanto a repetición de alarmas tanto la observación humana como los sistemas satelitales tienen ventaja, esto ya que el primer método al ser puramente manual impide que los guardabosques reporten un incendio dos veces, y los sistemas satelitales al tener un campo de visión tan amplio difícilmente duplicarán una alarma. Los sistemas ópticos y las WSN pueden presentar repetición en las alarmas emitidas debido a que varias cámaras, o sensores, pueden identificar al mismo tiempo el mismo incendio.

Los parámetros de eficiencia y precisión en la detección van ligados, aquí la observación tradicional pierde toda la ventaja al limitarse completamente al error humano, ya que es altamente probable que los guardabosques no tengan línea de visión con algún incendio activo y que incluso por algún descuido no se emita la alarma de alguna emergencia actual. Los sistemas satelitales podrían considerarse precisos debido a su habilidad de geolocalización pueden determinar la zona en la cual se detecta un punto de calor, sin embargo, esta región es un espacio muy amplio e identificar la ubicación puntual del fuego requiere una exploración en la zona. Los modelos ópticos tienen una precisión media debido a que a pesar de que puedan detectar una columna de humo o un punto lumínico debido a las llamas, es bastante complicado determinar la ubicación exacta del origen del fuego, esto puede observarse a en la Figura 3-3. Las redes de sensores inalámbricas son muy precisas debido a que al conocerse la ubicación de cada uno de los sensores

rápidamente se puede identificar a que zona corresponde el incendio tan pronto se recibe la alarma de un sensor puntual.

Las WSN son el mecanismo más rápido en la detección de incendios debido a su naturaleza inalámbrica y a la precisión de sus mediciones a partir de varios parámetros físicos. La detección a través de cámaras tiene una velocidad media debido a que para detectar un incendio este requiere cierto grado de avance, a partir del uso exclusivo de imágenes resulta muy complicado detectar incendios en sus primeras etapas. La observación tradicional tiene retardos altos por la misma razón de los sistemas ópticos, para que el ojo humano sea capaz de detectar un incendio este tiene que llevar ya un buen tiempo, además al tratarse de un método manual pueden presentarse retrasos mientras el observador envía la alarma al organismo encargado de atender la emergencia. Se ha hablado de la lentitud de los sistemas satelitales, su inhabilidad de enviar datos en tiempo real y su retraso de entrega de información de dos días lo convierten en el sistema más lento de todos.

La observación a través de cámaras y los sistemas satelitales permiten monitorear la evolución y progreso de un incendio, por ello brindan información parcial sobre el comportamiento de los incendios. La observación humana es imprecisa en cuanto a estos comportamientos debido a que por el alcance de la visión de los guardabosques resulta muy complicado determinar la tendencia de los incendios. Nuevamente las WSN presentan buenos resultados en esta área debido a que su habilidad de medir diversos parámetros como temperatura, intensidad lumínica, humedad y composición química del aire permiten entender el comportamiento de un incendio en curso.

Finalmente, los únicos modelos que pueden emplearse para otras aplicaciones son las WSN y los sistemas satelitales, las primeras debido a la gran cantidad de sensores que pueden instalarse para un determinado fin particular, y los segundos debido a que los satélites suelen ser empleados para otras aplicaciones principalmente del campo de las telecomunicaciones, su uso en monitoreo de incendios es solo una de sus características adicionales.

La comparación llevada a cabo entre los principales métodos de detección y monitoreo de incendios forestales muestra que la mejor opción disponible es a través del uso de redes

de sensores inalámbricos, esto debido a su capacidad de suministrar toda la información requerida que influye en el medio ambiente en un momento de manera precisa. Las WSN usualmente se despliegan a partir de una gran cantidad de pequeños sensores de bajo costo que fácilmente pueden obtener diferentes tipos de datos del mundo que los rodea, de esta manera pueden enviar esta información a una ubicación remota para ejecutar análisis y llevar a cabo distintas acciones. De esta manera, no hay necesidad de construir torres o configurar complicados sistemas de comunicación debido a que estos pueden ser implementados prácticamente en cualquier lado, incluso en lugares de difícil acceso

Teniendo en cuenta lo tratado en esta sección, resulta conveniente elegir las redes de sensores inalámbricos como tecnología para la aplicación del modelo de TD adecuado en la detección oportuna de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz.

6.2 Selección del modelo tecnológico

Habiendo realizado el comparativo correspondiente entre los métodos más utilizados a nivel mundial en la detección y monitoreo de incendios forestales, resaltando sus fortalezas y debilidades, entendiendo que la mejor alternativa son los diseños que trabajan bajo redes de sensores inalámbricas, a continuación se selecciona el modelo más apropiado a ser aplicado luego de la revisión de casos exitosos realizada en la subsección 3.2.3.

En la revisión del estado del arte de la TD, particularmente orientada a la detección de incendios forestales, se expusieron varios modelos destinados principalmente a detección oportuna de incendios forestales. Recordando que una de los objetivos primordiales de las acciones contra los estas afectaciones ambientales es la detección y alerta de ellos en el menor tiempo posible, teniendo presente que cuanto más pronto se logren detectar estos más fácil es controlar las llamas y menos probabilidad habrá de que se consuma una gran cantidad de terreno, una obvia elección entre los modelos expuestos resulta en filtrar aquellos cuyo enfoque es la pronta identificación y generación de alarmas de incendios en sus etapas iniciales para su pronta atención, recordando que las redes de sensores inalámbricos orientadas a la atención de emergencias por incendios forestales también pueden utilizarse para analizar el comportamiento y evolución de un incendio ya identificado.

Se mencionó en la sección anterior que, pese a las ventajas de las WSN en la detección de incendios, estas redes pueden generar duplicidad o repetición de las alarmas debido a que múltiples sensores pueden detectar la misma fuente de calor. De igual manera hay que tener en cuenta el contexto del Páramo de Sumapaz, actualmente en la región no se tienen instaladas torres de vigilancia de guardabosques orientadas a la detección de incendios, ni hay programas o rutas de vigilancia establecidas para la revisión de posibles emergencias ambientales de este tipo. Además, por su naturaleza de parque nacional natural y zona protegida, la mayor parte de la extensión de este territorio no está habitada, por lo cual movilizar a los correspondientes organismos de socorro no es una tarea fácil. No es posible garantizar la presencia de bomberos y socorristas en toda la región, por lo que estos se movilizan cuando ya hay una emergencia grave detectada. Las falsas alarmas en este tipo de urgencias resultan fatales, ya que movilizar a todo un cuerpo de bomberos en la región no es tarea sencilla y hacer que lleguen a un lugar alarmado cuando no hay una emergencia real puede resultar en el descuido de otras zonas y en una reducción en la atención ante futuros eventos.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta totalmente necesario para el caso del Páramo de Sumapaz un mecanismo que sea capaz de verificar los potenciales incendios detectados antes de enviar la alarma y movilizar a las unidades de atención de emergencias. Es necesario aplicar un modelo que no solo sea mejor que la actual metodología usada por Parques Nacionales Naturales, sino que sea confiable en la detección y preciso en la generación de alarmas. El modelo que proponen Lloret et al. en (Lloret et al., 2009) es un modelo que cumple con estas características, construido sobre redes de sensores inalámbricos tiene un mecanismo de verificación de las alarmas a través de cámaras distribuidas en la región, de esta manera cuando un sensor emite la alarma de un posible incendio, la cámara más cercana se orienta hacia él para suministrar imágenes en tiempo real del sector alertado. La arquitectura del modelo diseñado por los autores posibilita que se instalen muchas menos cámaras en comparación con un sistema puramente óptico, además no requiere de especificaciones técnicas muy complicadas en estas ya que la detección es tarea de los sensores, por lo cual la función de las cámaras se limita únicamente a suministrar imágenes de la zona para que así se compruebe la presencia de un incendio antes de alertar a las autoridades.

Con base en lo dicho, el modelo seleccionado para la aplicación en el Páramo de Sumapaz, proponiendo el correspondiente acotamiento y determinando las características que deberían tenerse en cuenta, es el modelo propuesto e implementado en España por Lloret et al. en (Lloret et al., 2009). Este modelo no solo permite una detección precisa a través de los distintos parámetros que pueden medir los sensores de la red, sino que es el único modelo en la literatura que brinda un mecanismo tecnológico de verificación de las alertas para evitar la emisión de falsas alarmas. Esta característica diferenciadora de los demás modelos evaluados, junto con su facilidad de despliegue, autonomía y escalabilidad, hacen que sea el modelo escogido para ser aplicado, a través de la correspondiente selección y filtrado de sus características, permitiendo que en un futuro pueda realizarse una implementación exitosa según lo propuesto en este trabajo para llevar una TD en pro del cuidado y preservación del Páramo de Sumapaz y la calidad de vida de sus habitantes.

6.3 Selección del modelo de transformación digital

En el capítulo 5 se presentó una articulación de varios modelos de TD a nivel organizacional ampliamente utilizados alrededor del mundo, se presentaron las características más influyentes de cada uno de ellos que hacen que sean adoptados por entidades en distintos sectores.

Se ha visto que la TD a lo largo de los últimos años ha estado orientada principalmente hacia el sector empresarial y productivo, en lo que los modelos aplicados alrededor del mundo se enfocan en primera medida a generar un mejor valor en el negocio a través de la satisfacción de las necesidades de los clientes y usuarios de manera más rápida y eficiente mediante la utilización de las tecnologías. En el contexto del Páramo de Sumapaz, al estar este bajo la jurisdicción de entidades públicas y servir de fuente de vida para millones de colombianos, la orientación de una TD cambia ligeramente. En este caso el término cliente cambia por habitante, ya que son quienes habitan el páramo y su zona de influencia las personas que hacen uso de los recursos que este suministra, no únicamente recursos físicos como aire y agua, sino recursos intangibles como el aporte cultural en su diario vivir. De igual manera, por su carácter de zona protegida, la retribución que recibe el páramo no son ingresos económicos en las entidades que lo administran (como se piensa en la TD organizacional), sino que en este caso es la conservación y preservación de su ecosistema para esta y las generaciones venideras el principal objetivo.

A pesar de los elementos diferenciadores de los modelos de TD expuestos, puede observarse que son más los conceptos y características que ellos comparten que en los que difieren. Se observa que todos coinciden en el hecho de que una implementación tecnológica no es suficiente para asegurar una transformación de una organización, sino que esta tiene que ir acompañada de un cambio de cultura y de una reformulación estratégica que permita que estas tecnologías sean fácilmente adoptadas en la entidad para causar un impacto positivo en la experiencia del cliente (o habitante para el caso del páramo), estos elementos comunes se observan a través de la Tabla 6-2.

Tabla 6-2: Elementos comunes de los modelos de TD

Elemento	Modelo Altimeter	Modelo MIT	Modelo MinTIC	Modelo Deloitte
Reformulación estratégica	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica
Enfoque en el cliente	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica
Cultura digital	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica
Implementación tecnológica	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica
Innovación	Aplica	Aplica	Aplica	Aplica

Elaboración propia.

Inicialmente se podría pensar que la selección de cualquiera de los modelos mencionados es una opción correcta, lo cual es un pensamiento válido, sin embargo, existe un elemento diferenciador del modelo Deloitte propuesto en (Eggers & Bellman, 2015) que hace que sea el modelo seleccionado para el contexto del Páramo de Sumapaz. Este elemento es el hecho de que sea un modelo propuesto para entidades gubernamentales, lo cual se alinea perfectamente con el caso de estudio de esta investigación.

Las organizaciones gubernamentales son entidades sin ánimo de lucro, entidades cuyo objetivo es brindar un servicio a los ciudadanos. El modelo Deloitte, al enfocarse en este tipo de organizaciones, cambia la prioridad que tienen otros modelos de TD. En lugar de buscar como finalidad un aumento en los ingresos y un mejor posicionamiento de la compañía con relación a la competencia, este modelo busca a través de la adopción tecnológica un mejoramiento en la entidad que resulte en una transformación positiva del servicio suministrado a los ciudadanos.

En el contexto del páramo, la TD propuesta debe verse reflejada no en ingresos de las entidades con jurisdicción en él, sino en el mejoramiento de las condiciones de sus habitantes y, puntualmente para el objeto de estudio de esta investigación, en la mitigación del impacto negativo que los incendios forestales tienen en el Páramo de Sumapaz.

A continuación, se presentará la consolidación y aplicación del modelo que inicialmente dará los lineamientos y consideraciones en materia tecnológica que mejores resultados brinde para atender la problemática identificada. Con relación a la TD se observará más adelante una aplicación del modelo Deloitte al contexto del páramo, en la cual también se verá que, debido a las características que ellos comparten, se realizará la inclusión de elementos de los otros modelos.

6.4 Consolidación y aplicación del modelo de transformación digital

A lo largo del desarrollo de este estudio se ha entendido y resaltado la importancia del Páramo de Sumapaz no solo como paisaje sino como fábrica de agua para millones de colombianos, fuente de vida para una gran diversidad de especies y ADN cultural de la población del centro del país, definiendo sus costumbres y tradiciones desde hace varias generaciones. Por esto es necesario tomar las acciones pertinentes que velen por la preservación de este frágil ecosistema y, consecuentemente, aseguren la integridad cultural de su población.

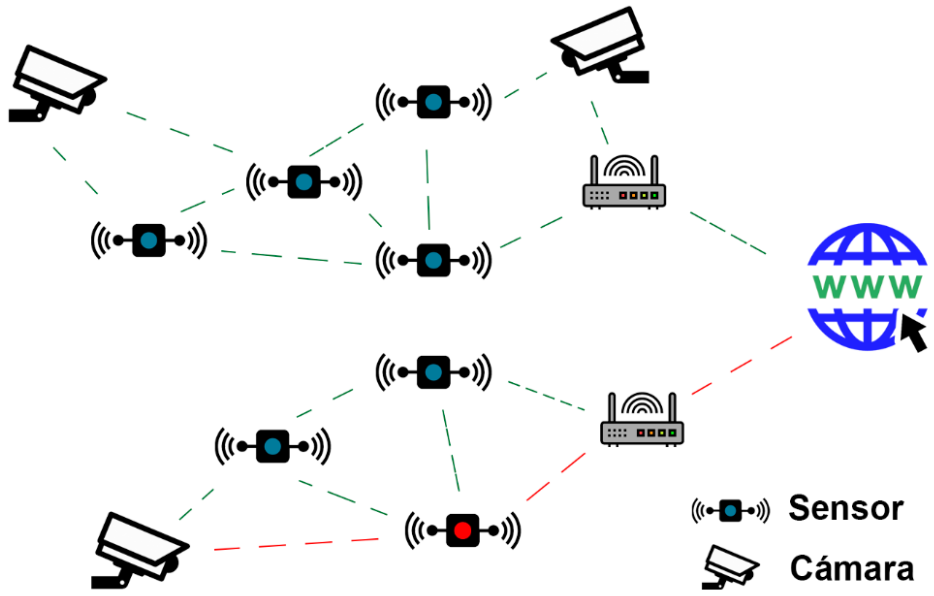
En este capítulo se han articulado y analizado las evaluaciones literarias llevadas a cabo en el estado del arte de este trabajo, identificando las ventajas de determinadas tecnologías y seleccionando el modelo de TD más adecuado y que más beneficios pueda traer para la atención de emergencias ambientales causadas en el Páramo de Sumapaz.

Una vez seleccionado el caso de éxito correspondiente el siguiente paso es aplicarlo al contexto del territorio que se está estudiando, para lo cual a partir de la caracterización realizada del páramo se identificarán las características que son aplicables en la región.

6.4.1 Consolidación de la tecnología

En referencia a la región en la cual se aplicó el modelo tecnológico propuesto por Lloret et al. en (Lloret et al., 2009), se evidencian diferencias en comparación con el Páramo de Sumapaz. España es un país desarrollado y evidentemente sus condiciones son distintas a la del contexto colombiano, sin embargo, los países en las mismas condiciones de Colombia no presentan aplicaciones orientadas a incendios forestales que tengan las ventajas que distinguen al modelo español. Considerando la vital importancia del páramo más grande del mundo y entendiendo que tiene características únicas en todo el planeta, la selección y aplicación de modelos para la preservación de este no debe tomarse a la ligera, por lo cual no es demasiado ambicioso proponer la aplicación de un sistema instalado en un país del primer mundo que, además, no presenta dificultades en su articulación tan grandes como las de otros modelos.

