

UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Desarrollo de un modelo de transformación digital de datos geográficos a través de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs).**

**Caso de uso: Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC)**

**Yuri Lorena Becerra Martínez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Bogotá D.C., Colombia  
2023



**Desarrollo de un modelo de transformación  
digital de datos geográficos a través de  
Tecnologías de la Información y las  
Comunicaciones (TICs)**

**Caso de uso: Grupo de Cartografía e  
Investigación Geológica y Geomorfológica del  
Servicio Geológico Colombiano (SGC)**

**Yuri Lorena Becerra Martínez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Geomática**

Directora:

PhD. Libia Denise Cangrejo Aljure

Codirector:

Msc. Néstor Eliécer Manosalva Barrera

Línea de Investigación:

Tecnologías Geoespaciales

Grupo de Investigación:

ANGeoSC

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá D.C., Colombia

2023



*A mi hermosa madre, quien ha sido la fuente de inspiración y apoyo durante el desarrollo de mi vida, sin importar las adversidades.*

*A mi ángel en el cielo, quien me dio la fortaleza para continuar y a quien siempre llevaré en mi mente y corazón.*

*A mi padre, que, aunque lejos, lo reflejo en cada respirar.*

*A mis sobrinos y hermanos, quienes son la luz de mis ojos y motivo de orgullo e inspiración en mi vida.*

*Al dueño de mi corazón, quien siempre me alentó y apoyó en este proceso.*



## **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.



Yuri Lorena Becerra Martínez

Fecha 03/02/2023

## **Agradecimientos**

A mi directora, a quien admiro inmensamente, Doctora Libia Denise Cangrejo Aljure, por haberme acogido en su grupo de investigación ANGeoSC, por sus enseñanzas a nivel personal, familiar y profesional, por no dejarme renunciar y convencerme de que con constancia y disciplina todo es posible.

A mi codirector, Ingeniero Néstor Manosalva, quien me enseñó el verdadero significado de la amistad, a quien quiero y respeto con todo mi ser y quien me acompañó hasta el final con sus valiosos aportes académicos y profesionales.

Al Grupo de Cartografía Geológica y Geomorfológica del SGC, por haberme permitido construir mi proyecto de investigación, basado en las experiencias discutidas a diario.

A la Universidad Nacional por brindarme la oportunidad de pertenecer a su comunidad, fortalecer mi conocimiento y conocer hermosos lugares y personas maravillosas.

## Resumen

**Desarrollo de un modelo de transformación digital de datos geográficos a través de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs).**

**Caso de uso: Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC)**

Actualmente, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) están inmersas en un amplio contexto tecnológico, social y económico que ha potenciado su uso en procesos de investigación y en el desarrollo de proyectos de transformación digital. Es esencial, por tanto, para las organizaciones mejorar los métodos, flujos de trabajo, gestionar los datos y automatizar procesos a través de la implementación de soluciones basadas en tecnologías digitales. Por otra parte, hay un uso creciente en las organizaciones de datos geográficos en sus procesos misionales, y se evidencia una carencia de lineamientos e instrumentos que orienten la intervención para este tipo de datos, en materia de transformación digital.

Dando respuesta a esta carencia, la contribución de esta investigación es el desarrollo de un modelo de transformación digital para datos geográficos a través de TICs. El caso de estudio fue el Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del SGC. El modelo, que se ha denominado Geo-TD, se basa en la caracterización y priorización de los procesos mediante el cálculo del nivel de madurez digital en 4 dimensiones: personas y cultura digital, datos digitales y analítica, procesos digitales y tecnología. Asimismo, abarca el metamodelo de arquitectura que conduce la definición de componentes tecnológicos para el diseño y construcción de la plataforma tecnológica de validación. Geo-TD centraliza los datos geográficos en un sistema, evita la duplicidad de registros, hace mejor uso de los recursos de almacenamiento, elimina el uso de archivos locales y permite consultar trabajos históricos sin redundar en esfuerzos y recursos. Geo-TD es además un modelo replicable que puede adaptarse a cualquier escenario que maneje datos geográficos.

**Palabras clave:** Datos geográficos, Transformación Digital, TICs, SIG, Arquitectura de solución, Arquitectura de referencia, Madurez digital, Plataforma tecnológica.

## Abstract

**Development of a Digital Transformation Model for Geographic Data through Information and Communication Technologies (ICTs).**

**Case study: Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica of the Servicio Geológico Colombiano (SGC)**

Currently, Information and Communications Technologies (ICTs) are immersed in a broad technological, social, and economic context that has enhanced their use in research processes and in the development of digital transformation projects. It is therefore essential for organizations to improve methods, workflows, manage data, and automate processes through the implementation of digital technology-based solutions. On the other hand, there is a growing use of geographic data in mission processes in organizations, and there is a lack of guidelines and tools to guide intervention for this type of data in the field of digital transformation.

In response to this lack, the contribution of this research is the development of a digital transformation model for geographic data through ICTs. The case study was the Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica of the SGC. The model, which has been called Geo-TD, is based on the characterization and prioritization of processes through the calculation of the level of digital maturity in 4 dimensions: people and digital culture, digital data and analytics, digital processes, and technology. It also covers the metamodel of architecture that leads to the definition of technological components for the design and construction of the validation technology platform. Geo-TD centralizes geographic data in a system, avoids duplication of records, makes better use of storage resources, eliminates the use of local files, and allows historical work to be consulted without duplicating effort and resources. Geo-TD is also a replicable model that can be adapted to any scenario that handles geographic data.

**Keywords:** **Geographic data, Digital Transformation, ICTs, GIS, Solution Architecture, Reference Architecture, Digital Maturity, Technology Platform.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>X</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de abreviaturas.....</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>19</b>
1.1 Contexto general .....	19
1.2 Antecedentes .....	20
1.3 Formulación del problema .....	22
1.4 Aproximación conceptual y metodológica.....	27
1.5 Objetivos .....	30
1.5.1 Objetivo general.....	30
1.5.2 Objetivos específicos.....	30
1.6 Pregunta de investigación .....	31
1.7 Justificación.....	31
<b>2. Revisión Sistemática de Literatura (SLR).....</b>	<b>32</b>
2.1 Etapa 1: Planificación de la SLR .....	32
2.2 Etapa 2: Conducción y depuración de la información de la SLR.....	37
2.3 Etapa 3: Análisis de la información de la SLR .....	38
2.4 Etapa 4: Reporte de los resultados de la SLR .....	42
<b>3. Marco teórico.....</b>	<b>71</b>
3.1 Ciencia de datos geográficos .....	71
3.2 Datos geográficos .....	71
3.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	72
3.4 Enfoque digital en los datos geográficos .....	72
3.5 Transformación Digital (TD) .....	73
3.5.1 Delimitación .....	73
3.5.2 La digitalización no es transformación digital (TD) .....	75
3.5.3 Impactos de la transformación digital (TD) .....	77
3.5.4 Transformación digital – madurez y modelos de madurez .....	78
3.5.5 Dimensiones de la Transformación Digital .....	80
3.5.6 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) .....	82
3.5.6.1 Relevancia de las TICs en el paradigma de Industria 4.0.....	82
3.5.6.2 Índice de Brecha Digital en Colombia.....	86

<b>4. Modelo de transformación digital de datos geográficos Geo-TD.....</b>	<b>88</b>
4.1 Caracterización del proceso.....	89
4.2 Plataforma tecnológica.....	96
4.2.1 Análisis y especificación de requerimientos.....	96
4.2.1.1 Necesidades de los usuarios .....	96
4.2.1.2 Restricciones de los ecosistemas tecnológicos existentes.....	96
4.2.2 Planeación .....	96
4.2.3 Diseño.....	97
4.2.4 Desarrollo.....	98
4.2.5 Despliegue .....	98
4.2.6 Validación.....	99
4.3 Puesta en marcha del Modelo de Transformación Digital de datos geográficos	99
<b>5. Validación de Geo-TD.....</b>	<b>100</b>
5.1 Caso de estudio .....	100
5.2 Caracterización del proceso.....	101
5.2.1 Datos.....	110
5.2.2 Resultado preliminar del diagnóstico de los procesos priorizados .....	112
5.3 Plataforma tecnológica.....	112
5.3.1 Levantamiento de requerimientos.....	113
5.3.1.1 Requerimientos funcionales.....	114
5.3.1.2 Requerimientos no funcionales.....	118
5.3.2 Modelo de datos institucional .....	118
5.3.3 Arquitectura.....	119
5.3.3.1 Arquitectura de referencia.....	120
5.3.3.2 Arquitectura de solución .....	123
5.3.4 Implementación de Plataforma tecnológica .....	126
5.3.5 Metodología .....	127
5.3.6 Resultados de la validación de Geo-TD.....	134
<b>6. Resultados y Conclusiones .....</b>	<b>144</b>
6.1 Resultados de la investigación.....	144
6.1.1 Objetivos .....	144
6.1.2 Pregunta de investigación .....	146
6.2 Conclusiones .....	147
6.3 Trabajo futuro .....	148
<b>Anexo A: Formulario de preguntas para calcular el Nivel de Madurez Digital .....</b>	<b>149</b>
<b>Anexo B: Preguntas de enfoque .....</b>	<b>151</b>
<b>Anexo C: Libreta de campo digital .....</b>	<b>154</b>
<b>Anexo D: Modelo de datos libro índice y GDB, estándar vigente SGC .....</b>	<b>156</b>
<b>Anexo E: Interfaces de Plataforma Tecnológica.....</b>	<b>162</b>
<b>Anexo F: Formulario para establecer línea base .....</b>	<b>165</b>
<b>Anexo G: Formulario de medición de resultados de Geo-TD .....</b>	<b>167</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>169</b>

## Listas de figuras

	Pág.
<b>Figura 1:</b> Resultado del nivel de madurez de manejo de datos para el SGC .....	26
<b>Figura 2:</b> Documentos publicados por área o campo de estudio.....	39
<b>Figura 3:</b> Documentos publicados por año.....	40
<b>Figura 4:</b> Red de Coautoría en la revisión de literatura.....	41
<b>Figura 5:</b> Nube de coocurrencia de palabras en la revisión de literatura.....	42
<b>Figura 6:</b> Desarrollo en modelos de transformación digital (DTM) .....	48
<b>Figura 7:</b> Descripción general de los modelos de gestión del cambio .....	50
<b>Figura 8:</b> Modelo de cambio de 8 pasos de Kotter.....	51
<b>Figura 9:</b> Proceso de gestión de cambios de tres fases de Prosci .....	53
<b>Figura 10:</b> Constructo para el diseño del marco de referencia de TD .....	63
<b>Figura 11:</b> Prioridad estratégica de TICs en la adopción de Modelos de TD.....	64
<b>Figura 12:</b> Transformación digital de procesos operativos de una organización .....	74
<b>Figura 13:</b> Diferencia entre digitalizar, digitalización y transformación digital .....	76
<b>Figura 14:</b> Impactos de la transformación digital.....	77
<b>Figura 15:</b> Tres tipos de modelos de madurez digital.....	80
<b>Figura 16:</b> Tecnologías clave fundamentales para la industria 4.0.....	84
<b>Figura 17:</b> Propuestas de beneficios de la Industria 4.0 .....	85
<b>Figura 18:</b> Industria 4.0 desafíos de implementación .....	85
<b>Figura 19:</b> Resultados Índice de Brecha Digital total nacional del 2018 al 2021 .....	86
<b>Figura 20:</b> Modelo de transformación digital de datos geográficos Geo-TD.....	88
<b>Figura 21:</b> Herramienta para la Transformación Digital de las Entidades Públicas .....	89
<b>Figura 22:</b> Valoración de la brecha digital .....	90
<b>Figura 23:</b> Segmento 1 del proceso para la caracterización del proceso a intervenir.....	91
<b>Figura 24:</b> Preguntas y respuestas en Instrumento No. 1 .....	92
<b>Figura 25:</b> Explicación de resultados del Nivel de Madurez .....	93
<b>Figura 26:</b> Matriz con procesos clave (Eje X) y áreas funcionales (Eje Y) .....	94
<b>Figura 27:</b> Segmento 2 del proceso para la caracterización del proceso a intervenir.....	95
<b>Figura 28:</b> Visión general de la arquitectura empresarial y sus dominios.....	98
<b>Figura 29:</b> Preguntas y respuestas en Instrumento No. 1 .....	101
<b>Figura 30:</b> Resultados Modelo de Madurez Digital del caso de estudio .....	102
<b>Figura 31:</b> Explicación de resultados del Nivel de Madurez .....	102
<b>Figura 32:</b> Matriz con procesos clave (Eje X) y áreas funcionales (Eje Y) .....	105
<b>Figura 33:</b> Procesos priorizados a partir de los resultados del Mapa de Calor.....	105
<b>Figura 34:</b> Procesos integrados grupo del caso de estudio.....	106
<b>Figura 35:</b> Selección de procesos priorizados para implementar iniciativas de TD. ....	107

<b>Figura 36:</b> Ejemplo de libreta de campo, plancha 91- Belencito, Cuenca sedimentaria Sinú San Jacinto .....	110
<b>Figura 37:</b> Ejemplo de hojas de libro índice, formato general .....	111
<b>Figura 38:</b> Ejemplo <i>Dataset Muestras_Análisis</i> de GDB estándar SGC .....	111
<b>Figura 39:</b> Diagrama de componentes de la herramienta tecnológica .....	117
<b>Figura 40:</b> Aplicación del metamodelo propuesto por MinTIC (2019) .....	119
<b>Figura 41:</b> Zonas caracterizadas para la arquitectura de referencia .....	121
<b>Figura 42:</b> Interfaces de la plataforma tecnológica .....	122
<b>Figura 43:</b> Diagrama conceptual de capas de la herramienta tecnológica .....	122
<b>Figura 44:</b> Diagrama conceptual de la herramienta tecnológica .....	123
<b>Figura 45:</b> Modelo conceptual de la arquitectura de solución .....	124
<b>Figura 46:</b> Arquitectura de solución de la herramienta tecnológica.....	125
<b>Figura 47:</b> Componentes de la arquitectura - plataforma tecnológica .....	126
<b>Figura 48:</b> Metodología de desarrollo SCRUM y MDD .....	128
<b>Figura 49:</b> Modelo relacional de la metodología SCRUM .....	128
<b>Figura 50:</b> Modelo EER Entidades principales .....	130
<b>Figura 51:</b> Modelo EER para resultados de muestras .....	131
<b>Figura 52:</b> Proceso para el registro de muestras.....	132
<b>Figura 53:</b> Diagrama de procesos para el cargue masivo de datos geográficos .....	133
<b>Figura 54:</b> Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 1 .....	139
<b>Figura 55:</b> Comparación rendimiento preguntas 1 y 2 .....	139
<b>Figura 56:</b> Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 2 .....	140
<b>Figura 57:</b> Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 3 .....	140
<b>Figura 58:</b> Comparación rendimiento preguntas 3 y 4.....	141
<b>Figura 59:</b> Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 4 .....	141
<b>Figura 60:</b> Comparación rendimiento pregunta 5 .....	142
<b>Figura 61:</b> Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 5 .....	142

# Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1.</b> Historia de los sistemas de información hacia la transformación digital.....	28
<b>Tabla 2-1:</b> Estructura de la pregunta de investigación basada en PICOC .....	33
<b>Tabla 2-2:</b> Preguntas de Investigación para la SLR .....	33
<b>Tabla 2-3:</b> Búsqueda de palabras clave para el grupo 1 .....	35
<b>Tabla 2-4:</b> Búsqueda de palabras clave para el grupo 2 .....	35
<b>Tabla 2-5:</b> Prueba de adherencia de palabras clave grupo 1 al grupo 2.....	36
<b>Tabla 2-6:</b> Ecuación de búsqueda estudios primarios para la SLR .....	36
<b>Tabla 2-7:</b> Documentos obtenidos tras la búsqueda y depuración .....	38
<b>Tabla 2-8.</b> Resumen y tendencias en el campo de la IG .....	43
<b>Tabla 2-9:</b> Modelos de Transformación Digital.....	56
<b>Tabla 2-10:</b> Lista de actividades de transformación digital basadas en el enfoque de gestión del cambio .....	62
<b>Tabla 3-1:</b> Dimensiones de la Transformación Digital .....	81
<b>Tabla 5-1:</b> Áreas funcionales definidas para el grupo del caso de estudio .....	104
<b>Tabla 5-2:</b> Procesos clave del grupo del caso de estudio .....	104
<b>Tabla 5-3:</b> Relación de procesos y áreas seleccionados para iniciativas .....	107
<b>Tabla 5-4:</b> Acciones de la fase Postcampo .....	109
<b>Tabla 5-5:</b> Datos utilizados en la investigación.....	110
<b>Tabla 5-6:</b> HU 01- Iniciar sesión en plataforma tecnológica .....	114
<b>Tabla 5-7:</b> HU 02 - Administrar estaciones.....	115
<b>Tabla 5-8:</b> HU 03 - Administrar columnas .....	115
<b>Tabla 5-9:</b> Administrar muestras .....	116
<b>Tabla 5-10:</b> Administrador de la plataforma tecnológica.....	116
<b>Tabla 5-11:</b> Auditor de la plataforma tecnológica .....	117
<b>Tabla 5-12:</b> Caracterización de zonas servicios de TI .....	120
<b>Tabla 5-13.</b> Procesos priorizados para el caso de estudio .....	134

## **Lista de abreviaturas**

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>ANH</i>	Agencia Nacional de Hidrocarburos
<i>AEI</i>	Arquitectura Empresarial Institucional
<i>BPM</i>	Business Process Management
<i>BIM</i>	Building Information Modeling
<i>BMI</i>	Business Model Innovation
<i>BIP</i>	Banco de Información Petrolera
<i>Big Data</i>	Análisis masivo de datos
<i>CEPAL</i>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<i>CGIS</i>	Canadian Geographical Information System
<i>CONPES</i>	Consejo Nacional de Política Económica y Social
<i>CMM</i>	Capability Maturity Model
<i>CIFI</i>	Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería
<i>DGI</i>	Digital Government Index
<i>DNP</i>	Departamento Nacional de Planeación
<i>DLT</i>	Distributed Ledger Technology
<i>DTM</i>	Digital Transformation Model
<i>DMM</i>	Data Management Maturity
<i>DGB</i>	Dirección de Geociencias Básicas
<i>EER</i>	Entity-Entity-Relationship
<i>GIS</i>	Geographic Information System
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>IA</i>	Inteligencia Artificial
<i>IG</i>	Información Geográfica
<i>IBD</i>	Índice de Brecha Digital
<i>IoT</i>	Internet of Things
<i>ICDE</i>	Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales
<i>IGAC</i>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<i>IDE</i>	Infraestructura de Datos Espaciales
<i>IMD</i>	Institute for Management Development
<i>MinTIC</i>	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
<i>MIIIG</i>	Motor de Integración de Información Geocientífica

Abreviatura	Término
<i>MM</i>	Modelo de Madurez
<i>MMD</i>	Modelo de Madurez de Datos
<i>MMTD</i>	Modelo de Madurez de Transformación Digital
<i>Mainframe</i>	Unidad central para procesamiento de datos masivos
<i>MTD</i>	Modelos de Transformación Digital
<i>OECD</i>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
<i>ONU</i>	Organización de las Naciones Unidas
<i>OGC</i>	Open Geospatial Consortium
<i>PETI</i>	Plan Estratégico de Tecnologías de Información
<i>PI</i>	Propiedad Intelectual
<i>PYME</i>	Pequeña y Mediana Empresa
<i>PICOC</i>	Población, Intervención, Comparación, Resultados y Contexto
<i>PND</i>	Plan Nacional de Desarrollo
<i>RPAS</i>	Remotely Piloted Aircraft Systems
<i>SGC</i>	Servicio Geológico Colombiano
<i>SIMMA</i>	Sistema de Información de Movimientos en Masa
<i>SRL</i>	Systematic Literature Review
<i>SIG</i>	Sistemas de Información Geográfica
<i>TIC</i>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
<i>TD</i>	Transformación Digital
<i>4RI</i>	Cuarta Revolución Industrial



# 1. Introducción

## 1.1 Contexto general

En el marco de la Cuarta Revolución Industrial (en adelante 4RI) o industria 4.0, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (en adelante TICs) se componen de elementos básicos a través de los cuales es posible fortalecer las capacidades y competencias organizacionales, permitiendo mejorar, aportar, plantear y articular métodos, formas de trabajo, innovaciones y tecnologías (Tota et al., 2020).

La 4RI se ha orientado al desarrollo de sistemas inteligentes, automatización de procesos, *Big Data* y analítica, Inteligencia Artificial (en adelante IA), realidad aumentada, modelación y simulación virtual, fabricación aditiva, entre otras (Becerra, 2020), todos ellos campos y tecnologías que capturan y/o gestionan datos digitales.

En consecuencia, las soluciones basadas en tecnologías digitales son esenciales en las organizaciones para optimizar los métodos, flujos de trabajo, gestión de datos, realizar la transición adecuada de procesos análogos a procesos digitales más exactos y habilitar los modos y medios para que puedan ser procesados por máquinas (OECD, 2019b).

En ese sentido y considerando que la Información Geográfica (en adelante IG) es fundamental para la representación cartográfica del territorio, la Ciencia de la Información Geográfica, no es ajena a esta tendencia tecnológica que aparece en el contexto actual, más como un campo paradigmático que conlleva a la generación de procesos específicos que garanticen la calidad del dato geográfico y potencien su uso y aprovechamiento mediante TICs.

## 1.2 Antecedentes

La OCDE (OCDE por sus siglas Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) presenta dentro de sus proyectos el IDG (IDG por sus siglas Índice de Gobierno Digital), el cual mide el nivel de “madurez digital” de las estrategias de gobierno digital para los países miembros y, con base en los resultados, apoya el diseño de iniciativas sólidas que respalden las políticas y prácticas digitales de cada país (OECD, 2020).

A lo anterior se suman el Ranking Mundial de Competitividad Digital de IMD (IMD por sus siglas *Institute for Management Development*), el cual expone criterios para medir la capacidad de una economía en adoptar y explorar tecnologías digitales que conduzcan a la transformación en las prácticas gubernamentales, los modelos comerciales y la sociedad en general (*IMD World Competitiveness Center*, 2018, como se citó en DNP, 2019) y el índice e-Government Development, el cual muestra el estado del desarrollo del gobierno electrónico en los países miembros de la ONU (ONU por sus siglas Organización de las Naciones Unidas). (DNP, 2019).

En relación con ello, la CEPAL (CEPAL por sus siglas Comisión Económica para América Latina y el Caribe), publica en 2021 el informe: “Datos y hechos sobre la transformación digital”, en el cual presenta los principales indicadores en materia de adopción de tecnologías digitales y expone la situación actual de América Latina y el Caribe, en diferentes niveles de uso y desarrollo de tecnología (CEPAL, 2021).

El diseño y formulación de criterios e índices internacionales para impulsar los procesos de transformación digital en las regiones, confirma la necesidad de adoptar políticas y estrategias de gobierno, para que las organizaciones públicas se involucren proactivamente en la implementación y monitoreo de tecnologías digitales y permitan fortalecer las capacidades institucionales y nacionales.

Colombia, a través del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) está respondiendo a las barreras y desafíos planteados en el marco de la 4RI, adoptando e implementando la Política de Gobierno Digital que tiene como objetivo “Promover el uso y aprovechamiento de las tecnologías de la información y las

comunicaciones para consolidar un Estado y ciudadanos competitivos, proactivos, e innovadores, que generen valor público en un entorno de confianza digital" (MinTIC, 2020a).

En ese sentido, el Estado colombiano a través del DNP y el CONPES (CONPES por sus siglas Consejo Nacional de Política Económica y Social), ha desarrollado documentos que refuerzan y potencian la utilización de datos digitales para la toma de decisiones en los procesos adecuados.

El documento CONPES 3975 de 2019: Política para la transformación digital e inteligencia artificial, plantea las condiciones para potenciar la generación de valor social y económico, mediante el uso estratégico de tecnologías digitales e impulsar la inteligencia artificial en el marco del aprovechamiento de las oportunidades y retos de las TIC.

Por otra parte, el documento CONPES 3585 de 2009: Consolidación de la política nacional de información geográfica y la ICDE (ICDE por sus siglas Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales), busca fortalecer la producción, intercambio, acceso y uso de IG en las entidades del Estado e impulsar el desarrollo de la ICDE como mecanismo para la armonización y estandarización de la información geográfica (DNP, 2009).

En la sección A: Diagnóstico del capítulo de lineamientos para la consolidación de la ICDE del CONPES 3585 de 2009, se indica que el problema central en la gestión de la IG en los diferentes niveles del Estado, es la desarticulación en la producción, disponibilidad, acceso y uso de la IG; lo cual conlleva a: la pérdida de la IG debido a la falta de aplicación de estándares y herramientas de *software*, tener IG desactualizada y con cubrimiento parcial del territorio por la aplicación de planes poco estructurados y fuera de un contexto estratégico, fallas en la articulación entre entidades generadoras de IG para desarrollar proyectos en un objetivo común, deficiencia en la calidad de la IG por el bajo nivel de diseño y aplicación de estándares de producción, documentación, acceso y uso de la IG, entre otras.

### 1.3 Formulación del problema

El congreso colombiano expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 "Pacto por Colombia, pacto por la equidad", mediante la Ley 1955 de 2019 - artículo 147, en la cual establece: "Las entidades estatales del orden nacional deberán incorporar en sus respectivos planes de acción el componente de transformación digital siguiendo los estándares que para este propósito define el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones". Para ello, los proyectos estratégicos de transformación digital deben estar orientados en 13 principios descritos en esta Ley, los cuales buscan garantizar el uso y aprovechamiento de la infraestructura de los datos a través de estándares, modelos, normas y herramientas para la gestión de riesgos y seguridad digital, priorizar la interoperabilidad entre sistemas de información y plataformas para el intercambio de datos, impulsar el uso de tecnologías basadas en software libre o código abierto y tecnologías emergentes de la 4RI, tales como: DLT (DLT por sus siglas *Distributed Ledger Technology*), análisis masivo de datos (*Big Data*), AI (AI por sus siglas *Artificial Intelligence*), IoT (IoT por sus siglas *Internet of Things*), Robótica y similares y promoviendo programas de uso de tecnologías para la participación ciudadana y gobierno abierto en los procesos misionales de las entidades públicas (DNP, 2019, p47).

En suma, esta ley determina que en todos los escenarios la transformación digital deberá incorporar los componentes asociados a tecnologías emergentes, definidos como aquellos de la Cuarta Revolución Industrial, entre otros (DNP, 2019, p47).

Bajo este enfoque, las entidades estatales han orientado sus planes estratégicos en la modernización y transformación digital. El IGAC (IGAC por sus siglas Instituto Geográfico Agustín Codazzi), entidad encargada de producir, investigar, reglamentar, disponer y divulgar la información geográfica, cartográfica, agrológica, catastral, geodésica y de tecnologías geoespaciales para su aplicación en los procesos de gestión del conocimiento, planificación y desarrollo integral del país, ha presentado su Plan Estratégico de Tecnologías de Información (PETI) 2018-2022 con el objetivo de generar la hoja de ruta que apoye la modernización y la transformación digital del IGAC, en la consolidación de sus capacidades para el cumplimiento de sus metas y objetivos institucionales, apoyada en el uso intensivo de las TICs (IGAC, 2022).

Asimismo, el SGC, en cumplimiento con la Ley 1955 de 2019, presentó en 2021, la versión 4 del PETI 2018-2022, en el cual se establece el documento guía de proyectos de tecnología como aporte al cumplimiento de los objetivos institucionales, basados en el programa de arquitectura empresarial en su segundo ciclo (SGC, 2021). Este documento describe las acciones acometidas dentro de la AEI (AEI por sus siglas Arquitectura Empresarial Institucional), diseñada desde 2014, a través del acompañamiento del CIFI (CIFI por sus siglas Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería), de la Universidad de los Andes.

El programa de AEI se dividió en 3 Fases, la primera Fase se fundamentó en la socialización de conceptos básicos de AEI, mediante la elaboración del diagnóstico de la situación en el 2014 (Arquitectura AS-IS) y la generación conjunta de la situación o estado deseado (Arquitectura TO BE). El principal producto de esta fase fue la preparación de la hoja de ruta de 83 proyectos, agrupados en 10 grandes iniciativas sobre las cuales el SGC debía orientar sus esfuerzos y estrategias. La Fase II (2014-2015), comprende la priorización de dominios de la arquitectura, a fin de diseñar y poner en marcha el piloto de una solución altamente escalable para la información relacionada con sismos y transferir adecuadamente el Banco de Información Petrolera (BIP) entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y el SGC. Finalmente, la Fase III (2015-2018) continúa con la implementación de proyectos que permitan el fortalecimiento de sistemas de información, datos e infraestructura tecnológica a nivel institucional (SGC, 2021).

Los resultados del Ciclo 1 de la AEI conllevaron al desarrollo de herramientas tecnológicas, plataformas web, sistemas de información, geoportales y geovisores que integran y disponen información geocientífica para los usuarios internos y externos. A continuación, se presentan algunas de ellas: el Motor de Integración de Información Geocientífica (MIIG) reúne la información histórica oficializada en cada proyecto, el BIP es el repositorio oficial de Colombia para custodiar y administrar toda la información técnica resultante de las actividades exploratorias y de producción de hidrocarburos que se desarrollan en el territorio nacional, el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) permite cargar, administrar y consultar los movimientos en masa ocurridos en Colombia para la gestión integral del riesgo, ordenamiento territorial y ambiental y la planificación de desarrollo, la base de datos BD EXPLORA centraliza los datos de información geoquímica para las investigaciones y caracterizaciones de recursos minerales. Adicionalmente,

durante este ciclo se realizó el fortalecimiento y optimización de la infraestructura tecnológica adecuando un *datacenter* principal para la operación y un *datacenter* alterno, soluciones de almacenamiento, comunicación, capacidad y disponibilidad de los datos geocientíficos en las herramientas desarrolladas (SGC, 2021).

En 2019, el SGC realiza la actualización de la AEI y propone un segundo ciclo, enfocado en la analítica de datos para la gestión, la cual reúne, depura y transforma los datos a sistemas estructurados para describir, explorar y analizar la información a través de tableros de control que apoyen el monitoreo, seguimiento evaluación y control de objetivos, proceso, proyectos, usuarios y recursos del SGC. Por otro lado, la analítica de datos geocientíficos permite aplicar el conocimiento multidisciplinario mediante procesos de análisis, interpretación, comunicación de datos espaciales, de diferente origen y formato, geoestadística modelamiento y visualización 2D y 3D para que los investigadores puedan comprender, explicar, explorar y predecir las características y comportamientos del subsuelo, el potencial de sus recursos y las amenazas de origen geológico (SGC, 2021). El SGC, en el marco de las iniciativas para contribuir a la AEI ha estructurado la IDE Geocientífica destinada a facilitar la disponibilidad y el acceso a la información espacial, para ello, se ha basado en los lineamientos de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) del IGAC, la cual es la estrategia de gobierno diseñada para integrar y disponer información geográfica que promueva la generación de valor en el territorio (SGC, 2017).

En 2017, la ICDE presenta los resultados obtenidos de la valoración realizada a la IDE (IDE por sus siglas Infraestructura de Datos Espaciales) institucional del SGC, la cual no se encontraba formalizada en el momento de la evaluación (ICDE, 2017).