Figura 6-1: Diagrama general de la WSN para detección y verificación de incendios



Elaboración propia

A través de la Figura 6-1 se presenta un diagrama de la arquitectura del modelo de transformación a aplicar en el Páramo de Sumapaz, el cual físicamente está compuesto principalmente de sensores que emiten la alerta de incendio y cámaras que transmiten el video en tiempo real para la verificación. Los elementos de la red se encuentran comunicados entre sí de manera inalámbrica, y se comunican con un punto de acceso que realiza la conexión a internet, por lo cual el acceso a las alertas e información suministrado por el modelo no está limitado físicamente, permitiendo su consulta desde cualquier parte del mundo.

- Estructura física

En consideración de que las aplicaciones basadas en tecnología suelen establecerse en entornos urbanos y, en particular una aplicación del tipo propuesto que además de componerse de una red de sensores inalámbricos tiene incorporadas cámaras de video, deben tenerse consideraciones especiales en la estructura del sistema en el entorno rural. La Tabla 6-3 muestra algunas consideraciones indicadas por los autores para la aplicación del modelo propuesto en zonas rurales (Lloret et al., 2009):

Tabla 6-3: Consideraciones de la aplicación de la red en zonas rurales

	Consideración
1	Hay que minimizar el impacto visual de la red de comunicaciones en la región, por lo que la transmisión a través de cables debe ser descartada.
2	Hay que minimizar el uso de cables para suministro de energía eléctrica ya que estos pueden ser potenciales causantes de incendios y afectan el paisaje de la zona.
3	Las cámaras deben ser de fácil instalación, bajo consumo energético y deben proporcionar imagen con calidad suficiente para visualización remota.
4	Se necesita un ancho de banda suficiente en la red para transmitir video en tiempo real de determinada cámara.
5	La presencia de árboles muy altos, cañones o montañas muy pronunciadas, pueden generar interferencias en la red.

Elaboración propia.

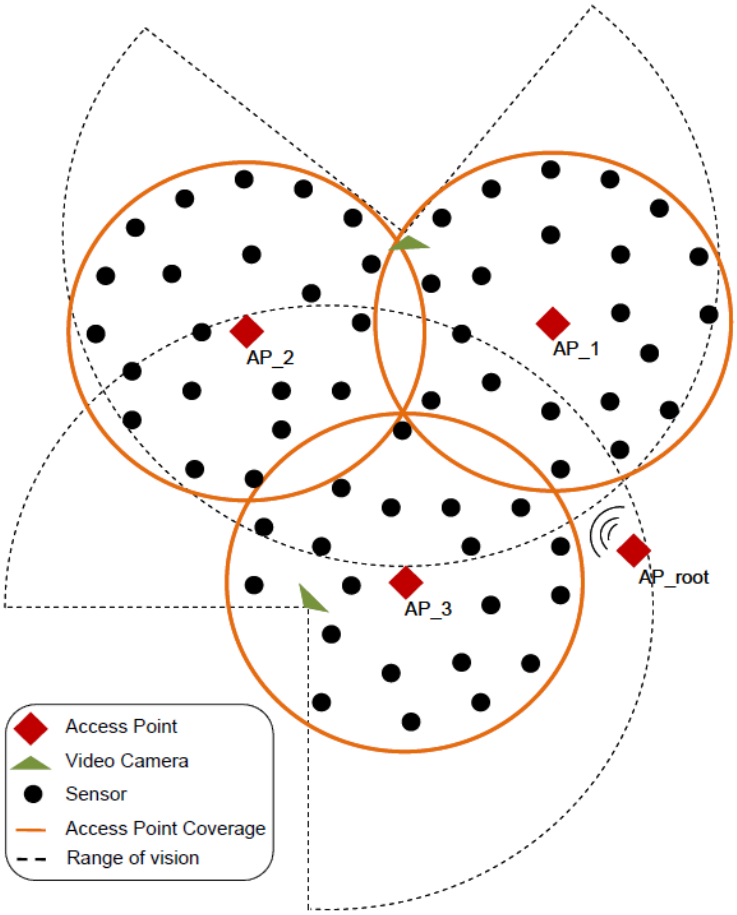
Las consideraciones indicadas fueron propuestas de manera genérica por los autores para las zonas rurales en general. Teniendo en cuenta las características de la región de Sumapaz, evidentemente hay que optar por arquitecturas que minimicen al máximo el uso de estructuras cableadas, por lo cual las consideraciones 1 y 2 deben respetarse, para ello debe evitarse el uso de una red eléctrica habitual ya que los cables de alta tensión representan un peligro para la flora y fauna de la zona, por ello una alimentación de la red de sensores y de las cámaras por paneles solares, tal como lo proponen los autores, es la mejor opción. El sistema de comunicaciones que utiliza la red tiene que estar elaborado de manera tal que permita el acceso a los datos suministrados por todos los sensores y cámaras de la red en cualquier momento, de igual manera las consideraciones de esta y de los dispositivos deben permitir no solo disponibilidad sino velocidad en la obtención de información. Una observación que realizan los autores es que el modelo propuesto por ellos puede generar interferencias en la comunicación en entornos con árboles muy altos, cañones o montañas muy pronunciadas; afortunadamente en el entorno regional del Páramo de Sumapaz no se presentarían estos problemas debido a que no se trata de entornos boscosos densos con árboles de gran altura, sino que la vegetación característica del páramo es de baja altura, permitiendo la comunicación entre los elementos de la red sin inconvenientes.

Teniendo en cuenta la extensión del Páramo de Sumapaz y que los recursos económicos que puedan invertirse en una futura implementación real son limitados, es conveniente realizar una distribución estratégica de los componentes del sistema de manera que se requiera la menor cantidad de cámaras posible, esto además de disminuir costos, hace que sea más rápido acceder a las imágenes suministradas por las cámaras al reducir el tráfico de video en la red. Para lograr esto es necesario contar con cámaras con rotación de al menos 270°, de esta manera se tendrá cobertura de al menos dos de los nodos de la red, de esta manera y ubicando las cámaras de manera estratégica se tiene una cobertura de toda el área de despliegue de los sensores.

Cada uno de los sensores en el nodo se conectan a un punto de acceso que a su vez se comunica con las cámaras. Como puede verse a través de la Figura 6-2, únicamente dos cámaras serían necesarias para tener cobertura de tres nodos con decenas de sensores, lo cual determina menos cámaras, las cuales son dispositivos menos económicos que los sensores inalámbricos. Además de esto, con esta distribución hay varios sensores cuya

ubicación es visible por dos cámaras, por lo cual para ellos se puede hacer una verificación doble al tener imágenes desde ángulos diferentes.

Figura 6-2: Distribución de los dispositivos en el modelo aplicado



Tomado de (Lloret et al., 2009)

Una ventaja de la región de estudio, es que no se tiene la limitante de otras partes del mundo con alta ocurrencia de incendios forestales relacionada a alta vegetación, debido a que la flora del Páramo de Sumapaz solo mide unos cuantos metros de altura, no hay tanta obstaculización en la línea de visión de las cámaras en comparación con otras regiones del mundo, por lo que se permite que las cámaras para verificación de los incendios a través de la visualización de posibles columnas de humo tengan una amplia zona de cobertura. Este mecanismo de distribución es replicable y totalmente escalable, por lo cual para la región de Sumapaz puede iniciarse una eventual implementación en una de las

zonas de más riesgo, y así progresivamente ir ampliando la cobertura de la red sin la necesidad de realizar modificaciones en lo que esté ya desplegado.

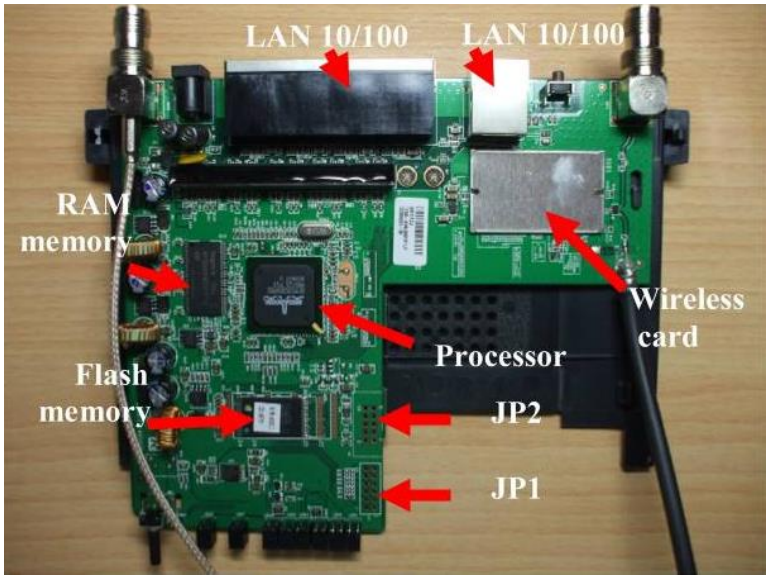
A continuación, se describen los componentes físicos propuestos por los autores en el modelo y que pueden ser aplicados al contexto del páramo, no se profundizará en detalle en la totalidad de aspectos de hardware debido a que no es el propósito de este trabajo:

Sensor inalámbrico:

El sensor inalámbrico diseñado e implementado por Lloret et al. en (Lloret et al., 2009) está construido a partir de un enrutador Linksys WRT54GL fabricado por Cisco Systems como controlador principal de la unidad. A pesar de tratarse de un enrutador diseñado hace varios años, el dispositivo sigue vigente y es bastante aplicable ya que permite la instalación del Kernel de Linux, el cual corresponde a una imagen de sistema operativo de libre acceso conocido que permite su fácil configuración. De esta manera, a nivel de software, es un dispositivo bastante configurable que permite desarrollar distintas aplicaciones en él. El dispositivo ofrece puertos de propósito general de entrada y salida (GPIO), que permiten la fácil configuración y adiciones de sensores. La implementación realizada por los autores integró sensores de humo y de intensidad lumínica, sin embargo, dejan abierta la opción y permiten la adición de sensores de temperatura, humedad y niveles de dióxido de carbono.

La Figura 6-3 presenta el dispositivo físico diseñado por los autores en su modelo propuesto para la obtención de parámetros físicos. Teniendo en cuenta que se trata de un dispositivo económico, altamente configurable, sin restricciones de licencia y capaz de integrar varios sensores, para el contexto del Páramo de Sumapaz es un dispositivo de medición que puede aplicarse, la única recomendación adicional en diferencia a lo implementado por los diseñadores es la inclusión de los sensores de temperatura, humedad y niveles de dióxido de carbono a los cuales los autores simplemente dejan abierta la posibilidad. De esta manera, cuanta mayor sea la variedad de datos que pueda medir el sensor, mayor será la precisión en la detección de incendios.

Figura 6-3: Sensor inalámbrico propuesto para la red



Tomado de (Lloret et al., 2009)

Cámara IP:

Los diseñadores del modelo no sugieren una cámara puntual de una referencia específica para la verificación de las alarmas, sin embargo, recomiendan el uso de cámaras IP capaces de transmitir video en protocolo HTTP con las características de la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Características recomendadas cámara IP

	Característica recomendada
1	Resolución mínima de 320x240 a 25 cuadros por segundo.
2	Rotación de 270° e inclinación de ±45°.
3	Transmisión de video en formato MPEG-4.

Elaboración propia.

En relación con estas recomendaciones, es fácil encontrar en el mercado cámaras IP que cumplen estas características a bajos precios. Teniendo en cuenta la evolución de la grabación de video en los últimos años, es posible encontrar en el mercado cámaras que ofrezcan resoluciones mayores a precios muy atractivos, de igual manera el consumo

energético de estas no aumenta mucho. Aplicando esto en la región del Páramo de Sumapaz, brindando la posibilidad de obtener imágenes de mejor calidad para la verificación de las alertas, se sugiere instalar cámaras con una resolución mínima SVGA (800x600).

Sistema eléctrico:

Como se indicó anteriormente, la alimentación a partir de paneles solares es una muy buena opción para el modelo aplicado al Páramo de Sumapaz. De esta manera se evita el uso de cables de alta tensión al no requerirse transporte de energía eléctrica a grandes distancias. Existen básicamente tres tipos de paneles fotovoltaicos: de celdas monocristalinas, celdas policristalinas y celdas amorfas. El tipo de paneles sugerido por los diseñadores del modelo, y el cual se recomienda emplear para una eventual implementación de este en el futuro, es el tipo de paneles policristalinos, esto debido a que ellos tienen un desempeño mejor que los otros tipos de paneles (alrededor del 12%). En la Figura 6-4 se puede observar un par de paneles solares policristalinos, utilizados en otro modelo también para la alimentación eléctrica de redes de sensores inalámbricos.

Figura 6-4: Paneles solares policristalinos para alimentación eléctrica de sensores

Tomado de (Hartung et al., 2006).

- Modo de funcionamiento del sistema

Habiendo dicho que la mayoría de los componentes físicos propuestos en el modelo escogido son recomendables y aplicables al caso del Páramo de Sumapaz, con la excepción de que se sugiere usar cámaras IP con mejores resoluciones, es necesario evaluar las características a nivel de sistema propuestas por los autores del modelo son aplicables a la región de estudio.

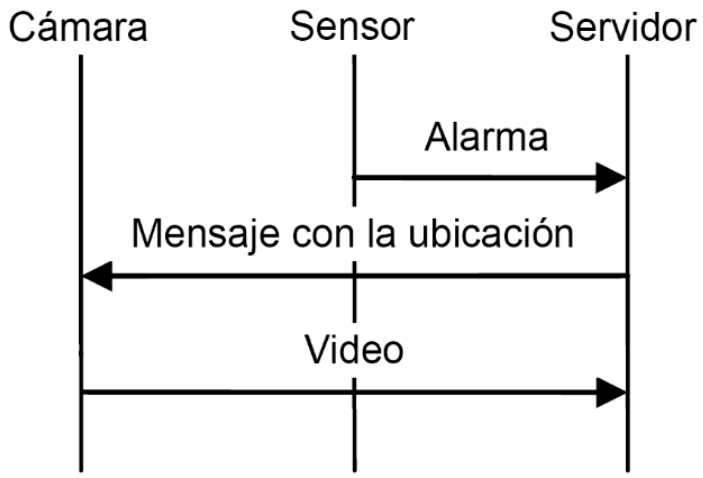
Las cámaras que se instalen tienen en su almacenamiento las coordenadas de todos los sensores dentro de su zona de cobertura. El servidor tiene una base de datos en la cual está almacenada la posición de los sensores y las cámaras que tienen cobertura de la ubicación de cada uno de ellos, de esta manera cuando un sensor registra valores atípicos correspondientes a un posible incendio, envía la alarma directamente al servidor. El servidor identifica el sensor alarmado, relaciona en la base de datos las cámaras que tienen visualización de este y les da la orden de orientarse al correspondiente sensor emisor de la alerta. Una vez las cámaras se orientan enfocando las coordenadas de ubicación del sensor transmiten el video en tiempo real de lo que esté ocurriendo en este lugar. De esta manera a través de internet se puede visualizar la imagen enviada por las cámaras para corroborar la alarma y verificar si esta es falsa o si se trata de un incendio real.

Este modo de operación es bastante ventajoso y bien diseñado, sin embargo, en contraste a lo expuesto por Lloret et al. en (Lloret et al., 2009), realizando la aplicación del modelo al contexto del Páramo de Sumapaz, no se recomienda almacenar en la memoria de las cámaras las coordenadas de los sensores a los cuales tienen alcance, este es un gasto de tiempo y memoria innecesarios que además complican la escalabilidad del sistema. En lugar, de esto se recomienda que el servidor envíe a las cámaras cercanas al sensor alarmado las coordenadas de este en el momento en el que le da la orden de transmitir el video. Con esta recomendación, la aplicación del modelo en la región de estudio es más sencilla y la ampliación progresiva de la red puede hacerse sin necesidad de modificar nada en la estructura que se tenga implementada en su momento.