La metodología se fundamentó en la ejecución de entrevistas y mesas de trabajo con el personal del SGC, a fin de identificar el grado de avance en lo referente a los componentes: Organizacional, Recursos Humanos, Información, Estándares y Servicios TIC, a partir de las temáticas e índices definidos como parte del proyecto de Niveles de Madurez de una IDE. El nivel de madurez se basó en la ponderación de cada uno de los componentes, cuya sumatoria es el 100%, asimismo, a cada nivel (4 en total) se le definió un valor mínimo, en función de las temáticas identificadas en cada uno. Finalmente, el estudio y diagnóstico de la IDE institucional nombrada como “IDE Geocientífica” arrojó como resultado un nivel de madurez Avanzado, como producto de lo presentado en los

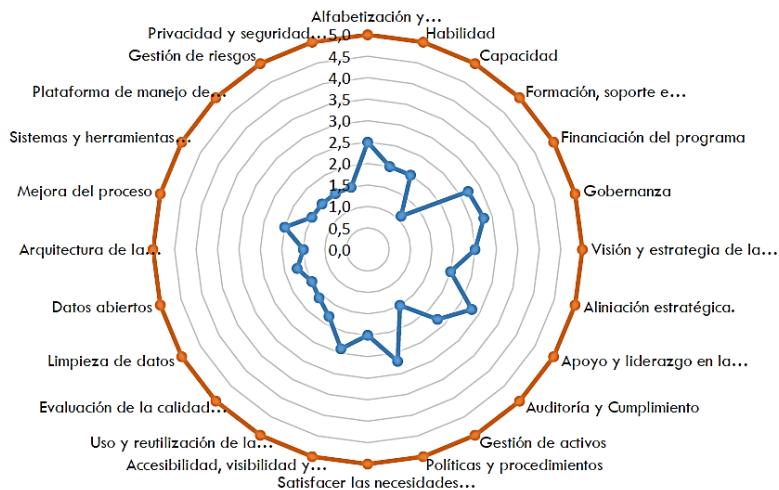
componentes Organizacional e Información: optimizado, Recursos humanos: medio, Estándares y Servicios TIC: avanzado (ICDE, 2017). Sin embargo, la ICDE recomienda generar especificaciones técnicas a los productos que se generen, mantener actualizados los estándares de acuerdo con la normatividad internacional vigente, potencializar la integración y sistemas desarrollados para generar herramientas de análisis, continuar con el proyecto de arquitectura empresarial, fortalecer la participación interna en la definición de proyectos, además de la participación ciudadana y de la empresa privada, se requiere un gobierno de la información articulado con la arquitectura empresarial y el gobierno digital. Las anteriores recomendaciones son tareas el SGC se ha propuesto resolver a través de algunas propuestas e iniciativas.

Continuando con las estrategias planteadas por el SGC para la transformación digital y la gestión de los datos de la Entidad, se adelantó a través del CIFI de la Universidad de los Andes, la primera evaluación del nivel de madurez de datos, con la finalidad de conocer el diagnóstico del SGC a este respecto y, con base en ello, definir un camino de mejoramiento en los puntos que se encuentre débiles en la medición (UNIANDES, 2019).

El diagnóstico del nivel de madurez del SGC arrojó que se encuentra en el nivel 2, denominado “Repetible” según el framework “*Data Management Maturity (DMM) Model del CMMI Institute*”, este nivel se define como: “El proceso se encuentra suficientemente desarrollado y distintas personas ejecutan más o menos los mismos procedimientos. No existe una comunicación ni desarrollo de competencias y capacidades formal de los procedimientos, y la responsabilidad es individual. Existe una gran dependencia del conocimiento que tienen los individuos y, por tanto, existe una probabilidad de error importante”. (UNIANDES, 2019).

El MMD (MMD por sus siglas Modelo de Madurez de Datos) aplicado, se compone de 24 preguntas sobre diferentes aspectos del manejo de datos del SGC, para realizar el diagnóstico del estado actual de madurez de manejo de datos y proporcionar orientación y recomendaciones de mejores prácticas a implementar, para alcanzar niveles de madurez superiores en el manejo de datos (UNIANDES, 2019).

**Figura 1:** Resultado del nivel de madurez de manejo de datos para el SGC.



Fuente: UNIANDES, 2019.

Considerando lo expuesto anteriormente, se evidencia que las acciones acometidas por el SGC en materia de transformación digital han sido constantes y se encuentran enmarcadas principalmente en la AEI, sin embargo, con base en la experiencia, en lo expuesto en el documento SGC: PETI 2018-2022, en las recomendaciones ICDE y en los resultados de la evaluación del nivel de madurez de datos para el SGC realizada por la Universidad de los Andes en 2019; los datos presentan una probabilidad de error importante y en algunos casos carecen de orden, completitud, coherencia, armonización, bajo nivel de detalle y exactitud.

De acuerdo con lo anterior, ¿Es posible realizar la integración de los datos implementando servicios de análisis de información geocientífica?, ¿es posible desarrollar un modelo para la transformación de los datos de tipo geográfico?"

Para dar respuesta a las anteriores preguntas, es oportuno proponer la integración de componentes fundamentados en TICs con protocolos y estándares de calidad en la adquisición, gestión y producción de datos geográficos que permita apoyar la toma de decisiones y adoptar un enfoque innovador, a partir de datos rigurosos y confiables y, basado en tendencias tecnológicas como herramientas para la planificación y gestión del territorio.

Como una contribución a la solución del problema que evidencia el diagnóstico a nivel nacional e institucional, se propone en este trabajo de investigación, un modelo para

realizar la transformación digital de datos geográficos a través de las TICs. A fin de fortalecer las capacidades para la captura, digitalización, para volver disponibles en formato digital los datos geográficos y asimismo habilitar la integración, gestión y análisis eficiente de los mismos en el ecosistema tecnológico actual.

## **1.4 Aproximación conceptual y metodológica**

La transformación digital se ha evaluado desde diferentes perspectivas y escenarios, lo cual supone diversos alcances y aplicaciones; por tal razón, la revisión conceptual se desarrolla acorde con los objetivos planteados en este trabajo. Esta síntesis permite relacionarse con los términos y ejes principales de la investigación.

Para este trabajo, la perspectiva principal son los modelos de transformación digital para datos geográficos, sin embargo, como se evidenció en la sección anterior y basados en el diagnóstico elaborado, es escasa la literatura que enmarque protocolos, métodos o herramientas para la transformación de este tipo de datos.

En ese sentido, según la OECD (2020) “la transformación digital se refiere a los efectos económicos y sociales de la digitación y la digitalización. La digitación es la conversión de datos y procesos análogos a un formato legible con máquinas. La digitalización es el uso de las tecnologías y datos digitales, así como su interconexión, que genera nuevas actividades o cambios en las ya existentes”, para lo cual se han propuesto una serie de iniciativas a fin adoptar un gobierno digital y cerrar las brechas digitales identificadas en los países miembros de la Organización (OECD, 2020).

Según Vial (2019) la transformación digital tiene como objetivo proporcionar cambios significativos a través de la combinación de tecnologías de computación, comunicación, información y conectividad impactando principalmente a las industrias y a la sociedad. Algunas organizaciones ven la transformación digital como un medio para optimizar los procesos comerciales y reducir los costos, mientras que otras la ven como una perspectiva para diseñar un nuevo valor al proporcionar servicios que no existen (Dremel et al., 2017), la modificación o adaptación del manejo de la información o de los modelos de negocio a nuevas tecnologías desencadena cambios en los comportamientos de los consumidores y de la sociedad (Parviainen et al., 2017)

Muchas corporaciones globales han experimentado una variedad de cambios como resultado de la aparición de nuevas tecnologías, la globalización, los cambios en las necesidades de los clientes y la implementación de nuevos modelos de negocios (Masuda & Viswanathan, 2019). La Tabla 1-1 muestra la historia de los sistemas de información hacia las TI (TI por sus siglas Tecnologías de la Información) digital. En la década de 1970, los sistemas *mainframe* se utilizaban en las empresas. En la década de 1980, las computadoras de oficina se usaban con estaciones de trabajo y PC. En la década de 1990, la tecnología cliente-servidor se había vuelto popular en las oficinas. En 1995, surgió Internet y se puso de moda, mientras que también se utilizaba el *software* colaborativo. En la década de 2000, la informática web se había extendido con las redes inalámbricas (Masuda & Viswanathan, 2019).

**Tabla 1-1.** Historia de los sistemas de información hacia la transformación digital

Periodo	Dirección TI	Tecnología primaria
1970	Ordenador central	MVS, VSE, VM
1980	Estación de trabajo, Computador personal, Computador de oficina	Unix Workstation, PC x86, Razer Printer, POS system, IBM AS/400, NEC System3100, Fujitsu K series.
1990	Cliente-servidor	Unix, Windows NT, NetWare, Oracle DB, DB2, ODBC, Visual Basic, C++, Ethernet LAN, WAN.
1995	Internet	www, Netscape Navigator, IE, TPC/IP, Unix, Java, Windows95, Lotus Notes, MS Exchange, Fire Wall.
2000	Computación web	Apache, IIS, Netscape, Server, WebLogic, WebSphere, JDBC, Java Servlet, Windows2000, Wireless LAN.
2020	Computación en la nube	Private Cloud (VMWare, Citrix, etc.) Public Cloud, (SaaS, IaaS), Hybrid Cloud, Mobile IT.
→2020	<b>Transformación digital TI</b>	Mobile IT applications, Cloud applications (SaaS), Big Data solutions, Internet of Things, with Cloud Platforms (PaaS, IaaS, SaaS).

Fuente: Tomado de Masuda & Viswanathan (2019)

En la década de 2010, los cambios significativos en la tecnología de TI de vanguardia debido a los desarrollos recientes en la computación en la nube y la TI móvil (como el progreso en la tecnología de *Big Data*), en particular, surgieron como nuevas tendencias en TI. Los servicios basados en la nube y las plataformas digitalizadas aceleradas representan un porcentaje creciente del presupuesto total de TI de la mayoría de las empresas a nivel mundial y se desplazan de los sistemas de aplicaciones locales existentes hacia la próxima era de TI digital (Nils Olaya & Ross, 2015). Hacia 2020, la

transformación digital se lleva a cabo en muchas corporaciones, como la nube, las aplicaciones de TI móviles, las soluciones de *Big Data* y los sistemas relacionados con Internet de las Cosas en estos días. Además, los grandes avances en las tecnologías y procesos antes mencionados han creado una "economía de TI digital", que presenta tanto oportunidades comerciales como riesgos comerciales, lo que obliga a las empresas a innovar o enfrentar las consecuencias (Boardman & KPN, 2015).

Bajo este enfoque y considerando que la transformación digital impulsa la digitalización y que la digitalización usa datos y tecnologías, es oportuno abordar las TICs, para lo cual, Tello (2007) menciona que son un término que explora toda forma de tecnología usada para crear, almacenar, intercambiar y procesar información en sus varias formas, tales como datos, conversaciones de voz, imágenes fijas o en movimiento, presentaciones multimedia y otras formas.

Al respecto, Cruz Pérez et al. (2019) afirman que las TICs están produciendo innovación en diversos ámbitos sociales; sin embargo, estos cambios no siempre indican un rechazo a las tecnologías o medios anteriores, sino que, en algunos casos, se produce una especie de simbiosis con otros medios.

En el documento "Perfilando la transformación digital en América Latina" publicado por la OECD (2020) se mencionan las tecnologías y aplicaciones de mayor importancia y que impulsan la transformación digital actual, las cuales son: el teléfono inteligente, el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de macrodatos (*Big Data*), Inteligencia Artificial (IA), la cadena de bloques o tecnología de registro distribuido (DLT). Por otro lado, se suman el software de fuente abierta, las redes 5G, la robótica, la computación en malla (GRID) y la computación neural, la realidad virtual, la computación cuántica, entre otros (OECD, 2019a). Todas ellas constituyen tecnologías habilitantes que impulsan el mejoramiento de los procesos de flujos de trabajo y la gestión de datos en diversos escenarios.

Las TICs se refieren a la amplia gama de tecnologías informatizadas de información y comunicación (Ongori & Migiro, 2010). Estas tecnologías incluyen productos y servicios como computadoras de escritorio, portátiles, dispositivos manejados, intranet alámbrica o inalámbrica, software de productividad empresarial como editor y hoja de cálculo, software empresarial, almacenamiento de datos y seguridad de red, entre otros (Ashrafi & Murtaza, 2008).

Las TICs, son el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios; que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como: voz, datos, texto, video e imágenes (Art. 6 Ley 1341 de 2009).

En consecuencia, en este trabajo de investigación se define un modelo que además de proveer herramientas metodológicas para diagnosticar la madurez digital de las organizaciones que generan y utilizan información geográfica en sus procesos misionales, define el proceso para efectuar la transformación digital de estos datos mediante TICs.

Teniendo en cuenta el enfoque de este trabajo, se seleccionó la perspectiva metodológica de investigación mixta, en la cual, según Creswell & Garrett (2008) “La investigación mixta es un diseño o metodología en el cual el investigador colecta, analiza y mezcla (integra o conecta) datos cualitativos y cuantitativos en un único estudio o en un programa de indagación de múltiples fases”.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Desarrollar un modelo de transformación digital de datos geográficos a través de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones- TICs. Caso de uso: Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Elaborar el diagnóstico del estado tecnológico actual de la transformación digital de los datos del Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC), para identificar los retos y desafíos en la digitalización de datos geográficos.
- Identificar los componentes conceptuales y funcionales basados en TICs, para la transformación digital de los datos geográficos.
- Diseñar el modelo de transformación digital para datos geográficos.

- Validar el modelo propuesto para la transformación digital de datos geográficos. Caso de uso: Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

## 1.6 Pregunta de investigación

Basado en lo expuesto, la pregunta de investigación que dirige este proyecto es:

¿Qué elementos metodológicos y conceptuales se pueden incorporar en un modelo para potenciar la madurez digital de las organizaciones que generan y utilizan información geográfica en sus procesos misionales?

## 1.7 Justificación

Las publicaciones (OECD, 2019b), (OECD, 2020), (MinTIC, 2020a), (CEPAL, 2021), los documentos CONPES 3975 de 2019 y 3585 de 2009, permiten identificar un diagnóstico inicial basado en iniciativas, políticas y lineamientos para avanzar hacia una madurez digital a nivel nacional e internacional.

De esta forma, la Ciencia de la Información Geográfica aporta métodos, herramientas y modelos que ponen a disposición el dato geográfico para minimizar los problemas de incertidumbre y articulación de la IG, sus efectos a nivel organizacional y estatal.

Por consiguiente, para Colombia es importante contar con un modelo orientado a la transformación digital de datos geográficos a través de las TICs. Disponer de datos geográficos digitales, habilita la integración, la gestión y el análisis eficiente de los mismos en el ecosistema tecnológico actual.

De otra parte, esta investigación pretende ofrecer una solución a los hallazgos de la Universidad de los Andes para la DGB en términos de incertidumbre, orden, completitud, coherencia, armonización, bajo nivel de detalle y exactitud a través de un modelo de transformación digital que permita integrar, gestionar y poner a disposición los datos de tipo geográfico mediante el uso de herramientas tecnológicas. Para validar el modelo se propone su aplicación en el conjunto de datos geocientíficos de la DGB del SGC.

## 2. Revisión Sistemática de Literatura (SLR)

Considerando los objetivos planteados para este trabajo de investigación, este capítulo contiene la Revisión Sistemática de Literatura (SRL), soportada en un análisis bibliométrico y en la revisión del trabajo previo sobre el uso de las TICs en el diseño y construcción de modelos de transformación digital para datos de tipo geográfico, y su aplicación en entornos organizacionales.

La SLR (SLR por sus siglas *Systematic Literature Review*), es un medio para evaluar e interpretar la investigación disponible y relevante para una temática o fenómeno de interés. Tiene como objetivo presentar una evaluación justa de un tema de investigación, utilizando una metodología fiable, rigurosa y auditabile (Kitchenham & Charters, 2007).

En este trabajo de investigación, la revisión de literatura se realizó bajo los criterios metodológicos expuestos por Kitchenham & Charters (2007) en su versión más reciente; allí se establecen tres etapas para orientar la revisión conforme a los objetivos de investigación: i) Planificación, ii) Conducción y iii) Reporte y análisis de los resultados de la revisión.

A continuación, se presenta la SLR correspondiente a modelos basados en TICs para la transformación digital de datos geográficos y conforme a las etapas propuestas anteriormente.

### 2.1 Etapa 1: Planificación de la SLR

- **Formulación de Preguntas de Investigación**

Según Kitchenham & Charters (2007), la actividad más importante en esta etapa es formular las preguntas de investigación, la cual debe ser adecuada y correcta. Para ello,

Petticrew & Roberts (2006) proponen la metodología PICOC, basada en 5 componentes útiles para desglosar la pregunta y mantener el rumbo de la revisión: **Población**, **Intervención**, **Comparación**, **Resultados** y **Contexto**:

Para esta investigación, estos componentes se definieron de la siguiente manera:

**Tabla 2-1:** Estructura de la pregunta de investigación basada en PICOC

<b>Población (Population)</b>	<b>Intervención (Intervention)</b>	<b>Comparación (Comparison)</b>	<b>Resultados (Outcomes)</b>	<b>Contexto (Context)</b>
Datos geográficos.	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – TICs.	Sistemas analógicos/análogos	Digitalización de datos geográficos. Sistemas de Información Geográfica. Disponibilización de datos geográficos en tiempo real.	Modelos de transformación digital. Madurez digital.

En consecuencia con la metodología PICOC, se presenta la pregunta de investigación que orienta y sustenta la revisión de literatura:

*Para los datos geográficos (P), ¿las TICs (I) presentan una alternativa viable a los sistemas analógicos/análogos (C) para la digitalización y disponibilización de datos en Sistemas de Información Geográfica en tiempo real (O), mediante la adopción de modelos de transformación digital (C)?*

Considerando el carácter general, se plantea el conjunto de subpreguntas que refuerzan la formulación de criterios en la definición de la ecuación de búsqueda (Tabla 2-2).

**Tabla 2-2:** Preguntas de Investigación para la SLR

<b>Pregunta de investigación general para la SLR</b>
<i>Para los datos geográficos (P), ¿las TICs (I) presentan una alternativa viable a los sistemas analógicos/análogos (C) para la digitalización y disponibilización de datos en Sistemas de Información Geográfica en tiempo real (O), mediante la adopción de modelos de transformación digital (C)?</i>

Preguntas específicas	Interés/Motivación
<b>RQ1:</b> ¿Cómo ha sido la evolución del dato geográfico, desde un contexto digital?	Identificar la dinámica de la evolución de los datos geográficos en el contexto tecnológico e identificar posibles tendencias e iniciativas.
<b>RQ2:</b> ¿Qué características presentan los datos geográficos analógicos/análogos, que han sido parte de la transformación digital	Realizar una caracterización para la preparación y alistamiento del dato geográfico para la transformación digital.
<b>RQ3:</b> ¿En dónde se ubica el mayor desarrollo en modelos de transformación digital y quiénes han sido sus principales autores?	Identificar los principales autores de las publicaciones y principales actores en el campo de investigación.
<b>RQ4:</b> ¿Cuáles son los componentes de las TICs más utilizados en los modelos de transformación digital?	Identificar los componentes de TICs más utilizados en los modelos de transformación digital y sus características de aplicación.
<b>RQ5:</b> ¿Cuáles son los principales campos de aplicación de los modelos de transformación digital?	Conocer los campos de aplicación más comunes en los que se han elaborado modelos de transformación digital.

- **Palabras clave y ecuación de búsqueda**

Teniendo en cuenta las preguntas y subpreguntas planteadas en la sección anterior, se definieron 4 categorías conceptuales, a fin de clasificar y analizar la literatura:

- Datos geográficos, geoinformación
- Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – TICs
- Sistemas de Información Geográfica – SIG
- Modelo de transformación digital

Con base en lo anterior, se plantearon 2 grupos de palabras clave, para las cuales se realizó una prueba de adherencia revisando los resultados obtenidos en tres bases de

datos diferentes: *Scopus*, *Web of Science*, y *Google Scholar*. De lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 2-3:** Búsqueda de palabras clave para el grupo 1

Grupo 1						
Palabras clave	Scopus	R%	Web of Science	R%	Google Scholar	R%
Digital Transformation	11012	16,21%	4435	16,83%	131000	12,61%
Digital Transformation Model	39	0,06%	11	0,04%	414	0,04%
Maturity Model	5204	7,66%	1257	4,77%	106000	10,21%
Digital Transformation Maturity Model	7	0,01%	2	0,01%	125	0,01%
Information and Communication Technology	51690	76,07%	20650	78,35%	801000	77,13%
TOTAL	67952	100%	26355	100%	1038539	100%

**Tabla 2-4:** Búsqueda de palabras clave para el grupo 2

Grupo 2						
Palabras clave	Scopus	R%	Web of Science	R%	Google Scholar	R%
Geographic information System	87353	95,89%	16375	90,85%	847000	88,35%
Geoinformation	1366	1,50%	614	3,41%	26000	2,71%
Geographic Data	2374	2,61%	1036	5,75%	85700	8,94%
TOTAL	91093	100%	18025	100%	958700	100%

Nótese que las palabras clave "*Information and Communication Technology*" y "*Digital Transformation*" son las más representativas en el grupo 1. Respecto al grupo 2, la palabra clave "*Geographic Information System*" resulta ser aquella con mayor número de resultados. Adicionalmente, se evidencia que la palabra clave "*Geographic Data*" tiene una mayor participación que "*Geo Data*".

A continuación, se realiza una prueba de adherencia entre el grupo 1 y el grupo 2 de palabras clave, la cual busca identificar la relación, en términos de compatibilidad y adherencia, entre estos dos grupos de palabras clave (Castellanos et al., 2011). Se presentan los siguientes resultados que se obtuvieron, ahora utilizando solo las bases de datos de *Scopus* y *Web of Science*.

**Tabla 2-5:** Prueba de adherencia de palabras clave grupo 1 al grupo 2

Prueba de adherencia Grupo 1 a Grupo 2						
G1 Palabras clave	Booleano	G2 Palabras clave	Scopus	R%	Web of Science	R%
<i>"Digital Transformation"</i>	AND	<i>"Geographic information System"</i>	16	88,89%	3	75,00%
		<i>"Geoinformation"</i>	1	5,56%	1	25,00%
		<i>"Geographic Data"</i>	1	5,56%	0	0,00%
<b>TOTAL</b>			<b>18</b>	<b>100,00%</b>	<b>4</b>	<b>100 %</b>
<i>"Information and communication technology"</i>	AND	<i>"Geographic information System"</i>	265	94,98%	33	89,19%
		<i>"Geoinformation"</i>	2	0,72%	2	5,41%
		<i>"Geographic Data"</i>	12	4,30%	2	5,41%
<b>TOTAL</b>			<b>279</b>	<b>100,00%</b>	<b>37</b>	<b>100 %</b>

Tras esta prueba se evidencia que la adherencia de ambas palabras del grupo 1, son significativas con la palabra clave "*Geographic Information System*" del grupo 2, tomando cerca de un 90% de los resultados en ambos casos. Adicionalmente, las palabras clave "*Geoinformation*" and "*Geographic Data*" no reflejan un resultado significativo con ninguna de las palabras clave del grupo 1.

La ecuación de búsqueda construida responde a los criterios establecidos bajo la metodología PICOC, y contempla los resultados de la prueba de adherencia de palabras clave. La ecuación de búsqueda se presenta a continuación:

**Tabla 2-6:** Ecuación de búsqueda estudios primarios para la SLR

*(("Digital Transformation" OR "Information and communication technology") AND ("geographic information" OR "geoinformation" OR "spatial data" OR "geodata" OR "geographical data" ))*

- **Estrategia de búsqueda**

La ecuación de búsqueda se realizó en idioma inglés, conforme a los principales motores de búsqueda disponibles en las bases de datos de la biblioteca digital de la Universidad

Nacional de Colombia, para este caso Scopus con un total de 327 resultados y Web of Science con un total de 89 resultados.

## 2.2 Etapa 2: Conducción y depuración de la información de la SLR

En esta etapa se establecieron y aplicaron los siguientes filtros a la totalidad de resultados obtenidos de la ecuación de búsqueda:

- Ventana temporal de observación, se excluyeron los artículos que estén fuera del periodo comprendido entre el año 2010 y 2022.
  - Se excluyen los documentos de las siguientes áreas del conocimiento: ciencias sociales, ambientales, agrícolas, biológicas, administrativas y ciencias de la salud. Igualmente se excluyen las ciencias puras como matemáticas, física y química.
  - Se excluyen trabajos previos en el tema de un mismo autor o conjunto de autores.
  - Los tipos de documentos aceptados son artículos científicos, artículos de conferencias, y artículos de revisión.
  - Se aceptan documentos en idioma inglés, español y portugués. Se excluyen otros idiomas.
  - Los documentos deben estar en estado de publicación Final, no en proceso de aceptación.
  - Se tendrán en cuenta en mayor medida los documentos que sean de acceso abierto (Open Access).
- 
- **Estrategia de selección de estudios primarios**

Al cuerpo completo de artículos localizados en la búsqueda se les denominó “Encontrados”, estos fueron clasificados según la categoría conceptual a la que pertenece, posteriormente, se aplicó el filtro de las condiciones descritas anteriormente y a este grupo se llamó: “Pre-seleccionados”. Finalmente, este grupo se filtró según la pertinencia con el tema de investigación (mediante una revisión de segundo nivel; resumen, introducción, resultados y conclusiones) y se removieron los documentos de revisión sobre índices y enciclopedias, para conformar el grupo de: “Seleccionados”; los cuales se revisaron para determinar si responden a las preguntas de investigación.

La Tabla 2-7 presenta el resultado de la estrategia de selección de los estudios primarios.

**Tabla 2-7:** Documentos obtenidos tras la búsqueda y depuración

Base de Datos	Categorización		
	Encontrados	Pre-seleccionados	Seleccionados
<b>Scopus</b>	327	67	31
<b>Web of Science</b>	89	16	8

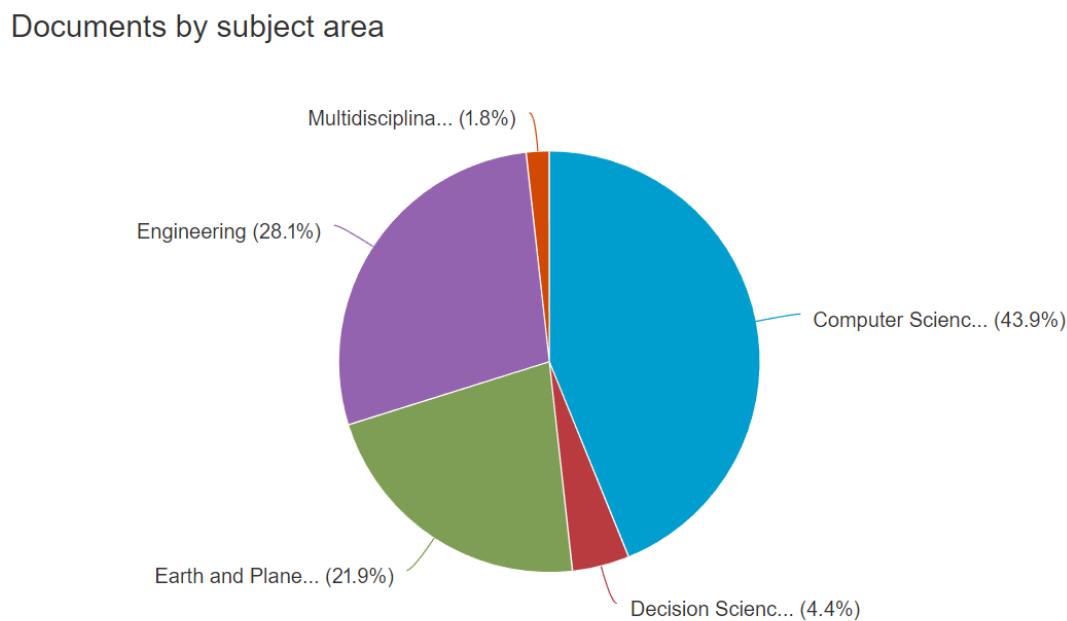
Se encontraron 3 documentos duplicados en los *corpus* seleccionados, los cuales fueron removidos, dejando un *corpus* final de 36 documentos en la literatura indexada. Éste se complementa con la información no estructurada, también llamada literatura gris, encontrada mediante una búsqueda en fuentes de información gubernamental y de carácter organizacional, por ejemplo, el Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación (MinTIC) de Colombia.

## 2.3 Etapa 3: Análisis de la información de la SLR

Siguiendo con la metodología de Kitchenham & Charters (2007), en la tercera fase se analizan los resultados que arrojó la SLR para modelos basados en TICs, para la transformación digital de datos geográficos.

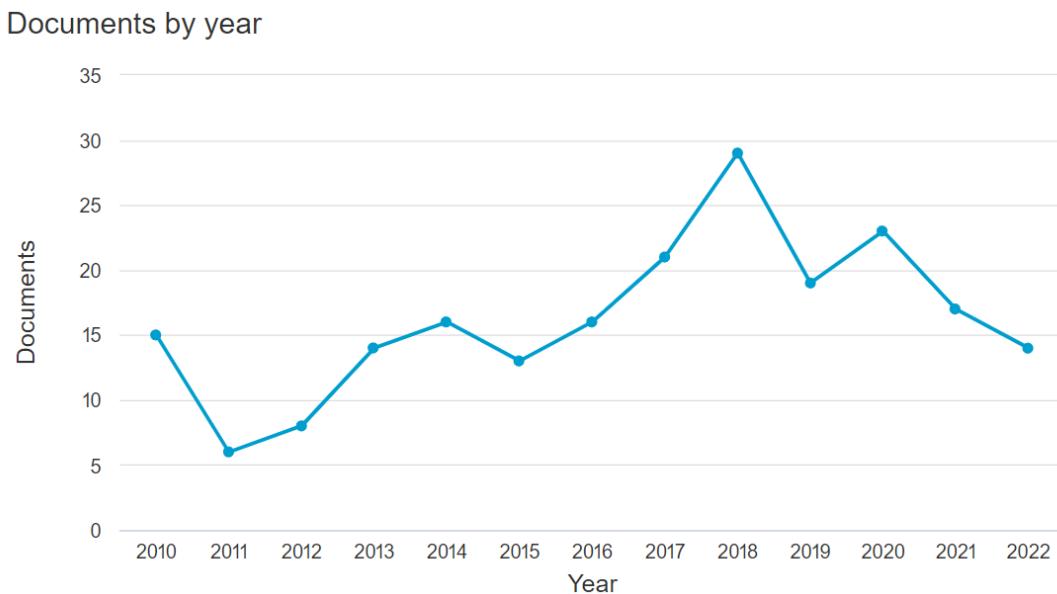
- **Análisis Bibliométrico**

Una vez identificados los documentos encontrados en las bases de datos, se identifican los campos de estudio asociados a las publicaciones de estos documentos, los cuales se presentan en la siguiente figura:

**Figura 2:** Documentos publicados por área o campo de estudio

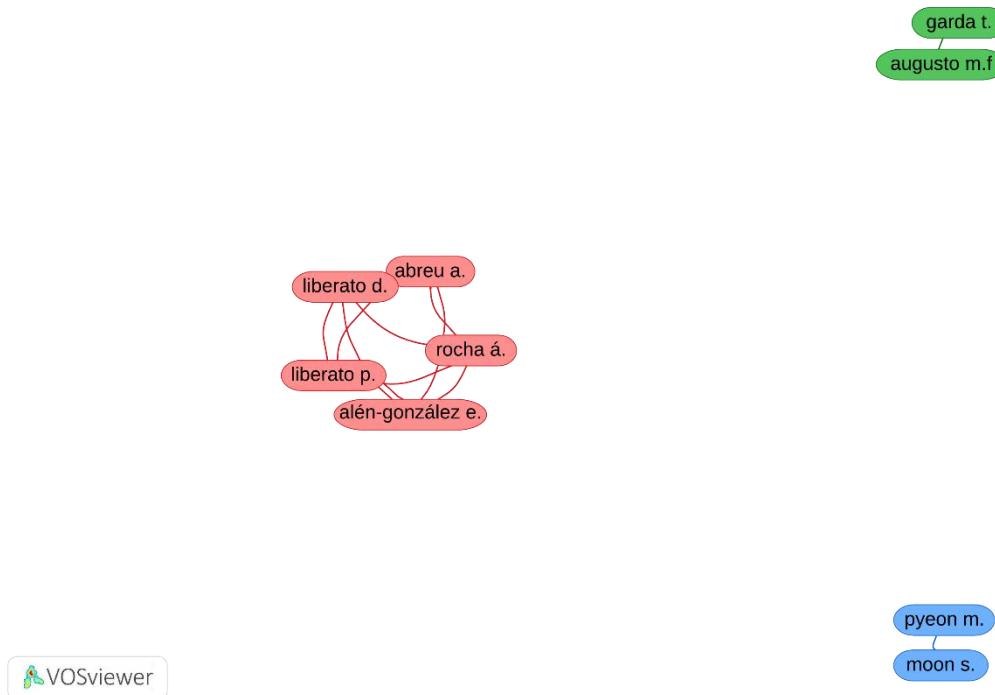
Nótese en la Figura 2, que los campos más representativos en esta revisión de literatura son las ciencias de la computación (43.9%), ingeniería (28.1%), y las ciencias geoespaciales y planetarias (21.9%), seguidos de ciencias de la decisión (4.4%) y campos multidisciplinarios (1.8%) con menor participación. En este análisis se tuvieron en cuenta los campos excluidos según los filtros en la etapa anterior.