En el modelo original, los autores presentan la representación gráfica del flujo de mensajes a través del sistema, sin embargo, se observaron debilidades e incongruencias en este debido a que se indicaba que una vez la cámara recibía el mensaje con la ubicación del sensor alarmado, transmitía el video de la ubicación directamente desde la cámara hacia

el dispositivo que requiera la visualización. Esto no es posible ya que implicaría aplicar un mecanismo de comunicación directo entre la cámara y el destino en el cual se quiera visualizar el video. Se realizaron las modificaciones sobre el esquema propuesto, quedando aplicado al caso del páramo, el cual se presenta en la Figura 6-5. Hay que aclarar que el diagrama hace referencia al envío de mensajes entre el origen y el destino, entre las cámaras y los sensores sí hay comunicación, pero en el esquema se omiten las transmisiones intermedias.

Figura 6-5: Diagrama de transmisión de mensajes del modelo aplicado



Elaboración propia.

- Consideraciones políticas de la aplicación del modelo

Se ha mencionado en repetidas ocasiones el estrecho vínculo cultural presente entre el Páramo de Sumapaz y sus habitantes, entendiéndolo no solo como el espacio que habitan y en el cual desempeñan sus actividades, sino como parte intrínseca de su estructura cultural que define sus tradiciones e idiosincrasia. Por esto, planear, aplicar, ejecutar o implementar estrategias que resulten en beneficio del páramo, beneficiarán también de manera directa a su población.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las revisiones de implementaciones tecnológicas realizada en este documento corresponden a desarrollos llevados a cabo en otras partes del mundo, resulta evidente la necesidad de articular el modelo escogido, y del cual se ha

venido hablando, a las políticas públicas y carácter social del contexto colombiano y puntualmente de la región de Sumapaz.

Considerando la calidad de área protegida del Páramo de Sumapaz, fuente de agua y por ende suministradora de servicios públicos para millones de colombianos, y comprendiendo que como espacio público la jurisdicción sobre él la tienen entidades públicas, es necesario involucrar normativas y proyectos de las entidades correspondientes relacionadas a adopción tecnológica en el país.

Conforme cambia la administración en el país y en concordancia con el gobierno de turno, se diseñan estrategias y planes distintos en materia tecnológica para Colombia. Pese a que la aplicación del modelo propuesto en la presente investigación requeriría para una eventual implementación su correspondiente proceso de evaluación y adjudicación, el cual es un proceso demorado, en el contexto actual la estrategia vigente es el Plan TIC 2018-2022 “El Futuro Digital es de Todos”, por lo cual la articulación sociopolítica del modelo al contexto colombiano requiere realizarse en concordancia con este plan.

La Figura 6-6 presenta los cuatro ejes sobre los cuales está elaborado el Plan TIC 2018-2022. Luego de hacer una revisión del documento correspondiente a la estrategia (MinTIC, 2018), se evidencia una correspondencia de la aplicación del modelo de la presente investigación con el eje Transformación Digital Sectorial y Territorial.

Aunque el documento que define la estrategia considera aspectos importantes de la apropiación tecnológica, lamentablemente el enfoque de este es principalmente hacia el sector empresarial y las regiones urbanas del país. Además, se observa que pese a que este es rico en propuestas y planes en el periodo al cual corresponde, no tiene establecido un cronograma de ejecución específico para el cumplimiento de lo planeado, temiendo así que las propuestas no puedan materializarse antes del 2022 cuando un nuevo plan del gobierno siguiente entre en vigencia.

Figura 6-6: Ejes del Plan TIC 2018-2022

Tomado de (MinTIC, 2021)

Teniendo en cuenta que en el año 2018 el acceso a internet en cabeceras municipales del sector rural era del 50,8% y que en veredas y zonas rurales dispersas el acceso era de tan solo el 4,3% (MinTIC, 2018), para que una eventual implementación del modelo sea posible y viable es vital contar con el apoyo gubernamental. Como se dijo, la implementación del modelo que se propone tendría que ser ejecutada por la administración pública, por lo que el mejoramiento de las condiciones del acceso a internet en la región de Sumapaz por parte del gobierno es esencial, de manera que pueda llevarse a cabo una TD adecuada. Desafortunadamente los planes y referencias al sector rural son pocos en el plan propuesto por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), con relación a planes de disponibilidad de acceso a internet en el sector rural el documento hace referencia a Zonas Digitales Rurales, las cuales define como una iniciativa en la cual se proveerán soluciones de acceso universal a internet. Con esta universalidad propuesta se acogería la región del Páramo de Sumapaz, por lo cual es posible considerar el modelo aplicado en el presente estudio para que cuente con el acceso necesario a internet y así sacar provecho de las ventajas que el modelo ofrece al poderse poner en línea.

Desafortunadamente para el caso del Páramo de Sumapaz, el gobierno colombiano tiene dentro de sus prioridades el sector productivo y empresarial, esto hace que las estrategias orientadas a la TD y apropiación tecnológica estén diseñadas principalmente para este

sector. En materia digital, para el sector rural no se encuentran planes serios por parte del gobierno en pro de construir una TD de las regiones apartadas de las ciudades y, por ende, de sus habitantes. Las pocas referencias que hace MinTIC a la ruralidad en su plan de TIC para el actual periodo son para hablar de planes de provisión de acceso a internet, ignorando en el resto de su estrategia la adopción de modelos como el propuesto en este documento para la solución de las problemáticas en las zonas rurales. Son muchos los problemas en la ruralidad para los cuales pueden aplicarse tecnologías que contribuyan con su solución, tecnologías que contribuyan en la TD de este sector, lamentablemente para la administración actual las únicas problemáticas que tienen los campos colombianos e implican tecnología están relacionadas indisponibilidad red eléctrica o falta de acceso a internet.

- Consideraciones tecnológicas adicionales

Además de la incorporación tecnológica para mejorar el estado actual de la atención de emergencias causadas por incendios forestales en el Páramo de Sumapaz, hay consideraciones adicionales sobre esta aplicación que se recomiendan seguir en una eventual implementación del modelo para contribuir en la TD en la región.

Para el modelo seleccionado del cual se ha hablado a lo largo del capítulo, al tratarse de un modelo extranjero implementado en otro tiempo y lugar, se requieren considerar factores no tratados por los autores que brindarán beneficios para el caso colombiano. Pese a que las regulaciones y planes de acción del gobierno actual con relación a la vinculación entre la ruralidad y las tecnologías de la información son muy pobres, se presentarán algunas consideraciones que permitirán que en un futuro pueda llevarse a cabo una exitosa implementación que posibilite que el modelo aplicado se incorpore en futuros planes de TD en las zonas rurales colombianas.

Incorporación:

En consideración de que Colombia es un país en desarrollo y no puede permitirse ejecutar proyectos muy grandes de manera inmediata, el modelo de transformación aplicado en el presente estudio permite la incorporación del sistema de manera progresiva. Se ha hablado que el modelo es totalmente escalable y puede permitirse crecer a medida que pasa el tiempo, en vista de que los procesos de adjudicación de este tipo de proyectos en el país son largos y complicados, se sugiere inicialmente llevar a cabo una instalación no

tan grande en sectores clave del Páramo de Sumapaz. En lugar de durar décadas esperando que un proyecto a gran escala sea viable, el modelo ofrece la ventaja de incorporarse de manera progresiva, permitiendo que con el paso del tiempo sea mayor la zona de cobertura de la red propuesta. Habiendo realizado una implementación inicial pequeña, es más viable que con el paso del tiempo se tenga una cobertura total de la zona con la incorporación de más nodos en el área, mientras que una incorporación masiva del modelo a gran escala corre el riesgo de quedarse solo en planes.

Disponibilidad:

La arquitectura del modelo permite que esté en funcionamiento continuo sin problemas, además una de sus grandes ventajas la compone el hecho de estar construida con base en el internet de las cosas. El hecho de que la plataforma se encuentre en continua conexión con internet permite que la información referente a las alarmas esté disponible en prácticamente cualquier lugar del mundo, permitiendo que las alarmas no sean enviadas únicamente a un punto de control, sino que varias organizaciones puedan en simultáneo recibir la alerta y la información relacionada al incendio por la variedad de datos captados por los sensores y las imágenes transmitidas por las cámaras. De esta manera el cuerpo de bomberos y organismos de socorro de cada municipio de la región pueden tener acceso a las alarmas, haciendo que la atención de la emergencia ambiental se realice de manera rápida.

Valor de los datos:

El sistema seleccionado propone un mecanismo para rápidamente detectar y verificar la presencia de incendios forestales en determinada zona, sin embargo, además de los enormes beneficios que traería para el Páramo de Sumapaz la atención oportuna de estas emergencias, los autores del modelo obvian uno de los fuertes del sistema para la TD en la región, el valor de los datos.

Como se ha mencionado, los sensores de la red brindan la posibilidad de medir varios parámetros del medio que los rodea, son capaces de captar y enviar información continuamente a través de internet, permitiendo el acceso a estos datos de manera rápida en prácticamente cualquier lugar del mundo. El tipo de información captada por los

sensores no son útiles únicamente para la detección de incendios forestales, son varias las áreas de estudio que pueden requerir esta información para otros proyectos.

Estudios biológicos y ambientales en el Páramo de Sumapaz requieren usualmente la presencia de investigadores en la zona para realizar sus respectivas observaciones y mediciones, con el acceso instantáneo a través de internet a los datos captados continuamente por los sensores, aumenta de manera radical la cantidad de información actualizada que tienen las correspondientes organizaciones para elaborar sus estudios, permitiendo de esta manera más proyectos puedan desarrollarse en la región. De igual manera estudios sociales en la zona requieren un entendimiento actualizado de las condiciones de la región, esto debido al vínculo cultural que el páramo y sus habitantes tienen del cual se ha hablado, por lo cual esta disponibilidad de información agilizará los estudios que se lleven a cabo.

La medición de los distintos parámetros en este territorio y su digitalización para la aplicabilidad en otras áreas, generan una transformación que mejora la forma de visualizar y entender al páramo. Mediante esta masificación de la información se darán las herramientas para transformar la manera como se planean y ejecutan proyectos que beneficien a los habitantes de la zona, constituyendo así una TD en la región. Un ejemplo relacionado a esto es el presente estudio expuesto en este trabajo de grado, si se hubiera contado con un acceso a esta información de este tipo de manera rápida y consolidada en un solo portal, la caracterización de la región habría tenido más herramientas que hubieran permitido llevarla a cabo de una manera más rápida.

El modelo aplicado a la región de Sumapaz es una aplicación pionera en el sector, a partir de una futura implementación de ella y de la disponibilidad de los datos a través de internet, resultará más factible y sencillo la incorporación de nuevos proyectos basados en tecnología que también contribuyan en la TD de la región.

Se ha visto que los datos representan fuente de valor para varios proyectos en la región de Sumapaz y en distintas áreas del conocimiento, generando cambios significativos en los habitantes de la zona. Regresando a la funcionalidad principal del modelo en la detección y verificación de incendios forestales, los datos también representan un insumo importante para esta funcionalidad. La minería de datos con sus métodos de inteligencia artificial, estadística, sistemas de bases de datos y aprendizaje automático, permiten la

construcción de modelos predictivos de distintos eventos en diversas aplicaciones. Teniendo en cuenta los datos colectados a través de los sensores, conforme pasa el tiempo y con el uso de estas tecnologías puede realizarse un perfilamiento de la región de estudio, de esta manera pueden predecirse posibles incendios forestales a partir de los datos obtenidos. Esta construcción de modelos analíticos posibilita identificar patrones que ayuden a identificar épocas del año críticas en las cuales deban priorizarse ciertas zonas del páramo.

En concordancia con lo anterior, teniendo en cuenta que el modelo presentado por Lloret et. al en (Lloret et al., 2009) se limita a la funcionalidad de detección y verificación de incendios, la aplicación de este modelo al contexto del Páramo de Sumapaz propone dar la importancia que merece la colección de datos que tienen la posibilidad de realizar los sensores de la red. Para esto, además del modo de funcionamiento descrito, se sugiere que la infraestructura tecnológica a nivel de software en el servidor (o clúster de servidores) posibilite utilizar elementos de analítica, minería de datos y Big Data para permitir consolidar modelos predictivos de incendios forestales en la región. Además, se recomienda que todos estos datos estén disponibles en un repositorio para acceso gratuito por parte de distintas áreas del conocimiento, con lo cual más proyectos podrán ser desplegados en el Páramo de Sumapaz para seguir contribuyendo en la TD de la región.

6.4.2 Aplicación de la transformación digital

A lo largo del documento se ha recalcado que para que una TD pueda tomar lugar no debe únicamente realizarse una inclusión tecnológica, sino que esta debe ir acompañada de una adopción de cultura digital y una formulación estratégica que permita que la tecnología que se implemente sea correctamente articulada para transformar positivamente la situación actual.

A partir de la consolidación y definición tecnológica que se ha realizado en el capítulo, se han identificado elementos que pueden permitir lograr un cambio positivo real en el contexto del páramo. Se han propuesto y reafirmado características del modelo tecnológico escogido que son capaces de mejorar la situación actual del Páramo de Sumapaz con relación a su respuesta ante los incendios forestales. Para que esta inclusión

tecnológica brinde resultados satisfactorios en pro de la protección del páramo y del mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes, es necesario llevar a cabo la aplicación de un modelo definido de TD. A continuación, se aplicará el modelo Deloitte presentado en (Eggers & Bellman, 2015) al Páramo de Sumapaz, brindando los lineamientos que deben tenerse en cuenta para que en trabajos futuros pueda llevarse a cabo una implementación satisfactoria que resulte en el mejoramiento de la situación del páramo frente a los incendios forestales a través de una adecuada TD.

- Madurez digital

Como se observó en la sección 5.4, el modelo Deloitte (Eggers & Bellman, 2015) está construido principalmente sobre el concepto de madurez digital, sobre el cual se realiza una clasificación de tres niveles de madurez como se indica en la Tabla 5-4. Considerando que actualmente no se tiene una estrategia de TD sólida en el Páramo de Sumapaz relacionada a la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales, el contexto actual de la región se ubica en un nivel de madurez temprana, esto puede verse a través de la Tabla 6-5.

Tabla 6-5: Nivel de madurez digital actual en el Páramo de Sumapaz

Característica	Madurez temprana	Madurez digital actual en el Páramo de Sumapaz
Estrategia	**Enfocada en reducción de costos**	No se tienen medios propios para la detección y atención oportuna de incendios forestales, el mecanismo actualmente utilizado es un sistema externo de acceso gratuito.
Liderazgo	**Falta de conciencia y habilidades**	El medio tecnológico usado para detección de incendios es insuficiente y no hay planes de mejora del sistema actual. No se cuenta con habilidades proactivas que permitan una inclusión digital para la resolución del problema.

Característica	Madurez temprana	Madurez digital actual en el Páramo de Sumapaz
Desarrollo de la fuerza laboral	**Inversión insuficiente**	No se tienen planes serios oficiales gubernamentales para la financiación de proyectos de TD rural. No hay inversión en la capacidad digital para la detección y atención de incendios forestales.
Enfoque en el ciudadano	**Ausente**	No se involucran a los habitantes en la elaboración de una estrategia digital. La detección oportuna de incendios no es una prioridad, por lo que la protección ante las llamas del ecosistema, elemento fundamental en la cultura campesina, tampoco lo es.
Cultura	**Aversión al riesgo, desintegrada**	Comodidad en el actual e insuficiente sistema de detección de incendios, no se toman riesgos para proponer nuevos mecanismos. Debido a la administración de carácter gubernamental del páramo, no se arriesgan dineros públicos en una TD para proteger de los incendios a la región.

Elaboración propia.

El panorama actual del páramo frente a los incendios forestales es desalentador, por ello pretender que se alcance el nivel de madurez digital máximo de manera inmediata es demasiado ambicioso. El nivel máximo puede alcanzarse, pero es un proceso de varios años que requiere inicialmente un cambio en las políticas públicas rurales, particularmente en el fomento de proyectos basados en TIC que sean capaces de resolver una problemática.