Para identificar el comportamiento en el tiempo de las publicaciones en este campo, se presenta la figura del número de documentos publicados por año, desde el año 2010 hasta la actualidad:

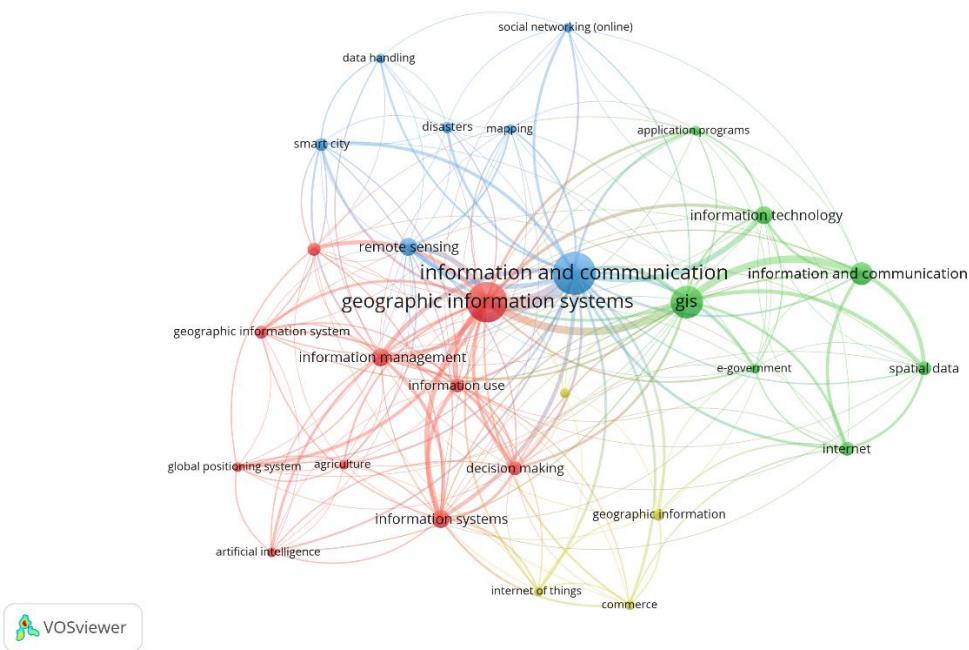
**Figura 3:** Documentos publicados por año

Nótese en la Figura 3, que a partir del año 2011 las publicaciones han ido en aumento, sin embargo, en 2019 en adelante ha tenido una recaída. Este comportamiento quizás se vea influenciado por la llegada de la pandemia global por COVID-19, en donde la mayor parte de las publicaciones científicas se centraron alrededor de este tema y sus posibles soluciones.

Del mismo modo, se realiza un análisis de coautoría en la búsqueda, formando redes entre autores reconocidos en el campo de las TICs y la Transformación Digital como Liberato P., Rocha A., y Abreu A. Se destacan agrupaciones en coautoría de análisis de TICs y *Big Data* como Moon S., y Pyeon M., así como los aportes de Guarda T., y Augusto M., en el campo de las ciencias geoespaciales. La red de coautoría completa se puede visualizar en la Figura 4.

**Figura 4:** Red de Coautoría en la revisión de literatura

Por último, se elabora una nube de coocurrencias de palabras clave en los documentos encontrados tras la búsqueda de literatura (Figura 5), en donde se puede identificar claramente dos grandes clústeres, correspondientes a: Tecnologías de la información y Comunicación, y Sistemas de información Geográfica (GIS). Alrededor de estos ejes, se identifican pequeños nodos correspondientes a la transformación digital, datos espaciales, ciudades inteligentes, metadatos, *e-learning*, *e-goverment*, toma de decisiones, internet, y tecnologías de la industria 4.0 como *Big Data*, IoT, Inteligencia Artificial, entre otras.

**Figura 5:** Nube de coocurrencia de palabras en la revisión de literatura

## 2.4 Etapa 4: Reporte de los resultados de la SLR

Finalmente, tras la lectura de los documentos encontrados en la búsqueda de literatura estructurada (indexada) y no estructurada (literatura gris), se da respuesta, soportada en esta literatura, a las preguntas de investigación planteadas en la primera etapa:

### **RQ1 ¿Cómo ha sido la evolución del dato geográfico, desde un contexto digital?**

La evolución de los datos geográficos se encuentra estrechamente relacionada con la evolución de los SIG y la cartografía digital, los cuales datan del año 1967 con la creación del *Canadian Geographical Information System* (CGIS), liderado por Roger Tomlinson para la gestión de recursos naturales (Tomlinson, 1967); desde entonces han surgido una serie de eventos que han concluido en tendencias para utilizar mapas y datos geográficos a fin de llevarlos a la implementación en sistemas informáticos que pueden ser acotados hasta principios de la década de los años noventa, momento en el que se inicia la transferencia de la tecnología a la *World Wide Web* (Siabato, 2018). En 2004 Tim O'Reilly, a quien generalmente se le atribuye la paternidad del término 'Web 2.0', declaró que una de las

diferencias fundamentales entre la época del pc y la era del Web 2.0 era el hecho de que el Internet se había transformado en plataforma (Gallini, 2022).

Siabato (2018) refiere a una gama autores y conceptos que ha revolucionado la importancia de la información geográfica-IG como lo son las bases de datos espaciales, métodos y modelos para el análisis espacial y espacio-temporal, métodos para la producción cartográfica masiva, el desarrollo de herramientas SIG avanzadas para la gestión, consulta, análisis y visualización de datos geográficos, técnicas avanzadas para análisis de grandes volúmenes de datos (*geographic and spatial big-data*), teorías especializadas (*4d moving objects*), el desarrollo de tecnologías para la captura de grandes extensiones geográficas como sensores remotos y más recientemente los sistemas autónomos (RPAS - *Remotely Piloted Aircraft Systems*).

En ese sentido, Ariza & Rodríguez (2019), plantean en su investigación que hoy en día es necesario concebir la actividad productiva de los datos geoespaciales o IG, en íntima conexión con el campo de las TICs, y para ello, consolidan los cambios radicales que condicionan el futuro inmediato y, en particular, los aspectos relacionados con la calidad y la interoperabilidad en el marco de las TICs.

**Tabla 2-8.** Resumen y tendencias en el campo de la IG

<b>Cambios profundos</b>
▪ Web 3.0
▪ La revolución del tiempo real [5]
▪ Procesamiento paralelo, procesamiento en red, etc., OLAP [3]
▪ Nanotecnologías, miniaturización, sensorización y nuevos materiales [4]
▪ IPV6, Telefonía 5G, expansión de las redes [4]
▪ <i>Blockchain</i> [7]
<b>Impulsores/Ejes temáticos</b>
▪ Territorios/ciudades/casas/espacios inteligentes [1] [8]
▪ Internet de las Cosas, redes de sensores y redes de dispositivos y máquinas [1]
▪ Máquinas y dispositivos inteligentes, autónomos y colaborativos [8]
▪ Vehículos no tripulados [6]
▪ Avances en internet (web semántica, IA, nube, etc.) [9]
▪ Cambio climático y desastres [6]

▪ Industria 4.0 [8]	
<b>Tendencias en datos</b>	
▪ Web semántica [11]	▪ Open Data, Linked Data [11]
▪ BIM [8]	▪ Ciencia ciudadana y “observation web” [6]
▪ Big Data [1] [2] [5]	▪ Coche conectado y <i>mobile mapping</i> [6]
▪ LiDAR [9]	
<b>Tendencias en Información Geográfica</b>	
▪ Captura masiva y barata [6]	▪ Localización como servicio [5]
▪ Datos 4D nativos [9]	▪ SIG en tiempo real y en la nube [5]
▪ Desarrollo de geoservicios [9]	▪ Necesidad de análisis y accesos rápidos [5]
▪ Administración digital [10]	▪ Aplicaciones transnacionales y globales [10].
▪ Posición <i>Indoor</i> [1]	

[1] Carpenter y Snell (2013); [2] Eldawy y Mokbel (2015); [3] Lee y Kang (2015); [4] Richardson (2017), [5] Dangermond (2017), [6] NGAC (2016), [7] Meyer, (2018), [8] Oesterreich y Teuteberg (2016), [9] Shukla (2014), [10] Kwang (2016).

Fuente: Adaptado de Ariza & Rodríguez (2018, p 108)

En la anterior tabla se exponen los cambios, impulsores y tendencias en los datos e IG, en la cual la revolución digital es caracterizada por la masificación del uso del internet y por el despliegue de redes de banda ancha. Las dimensiones del desarrollo digital están en permanente evolución, es un proceso sinérgico que tiene efectos en las actividades a nivel de la sociedad, del aparato productivo y del Estado. Esto hace que el proceso de transformación digital sea altamente dinámico y complejo. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021).

Mass, Rubí & Boscan (2020), señalan que la comprensión del valor de la información espacial en todos los niveles: gobiernos, empresas privadas, organizaciones no gubernamentales (ONGs, personas particulares, ha aumentado considerablemente y que los avances tecnológicos en gestión de datos espaciales apuntan al continuo desarrollo de las Infraestructura de Datos Espaciales-IDE, las cuales buscan desarrollar herramientas y plataformas tecnológicas organizadas para la disposición de la IG. Estos sistemas integran una serie de componentes que buscan garantizar la interoperabilidad a través de protocolos de comunicación (internet), para los cuales el OGC (OGC por sus siglas *Open Geospatial Consortium*) establece políticas y estándares de calidad entre los servicios web geográficos.

Desde una perspectiva histórica, Arribas-Bel & Reades (2018) describen el comportamiento de la ciencia de datos geográficos en tres momentos:

- Una primera ola con la llegada de la computación a cada organización, en la década de los 60s y 70s. Podría considerarse una primera aproximación a la digitalización de las ciencias geográficas.
- Una segunda ola con la llegada de la computación a cada oficina, en la década de los 80s y 90s, en donde se empezó ejecutar tareas geográficas con computadores, mediante SIG, naciendo así las ciencias de la información geográfica. En este espacio, se empezó a explorar con simulaciones, modelos automáticos, y análisis de gran cantidad de datos.
- Una tercera ola con la llegada de la computación a cada “cosa”. Esta etapa abarca la llegada del nuevo milenio hasta la actualidad. El auge de la computación y la tecnología facilitaba cada operación en casi todos los aspectos de la vida y la productividad organizacional. Con la llegada de tecnologías de la industria 4.0 como el IoT y el *Big Data*, resurge la ciencia de los datos de una forma acelerada. A través de estos hallazgos tecnológicos, se comienza a conducir investigaciones y estudios hacia la ciencia de datos geográficos en la última década, haciendo uso de nuevas tendencias tecnológicas, software de geolocalización, Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina.

#### **RQ2: ¿Qué características presentan los datos geográficos analógicos/análogos, que han sido parte de la transformación digital?**

Los datos geográficos analógicos han evolucionado y se han adaptado a la era digital. La transición de la cartografía y el análisis espacial desde el trabajo en papel a la digitalización ha dado lugar a la Era Geodigital (Buzai et al., 2018). Las tecnologías geoespaciales, como los SIG y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), han experimentado un rápido avance en las últimas décadas, facilitando el análisis de datos geográficos en comparación con los métodos analógicos tradicionales (Elwood, 2009).

La era digital ha impulsado el desarrollo tanto del software geográfico como del hardware y los instrumentos de medición, procesamiento y análisis de datos geoespaciales (Elwood, 2009). Esto ha potenciado los servicios geoespaciales y ha incrementado la investigación

científica en este campo. Por ejemplo, el uso de drones para la recolección de datos geográficos y el uso de software especializado han permitido una cartografía detallada en terrenos complejos que antes era imposible lograr con métodos analógicos (Villarreal et al., 2022).

La computación en la nube ha demostrado ser una infraestructura eficaz para el uso de recursos informáticos y de almacenamiento en línea, y se ha propuesto el desarrollo de un catálogo digital de servicios geoespaciales para facilitar el intercambio y la interoperabilidad de recursos geoespaciales. (Chen et al., 2010).

La gestión de datos geográficos, especialmente aquellos adicionales a los estándares internacionales, como los datos medioambientales y de movilidad, ha requerido enfoques y modelos específicos, como el método envVisio, que ha sido utilizado en autoridades medioambientales para la cooperación interdisciplinaria, (Poßner et al. 2021).

La transformación digital en la ciencia de datos geográficos ha tenido un impacto en diversos sectores, como la infraestructura vial, donde se utilizan tecnologías de modelado en 3D para proyectos de construcción (Znobishchev & Shamraeva, 2019). Además, se ha promovido la participación ciudadana en la planificación urbana a través de métodos y herramientas geoespaciales modernas. (Haklay et al. 2018).

En la industria agrícola, se ha evaluado el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC) para la accesibilidad de información geográfica agrícola, considerando factores climáticos, culturales, regionales y tecnológicos (Haworth et al., 2018).

La transformación digital también ha influido en la estructura y articulación de la ciencia de datos geográficos con los gobiernos nacionales. Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) juegan un papel fundamental en la transformación digital del gobierno de los países. (Barbero et al., 2019)

En resumen, la transformación digital ha impactado positivamente la tecnología y los métodos de procesamiento y representación de datos geográficos, promoviendo una mayor usabilidad de los datos públicos y el desarrollo de soluciones técnicas para problemas específicos en la ciencia de datos geográficos.

**RQ3: ¿En dónde se ubica el mayor desarrollo en modelos de transformación digital y quiénes han sido sus principales autores? y RQ5: ¿Cuáles son los principales campos de aplicación de los modelos de transformación digital?**

La creciente difusión de las tecnologías digitales, especialmente en los sistemas de producción, está dando lugar a un nuevo paradigma industrial, habitualmente denominado Industria 4.0 (I4.0), anteriormente mencionado (Kagermann, 2015). En el núcleo de I4.0 está la implementación de sistemas ciberfísicos (CPS) para la producción industrial, es decir, redes de microcomputadoras, sensores y actuadores integrados en materiales, máquinas o productos que están conectados a lo largo de la cadena de valor (Porter & Heppelmann, 2015), y la disponibilidad de sistemas sofisticados para procesar y analizar *Big Data* en tiempo real. La simulación, la realidad aumentada, la integración de sistemas, la computación en la nube, la ciberseguridad y la fabricación aditiva son otras tecnologías habilitadoras I4.0 bien conocidas (Bellantuono et al., 2021; Lorenz et al., 2015).