Se mencionó en la sección anterior la ventaja de que el sistema propuesto sea escalable, lo que permite su instalación progresiva en varias etapas, esto es una característica

aprovechable que posibilita que el nivel de madurez digital aumente de manera progresiva. A medida que cambian las políticas y la estrategia organizacional de las entidades con jurisdicción en el páramo hacia lo digital, el sistema propuesto también cambiará y crecerá de paulatinamente. Se ha sugerido llevar a cabo una implementación inicial de la tecnología en una etapa, abarcando primeramente el área más susceptible a incendios, esta implementación deberá acompañarse de cambios en las entidades relacionadas que, naturalmente, no se hacen de manera inmediata. Con la primera etapa de implementación se espera que en la región se alcance un nivel de madurez digital superior a madurez en desarrollo. A partir de un cambio organizacional y de las políticas alrededor de la inclusión TIC, con el paso del tiempo es posible alcanzar el nivel máximo madurez digital en Páramo de Sumapaz frente a los incendios forestales, la Tabla 6-6 presenta los indicadores de madurez digital deseados para cada una de sus características clave.

Tabla 6-6: Nivel de madurez digital deseada en el Páramo de Sumapaz

Característica	Nivel máximo de madurez digital	Madurez digital deseada en el Páramo de Sumapaz
Estrategia	**Enfocada en la transformación fundamental de procesos**	Las organizaciones con jurisdicción en la región han renovado la metodología en sus procesos internos y entre entidades, esto se refleja en un mejoramiento en la respuesta ante incendios en el páramo y en la percepción de su gestión por parte de los habitantes.
Liderazgo	**Digitalmente sofisticada**	Se utilizan herramientas tecnológicas adecuadas para atender la problemática, su infraestructura TIC está al nivel de otros países, se emplea una plataforma que articula tecnologías actualizadas para sacar provecho de lo digital. Los empleados cuentan con los conocimientos tecnológicos necesarios para soportar la infraestructura tecnológica de la organización.

Característica	Nivel máximo de madurez digital	Madurez digital deseada en el Páramo de Sumapaz
Desarrollo de la fuerza laboral	**Inversión adecuada**	Se tiene el apoyo gubernamental para financiar la infraestructura tecnológica que soporta la TD requerida. Hay planes serios por parte del gobierno y demás organizaciones que aseguran una transformación continua con el paso del tiempo.
Enfoque en el ciudadano	**Es central en la TD**	Los habitantes de la región de influencia del páramo tienen una participación activa en su TD. El enfoque en la protección del páramo para el mejoramiento de las condiciones de sus habitantes es el punto central sobre el cual se construye la TD.
Cultura	**Receptiva al riesgo, fomenta la innovación y la colaboración**	La innovación es premiada y se fomenta para realizar un mejoramiento continuo de los procesos actuales en el páramo. Se toman riesgos con la articulación de nuevos proyectos TIC que contribuyan en la TD de la región, se emplean metodologías ágiles para realizar mejoras en cortos periodos de tiempo.

Elaboración propia.

Para poder alcanzar el nivel de madurez digital deseado en el páramo, para el caso puntual de su respuesta a los incendios forestales, se detallan a continuación las consideraciones que deben tenerse para cada una de las características que definen a la madurez digital:

- Estrategia

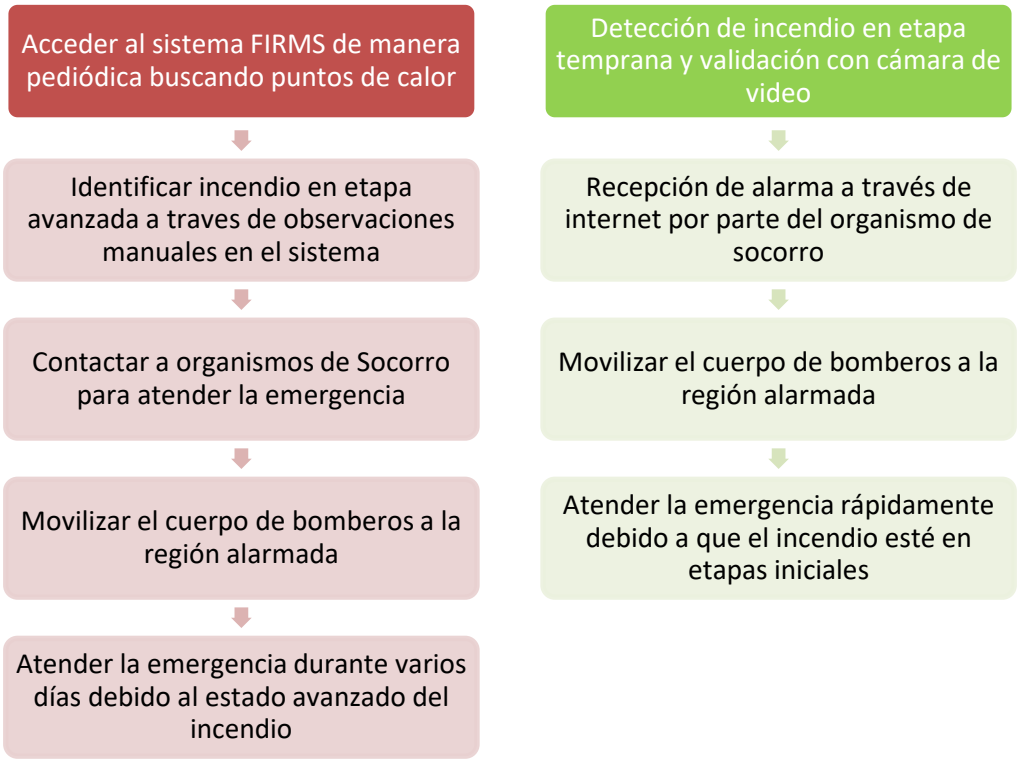
No solo deben adoptarse los elementos tecnológicos propuestos en campo, debe articularse un mejoramiento en la comunicación entre entidades que incluya el uso de las

TIC, programas de cooperación entre las organizaciones a través de medios digitales y aseguramiento de la interoperabilidad a través de la unificación de plataformas entre entidades que aceleren la respuesta ante incendios forestales en la zona.

Se propuso en la sección anterior una articulación entre los datos recogidos por el sistema tecnológico y métodos de computación en la nube. Esta infraestructura permite su vinculación con sistemas de otras plataformas, tales como el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, para que la información captada por el sistema físico sea transparente a todas las organizaciones públicas que puedan requerir estos datos.

Se ha dicho que el carácter gubernamental de las organizaciones que administran el Páramo de Sumapaz presenta dificultades para la elaboración de planes de TD en la región, sin embargo, el hecho de que estas entidades sean sin ánimo de lucro y que no haya conflicto de intereses entre ellas por su naturaleza pública, posibilita una comunicación y cooperación más eficiente entre las mismas. Una buena estrategia de TD en la región hace que la información captada por los sensores, así como las inminentes alertas de incendio, estén disponibles para el acceso libre por parte de cualquiera de las entidades que lo requiera. De esta manera el procedimiento tradicional en el cual Parques Nacionales Naturales notificaba después de varias horas a los organismos de socorro correspondientes cambia radicalmente. El proceso básico de emisión de alarmas y atención de incendios evoluciona anulando pérdidas de tiempo innecesarias entre la detección y la atención de la emergencia, esta transformación fundamental en el proceso de atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales se verá reflejada en un mejoramiento significativo del estado actual del páramo frente a estas catástrofes. La transformación fundamental del proceso de atención de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz puede verse a través de la Figura 6-7, en la cual se observa primero el proceso actualmente llevado a cabo y enseguida el proceso transformado con la implementación del modelo propuesto.

Figura 6-7: Transformación del proceso de atención de incendios forestales



Elaboración propia.

Así como se transforma fundamentalmente el proceso de atención de incendios en la zona, una TD incluye también la transformación de procesos internos en las organizaciones responsables del páramo, por lo cual una inclusión tecnológica en las actividades desarrolladas al interior de ellas también es necesaria sumada una reformulación de la cultura organizacional en la cual se cuenten con los conocimientos tecnológicos necesarios para que las implementaciones de TIC surtan el efecto esperado. Las recomendaciones para permitir lo propuesto se presentan enseguida para las demás características que componen la madurez digital.

- Liderazgo

La solución tecnológica que se ha propuesto presenta elementos diferenciadores y ventajas en comparación con otras tecnologías que pueden causar una transformación positiva de la situación actual del Páramo de Sumapaz frente a los incendios forestales. El ser un sistema de bajo costo, fácil de implementar, escalable y capaz de verificar las alertas

para evitar falsas alarmas, hace que sea una tecnología adecuada para la resolución de la problemática, además, la vinculación que se propone con herramientas tecnológicas en la nube hace que sea un sistema que saca provecho de las tecnologías actuales.

Uno de los problemas que presentan los grandes proyectos en zonas vulnerables de Colombia es el hecho de que las organizaciones del gobierno, cuando los implementan, pretenden que son instalaciones perpetuas que una vez llevados a cabo no requieren mantenimiento ni acciones para asegurar su funcionamiento con el paso de los años. Es frecuente encontrar en municipios y zonas aisladas del país estructuras físicas corroídas y dañadas por la maleza que ya no cumplen la función para la cual fueron construidas, el mismo riesgo corren implementaciones tecnológicas que se lleven a cabo en zonas rurales. El constante cambio y evolución de las tecnologías en la sociedad de la información demanda que este tipo de proyectos se encuentren en constante actualización para asegurar la calidad del objetivo buscado. Afortunadamente los servicios en la nube son herramientas tecnológicas con un amplio futuro por delante, por lo que construir la plataforma TIC propuesta en torno a esta arquitectura posibilita su actualización permanente. El sistema puede aprovechar los métodos de minería y analítica de datos que se ofrecen en la nube para adelantarse a la emisión de una alarma por un incendio presente y predecir estos eventos antes de que sucedan, esto lo consolida como un sistema activo sofisticadamente construido que permite utilizar las tendencias actuales en tecnología a nivel mundial para resolver el problema puntual de incendios en el Páramo de Sumapaz.

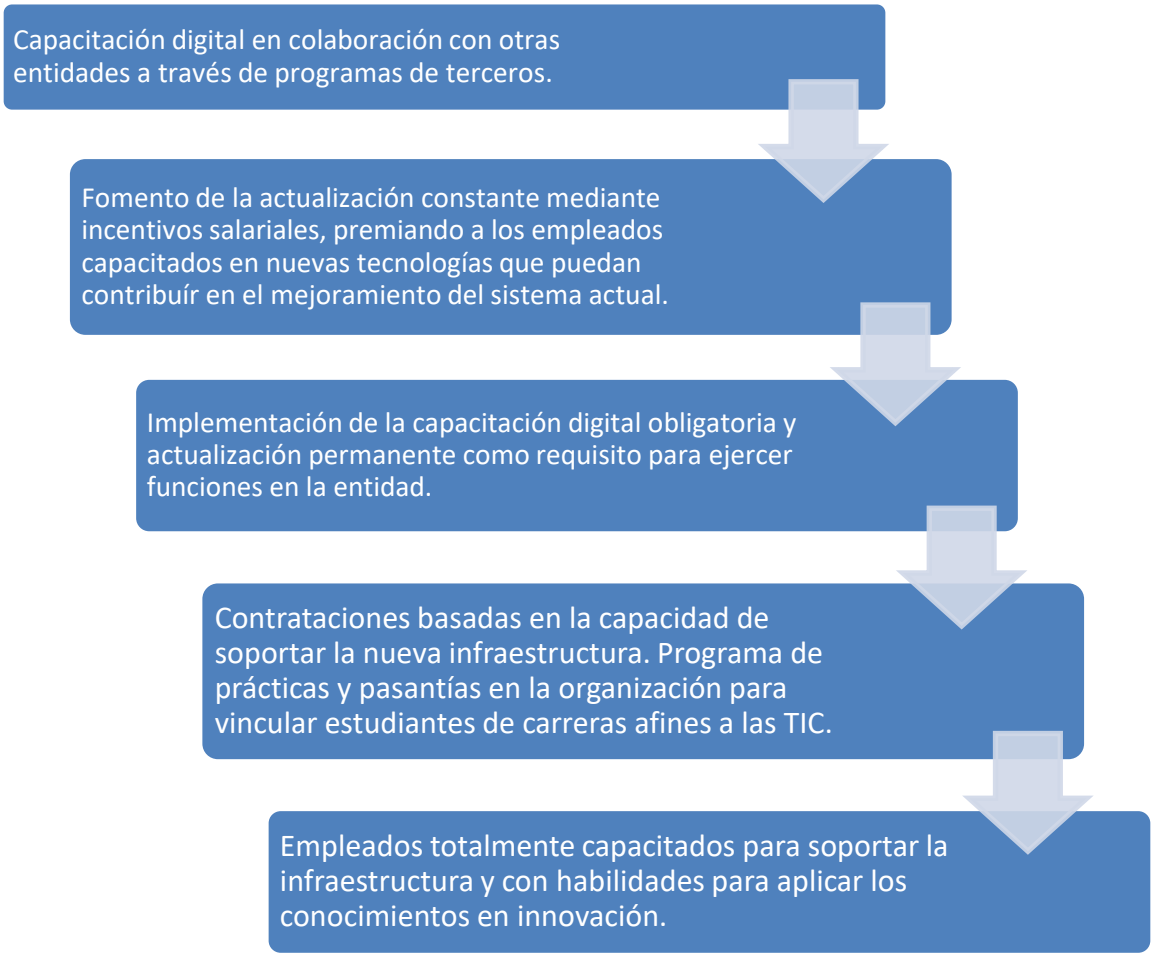
Complementando lo anterior, la actualización constante a nivel de software no es la única que permite el sistema, la infraestructura física de este y la independencia de su hardware hace que los sensores y cámaras puedan ser fácilmente reemplazados ante posibles fallas. La evolución en la video vigilancia y de la variedad de sensores que con el paso de los años también crece, posibilita que con el paso de los años el sistema esté actualizado y haga uso de las últimas tendencias tecnológicas a nivel mundial.

Una sólida y sofisticada arquitectura tecnológica requiere de un personal capacitado para soportarlo. Uno de los errores en los cuales caen frecuentemente los gobiernos con relación a despliegues tecnológicos es el hecho de pretender que las tecnologías por sí solas solucionen milagrosamente un problema, una TD no implica solo una implementación

de TIC, sino que exige un cambio en la mentalidad y capacidad en la organización para que pueda ser utilizada de manera adecuada.

Evidentemente, la educación digital que deben tener quienes administran el sistema debe ser promovida desde las mismas entidades, para ello debe haber programas de capacitación para el aprendizaje continuo de carácter mandatorio para sus empleados. Este es un proceso clave que permitirá una adopción tecnológica adecuada del sistema y, por ende, posibilitará una TD resultante en el mejoramiento de las condiciones actuales. A través de la Figura 6-8 se presenta el plan de capacitación digital sugerido para que se tenga la educación digital necesaria para soportar la plataforma tecnológica.

Figura 6-8: Plan de capacitación digital para soportar el sistema.



Elaboración propia.

- Desarrollo de la fuerza laboral

Para el caso puntual del mejoramiento de las condiciones actuales del Páramo de Sumapaz con relación a la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales, se requiere una financiación y recursos adecuados que posibiliten un despliegue tecnológico y elaboración de una estrategia adecuada que resulten en una TD para la región. Como se ha visto en esta investigación, lamentablemente las políticas públicas y los planes de acción oficiales del gobierno y de MinTIC no consideran implementaciones tecnológicas a corto y mediano plazo en el sector rural más allá de el acercamiento de las regiones más aisladas al internet. El plan nacional de desarrollo (Gobierno de Colombia, 2018) y el Plan TIC 2018-2022 (MinTIC, 2021) mencionan de manera muy general la necesidad de realizar una inclusión de tecnologías en todo el territorio, pero esto no se aterriza en proyectos de fuerte despliegue tecnológico como el propuesto.