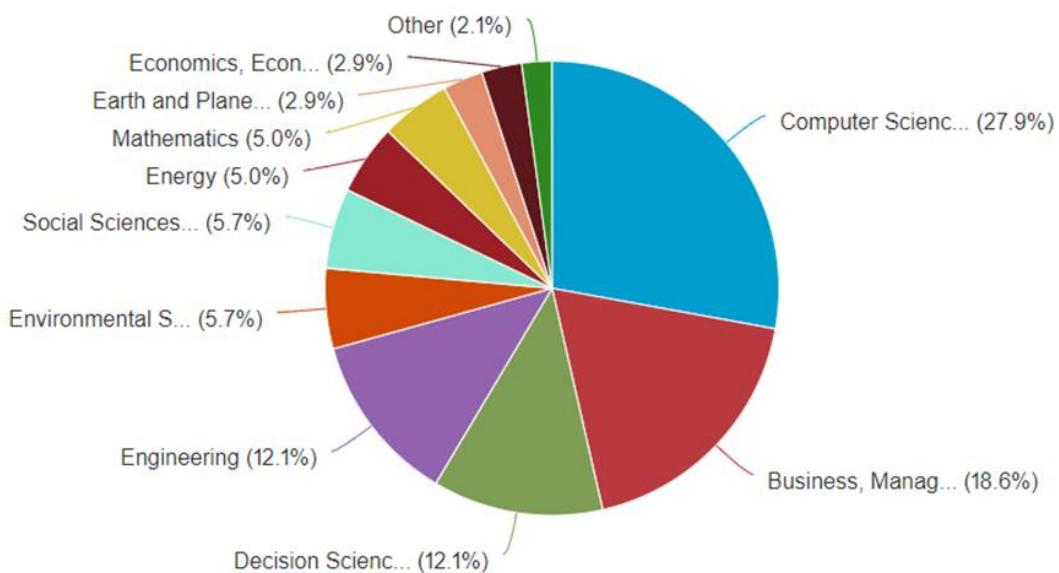
Todas estas tecnologías amplían significativamente las posibilidades de producción y consumo, y representan un cambio tecnológico disruptivo. Más específicamente, I4.0 genera nuevas propuestas de valor para productos altamente personalizados o diferenciados, combinaciones de productos y servicios bien sincronizados y servicios de valor agregado (Bellantuono et al., 2021). I4.0 es de hecho un paradigma habilitado por la tecnología, que está cambiando profundamente la forma en que las empresas organizan sus procesos y crean valor para los clientes. Las empresas son cada vez más conscientes de que las tecnologías digitales permiten modelos de negocio completamente nuevos y conducen a la reconfiguración de la estructura de todos los sectores, dejando fuera a aquellas empresas que no serán capaces de adaptarse al cambio (Bellantuono et al., 2021). Por tanto, es fundamental que las empresas innoven y replanteen sus modelos de negocio (Burmeister et al., 2016; Ibarra et al., 2018), así como innovar sus procesos y productos para aprovechar los retos y oportunidades de crecimiento que generan las nuevas tecnologías digitales (Bellantuono et al., 2021).

En los últimos años, muchos académicos investigaron el paradigma I4.0 desde diferentes perspectivas; sin embargo, la literatura existente se enfoca principalmente en aspectos tecnológicos; se dedica menos atención a los aspectos de gestión y organización asociados con la transformación digital (Cimini et al., 2017). Bordeleau & Felden (2019),

por ejemplo, argumentan que no hay marcos ni modelos que respalden adecuadamente a los gerentes y organizaciones en todas las fases del proceso de transformación digital y exigen enfoques más estructurados para gestionar la transición hacia el paradigma I4.0 (Bellantuono et al., 2021).

A continuación, se realiza una presentación de los modelos de transformación digital existentes y las hojas de ruta para la transición I4.0 consideran las lecciones aprendidas en el campo de la gestión del cambio, un enfoque bien conocido desarrollado para gestionar con éxito las iniciativas de cambio. Con este objetivo, se realiza una revisión sistemática de la literatura para identificar los DTM (DTM por sus siglas Modelos de Transformación Digital) desarrollados para gestionar la transición hacia el paradigma I4.0. Luego, los resultados se analizan bajo la lente de la literatura sobre gestión del cambio. Para ello, se revisan y comparan los principales modelos de gestión del cambio y se identifica el conjunto de actividades a incluir en cualquier iniciativa de transformación. Delimitando donde se ubica el mayor desarrollo en DTM, quiénes han sido sus principales autores y cuáles son los principales campos de aplicación de los DTM.

**Figura 6:** Desarrollo en modelos de transformación digital (DTM)



En términos de la estadística obtenida sobre el desarrollo en modelos de Transformación Digital (DTM), se observa que el área de Ciencias de la Computación tiene el mayor volumen de generación de conocimiento con un 27,9%. Le sigue el área de Negocios, Gestión y Contabilidad con un 18,6%, y en tercer lugar se encuentran las áreas de Ciencias de la Decisión e Ingeniería con un 12,1% (Figura 6).

En el contexto de la Transformación Digital hacia la Industria 4.0 (I4.0), cualquier iniciativa se considera un proceso de cambio, es decir, una transición desde un estado actual con cierto nivel de digitalización hacia un estado futuro con un mayor nivel de digitalización. Por lo tanto, en el artículo se adopta la gestión del cambio como enfoque metodológico para analizar los DTM propuestos en la literatura. Se describen y examinan los modelos de gestión del cambio más conocidos con el fin de identificar las actividades que deben incluirse en cualquier iniciativa de transformación (Bellantuono et al., 2021).

Dado que el cambio se ha vuelto inevitable en la vida organizacional debido al desarrollo global, económico y tecnológico (Burnes, 2004; Cummings & Worley, 2009), las organizaciones necesitan habilidades de gestión del cambio cada vez más. La gestión del cambio se refiere a un enfoque estructurado para facilitar la transición de un estado actual de la organización a un estado futuro deseado (Balogun & Hailey, 2008). Implica renovar la dirección, la estructura y las capacidades de una organización para satisfacer las cambiantes necesidades de los clientes internos y externos (Moran & Brightman, 2000). También se refiere al proceso y las herramientas utilizadas para apoyar a las personas en la transición (Creasey, 2018). A continuación, se describen y sintetizan los modelos de gestión del cambio más conocidos (Bellantuono et al., 2021).

**Figura 7:** Descripción general de los modelos de gestión del cambio

Modelo de gestión del cambio (Kurt Lewin)	Modelo de cambio en 8 pasos (Kotter)	Proceso de cambio acelerado (PCA) (GE)	Proceso de gestión del cambio en 3 fases
Flexibilizar	Establecer un sentido de urgencia	Liderar el cambio	Preparar para el cambio: - Definir la estrategia de gestión del cambio. - Preparar el equipo de gestión del cambio - Desarrollar un modelo de patrocinio.
Cambio	Construir una poderosa coalición orientadora  Crear una visión compartida  Comunicar la visión  Capacitar a otros para actuar en la visión  Planificar y crear logros a corto plazo	Crear una necesidad compartida  Dar forma a una visión  Generar compromiso  Hacer el cambio al final	Gestionar el cambio: - Desarrollar planes de gestión del cambio. - Tomar acción e implementar los planes
Estabilizar	Consolidar mejorar y producir aún más cambios  Institucionalizar nuevos enfoques	Monitorear los procesos  Cambiar sistemas y estructuras	Reforzar el cambio: - Colectar y analizar los comentarios. - Diagnosticar brechas y gestionar la resistencia. - Implementar acciones correctivas y celebrar el éxito.

Fuente: Tomado de Bellantuono et al. (2021)

El modelo de gestión del cambio de Kurt Lewin (Figura 7) se considera el precursor de los modelos actuales. Según este modelo de "tres pasos", antes de introducir cambios en una organización, es necesario que los miembros abandonen sus viejos comportamientos. Los pasos del modelo son (Bellantuono et al., 2021):

- i. Descongelar: Los miembros toman conciencia de la necesidad del cambio y se motiva a aquellos que se verán afectados.
- ii. Cambiar: Se introducen nuevos comportamientos y se desarrollan cambios en las estructuras y procesos organizacionales.
- iii. Vuelva a congelar: La organización se estabiliza en un nuevo estado de equilibrio, donde los nuevos comportamientos se consolidan.

Por otro lado, el modelo de cambio de 8 pasos de Kotter (Figura 8) es ampliamente utilizado. Los pasos son (Bellantuono et al., 2021):

- i. Establecer un sentido de urgencia.
- ii. Construir una coalición orientadora poderosa.
- iii. Crear una visión compartida.
- iv. Comunicar la visión de manera efectiva.
- v. Empoderar a otros para que actúen según la visión.
- vi. Planificar y crear victorias a corto plazo.
- vii. Consolidar las mejoras y producir más cambios.
- viii. Institucionalizar nuevos enfoques.

**Figura 8:** Modelo de cambio de 8 pasos de Kotter



Fuente: Tomado de Kotter (1996)

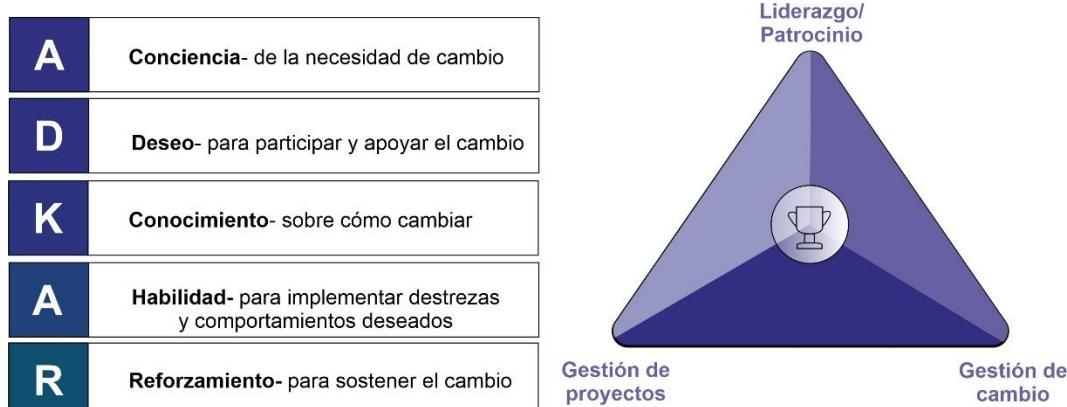
El Proceso de Aceleración del Cambio (PAC) de GE (Polk, 2011; Von Der Linn, 2009) se basa en la premisa de que el éxito de una iniciativa de cambio no solo depende de soluciones técnicas de alta calidad, sino también de prestar atención a las personas afectadas por el cambio. El PAC consta de siete pasos (Bellantuono et al., 2021):

- i. Liderar el cambio: Un liderazgo fuerte y comprometido se encarga de la iniciativa de cambio.
- ii. Crear una necesidad compartida: Se define claramente el motivo del cambio y se comparte con todas las partes interesadas.

- iii. Dar forma a una visión: Se articula una visión clara y legítima del futuro después del cambio, comunicándola a todas las partes interesadas.
- iv. Movilizar compromiso: Se genera un sentido de compromiso e involucramiento de todas las personas involucradas en el cambio.
- v. Hacer el cambio al final: Se inicia la implementación con proyectos piloto, utilizando los éxitos y conocimientos adquiridos para otras iniciativas y abordando los factores que obstaculizan el cambio.
- vi. Monitorizar el proceso: Se mide el progreso y se detectan problemas durante la implementación.
- vii. Sistemas y estructuras cambiantes: Despues de la implementación, se ajusta la estructura organizativa para asegurar la permanencia del cambio.

Por otro lado, el Proceso de Gestión de Cambios de Tres Fases de Prosci (Creasey, 2018; Prosci, 2018) se basa en el modelo ADKAR (Figura 9), que se centra en apoyar a las personas a través del cambio. El proceso consta de tres fases (Bellantuono et al., 2021):

- i. Prepararse para el cambio: Se diseñan los planes de gestión del cambio, incluyendo la conciencia de la necesidad de cambio, la definición del cambio, la formación de un equipo de gestión del cambio, la identificación de un patrocinador, la identificación de grupos afectados y el desarrollo de una estrategia de gestión del cambio.
- ii. Gestionar el cambio: Se desarrollan e implementan planes de comunicación, formación, hoja de ruta del patrocinador, entrenamiento y gestión de la resistencia.
- iii. Reforzar el cambio: Se recopilan y analizan los comentarios de las personas afectadas, se mide la adopción del cambio, se corrigen brechas y se celebra el éxito.

**Figura 9:** Proceso de gestión de cambios de tres fases de Prosci

Fuente: Tomado de Creasey, 2018; Prosci (2018)

En el proceso de revisión sistemática, se identificaron 32 contribuciones relevantes que abordan las preguntas orientadoras. Entre estas contribuciones se encuentran diversos modelos de transformación digital (DTM) propuestos por diferentes autores.

Erol et al. (2016) proponen un modelo de transformación I4.0 en tres etapas: "envision", "enable" y "enact". Durante la etapa "envision", se busca desarrollar una visión participativa de I4.0 involucrando a las partes interesadas. A continuación, en la etapa "enable", se convierte la visión en un modelo de negocios concreto y se desarrollan estrategias para su implementación exitosa. Finalmente, en la etapa "enact", se convierten las estrategias en proyectos reales.

Por otro lado, SCHALLMO et al. (2017) desarrollan una hoja de ruta de cinco fases para la transformación digital. Estas fases incluyen la realidad digital, ambición digital, potencial digital, ajuste e implementación digital. Cada fase aborda diferentes aspectos relacionados con la creación de valor, los requisitos del cliente, las mejores prácticas y la integración con socios.

En el marco propuesto por Issa et al. (2018) para la implementación de I4.0 en organizaciones de fabricación, se establecen varios pasos. Estos incluyen la formación de un grupo de trabajo, la evaluación de la digitalización, la definición de enfoques, la generación de ideas de casos de uso, la estimación del impacto y la selección de casos de uso adecuados según el nivel de madurez de la organización.

Romero et al. (2019) presentan un Marco de Transformación Digital Lean que combina prácticas “Lean” y herramientas en cinco pilares de gestión. Este enfoque incluye la gestión estratégica digital, que implica definir una visión digital a largo plazo, evaluar la madurez digital y seleccionar las tecnologías y métodos de trabajo apropiados.

Le Grand & Deneckere (2019) proponen un modelo ágil de gestión del cambio que consta de tres fases: definición, experimentación y anclaje. En la fase de definición, se realiza un diagnóstico; en la fase de experimentación, se llevan a cabo ciclos de taller y control; y en la fase de anclaje, se proporciona una visión general de los proyectos realizados y futuros, junto con un análisis de la capacidad de cambio.

Ng et al. (2018) definen un modelo conceptual para el desarrollo sistemático de planes de acción de digitalización en empresas. Este modelo incluye etapas como la evaluación del modelo de negocio actual, el diseño del modelo de negocio digital, la evaluación de las capacidades digitales actuales, la identificación de futuras capacidades digitales y el desarrollo del plan de acción.

Rautenbach et al. (2019) proponen un modelo conceptual de transformación digital en dos fases: evaluación del proceso actual de creación de valor y evaluación interna y externa de la organización. Estas evaluaciones conducen a la creación de perfiles de creación de valor y perfiles digitales, que guían a la organización en la creación de valor aprovechando la dimensión digital.

Pessl et al. (2017) proponen un modelo para evaluar la madurez digital de las empresas y desarrollar un plan de acción. Su enfoque se centra en cerrar la brecha entre el estado actual y el estado objetivo de la transformación digital. Esta idea se relaciona directamente con el marco metodológico propuesto por Leone & Barni (2020), quienes sugieren apoyar a las PYMES en su transformación digital al identificar brechas de innovación y convertirlas en proyectos de integración I4.0. Su enfoque busca ayudar a las empresas con recursos limitados a lograr una transformación exitosa.