A pesar de lo anterior, en el desarrollo de la investigación se ha obtenido información no oficial de un proyecto piloto por parte de MinTIC que se planea publicar este año, se trata de un proyecto que pretende mediante programas de capacitación cerrar las brechas digitales especialmente en zonas rurales y zonas apartadas del país a través de estrategias de apropiación de TIC. No es posible referenciar el proyecto mencionado en la presente investigación debido a que aún está en etapa de diseño técnico y no ha sido publicado oficialmente por MinTIC, sin embargo, se conoce que el proyecto pretende educar a la población de zonas rurales en el uso de herramientas TIC para que puedan incluirlas en sus actividades diarias y así transformar su modo de vivir. Este tipo de iniciativas dan esperanza en cuanto a los planes de MinTIC, ya que el hecho de considerar dar el primer paso hacia la TD mediante la capacitación digital en las zonas rurales hace que se posibilite en un futuro no muy lejano incluir proyectos de implementación de tecnologías en este sector como el que propone esta investigación.

Teniendo en cuenta lo anteriormente indicado, es posible financiar los recursos necesarios para consolidar un proyecto de TD en el Páramo de Sumapaz como el propuesto. La elaboración de la estrategia para la futura implementación del modelo aplicado propuesto debe realizarse de la mano de MinTIC y el Gobierno Nacional para así garantizar fuentes de financiación adecuadas. Cabe aclarar que el plan que se desarrolle no debe contemplar únicamente la financiación inicial requerida para la implementación de las herramientas

tecnológicas, sino que debe elaborarse una estrategia conjunta en la cual se cuente con el suficiente apoyo gubernamental para llevar a cabo el desarrollo de las demás competencias de la madurez digital que permitan llevar a cabo una adecuada TD en el páramo.

Para que el modelo propuesto pueda ser implementado en un futuro, se requieren políticas públicas sólidas y planes bien estructurados que se mantengan independientemente de los futuros cambios de administración. El ser el Páramo de Sumapaz una zona protegida también es una característica que debe aprovecharse, por lo que no son pocas las acciones que se tomen y los proyectos gubernamentales que se lleven a cabo para garantizar que el modelo pueda ser implementado con los recursos suficientes para consolidar una madurez digital adecuada en la zona. Iniciativas como esta deben ser parte fundamental de la agenda de gobierno de las futuras administraciones de Colombia, con la cual no solo se pueden tener las fuentes necesarias para permitir una TD en el páramo, sino que se promueve el desarrollo de otros proyectos de esta índole en otras zonas vulnerables del país.

- Enfoque en la población

El modelo Deloitte original concibe esta característica utilizando el término ciudadano, sin embargo, al ser la mayoría de los habitantes del páramo campesinos no relacionados con la ciudad, el enfoque del modelo cambia de ciudadano a población.

Las regiones rurales de Colombia han estado alejadas por décadas de proyectos tecnológicos que representen una mejoría en sus condiciones, esta investigación se concibió desde su origen para mejorar la situación actual del Páramo de Sumapaz con relación a los incendios forestales y, por ende, al mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes por el estrecho vínculo cultural que comparten con el páramo. Una TD adecuada en la región de estudio debe ir más allá del despliegue tecnológico, para ello la población debe jugar un papel activo en las acciones tomadas con relación a la protección del ecosistema de los incendios.

En el desarrollo de la fuerza laboral se mencionaron los planes de MinTIC para capacitar digitalmente a los habitantes de las zonas rurales para que tengan una adopción tecnológica en su diario vivir. Los lineamientos que se dan en la aplicación del modelo

abordada en esta investigación pretenden ir más allá y posibilitar un involucramiento de los habitantes de la zona, para ello se propone adoptar practicas efectuadas exitosamente por otros gobiernos para involucrar de manera activa a las personas del común.

El gobierno de Singapur ha logrado llevar a cabo aplicaciones del modelo Deloitte en distintas áreas, una de esas aplicaciones exitosas consistió en desarrollar en conjunto con sus ciudadanos más de 110 aplicaciones móviles (Eggers & Bellman, 2015). Para ello proporcionaron acceso libre a más de 3.000 conjuntos de datos gubernamentales, con lo cual se facilitó la co-creación de aplicaciones como myENV, una aplicación móvil desarrollada principalmente por ciudadanos que proporciona información en tiempo real sobre el clima en Singapur.

Este tipo de prácticas pueden adoptarse también para modelo aplicado al Páramo de Sumapaz, para lo cual es indispensable en primera medida que los datos captados por el sistema de WSN estén disponibles de manera gratuita para su consulta. En alineación con los planes de MinTIC para la adopción tecnológica por parte de la población rural, el hecho de permitir el acceso a estos conjuntos de datos puede acelerar este aprendizaje y la adopción TIC con la estrategia adecuada. Teniendo en cuenta esto, se propone un plan de incentivos en el cual se promueva la utilización de los datos por parte de la población del páramo para la construcción conjunta de aplicaciones móviles y creación de proyectos que saquen provecho de esta información para otras actividades en la región.

Con lo que se propone se impulsa la educación en la región en materia digital y se expanden las posibilidades de beneficios que la articulación tecnológica puede traer. Teniendo en cuenta la amplia variedad de datos que pueden captar los sensores, la información puede ser utilizada por la población para el mejoramiento de sus actividades. Algunos ejemplos de uso de los conjuntos de datos en otras aplicaciones son los siguientes;

- **Agricultura:** Con el uso de los conjuntos de datos pueden construirse aplicaciones que permitan a los habitantes del páramo conocer el estado climático de determinada zona para el desarrollo de sus actividades agrícolas. De esta manera es más fácil identificar temporadas que permitan un mejoramiento de sus actividades actuales.

- **Educación:** Los datos pueden utilizarse para mejorar los métodos de enseñanza en computación e informática en los colegios de la región de influencia del páramo. Pueden utilizarse para desarrollar competencias en programación mediante el acceso a información familiar para los jóvenes y niños de la región en la cual habitan.

- **Ecología:** Se mejora la manera de observar y entender el páramo. Tradicionalmente sus habitantes se han acostumbrado a entenderlo a través actividades de campo puramente manuales, con el acceso a los datos del sistema pueden informarse de cosas que difícilmente podían ver antes, contribuyendo enormemente en su concepción del mismo y a su entendimiento del papel importante que este juega en el clima de la región.

Estos son solo algunos ejemplos de los beneficios adicionales que puede traer el involucramiento tecnológico de los habitantes con el sistema propuesto. Si se tienen en cuenta estas recomendaciones para una futura implementación, se observará que serán decenas más las aplicaciones exitosas que esta implementación puede lograr, la experiencia y conocimiento de los habitantes de la región demostrará que son muchos los problemas que pueden solucionarse y las mejoras que pueden llevarse a cabo mediante su involucramiento con la tecnología propuesta.

Esta iniciativa involucra directamente a los habitantes con los medios digitales y con el modelo tecnológico propuesto, además puede fomentarse su aprendizaje mediante incentivos como competencias que premien el desarrollo de aplicaciones que usan esta información. El Ministerio de Educación Nacional tiene desde hace varios años competencias como el Concurso Nacional de Escritura, el cual fomenta la producción literaria, de esta misma manera podrían establecerse competencias locales que fomenten y recompensen la utilización del conjunto de datos con el desarrollo de aplicaciones para así promover el aprendizaje digital.

El enfoque y participación de la población puede también complementarse a través de la inclusión de los habitantes como identificadores de incendios en zonas donde no haya presencia de sensores inalámbricos. Para esto el sistema debe también permitir la interacción de los habitantes para que puedan en tiempo real reportar incendios forestales

no identificados con anterioridad. El portal en línea en el cual deberán estar disponibles los conjuntos de datos deberá tener una sección para alertar manualmente incendios forestales, a esta sección deberán poder acceder fácilmente los habitantes del páramo, de modo que su notificación sea inmediatamente recibida por los organismos de socorro. Para fomentar el uso de esta herramienta, se sugiere recompensar a las personas que reporten un incendio no detectado, de esta manera se darán apoyos a las personas que identifiquen incendios para su atención oportuna.

En la sección 4.1.2 se mencionaron las condiciones económicas desfavorables de una gran cantidad de los habitantes de la zona, el modelo de TD propuesto representa una fuente de empleo capaz de mejorar las condiciones de vida de varias familias, puede realizarse la vinculación laboral de varias personas a los organismos de socorro para la atención oportuna de emergencias, ahora que se tendrán los medios tecnológicos necesarios para identificar rápidamente los incendios harán falta manos que ayuden a atenderlos. Se habló con anterioridad de la insuficiencia de los organismos de socorro en el páramo para atender las emergencias causadas por incendios forestales de manera rápida, la arquitectura del sistema propuesto permite alertar inmediatamente en simultáneo a varios cuerpos de bomberos, por lo que puede ampliarse la capacidad de acción de estos organismos mediante la contratación masiva de personas que conocen la región y necesitan la vinculación laboral para mejorar sus condiciones. Teniendo en cuenta esto, el cuerpo de bomberos puede ampliar enormemente su personal y todos podrán recibir las alarmas en tiempo real, por lo que una atención oportuna de la emergencia puede garantizarse. Esto permitirá salvar varias hectáreas de valiosa vegetación de ser consumidas por las llamas y al mismo tiempo sirve de fuente de empleo para decenas de familias que podrán mejorar sus condiciones de vida.

Además de su vinculación laboral en atención de emergencias, un despliegue tecnológico como el propuesto requiere la contratación de personal para realizar el mantenimiento necesario de los equipos tecnológicos, esto sumado a los planes de educación digital que se han mencionado permite que más personas en necesidad puedan establecer un vínculo laboral que mejore sus condiciones actuales.

- Cultura

Con relación a esta característica debe realizarse un giro radical de la situación actual en el contexto del Páramo de Sumapaz. A pesar de la alta importancia del ecosistema del páramo que se ha discutido en capítulos anteriores, en la actualidad no se cuenta con un mecanismo confiable para protegerlo de los incendios forestales. Parques Nacionales Naturales, como entidad responsable de la identificación de estas emergencias, se percibe cómoda en el actual e insuficiente sistema de detección de incendios, no se toman riesgos por parte de esta y demás organizaciones estatales para proponer nuevos mecanismos que mejoren la situación actual. Debido a la administración de carácter gubernamental del páramo, no se arriesgan dineros públicos en un proyecto de TD efectivo para proteger a la región de los incendios forestales.

Un cambio de cultura a nivel interno organizacional es necesario, deben dejarse de lado las ineficientes metodologías tradicionales que se siguen empleando y cambiar la mentalidad hacia las tendencias digitales. Por ser la administración del páramo de carácter público, el cambio de cultura debe venir desde arriba como se mencionó en puntos anteriores. El Gobierno Nacional y MinTIC deben apostarle a la inversión rural no solo para llevar internet a todas las regiones, sino para realizar despliegues tecnológicos complejos que resulten en un mejoramiento real de las condiciones actuales de los campos. Además de esto se deben adoptar reformas en las instituciones para, en primera medida, asegurar un nivel de cultura digital adecuado que resulte en una administración correcta de las tecnologías que se instalen.

Los planes de capacitación digital que se han mencionado deben cumplirse, y sumado a ello un cambio en la percepción tecnológica a todo nivel debe llevarse a cabo. La infraestructura tecnológica propuesta en la sección 6.4.1 permite una administración del sistema de manera remota. Al proponerse una plataforma controlada con acceso a internet sobre la cual se incluyan herramientas de computación en la nube, se posibilita la administración de esta a través de teletrabajo, permitiendo de esta manera la contratación de personal capacitado que no necesariamente tenga que estar físicamente en la región en la cual el hardware del sistema está instalado. El hacer que los empleados estén obligados a usar herramientas TIC como sistemas de videoconferencias y manejo remoto de servidores, hace que la actualización tecnológica más que una opción sea una

necesidad. Las entidades deben centrarse más en la gestión del cambio y la formación en el uso de herramientas digitales para dar a los trabajadores las herramientas y capacidades para hacer mejor su trabajo.

La adopción de tecnologías de vanguardia como las que se han propuesto y la formación digital de los actores relacionados al problema puntual deben ser complementados con una cultura de innovación. De esta manera no solo se debe tener personal suficientemente capacitado para entender y soportar la infraestructura TIC, sino que deben fomentarse los proyectos de innovación para mejorarla. Mediante un plan de incentivos deben premiarse las ideas que hagan que el sistema pueda crecer y brindar mejores resultados para la atención del problema y mejoramiento de las condiciones en el páramo.

Para lo anterior se sugiere consolidar un departamento dedicado de manera exclusiva a la innovación, conformado con personal que, a partir de metodologías ágiles, pueda introducir mejoras progresivas apoyadas en TIC en cortos periodos de tiempo. Este departamento debe ser interdisciplinar y contar con habitantes de la zona de influencia del páramo, quienes conocen de primera mano el entorno y las problemáticas que pueden ser resueltas mediante la utilización de las herramientas del modelo propuesto o la inclusión de tecnologías adicionales.

El modelo propuesto es un proyecto ambicioso pionero en el sector de la TD rural en el país, una futura implementación exige la construcción de una estrategia adecuada. Pero por ser un proyecto tan grande y radical, no debe dejarse únicamente implementado con los requerimientos mínimos para la detección de incendios, la innovación debe ser prioritaria y debe impulsar el continuo crecimiento de la solución. De esta manera el sistema deberá estar en actualización permanente conforme las tendencias tecnológicas avanzan, para lo cual la cultura organizacional debe estar dirigida a mejorar continuamente, no se deberá caer nuevamente en el error actual en el cual las entidades cómodamente, por temor al riesgo y al desperdicio de dineros públicos, se apoyan en el método actualmente utilizado sin evaluar las oportunidades de mejora.

- Seguimiento de preguntas orientadoras para la transformación digital

Habiendo dado los lineamientos que permitan en un futuro alcanzar el nivel de madurez digital deseado para cada una de las características que la componen, la aplicación del modelo Deloitte de TD para la atención de emergencias ambientales causadas por

incendios forestales en el Páramo de Sumapaz concluye con la consideración de las preguntas orientadoras por área que se mencionaron en la sección 5.4, de esta manera debe realizarse una realimentación frecuente a medida que se adopten los lineamientos dados en este estudio para garantizar una TD efectiva.

Las preguntas orientadoras que deben tenerse en cuenta hacen referencia a cinco áreas en la apropiación tecnológica gubernamental, a través de la Tabla 6-7 se observan las respuestas a estas preguntas luego de haber realizado el análisis correspondiente de cada uno de los componentes de la madurez digital. Una vez se inicie el recorrido hacia la TD mediante la adopción de los lineamientos de esta investigación, debe hacerse un seguimiento recurrente a las preguntas orientadoras para asegurar una TD efectiva.

Tabla 6-7: Respuestas a las preguntas orientadoras para la TD

Área	Pregunta orientadora	Respuesta
Estrategia	¿Se tiene una estrategia digital clara y coherente que aborde los elementos clave de la TD?	Se piensa en una transformación real de todos los aspectos en torno a la apropiación de soluciones TIC. No se hacen únicamente instalaciones de tecnología, sino que un cambio en el modelo de operación de las organizaciones también es parte fundamental del proyecto. La estrategia debe incluir a todas las organizaciones y actores relacionados para que el proyecto genere una transformación real que desemboque en el mejoramiento del estado actual del páramo frente a los incendios y en el mejoramiento de las condiciones de sus habitantes.

Área	Pregunta orientadora	Respuesta
Enfoque en la población	¿Cómo pueden los habitantes ser parte de la TD?	Mediante la participación activa en el mejoramiento del sistema con el acceso libre a la información. Con la interacción con la plataforma para alertar manualmente sobre incendios no detectados. Con la vinculación laboral a los organismos de socorro y a las entidades estatales. A través de programas de educación digital que les permitan hacer uso de las nuevas herramientas tecnológicas. Con la utilización de la información captada por los sensores en las actividades diarias productivas de la población.
Cultura	¿Qué se ha hecho para fortalecer la cultura innovadora y colaborativa de la organización?	La creación de un departamento especializado en innovación con conocimientos TIC suficientes y en el cual participen habitantes del páramo para implementar mejoras en cortos periodos de tiempo. Estímulos a las ideas y proyectos novedosos que contribuyan en la TD del sector.
Habilidades de fuerza laboral	¿Se ha analizado el talento laboral y planeado de dónde vendrán sus habilidades?	A través del seguimiento del plan de capacitación de la Figura 6-8 se puede asegurar que se tiene un nivel de educación digital adecuado. El programa de prácticas y pasantías para contratar estudiantes de áreas TIC. La adopción de teletrabajo e inclusión de tecnologías en procesos internos de la entidad generan la necesidad

Área	Pregunta orientadora	Respuesta
		de tener conocimientos tecnológicos adecuados. Contrataciones basadas en nivel de educación digital y la capacidad de soportar la nueva infraestructura.
Aprovisionamiento	¿Son los procesos de aprovisionamiento existentes adecuados para adquirir soluciones digitales?	La solución digital propuesta utiliza tecnologías de vanguardia a precios adecuados, no se malgastan dineros públicos en el aprovisionamiento tecnológico. A través de la implementación de computación en la nube se selecciona y se paga únicamente por los servicios utilizados. Se tiene una política periódica de realimentación y seguimiento tecnológico en la cual se validan las tecnologías actuales para decidir si se deben mantener o cambiar.

Elaboración propia.

- Relación con otros modelos de transformación digital

Se ha observado en el desarrollo de esta investigación que los modelos de TD evaluados presentan varios elementos en común, por lo que a pesar de que se haya realizado la aplicación del modelo Deloitte hay elementos y características de otros modelos que también se cumplen y aplican.

Puede observarse en primera instancia la similitud del concepto de madurez digital que los cuatro modelos expuestos en el capítulo 5 abordan. El modelo Altimeter (Solis & Szimanski, 2016) lo trata dentro de sus ideas de las seis etapas para la TD, en la cual se presenta un crecimiento progresivo de una organización para llegar al nivel deseado. Según los lineamientos que se han dado para la aplicación del modelo de TD en el contexto del presente estudio, el estado innovativo y adaptativo propuesto por Altimeter es

alcanzable, esto debido a que, con las indicaciones dadas en términos de cultura, desarrollo de fuerza laboral, estrategia, enfoque en el ciudadano y liderazgo; la cultura de innovación hace parte de las prioridades en el plan de TD. La innovación se convierte en un elemento orientador de la estrategia y el involucrar en a los habitantes activamente con el mejoramiento del sistema a través de iniciativas como el departamento de innovación, permite desarrollar esfuerzos necesarios para satisfacer las necesidades de la población apoyadas en la articulación de nuevas tecnologías.

El modelo MIT (Westerman et al., 2011) presenta en la Figura 5-2 su matriz de madurez digital, en la cual se relacionan la intensidad digital con la intensidad de gestión de la transformación. Para el modelo aplicado a la problemática identificada, se observó que un fuerte despliegue tecnológico apoyado en tecnologías de vanguardia consolida un fuerte nivel de intensidad digital, de igual manera el análisis conjunto de los componentes que definen a la madurez digital del modelo Deloitte, en la cual se presentan las consideraciones necesarias para que una buena estrategia de TD sea posible, permite establecer una sólida intensidad de gestión de la transformación. El esfuerzo en conjunto en el desarrollo de ambos ejes posibilita establecer la madurez digital en el Páramo de Sumapaz con una adecuada implementación del modelo propuesto en el cuadrante Digirati.

Abordando un modelo más local, el cual es el modelo de madurez para la TD propuesto por MinTIC (IDOM, 2018), puede observarse que con la implementación del modelo aplicado al páramo es posible alcanzar el nivel de digitalización 4.0 que se indica en la Tabla 5-3. Esto es posible debido a que, en materia de interacción, las indicaciones dadas permiten el involucramiento activo de los habitantes en la construcción de la TD en la región, de igual manera el acceso libre a los datos y su contribución en una cultura digital de la población, resultan en el mejoramiento de las condiciones de vida en la zona de influencia al expandir las funcionalidades del sistema con la aplicación de herramientas TIC que los mismos habitantes proponen y ayudan a diseñar. El carácter público de la administración del páramo posibilita la creación de procesos flexibles e integrados entre las organizaciones como se ha visto, por lo que el eje de mecanización también se alinea con el nivel de digitalización 4.0. Con referencia a inteligencia, se ha visto que el sistema es capaz no solo de detectar incendios en etapas tempranas, sino que su posibilidad de usar métodos de minería de datos y analítica a través de su interacción con la nube, permite elaborar modelos predictivos que se anticipen a los eventos e identificar patrones

para la construcción de un perfil de la región que permita tomar acciones preventivas sobre el páramo antes de que la catástrofe ambiental ya haya iniciado.

Articulando lo mencionado, luego de aplicar el modelo de TD al contexto del Páramo de Sumapaz, puede observarse que el nivel máximo de digitalización o madurez que proponen los modelos expuestos es alcanzable en una futura etapa de implementación. Esto se ve consolidado a través de la Tabla 6-8.

Tabla 6-8: Nivel de transformación digital posible por tipo de modelo

Modelo de TD	TD posible con la implementación de la propuesta
Modelo Deloitte	Madurez digital alcanzada
Modelo Altimeter	Negocio innovativo y adaptativo
Modelo MIT	Digirati
Modelo MinTIC	Digitalización 4.0

Elaboración propia.

7. Recapitulación y cumplimiento de objetivos

Luego de haber aplicado al contexto del Páramo de Sumapaz un modelo de TD para la atención de emergencias ambientales causadas por incendios forestales, resulta conveniente realizar una revisión del cumplimiento de los objetivos propuestos para este trabajo de grado. Inicialmente se propuso identificar las problemáticas que causan incendios forestales en la región de Sumapaz, a través de la contextualización y caracterización del entorno del páramo y del análisis actual de los programas estatales, se identificaron y caracterizaron las problemáticas causantes de incendios forestales en la zona, estas pueden verse consolidadas y resumidas a través de la Tabla 7-1.

Tabla 7-1: Problemáticas causantes de incendios en el Páramo de Sumapaz

Problemática	Descripción
Metodología inadecuada	El mecanismo utilizado por Parques Nacionales Naturales para la detección de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz es inadecuado, este presenta tiempos de respuesta muy altos que pueden comprometer varias hectáreas del ecosistema al no generar las alarmas de manera oportuna. Parques Nacionales Naturales no cuenta con un estadístico propio de incendios forestales presentados en la región, por lo que no se tienen identificados patrones de repetición o épocas del año en las cuales los incendios son más frecuentes, además, no cuenta con un sistema capaz de construir un histórico dedicado a la región de Sumapaz. La entidad deja al ineficiente sistema utilizado toda la tarea de detección de incendios, no cuenta con metodologías alternas como la

Problemática	Descripción
	básica observación tradicional a partir de torres de vigilancia, ni con mecanismos complementarios que le permitan detectar los incendios en tiempos inferiores a los dos días que tarda el impreciso sistema satelital actualmente empleado.
Condiciones de vida de los habitantes	Las condiciones de vida de los habitantes del entorno regional del Páramo de Sumapaz son preocupantes. Debido a la indisponibilidad de servicios básicos, el porcentaje de la población que hace uso de leña y carbón vegetal para cocinar y actividades cotidianas es muy alto, las malas prácticas en el manejo del fuego como brasas sin apagar, fuentes de calor abandonadas y manejo de material inflamable sin cuidado, son potenciales peligros que desencadenan fácilmente incendios forestales en la región. La contaminación del aire por humo incide de manera negativa en el proceso de condensación de agua que lleva a cabo la flora del páramo, haciendo que la vegetación en la región sea más propensa a incendios.
Actividades agroindustriales	Las actividades económicas llevadas a cabo en el entorno regional del Páramo de Sumapaz afectan su ecosistema, la contaminación del aire y agua por fábricas y plantas de producción inciden negativamente en el ciclo del agua en el páramo, las quemas que se realizan en la región para adecuar el terreno para la ganadería son potenciales causantes de incendios y afectan el balance hídrico en la zona. Las malas prácticas en el suelo y en la vegetación del páramo para las actividades económicas lo dejan vulnerable ante amenazas ambientales.
Cambio climático	Los cambios en el clima mundial debido al calentamiento global hacen que aumente la frecuencia de fenómenos como El Niño, causando un aumento en las temporadas de sequía en el Páramo de Sumapaz, haciéndolo más vulnerable a incendios forestales.

Problemática	Descripción
Desinterés gubernamental	La falta de planeación por parte del gobierno para la preservación del páramo hace que no se tomen las acciones correspondientes para protegerlo, ocasionando que las entidades con jurisdicción en él no cuenten con las herramientas necesarias para detectar y atender incendios forestales en la región. La falta de inclusión tecnológica en el sector rural dificulta el desarrollo de proyectos de TD en el Páramo de Sumapaz. El hecho de que MinTIC no tenga en su plan de tecnologías de la información programas serios que posibiliten desarrollos tecnológicos en el sector rural, hace que no se pueda contar con herramientas tecnológicas en beneficio del páramo y sus habitantes. El abandono del sector rural para dar prioridad al sector productivo y empresarial por parte del estado ocasiona que no se tengan en un futuro cercano programas de TD que ayuden a mitigar el impacto negativo de los incendios forestales en la región.

Elaboración propia

A través de la revisión literaria llevada a cabo en el capítulo 3, se identificaron las principales metodologías y estrategias de TD llevadas a cabo a nivel mundial para la detección y monitoreo de incendios forestales, exponiendo los principales tipos de modelos exitosamente implementados alrededor del mundo. Teniendo en cuenta las condiciones del Páramo de Sumapaz, considerando que en la región de estudio no se cuentan con recursos suficientes que aseguren la disponibilidad de organismos de socorro en la totalidad del área del páramo, debe minimizarse la cantidad de falsas alarmas que puedan emitirse con relación a estas afectaciones ambientales. En el capítulo 5.1 se realizó un comparativo de las principales tecnologías empleadas en los modelos implementados, luego de elegir las redes de sensores inalámbricos se seleccionó un modelo con un mecanismo de verificación a través de cámaras web presentado en (Lloret et al., 2009) que permita minimizar las falsas alarmas que puedan emitir los sensores por sí solos. Las principales ventajas del modelo escogido que hacen que sea aplicable al contexto del Páramo de Sumapaz se presentan en la Tabla 7-2.

Tabla 7-2: Ventajas del modelo tecnológico seleccionado.

Ventaja	Descripción
Costos	En comparación con sistemas basados en otra tecnología, el modelo seleccionado no es tan costoso. El hecho de estar construido sobre hardware y software libres de patentes y licencias hace que sea un modelo adecuado para el contexto del páramo. El valor de sus componentes e infraestructura posibilita implementar el modelo a pesar de la poca inversión tecnológica que se tiene en los sectores rurales de Colombia.
Escalable	Se puede llevar a cabo una instalación progresiva del modelo en la región, el hecho de ser un sistema escalable permite que no sea necesaria una instalación inicial muy grande que dificulte la materialización del proyecto. El modelo puede desplegarse inicialmente en zonas de alta importancia y ser expandido paulatinamente para que en un futuro se tenga una cobertura total de la región.
Instalación	Por su naturaleza inalámbrica, el modelo permite que su instalación pueda llevarse a cabo en cualquier entorno. Debido a que la región de estudio es un área protegida, deben evitarse infraestructuras muy complejas que generen afectaciones sobre el ecosistema, por lo cual el modelo puede ser implementado en un futuro causando el mínimo impacto negativo posible sobre el páramo.
Reducción de falsas alarmas	El contar con un mecanismo de verificación de posibles incendios que permita visualizar en tiempo real la región alarmada, es la principal ventaja del modelo seleccionado. Considerando las condiciones de los organismos de socorro y la dificultad de acceso a varias zonas del páramo, las falsas alarmas deben evitarse al máximo, con lo cual el modelo escogido es bastante completo ya que permite no solo medir distintos parámetros en la región, sino visualizar determinada zona antes de tomar acciones sobre ella.

Elaboración propia

Además de seleccionar el modelo tecnológico adecuado para el caso puntual del páramo, se evaluaron varios modelos de TD organizacional ampliamente utilizados alrededor del mundo y se presentaron características en común que permitieran dar lineamientos clave que aseguren una TD efectiva en el Páramo de Sumapaz con una futura implementación del modelo propuesto. Teniendo en cuenta el tipo de administración que tiene la región de estudio y su categoría de área protegida, se seleccionó el modelo Deloitte presentado en (Eggers & Bellman, 2015) debido a que es el único modelo diseñado para organizaciones de carácter gubernamental, con lo cual el enfoque cambia de la generación de ingresos y experiencia del cliente hacia el mejoramiento de las condiciones de la población a través de la protección del ecosistema del páramo y el involucramiento de sus habitantes con las TIC.

Luego de seleccionar el modelo de TD, se realizó el acotamiento de este al contexto puntual de la región de estudio. En el capítulo 5.1 se determinaron las características del modelo que son aplicables al Páramo de Sumapaz, para lo cual se reafirmaron varias de las propiedades propuestas por los autores, se realizaron sugerencias y adecuaciones en algunos de los elementos del modelo que podrían mejorarse teniendo en cuenta el crecimiento tecnológico que ha habido desde que se implementó el modelo original hasta la fecha de hoy, y se brindaron consideraciones tecnológicas adicionales que no son tratadas por los autores en su estudio, lineamientos que se aprovechan de puntos fuertes del modelo que no son explotados en la publicación original, estas consideraciones contribuyen significativamente en una TD que deriva en un mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del páramo, las consideraciones se presentan en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3: Consideraciones adicionales de la aplicación del modelo tecnológico

Consideración	Descripción
Incorporación	Se propone una incorporación progresiva del modelo, llevando a cabo una instalación no tan grande en sectores clave del páramo para que sea más factible una implementación del sistema en partes pequeñas. Habiendo realizado la corrección sobre el modelo original relacionada a evitar almacenar en las cámaras la ubicación de los sensores acorde a lo indicado en el capítulo 5, el sistema puede expandirse con

Consideración	Descripción
	facilidad a través de los años sin necesidad de realizar modificaciones sobre lo que se encuentre instalado en el momento.
Disponibilidad	En el modelo original, los autores se ciñen a que una central de información reciba las alarmas y las gestione dirigiéndolas después al organismo correspondiente, sin embargo, la construcción del sistema basada en Internet de las Cosas posibilita que pueda evitarse este paso intermedio que retrase la atención de una emergencia. El hecho de que la plataforma se encuentre en continua conexión con internet permite que la información referente a las alarmas esté disponible en prácticamente cualquier lugar del mundo. Se propone que las alarmas no sean enviadas únicamente a un punto de control, sino que varias organizaciones puedan en simultáneo recibir la alerta y la información relacionada al incendio a través de internet, de esta manera el cuerpo de bomberos y organismos de socorro de cada municipio de la región pueden tener acceso a las alarmas, haciendo que la atención de la emergencia ambiental se realice de manera rápida.
Valor de los datos	La variedad de datos captados por los sensores inalámbricos no debe utilizarse únicamente para la detección de incendios, se propone un portal de libre acceso en el cual se te tenga disponibilidad de consulta de los parámetros medidos por los sensores, de esta manera la información puede utilizarse para otros proyectos de índole biológica o social en la región. El hecho de que estos datos sean utilizables para otros proyectos contribuye en la TD del sector, esto al permitir que por medios digitales se tenga acceso a información que difícilmente puede obtenerse por métodos tradicionales, información que transforma la manera de observar el páramo y la manera de realizar proyectos que resulten en el mejoramiento del diario vivir de sus habitantes.

Elaboración propia

Junto con las consideraciones en materia tecnológica, se realizó una aplicación del modelo Deloitte, relacionando con el contexto del Páramo de Sumapaz cada uno de los elementos que este presenta de manera que una TD en la región sea posible. Se abordaron las consideraciones en materia de estrategia, liderazgo, desarrollo de la fuerza laboral, enfoque en la población y cultura que posibiliten una adecuada apropiación tecnológica que derive en la transformación positiva de la situación actual y un mejoramiento del contexto de la región frente a la problemática identificada.