Por otro lado, Butt (2020) propone un marco basado en la tradición de Business Process Management (BPM) para optimizar los procesos comerciales durante la transformación digital. Su enfoque se centra en el rediseño de procesos para adaptarse a la era digital. Esta idea también se relaciona con el marco conceptual presentado por Van Tonder et al.

(2020), quienes destacan la importancia de la innovación en el modelo de negocio durante la transformación digital. Ambos enfoques buscan asegurar que los procesos y el modelo de negocio estén alineados con los objetivos digitales de la organización.

En cuanto a la integración de tecnologías sociales e IoT, Mendhurwar & Mishra (2021) resaltan su importancia en la transformación digital, pero también señalan los desafíos de seguridad y privacidad asociados. Esta idea coincide con la propuesta de Nikitin & Kulchytskyy (2021), quienes proponen un modelo de gestión de la transformación digital basado en la relación estratégica entre el gobierno, la sociedad, las empresas y los desarrolladores de software. Ambos enfoques consideran los aspectos éticos y de seguridad como elementos clave durante el proceso de transformación digital.

Finalmente, Ou et al. (2021) presentan un marco de toma de decisiones específico para la transformación digital en la industria minorista. Su enfoque se centra en identificar problemas comerciales, establecer metas y ejecutar un plan de transformación. Esta idea destaca la importancia de la planificación estratégica y la ejecución adecuada durante el proceso de transformación digital.

En general, estas teorías y enfoques convergen en la importancia de evaluar la madurez digital, identificar brechas, rediseñar procesos, innovar en el modelo de negocio y considerar aspectos éticos y de seguridad durante la transformación digital. También se destaca la necesidad de una planificación estratégica y la colaboración entre diferentes actores para lograr una transformación exitosa. Estas ideas principales proporcionan una base sólida para abordar los desafíos y aprovechar las oportunidades que surgen en el contexto de la transformación digital en las empresas.

Esta investigación se basó en la aplicación parcial del Marco de Transformación Digital para el Estado Colombiano, diseñado por el MinTIC. Este Marco se fundamenta en el cumplimiento del artículo 147 de la Ley 1955 de 2019 – Plan Nacional de Desarrollo, el cual dispone que el componente de TD debe ser incorporado en los planes de acción de las entidades estatales. Para tal efecto, reúne los elementos necesarios para habilitar y apalancar el uso de tecnologías emergentes, a través de la modificación de procesos, productos o servicios, de tal manera que apoyen la generación de valor público. Para ello,

presenta el dentro del kit de TD las herramientas y guías relacionadas en la Tabla 2-9, los instrumentos utilizados se describen en la sección 4.1 (MinTIC, 2020b).

**Tabla 2-9:** Modelos de Transformación Digital

No.	Autores	Descripción/etapas	Herramientas y Métodos	Partes interesadas involucradas	Área de aplicación	Desarrollo
1	MinTIC	Entendimiento de conceptos de TD Conformación de equipo Evaluación de estado actual y eliminación de barreras Visión Digital y Hoja de ruta Ejecución de ruta e implementación Preparación y evaluación de "día D"	Herramienta de medición de madurez digital Guía para el uso de tecnologías emergentes Guía para el diseño de servicios digitales Guía para la automatización de procesos	Personas Grupo de trabajo responsable y conocedor del proceso Coordinadores Clientes, empleados y colaboradores	Entidades públicas	Lineamientos para la generación de iniciativas para la TD articulada con el Plan de Acción de cada Entidad,
2	(Erol et al., 2016)	<i>Envision</i> : definición de la visión específica para I4.0 <i>Enable</i> : hoja de ruta de las estrategias I4.0 <i>Enact</i> : elaboración de propuesta de transformación	- Hoja de ruta estratégica -	Partes interesadas de la empresa (alta dirección, mandos intermedios, socios comerciales, proveedores y clientes), expertos externos	Manufactura	Talleres realizados con el gobierno austriaco, asociaciones y empresas industriales líderes
3	(Schallmo et al., 2017)	Realidad digital Ambición digital Potencial digital Ajuste digital Implementación digital	Encuestas - - - -	Partes interesadas internas, clientes, socios comerciales	Manufactura	Revisión literaria
4	(Issa et al., 2018)	Establecimiento del grupo de trabajo Evaluación de la digitalización Definición de enfoque Generación de ideas de casos de uso Estimación del impacto del caso de uso Selección del caso de uso	- Entrevistas y cuestionarios Matriz de decisión Talleres y sesiones de brainstorming Matriz de selección -	Grupo de trabajo responsable interno de operaciones y expertos externos de I4.0 Personal coordinador hacia abajo	Manufactura	Revisión literaria
5	(Romero et al., 2019)	Gestión estratégica digital	Herramienta Lean (Hoshin Kanri)	Clientes, empleados, colaboradores	Manufactura	Revisión literaria

No.	Autores	Descripción/etapas	Herramientas y Métodos	Partes interesadas involucradas	Área de aplicación	Desarrollo
		Gestión de reingeniería de procesos	Design thinking Herramienta lean (mapeo de flujo de valor)	expertos (es decir, consultores externos, universidades) y socios tecnológicos		
		Gestión de tecnología digital	Metodología lean start-up			
		Gestión de cambio de personas	Herramienta Lean ( <i>Obeya Room</i> )			
		Gestión de riesgos digitales	Herramientas Lean			
6	(Le Grand & Deneckere, 2019)	Definir	Cartografía del cambio, cartografía de actores, preparación para el cambio	Todos los actores afectados por el cambio digital	-	Encuesta administrada a profesionales con experiencia en cambios de negocio
		Experimentación	Ciclo de talleres: talleres, <i>brainstorming</i> y capacitaciones Ciclo de control: encuesta sobre el proceso de cambio			
		Anclaje	Tablero de transformación empresarial Cuadrícula de evaluación			
7	Ng et al. (2018)	Evaluación del modelo de negocio actual	Esquema de modelo de negocios CANVAS	-	Manufactura	Taller con expertos de tecnologías digitales y transformación de negocios en empresas manufactureras
		Diseño del modelo de negocio digital	Matriz de generadores de valor digital			
		Evaluación de las capacidades digitales actuales	Modelos de madurez de capacidades digitales			
		Identificación de futuras capacidades digitales	-			
		Desarrollo del plan de acción	-			
8	(Rautenbach et al., 2019)	Evaluación de la creación de valor	-	-	-	Revisión de literatura Y entrevistas a expertos
		Perfil de organización digital	Capacidad digital Evaluación de la madurez	-	-	
			Transformación Evaluación de desafíos	-	-	
			Análisis de mercado	-	-	
			Evaluación de integración	-	-	

No.	Autores	Descripción/etapas		Herramientas y Métodos	Partes interesadas involucradas	Área de aplicación	Desarrollo
9	(Pessl et al., 2017)	Análisis	Iniciar taller	Talleres de trabajo Análisis FODA	Administración, Empleados, expertos externos Equipos interdisciplinarios de expertos	Manufactura	-
			Evaluación de madurez I4.0	Modelos de madurez de capacidad			
		Objetivos	Definir el estado objetivo	Talleres			
			Definir y evaluar medidas	Brainstorming Análisis morfológico			
		Realización	Preparar decisiones	Balanced Scorecard			
			Definir proyectos	-			
10	(Leone & Barni, 2020)	Evaluación de madurez I4.0	Cuestionarios y entrevistas	Representantes de los departamentos de la empresa, gerentes y operadores, principales stakeholders internos	-	Revisión literaria	-
		Proceso de análisis AS-IS	Diagramas de flujo				
		Diseño de hoja de ruta I4.0	Evaluación del flujo de la empresa	Enfoque de taller y pensamiento de diseño			
			Definición y evaluación de proyectos	Proceso de jerarquía analítica (AHP)			
			Elaboración de hoja de ruta	Hoja de ruta			
		Revisión y balance general del proyecto	-				
11	(Butt, 2020)	Identificación del proceso		Mapa de partes interesadas, DOFA, análisis Organigrama, contexto, diagrama de casos de uso empresarial	Partes interesadas internas (empleados) y externas (clientes)	Manufactura	Revisión literaria
		Descubrimiento de procesos		Diagrama de flujo del proceso, mapa de flujo de valor			
		Análisis de procesos		Indicadores clave de rendimiento			
		Rediseño de procesos		Herramientas de simulación, Matriz de Pugh			
		Racionalización de los Procesos Comerciales		-			
		Gestión de riesgos		Brainstorming, registro del riesgo			
		Análisis de brechas de habilidades		-			
		Gestión del Cambio		Modelo ADKAR,			

No.	Autores	Descripción/etapas	Herramientas y Métodos	Partes interesadas involucradas	Área de aplicación	Desarrollo
			modelo de gestión del cambio de Lewin, modelo de gestión del cambio de Kotter			
		Análisis de costo-beneficio	Metodología de ROI de Phillips			
		Proceso de Validación e Implementación;	-			
		Seguimiento y Control de Procesos	Lean six-sigma aproximación			
12	(Van Tonder et al., 2020)	desarrollar nuevos productos o adaptar los existentes infundiéndolos digitalmente	-			
		Servir al cliente a través de plataformas digitales	-			
		Identificar y adquirir los recursos necesarios para incorporar las tecnologías digitales a su modelo de negocio.	-			Revisión literaria
		Actualizar capacidades existentes en capacidades digitales	-			
		Moldear la estrategia para asegurar la transformación digital	-			
13	(Mendhurwar & Mishra, 2021)	Dispositivos IoT Conectividad Capacidades de plataforma social y de aplicaciones Capacidades analíticas	Arquitectura empresarial	-	Tecnologías sociales e IoT	Revisión literaria
14	(Nikitin & Kulchytskyy, 2021)	Colaboración estratégica	Modelo de triple hélice			
		Desarrollo de innovación digital	Plataforma de transformación digital, plataforma de creación de software	-	-	Revisión literaria
		Medición de la madurez digital	-			
15	(Ou et al., 2021)	Identificación del problema comercial de transformación digital  Identificación de la meta de transformación digital  Generación del plan de transformación digital  Evaluación del plan de transformación digital  Implementación del plan de transformación digital	Proceso estándar de la industria cruzada Para minería de datos (crisp-dm)  DOFA  Plan Do Check Act (PDCA)  Modelo de evaluación  -		Retail de alimentos	Revisión literaria y verificación utilizando datos reales de tiendas de conveniencia en Taiwán
<b>MODELOS LITERATURA GRIS</b>						
16	Capgemini (Bechtold et al., 2014)	Realizar una evaluación de madurez digital	-	-	Manufactura	Experiencia en proyectos de

No.	Autores	Descripción/etapas	Herramientas y Métodos	Partes interesadas involucradas	Área de aplicación	Desarrollo
17	Accenture (Shah et al., 2014)	Identificar oportunidades y amenazas en el entorno I4.0	-			transformación digital
		Definir la visión y estrategia de I4.0	-			
		Priorizar los dominios de transformación	-			
		Derivar la hoja de ruta hacia I4.0	-			
		Implementar y sostener el cambio	-			
		Ampliar la definición de digital	-	Clientes	-	Experiencia en proyectos de transformación digital
18	Kearney (Arora et al., 2016)	Descubra cuán enamorados están realmente los clientes	-			
		Genera impulso desde arriba	-			
		Enseñe el poder de lo digital	-			
		Fomentar la responsabilidad digital	-			
		Comprométete a nunca estar satisfecho	-			
		Invierta más allá del aquí y ahora	-			
19	PricewaterhouseCoopers (PwC) (Reinhard et al., 2016)	Definición de éxito	-	-	-	Experiencia en proyectos de transformación digital
		Estructura de dominio digital	-			
		Actualización digital	-			
		Motor de innovación	-			
		Motor de ejecución	-			
		Motor de escala	-			
20	Boston Consulting Group (Brunelli et al., 2017)	Diseñar la estrategia I4.0	Modelo de madurez de PwC	-	Manufactura	Experiencia en proyectos de transformación digital
		Crear proyectos piloto iniciales	-			
		Definir las capacidades necesarias	-			
		Conviértase en un virtuoso del análisis de datos	-			
		Transformarse en una empresa digital	-			
		Planificar activamente un enfoque de ecosistema	-			
		Entender el valor de hacer el cambio	-	-	Manufactura	Experiencia en proyectos de transformación digital
		Evaluar el estado actual de los sistemas y operaciones	-			
		Definir una visión y una hoja de ruta	-			

No.	Autores	Descripción/etapas	Herramientas y Métodos	Partes interesadas involucradas	Área de aplicación	Desarrollo
		Mejorar los procesos existentes	-			
		Ampliar las capacidades a lo largo de la cadena de valor	-			
21	McKinsey (Catlin et al., 2017)	Alta dirección segura	-	-	Compañías de seguro	Experiencia en proyectos de transformación digital
		Establecer objetivos claros y ambiciosos	-			
		Inversiones seguras	-			
		Empezar con proyectos faro	-			
		Nombrar un equipo de lanzamiento	-			
		Organizarse para promover una nueva forma ágil de trabajar	-			
		Fomentar una cultura digital	-			
		Iniciativa de secuencia para retornos rápidos	-			
		Construir capacidades	-			
		Adoptar un nuevo modelo operativo	-			
22	Deloitte (Schroock et al., 2019)	Estrategia	-	-	Manufactura	Experiencia en proyectos de transformación digital
		Modelo de negocio	-			
		Capacidades	-			
		Modelo operativo	-			
23	McKinsey (Angevine et al., 2021)	Creación de una hoja de ruta de tecnología impulsada por el negocio	-	-	Manufactura	Experiencia en proyectos de transformación digital
		Desarrollar y mejorar el talento	-			
		Adoptar una metodología de entrega ágil	-			
		Cambiar a un entorno de tecnología moderna	-			
		Centrándose en la gestión y el enriquecimiento de datos	-			
		Impulsar la adopción y escalamiento de iniciativas digitales	-			

Como ya se mencionó, se utilizó la gestión del cambio como lente metodológica para analizar los DTM. Para hacerlo, definiendo las actividades de gestión del cambio enumeradas a continuación:

- Definir un liderazgo fuerte
- Generar la conciencia de la necesidad de cambio
- Definir una visión y una estrategia claras.
- Comunicar la visión y la estrategia.
- Definir un equipo de gestión del cambio
- Identificar objetivos a corto plazo y probar el cambio en proyectos piloto
- Identificar y gestionar la resistencia al cambio.

- entrenar a la gente
- Supervisar el cambio
- Celebre los éxitos e implemente acciones correctivas
- Consolidar el cambio

Y para el caso de un cambio específico en el ámbito digital, es decir, el asociado a la transformación digital para la transición I4.0 (Tabla 2-10), donde se observa en qué medida los DTM tienen en cuenta las lecciones aprendidas en el campo de la gestión del cambio.

La lista también es útil para comparar las fases propuestas en los diferentes DTM, teniendo en cuenta la diversidad de estas se lograr realizar una síntesis quia para un posible diseño innovador de marco de referencia para la transformación digital que con base en la gestión del cambio guía a las organizaciones hacia la consecución de su objetivo digital.