Los lineamientos dados para poder iniciar el camino hacia la TD en un futuro cercano se acompañaron de las preguntas orientadoras que propone el modelo Deloitte, para las cuales se dieron respuesta articulando las consideraciones en torno al páramo. Estas preguntas deben servir de guía en cada uno de los momentos de implementación del modelo para que el proyecto no solo resulte en un despliegue tecnológico en la zona, sino en una TD real que contribuya en el mejoramiento y crecimiento de la calidad de vida en la región de influencia del páramo.

El sector rural colombiano ha estado alejado por décadas de implementaciones tecnológicas que contribuyan en su desempeño, se ha observado a lo largo del estudio que proyectos tecnológicos rurales mejorarían notablemente el modo de vivir de sus habitantes, particularmente el modelo propuesto en esta investigación es capaz de transformar la manera como se interactúa con el páramo, brindando la posibilidad de salvar un valioso recurso no solo biológico sino cultural. El estudio demuestra que es posible llevar a cabo proyectos tecnológicos en los campos colombianos que resulten en la solución de problemáticas y el mejoramiento de la vida en la región. A través de una futura implementación del modelo aplicado al Páramo de Sumapaz, se puede generar una apropiación tecnológica que transforme las condiciones de vida en la zona y cierre la brecha que se tiene con el sector urbano.

Luego de la aplicación del modelo de TD al contexto de la región de Sumapaz, a partir de una metodología de investigación mixta en varias etapas, puede verse que se cumplieron los objetivos propuestos con el desarrollo de este estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

La principal conclusión del trabajo de grado es que sí es posible aplicar un modelo de TD orientado a la atención emergencias ambientales causadas por incendios forestales en el Páramo de Sumapaz. Es posible articular un modelo exitosamente implementado en otra parte del mundo al contexto de la zona de estudio de manera que esto resulte en el mejoramiento del estado actual en referencia a la detección y atención de incendios forestales, derivando en una TD para la región y sus habitantes.

El Páramo de Sumapaz en su calidad de área protegida, constituye un patrimonio de suma importancia para todos los colombianos, como fábrica de agua y fuente de vida es pieza fundamental en el sistema hídrico del país. Compone una parte fundamental de la cultura de sus habitantes y debe ser protegido y preservado para que las generaciones venideras puedan seguir nutriéndose de él. Se trata de un ecosistema frágil que debe ser tratado con precaución tal, al ser un hábitat único en el planeta las afectaciones por incendios forestales en él generan un impacto considerablemente mayor que en otros lugares del país y del mundo. A pesar de esto, son pocas las acciones que se llevan a cabo por las entidades competentes para proteger este ecosistema de los incendios forestales. Un insuficiente mecanismo para la detección de estas catástrofes, sumado a los pobres planes gubernamentales y la falta de proyectos de articulación tecnológica en pro de mitigar el impacto de los incendios y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, resultan en un abandono de la región, dejando susceptible y vulnerable al páramo ante esta problemática ambiental.

A partir de una rigurosa revisión literaria, se encontró un modelo de TD capaz de satisfacer las necesidades ambientales del páramo. Construido sobre una base tecnológica viable, permite anular las debilidades de la región relacionadas a la detección de incendios forestales y la atención de emergencias ambientales causadas por ellos.

La implementación del modelo de TD propuesto en la región de Sumapaz es factible. A partir del proceso de determinación de las características del modelo original que son aplicables en el páramo, junto con las consideraciones a tener en cuenta para asegurar una TD en la región, se pudo aplicar un modelo de TD capaz de mejorar las condiciones actuales en referencia a incendios forestales y capaz de contribuir en el mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes. Puede llevarse a cabo una exitosa implementación progresiva en el futuro a partir de los lineamientos dados en la aplicación del modelo realizada en este estudio.

El estudio llevado a cabo en esta investigación es pionero en el campo de la TD en la región de Sumapaz. Las recomendaciones y lineamientos dados contribuyen a otras áreas de estudio, esta investigación motiva y posibilita el desarrollo de otros proyectos de TD en la zona que deriven en un mejoramiento radical de las condiciones de vida de sus habitantes.

8.2 Recomendaciones y trabajo futuro

A partir del estudio realizado se sientan las bases para que en trabajos futuros pueda llevarse a cabo una implementación satisfactoria del modelo de TD aplicado a la región de Sumapaz. Para ello es requerido en primera instancia un alineamiento con las políticas gubernamentales que asegure una instalación adecuada del modelo, por lo cual se recomienda realizar un acompañamiento con MinTIC en la nueva administración que llega a partir de 2022 para que sus planes de cierre de brechas digitales y TD posibiliten la asignación de recursos para la implementación exitosa del modelo propuesto.

El modelo de TD es completamente escalable, por lo cual se recomienda llevar a cabo una implementación progresiva del mismo que posibilite que este vaya creciendo con el tiempo. A partir de la implementación inicial en zonas críticas del páramo es más probable contar con los recursos necesarios para la instalación, de manera que con el paso del tiempo pueda asegurarse una cobertura total de la zona.

Se sugiere involucrar a otras áreas del conocimiento en una futura implementación del modelo, de forma que esta interdisciplinariedad contribuya en que los datos suministrados por el sistema propuesto sean de utilidad para una mayor cantidad de estudios en la región,

asegurando así una TD integral en el sector. Además, se recomienda contar con el apoyo de los actores sociales en la región para que, a través de su experiencia y conocimiento principal del páramo, se consolide un plan de ejecución de la implementación que resulte en beneficios para la mayor parte de la población.

Un punto fuerte y poco aprovechado en la implementación original del modelo tecnológico es el aprovechamiento de los datos colectados por los sensores, los autores se limitan a utilizarlos para disparar alarmas de posibles incendios, pero estos presentan un valor mayor ya que pueden utilizarse con otros objetivos. En una implementación del modelo, habiendo considerado las recomendaciones ya dadas, se sugiere realizar una implementación paralela de métodos de análisis de datos que permitan construir un perfil de la zona. De esta manera conforme el sistema se alimenta de datos, permitirá predecir futuros eventos causantes de incendios antes de que ocurran, posibilitando la elaboración de planes de prevención y acción que eviten la presencia de incendios en la zona.

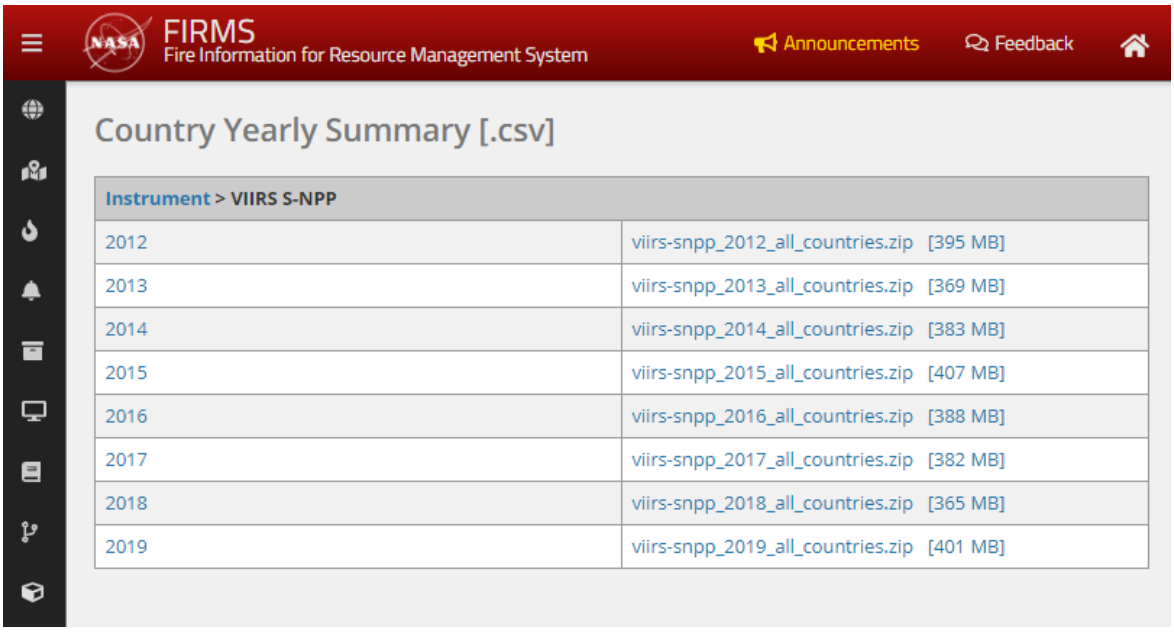
Finalmente, se recomienda evaluar otras regiones de Colombia para implementar modelos de TD como el propuesto. Considerando que el país tiene la mayor cantidad de páramos del mundo, se sugiere además de llevar a cabo una futura implementación del modelo en el Páramo de Sumapaz, incluir otras zonas ricas en este tipo de ecosistemas para salvaguardar y proteger la totalidad de estos hábitats emblemáticos del territorio colombiano.

A. Anexo: Estadístico de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz

Al no haber un histórico consolidado de incendios forestales en el Páramo de Sumapaz y recibirse como respuesta por parte de Parques Nacionales Naturales que no se lleva un registro de estos de manera propia, se ha consultado el sistema FIRMS del cual hace uso la entidad para la detección de incendios.

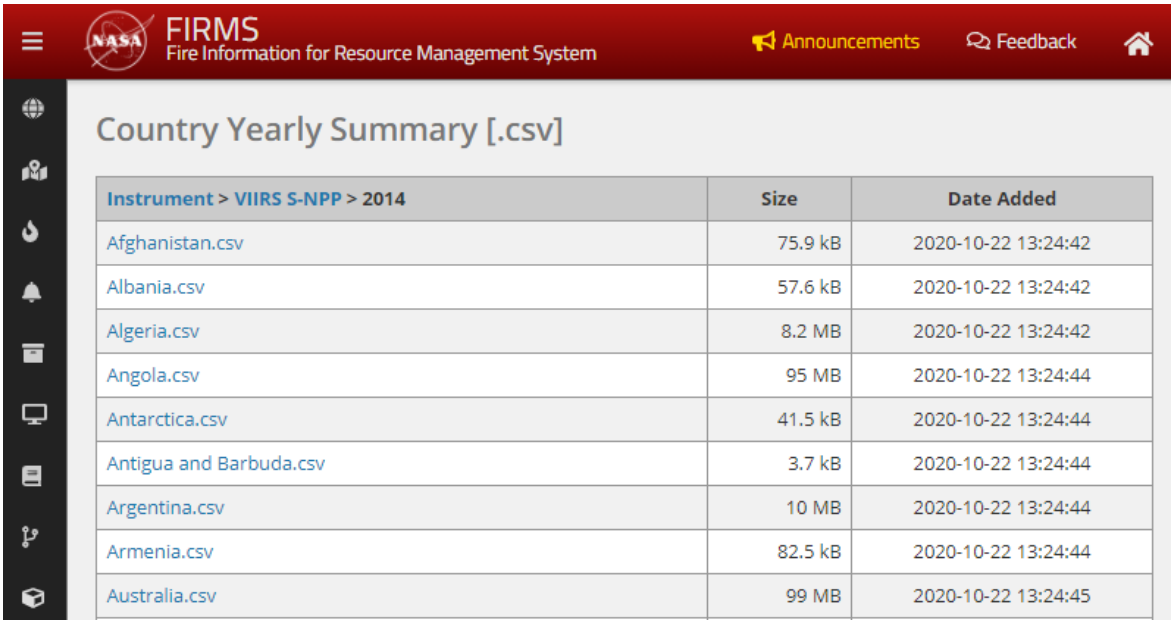
En la sección de archivos del portal web de FIRMS se puede descargar el consolidado de puntos de calor detectados por año a nivel mundial y por país. En la Figura 8-1 se puede ver que el sistema tiene disponible información entre los años 2012 y 2019, mientras que en la Figura 8-2 puede verse la posibilidad de descargar el consolidado de puntos de calor identificados por país para un año puntual.

Figura 8-1: Archivo de puntos de calor totales detectados por el sistema FIRMS



Elaboración propia

Figura 8-2: Archivo puntos de calor por país año 2014 sistema FIRMS



Instrument > VIIRS S-NPP > 2014	Size	Date Added
Afghanistan.csv	75.9 kB	2020-10-22 13:24:42
Albania.csv	57.6 kB	2020-10-22 13:24:42
Algeria.csv	8.2 MB	2020-10-22 13:24:42
Angola.csv	95 MB	2020-10-22 13:24:44
Antarctica.csv	41.5 kB	2020-10-22 13:24:44
Antigua and Barbuda.csv	3.7 kB	2020-10-22 13:24:44
Argentina.csv	10 MB	2020-10-22 13:24:44
Armenia.csv	82.5 kB	2020-10-22 13:24:44
Australia.csv	99 MB	2020-10-22 13:24:45

Elaboración propia

Se descargó el correspondiente archivo de valores separados por coma (.CSV) para Colombia para cada uno de los años disponibles, esto es 2012 al 2019. Estos archivos se consolidaron en una única hoja de cálculo como se muestra en la Figura 8-3.

Figura 8-3: Total de puntos de calor en Colombia detectados por FIRMS.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	latitude	longitude	bright_ti4	scan	track	acq_date	acq_time	satellite	instrument	confidence	version	bright_ti5	frp	daynight	type
2	11,13881	-72,55018	299,81	0,5	0,66	2014-01-01	0540	N	VIIRS	n	1	289,77	1,65	N	2
3	10,96932	-72,74162	306,7	0,51	0,66	2014-01-01	0540	N	VIIRS	n	1	292,24	3,46	N	2
4	9,630548	-73,55426	305,45	0,55	0,68	2014-01-01	0540	N	VIIRS	n	1	291,21	1,74	N	0
5	9,632256	-73,55382	307,77	0,55	0,68	2014-01-01	0540	N	VIIRS	n	1	291,21	1,47	N	0
6	5,464381	-68,05251	305,08	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	287,03	0,86	N	0
7	6,958094	-71,08643	308,23	0,35	0,56	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	292,29	1,55	N	2
8	5,481787	-68,10376	320,13	0,42	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	290,72	5,4	N	0
9	5,488376	-68,09875	315,38	0,42	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	290,47	2,11	N	0
10	5,436523	-68,06438	308,28	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	287,33	0,63	N	0
11	5,471927	-68,07433	307,04	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	290,05	1,46	N	0
12	5,468519	-68,05188	304,72	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	278,52	0,77	N	0
13	5,52029	-68,04794	305,13	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	285,38	1,43	N	0
14	5,52388	-68,04358	303,15	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	284,51	2,02	N	0
15	5,472495	-68,07808	312,35	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	288,23	1,46	N	0
16	5,452525	-68,05812	309,19	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	288,3	1,25	N	0
17	7,105189	-73,55335	315,02	0,51	0,66	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	286,78	1,55	N	2
18	5,484223	-68,09937	323,4	0,42	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	289,85	2,11	N	0
19	5,43294	-68,06876	305,52	0,41	0,45	2014-01-01	0541	N	VIIRS	n	1	288,18	1,66	N	0

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 ...

Elaboración propia

Según las coordenadas del Parque Nacional Natural Sumapaz indicadas en la Tabla 4-1, se realizó la correspondiente conversión de coordenadas de grados, minutos y segundos a grados decimales (GD), las cuales pueden verse en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Coordenadas geográficas Parque Nacional Natural Sumapaz (GD)

Límite	Latitud	Longitud
Norte	-4,28988°	74,20752°
Este	-3,770634°	73,901236°
Sur	-3,585532°	74,052207°
Oeste	-3,741566°	74,493265°

Elaboración propia.

En seguida se filtraron los puntos de calor totales para Colombia acotando las coordenadas geográficas del Parque Nacional Natural Sumapaz, con lo cual se pudo construir una tabla dinámica que permitiera representar gráficamente la cantidad de puntos de calor detectados por FIRMS para la región acotada. La Tabla 8-2 presenta la cantidad de puntos de calor identificados por mes y año en el Páramo de Sumapaz por el sistema FIRMS.

Tabla 8-2: Puntos de calor por año detectados por FIRMS en el Páramo de Sumapaz

Mes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	0	13	7	3	29	0	2	3
Febrero	6	0	32	4	17	6	2	4
Marzo	0	1	5	1	5	0	5	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	1	0	0	0	0	0

Mes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Junio	0	0	0	0	0	1	0	0
Julio	1	0	1	0	0	0	0	0
Agosto	0	1	2	0	0	0	0	2
Septiembre	4	6	5	9	2	1	0	0
Octubre	0	0	0	2	0	0	0	0
Noviembre	7	1	0	2	0	0	0	0
Diciembre	7	1	1	6	0	2	0	3
Total	**25**	**23**	**54**	**27**	**53**	**10**	**9**	**14**

Elaboración propia

A partir del estadístico obtenido, se pudieron generar los resultados gráficos presentados en la sección 4.2.

Bibliografía

Aiello, G., Giovino, I., Vallone, M., Catania, P., & Argento, A. (2018). A decision support system based on multisensor data fusion for sustainable greenhouse management. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 4057–4065. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.197

Al-Karaki, J. N., & Kamal, A. E. (2004). Routing techniques in wireless sensor networks: A survey. *IEEE Wireless Communications*, *11*(6), 6–27. https://doi.org/10.1109/MWC.2004.1368893

Alkhatib, A. A. A. (2014, March 4). A review on forest fire detection techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 2014. https://doi.org/10.1155/2014/597368

Álvarez Albanés, E. Y., González Gordon, R. A., Sánchez Torres, J. D., & Castañeda Sánchez, D. A. (2019). Characterization, performance and level of technology adoption of the plantain agro-systems in Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin*, *72*(2), 8819–8828. https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n2.69897

Angelidou, M. (2015). Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, *47*, 95–106. https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.004

Aslan, Y. E., Korpeoglu, I., & Ulusoy, özgür. (2012). A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring. *Computers, Environment and Urban Systems*, *36*(6), 614–625. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.03.002

Banco Mundial. (2018). Población rural (% de la población total) | Data. Retrieved October 12, 2019, from https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS

Calderón, M., López, G., & Marín, G. (2017). Smart cities in Latin America: Realities and technical readiness. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *10586 LNCS*, 15–26. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67585-5_2

Cedillo-Elias, J., Orizaga-Trejo, A. J., Larios, V. M., & Maciel Arellano, L. A. (2019). Smart Government infrastructure based in SDN Networks: The case of Guadalajara Metropolitan Area. *2018 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2018*. https://doi.org/10.1109/ISC2.2018.8656801

CEERCCO. (2015). Estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales complejo de Páramos Cruz Verde – Sumapaz. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Retrieved from http://hdl.handle.net/20.500.11761/9480

Cleef, A. M. (1977). Secuencia altitudinal de la vegetación de los páramos de la cordillera Oriental de Colombia. *Simposio Internacional de EcologíaTropical. Panamá*.

DANE. (2020). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Retrieved December 12, 2020, from https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

Danita, M., Mathew, B., Shereen, N., Sharon, N., & Paul, J. J. (2019). IoT Based Automated Greenhouse Monitoring System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2018*, 1933–1937. https://doi.org/10.1109/ICCONS.2018.8662911

Dogra, R., Rani, S., & Sharma, B. (2020). A Review to Forest Fires and Its Detection Techniques Using Wireless Sensor Network. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, *668*, 1339–1350. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5341-7_101

Doolin, D. M., & Sitar, N. (2005). Wireless sensors for wildfire monitoring. *Smart Structures and Materials 2005: Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*, *5765*, 477. https://doi.org/10.1117/12.605655

Doyle, L., Oliver, L., & Whitworth, C. (2019). Design of a Climate Smart Farming System in East Africa. *GHTC 2018 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings*. https://doi.org/10.1109/GHTC.2018.8601553

Dubey, V., Kumar, P., & Chauhan, N. (2019). Forest Fire Detection System Using IoT and Artificial Neural Network. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 55, pp. 323–337). https://doi.org/10.1007/978-981-13-2324-9_33

Eggers, W., & Bellman, J. (2015). The journey to government's digital transformation. *Deloitte University Press*. Retrieved from https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/digital-transformation-in-government/DUP_1081_Journey-to-govt-digital-future_MASTER.pdf

Eidenshink, J. C., & Faundeen, J. L. (1994). The 1 km AVHRR global land data set: First

stages in implementation. *International Journal of Remote Sensing*, *15*(17), 3443–3462. https://doi.org/10.1080/01431169408954339

EUFOFINET Project. (2011). Detection, Synthesis of Good Practices. *Zvolen National Forest Centre*, 22.

EYEfi. (2019). EYEfi SPARC. Retrieved from https://www.eyefi.com.au/spatialcloud

Ferrández-Pastor, F. J., García-Chamizo, J. M., Nieto Hidalgo, M., & Mora-Martínez, J. (2017). User-centered design of agriculture automation systems using internet of things paradigm. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *10586 LNCS*, 56–66. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67585-5_7

Franco, P., & Betancur, J. (1999). La flora del Alto Sumapaz (cordillera Oriental, Colombia). *Revista de La Academia Colombia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *23*, 53–78.

Gallego, J. M., Gutierrez, L. H., & Lee, S. H. (2015). A firm-level analysis of ICT adoption in an emerging economy: evidence from the Colombian manufacturing industries. *Industrial and Corporate Change*, *24*(1), 191–221. https://doi.org/10.1093/icc/dtu009

Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Rama Krishna, C. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, *155*, 41–49. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040

Gobierno de Colombia. (2018). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad*. Retrieved from https://id.presidencia.gov.co/especiales/190523-PlanNacionalDesarrollo/documentos/BasesPND2018-2022.pdf

Guillemant, P., & Vicente, J. (2001). Real-time identification of smoke images by clustering motions on a fractal curve with a temporal embedding method. *Optical Engineering*, *40*(4), 554. https://doi.org/10.1117/1.1355254

Hartung, C., Han, R., Seielstad, C., & Holbrook, S. (2006). FireWxNet: A Multi-Tiered Portable Wireless System for Monitoring Weather Conditions in Wildland Fire Environments. *Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services - MobiSys*, 28–41. https://doi.org/10.1145/1134680.1134685

Hough, G. (2007). Vision Systems for Wide Area Surveillance: ForestWatch – a long

range outdoor wildfire detection system. *Wildfire*.

IDOM. (2018). Modelo de Madurez para la Transformación Digital. *MinTIC - Subdirección de Comercio Electrónico - INNpulsa Colombia - Desarrollo Empresarial*. Retrieved from https://www.centrosdetransformaciondigital.gov.co/695/articles-78552_archivo_pdf.pdf

IQ FireWatch. (2020). IQ FireWatch - The game changer for modern wildfire management. Retrieved from https://www.iq-firewatch.com/

Jaller, S. (2010). Análisis de los sistemas de producción agrícola de las provincias de Soacha y Sumapaz. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación FAO*. Retrieved from https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12833612506700/re_analisis_sistemas_prod_cmarca.pdf

Kallipoliti, L. (2014). Cloud Colonies: Electronic Urbanism and Takes Zenetos' City of the Future in the 1960s. *Globalyzing Architecture / Flows and Disruptions*, 1678–1685.

Kodandaramaiah, G. (2015). Cloud IoT Based Greenhouse Monitoring System. In *Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com* (Vol. 5).

Koga, T., Toyoda, K., & Sasase, I. (2014). Priority based routing for forest fire monitoring in wireless sensor network. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, *3*, 90–97.

Komninos, N. (2015). *The age of intelligent cities : smart environments and innovation-for-all strategies*.

Kudoh, J. I., & Hosoi, K. (2003). Two Dimensional Forest Fire Detection Method by Using NOAA AVHRR Images. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, *4*, 2494–2495. https://doi.org/10.1109/igarss.2003.1294486

Liu, Y., Han, W., Zhang, Y., Li, L., Wang, J., & Zheng, L. (2016). An Internet-of-Things solution for food safety and quality control: A pilot project in China. *Journal of Industrial Information Integration*, *3*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.jii.2016.06.001

Lloret, J., Garcia, M., Bri, D., & Sendra, S. (2009). A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification. *Sensors*, *9*(11), 8722–8747. https://doi.org/10.3390/s91108722

Lopes, N. V. (2017). Smart governance: A key factor for smart cities implementation. *2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities, ICSGSC 2017*, 277–282. https://doi.org/10.1109/ICSGSC.2017.8038591

Maestre-Gongora, G. P., & Bernal, W. N. (2019). Conceptual model of information

technology management for smart cities: Smarticity. *Journal of Global Information Management*, *27*(2), 159–175. https://doi.org/10.4018/JGIM.2019040109

Marchetti, D., Oliveira, R., & Figueira, A. R. (2019). Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context. *Cities*, *92*, 197–207. https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.001

Martín, J. M., Suero, C., Suso, A., & Torres, J. (2019). Sociedad Digital en España 2018. Retrieved from https://www.fundaciontelefonica.com/arte_cultura/publicaciones-listado/pagina-item-publicaciones/itempubli/655/

Matthews, S., Sullivan, A., Gould, J., Hurley, R., Ellis, P., & Larmour, J. (2010). Evaluation of three fire detection systems. *Bushfire Cooperative Research Centre*, 82. Retrieved from https://www.bushfirecrc.com/sites/default/files/news/fire-detection-public-report.pdf

Matthews, S., Sullivan, A., Gould, J., Hurley, R., Ellis, P., & Larmour, J. (2012). Field evaluation of two image-based wildland fire detection systems. *Fire Safety Journal*, *47*, 54–61. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2011.11.001

Merline, M. A., & Vimalathithan, R. (2017). Smart city: Issues and research challenges in implementation. *2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities, ICSGSC 2017*, 263–266. https://doi.org/10.1109/ICSGSC.2017.8038588

MinTIC. (2018). *Plan TIC 2018-2022: El Futuro Digital es de Todos*. Retrieved from https://micrositios.mintic.gov.co/plan_tic_2018_2022/pdf/plan_tic_2018_2022_20200107.pdf

MinTIC. (2019). Manual de Gobierno Digital. *Implementación de La Política de Gobierno Digital*. Retrieved from https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-81473_recurso_1.pdf

MinTIC. (2021). Plan TIC 2018-2022. Retrieved from https://micrositios.mintic.gov.co/plan_tic_2018_2022/

Mochi, P. (2009). Los cluster tecnológicos en México y Argentina: una estrategia para el desarrollo local. *Territorios*, (20–21), 31–51. Retrieved from https://revistas.urosario.edu.co/index.php/territorios/article/view/815

Morales, M., Otero, J., van der Hammen, T., Torres, A., Cadena, C., Pedraza, C., … Cárdenas, L. (2007). *Atlas de Páramos de Colombia*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Muñoz, Y. A., Carrillo, E., Serrano, G., Carrillo, L. J., & Guerrero, J. E. (2017).

Methodology for smart energy performance in rural zones of Colombia. *2017 Smart Cities Symposium Prague, SCSP 2017 - IEEE Proceedings*. https://doi.org/10.1109/SCSP.2017.7973871

Nagaraju, M., & Chawla, P. (2019). IoT Implementation and Management for Smart Farming. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *8*(10), 2483–2491. https://doi.org/10.35940/ijitee.j9545.0881019

Nakau, K., Fukuda, M., Kushida, K., Hayasaka, H., Kimura, K., & Tani, H. (2006). *Forest Fire Detection Based on MODIS Satellite Imagery, and Comparison of NOAA Satellite Imagery with Fire Fighters Information*. Retrieved from https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.512.1753&rep=rep1&type=pdf

Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *ACM International Conference Proceeding Series*, 282–291. https://doi.org/10.1145/2037556.2037602

Nasi, R., Dennis, R., Meijaard, G., Applegate, G., & Moore, P. (2002). Forest fire and biological diversity. *Unasylva*, *53*, 36–40.

Ochoa, N. E., Díaz, C. O., Davila, M., Herrera, M., Acosta, O., Rios Suarez, J. A., … López García, A. C. (2019). Towards the Design and Implementation of a Smart City in Bogota, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. https://doi.org/10.17533/udea.redin.20190407

Parada, J. (2017). Innovaciones Sociales para Territorios “Inteligentes”: ¿Ficción o Realidad? *Problemas Del Desarrollo*, *48*(190), 11–35. https://doi.org/10.1016/j.rpd.2017.06.002

Parra, D. T., Angulo, L., Sandoval, J., & Guerrero, C. D. (2019, July 16). *Digital Transformation in Colombia: An Exploratory Study on ICT Adoption in Organizations*. 1–6. https://doi.org/10.23919/cisti.2019.8760608

Raj, J. R., & Sasipraba, T. (2019). An integrated model of iot and cloud for detecting green house gas emissions. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *8*(10), 3893–3896. https://doi.org/10.35940/ijitee.J9903.0881019

Salcedo, O., Pedraza, L. F., & Hernández, C. A. (2007). Modelo de Semaforización Inteligente para la Ciudad de Bogotá. *Revista Científica y Tecnológica Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, *11*(2), 61–69.

Saville, R., Hatanaka, K., & Wada, M. (2016). ICT application of real-time monitoring and estimation system for set-net fishery. *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington*. https://doi.org/10.23919/oceans.2015.7404524

Sha, K., Shi, W., & Watkins, O. (2006). Using wireless sensor networks for fire rescue applications: Requirements and challenges. *2006 IEEE International Conference on Electro Information Technology*, 239–244. https://doi.org/10.1109/EIT.2006.252145

Solis, B., & Szimanski, J. (2016). Six Stages of Digital Transformation. *Altimeter*, 55. Retrieved from https://www.prophet.com/2016/04/the-six-stages-of-digital-transformation/

Son, B., Her, Y.-S., & Kim, J. (2006). A Design and Implementation of Forest-Fires Surveillance System based on Wireless Sensor Networks for South Korea Mountains. *IJCSNS*.

Soo Chin, L. (2001). Satellite detection of forest fires and burn scars. *Proceedings on the Workshop on Minimizing the Impact of Forest Fire on Biodiversity in ASEAN*, 34–46.

Subhakala, S., Muthulakshmi, S., Geetha, A., Dhanya, K., & Meenakshi Sundara Nath, T. M. (2017). Design of smart village using internet of things and cloud computing. *Pakistan Journal of Biotechnology*, *14*(3), 511–513.

Universidad Externado de Colombia. (2015). Caracterización Socioeconómica y Cultural del Complejo de Páramos Cruz Verde-Sumapaz en Jurisdicción de la CAM, CAR, Cormacarena, SDA y Corporinoquia. *Convenio Especial de Cooperación No. 14-13-014-090CE Entre El Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos "Alexander Von Humboldt" y La Fundación Universidad Externado de Colombia*.

Vega, J., Britton, E., De la Puente, P., & Negrette, I. (2018). *Territorio Inteligente, un enfoque para el desarrollo regional en Colombia: El caso Caribe y Santanderes* (1st ed.). Retrieved from http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/7887/9789587418736 eTerritorio inteligente.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Verma, S., Sood, N., & Sharma, A. K. (2019). Genetic Algorithm-based Optimized Cluster Head selection for single and multiple data sinks in Heterogeneous Wireless Sensor Network. *Applied Soft Computing Journal*, *85*, 105788. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105788

Viteri, J. P., Henao, F., Cherni, J., & Dyner, I. (2019). Optimizing the insertion of renewable energy in the off-grid regions of Colombia. *Journal of Cleaner Production*,

235, 535–548. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.327

Westerman, G., Calmejane, C., Bonnet, D., Ferraris, P., & McAfee, A. (2011). Digital Transformation: A Roadmap for Billion-dollar Organizations. *MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting*.

Zamora-Izquierdo, M. A., Santa, J., Martínez, J. A., Martínez, V., & Skarmeta, A. F. (2019). Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing. *Biosystems Engineering*, *177*, 4–17. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.014

Zhang, S., Wang, M., Shi, W., & Zheng, W. (2018). Construction of intelligent water saving irrigation control system based on water balance. *IFAC-PapersOnLine*, *51*(17), 466–471. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.168