**Tabla 2-10:** Lista de actividades de transformación digital basadas en el enfoque de gestión del cambio

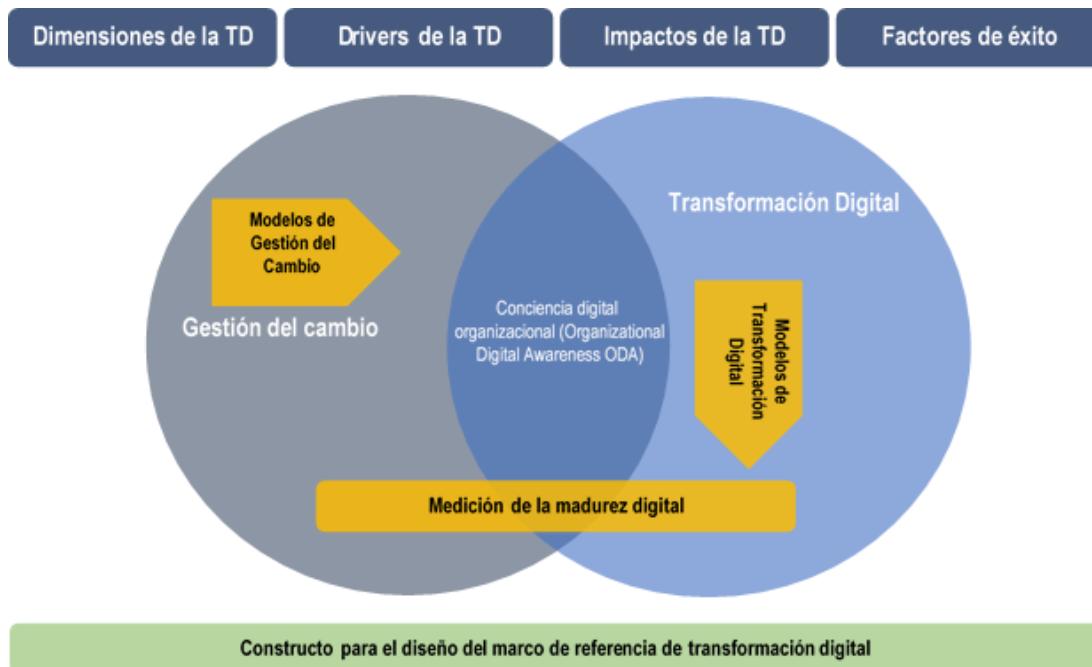
Actividades de gestión de cambios	Actividades de Transformación Digital
Definir un liderazgo fuerte	Definir un liderazgo fuerte
Generar conciencia sobre la necesidad de un cambio	Analizar el entorno i4.0 para identificar oportunidades y amenazas Realizar una evaluación de madurez digital Generar conciencia sobre la necesidad de la transición i4.0
Definir una clara visión y estrategia de cambio	Definir una visión clara, una estrategia y una hoja de ruta para la transición i.0
Comunicar la visión y la estrategia del cambio	Comunicar la visión, la estrategia y la hoja de ruta para la transición i4.0
Definir un equipo de gestión del cambio	Definir un equipo de gestión del cambio i4.0
Identificar objetivos a corto plazo y proyectos piloto probar el cambio	Identificar objetivos a corto plazo y proyectos piloto de digitalización
Identificar y gestionar la resistencia al cambio	Identificar y manejar la resistencia al cambio
Capacitar a las personas	Definir capacidades y habilidades digitales Capacitar y/o reclutar personas
Recopilar y analizar comentarios y monitorear el cambio	Recopilar y analizar comentarios y monitorear el proceso de transformación digital

Actividades de gestión de cambios	Actividades de Transformación Digital
Celebrar el éxito e implementar acciones correctivas	Celebrar el éxito e implementar acciones correctivas
Consolidar el cambio	Consolidar el cambio

Fuente: Adaptado de Bellantuono et al. (2021)

De esta forma se contestan las preguntas RQ3: *¿En dónde se ubica el mayor desarrollo en modelos de transformación digital y quiénes han sido sus principales autores?* y RQ5: *¿Cuáles son los principales campos de aplicación de los modelos de transformación digital?* Y adicionalmente se presentan los referentes o el constructo para el modelado del marco de referencia de transformación digital objeto del presente documento, Figura 10.

**Figura 10:** Constructo para el diseño del marco de referencia de TD

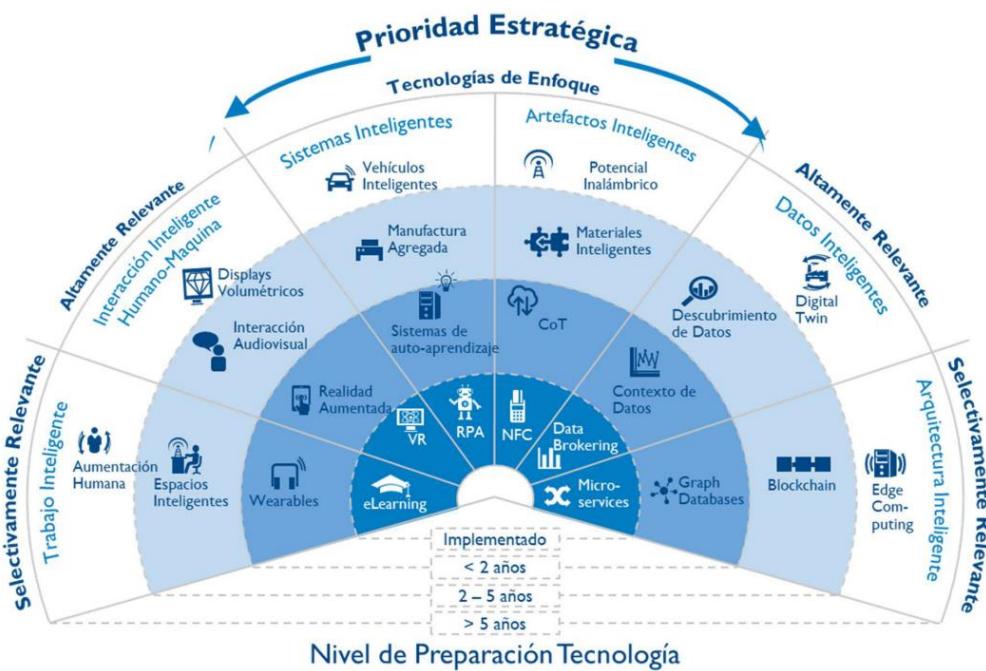


#### RQ4: ¿Cuáles son los componentes de las TICs más utilizados en los modelos de transformación digital?

Como se ha venido mencionado a lo largo del marco conceptual, la motivación para implementar los modelos de transformación digital en las organizaciones es facilitar la

habilitación de sus capacidades para apalancar su transformación digital a través de la reinención o modificación de sus procesos, productos o servicios, asegurando la generación de valor (MinTIC, 2020c). Para este fin, se ponen a disposición las TICs que facilitan la superación de brechas tecnológicas, organizacionales, y de infraestructura. Desde el MinTIC, se plantean marcos y modelos de transformación digital para las organizaciones públicas y privadas del país; en cuanto a tecnologías digitales, proponen un esquema de priorización de TICs con base a los objetivos organizacionales. Este puede detallarse en la siguiente figura:

**Figura 11:** Prioridad estratégica de TICs en la adopción de Modelos de TD



Fuente: tomado de (MinTIC, 2020c)

Nótese que gran parte de las TICs relacionadas en la Figura 11 obedecen a características de la Industria 4.0 y tecnologías basadas en inteligencia artificial, computación en la nube y el Internet de las Cosas. Cabe destacar que los tiempos de implementación son relativos y sugeridos para un contexto colombiano, no obstante, esto realmente varía según el tipo de organización.

De forma similar, el Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC) ha propuesto una guía de lineamientos para la adquisición y uso de tecnologías

emergentes en entidades públicas y privadas con características de prestación de servicios (MinTIC, 2019). Según el MinTIC, las tecnologías emergentes se refieren a nuevas tecnologías que están en desarrollo o se desarrollarán en los próximos cinco a diez años y que alterarán sustancialmente el entorno empresarial y social (MinTIC, 2019).

En el contexto actual de auge tecnológico y la llegada de la Industria 4.0, las tecnologías emergentes, conocidas como TICs emergentes, están surgiendo rápidamente. Es importante destacar que las tecnologías emergentes no necesariamente son nuevas, sino que también pueden ser implementadas en un contexto particular y representar una novedad (MinTIC, 2019).

La guía propuesta por el MinTIC consta de cuatro etapas con varios pasos en cada una de ellas (MinTIC, 2019). Estas etapas son las siguientes:

- i. Comprender y crear estrategias:
  - a. Desarrollar estrategias de implementación de TICs basadas en los objetivos de la Entidad.
  - b. Identificar posibles aplicaciones de las TICs.
  - c. Verificar la viabilidad de la implementación.
- ii. Diseñar:
  - a. Establecer requisitos previos y evaluar el estado actual de la Entidad.
  - b. Desarrollar una prueba piloto.
- iii. Habilitar:
  - a. Habilitar las capacidades necesarias en relación con la estructura organizacional.
  - b. Establecer un modelo de gobernanza que permita mantener y mejorar las TICs.
- iv. Implementar y Sostener:
  - a. Implementar los cambios a nivel institucional.
  - b. Capacitar y desarrollar el talento interno en el nuevo entorno de la Entidad.

En el ámbito colombiano, el sector de las TICs se refiere a la digitalización del estado y la adopción de procesos productivos que cumplan con los estándares tecnológicos más avanzados (MinTIC, 2020a). Según el MinTIC, este sector promueve programas y

proyectos que fortalecen las competencias ciudadanas digitales y establece alianzas público-privadas que generan desarrollo para el país (MinTIC, 2020a).

Después de la contingencia del COVID-19, el sector tecnológico y de comunicaciones se encuentra en un proceso de reactivación, demostrando la importancia de un sistema digital moderno que abarque todo el territorio nacional (Jefatura de Inteligencia de Negocio - Coordinación de Inteligencia Externa, 2021). Actualmente, el sector se enfoca en tres enfoques de proyectos para seguir con la modernización del país (Jefatura de Inteligencia de Negocio - Coordinación de Inteligencia Externa, 2021). Estos enfoques son:

- i. Transformación digital: Promover el uso intensivo de las TICs en los procesos productivos, el comercio electrónico, las MiPyMES y su cadena de valor, con el objetivo de aumentar la productividad y competitividad en los mercados globales.
- ii. Capacitación de programadores: Ante la demanda de profesionales especializados en TICs emergentes, es necesario fomentar la formación y capacitación en programación y tecnologías asociadas, para asegurar una mano de obra calificada y competitiva.
- iii. Conectividad: Ampliar la cobertura de la fibra óptica para conectar a más municipios en todo el país, garantizando así una infraestructura adecuada que permita el acceso a los servicios digitales.

Es esencial que el sector de las TICs esté informado acerca de las políticas y programas del país, como el Plan Nacional de Desarrollo y las iniciativas del MinTIC, para tomar decisiones informadas que beneficien a las empresas y a la ciudadanía en general (MinTIC, 2020a). Las iniciativas gubernamentales, como los Centros de Transformación Digital, han generado avances significativos en el desarrollo empresarial y la adopción de tecnologías emergentes (MinTIC, 2020a).

Además, es relevante mencionar casos de éxito en la implementación de TICs a nivel internacional, los cuales incluyen tendencias actuales en TICs alineadas con la Industria 4.0, como sistemas ciberfísicos, Internet de las Cosas, Big Data, inteligencia artificial, entre otras (MinTIC, 2019). La implementación exitosa de estas tecnologías ha demostrado la

importancia de contar con modelos de transformación digital que apoyen a los directivos en la implementación y desarrollo de capacidades dinámicas (MinTIC, 2019).

En el contexto de la Industria 4.0, la transformación digital en la industria manufacturera implica cambios complejos que requieren reformular los modelos de negocio y adaptar nuevos enfoques de transformación digital (MinTIC, 2019). Para ello, se proponen seis principios de diseño para la transformación digital en la industria manufacturera: interoperabilidad, virtualización, talento local, talento en tiempo real, descentralización y orientación al cliente (MinTIC, 2019). Estos principios permiten guiar la implementación exitosa de la transformación digital en este sector clave de la economía.

Si bien desde el mismo MinTIC colombiano se recomiendan estrategias en la adopción de la transformación digital y la integración de tecnologías emergentes a los procesos organizacionales, también existen casos de éxito en la implementación de TICs a nivel internacional, cuyos hallazgos principales se documentan a continuación:

Según Becerra (2020) las principales tendencias actuales en TICs alineadas con la industria 4.0, son el desarrollo de sistemas, el Internet de las Cosas, el Internet de las personas y servicios, fabricación aditiva, impresión 3D, ingeniería inversa, *Big data* y analítica, inteligencia artificial, vehículos no tripulados, 5G, ciberseguridad, entre otras. En el marco de la transformación digital, la implementación de estas TICs favorecen la digitalización de sistemas y procesos industriales, así como su interconexión a través del IoT, el *Big Data*, Computación en la nube y Ciberseguridad, junto con otras más particulares al contexto como los sensores inalámbricos, realidad aumentada, robótica, y dispositivos enmarcados en entornos inteligentes (Becerra, 2020).

Generalmente, al considerar la TD en una organización, los directivos entienden el concepto y los enfoques, pero no siempre tienen claro cómo ponerlo en marcha; aquí es donde entran los modelos de TD para brindar un apoyo a los directivos, mediante métodos, herramientas, y tecnologías, que promueven y facilitan la transformación (Bordeleau & Felden, 2019). Algunos autores sugieren que el desarrollo de capacidades dinámicas podría servir de base para una transformación exitosa, de forma similar, Bordeleau & Felden (2019) sugieren que tanto los métodos de TD estructurados como el desarrollo de capacidades digitales y ofimáticas son necesarios, pero se requiere flexibilidad en el

enfoque de la gestión del cambio y gestión del conocimiento debido a la incertidumbre del entorno en la Industria 4.0.

Con el avance de la Industria 4.0, las TICs empezaron a tener un fuerte impacto en la industria manufacturera, la transformación digital mediante tecnologías emergentes comenzaba a ser una prioridad en las empresas productoras de bienes; la transformación no es únicamente digital, sino también social, pues involucra medidas de cambio de paradigma y transferencia de conocimiento (Oztemel & Gursev, 2020). Para la industria manufacturera tradicional, estos cambios suelen ser bastante complejos, para lo cual se necesitan reformular los modelos de negocio y adaptar nuevos modelos de transformación digital orientados a cada caso. Tras una rigurosa revisión sistemática de literatura, Oztemel & Gursev (2020) definen seis principios de diseño para la TD en la industria manufacturera: La interoperabilidad, la virtualización, el talento local, el talento en tiempo real, la orientación al servicio y la modularidad.

En el marco de la I4.0, Oztemel & Gursev (2020) describen algunos de los enfoques que facilitarían la transformación digital en las organizaciones, de los cuales se destacan: los sistemas ciber físicos, el IoT, la Computación en la nube, las fábricas inteligentes, las ciudades inteligentes, la manufactura digital, realidad aumentada y simulación, la minería de datos, y la robótica. Alcácer & Cruz-Machado (2019) agrega a esta lista el *Big Data*, la ciberseguridad, y la manufactura aditiva, haciendo énfasis en la importancia de los sistemas ciber físicos y el IoT para las fábricas inteligentes, así como el Internet de los servicios, como tecnologías clave para las organizaciones.

Ahora bien, la TD y las TICs van siempre tomadas de la mano hacia el desarrollo organizacional, tanto para entidades privadas como para entidades públicas. La literatura reporta diversos hallazgos en el uso de TICs dentro del marco de transformación digital para entidades estatales, gubernamentales, y del sector público. Un ejemplo de esto son las guías desarrolladas por MinTIC (2019, 2020a, 2020b) que buscan acercar las entidades públicas hacia la transformación digital mediante modelos de madurez y de TD. Asimismo, Gómez et al. (2018) estudian el comportamiento de las TICs en entidades públicas colombianas, identificando las brechas tecnológicas, estratégicas, y de carácter administrativo que presentan las entidades al abordar tecnologías emergentes en sus entidades.

Bula Páez et al. (2022) recomienda trabajar en una mejor articulación de las entidades gubernamentales encargadas del cumplimiento de las metas de transformación digital, pues se observa que algunos indicadores pactados en planes, programas e iniciativas colombianas no han alcanzado su meta debido a la falta de trabajo conjunto entre las partes.

Siguiendo este hilo, la TD con un enfoque de administración municipal busca avanzar en las brechas tecnológicas y el desarrollo de las empresas, la ciudadanía y otros grupos de la ciudad que participen activamente en la TD. En este orden de ideas, las ciudades inteligentes requieren no solo de TICs, sino de modelos de transformación digital que faciliten la adopción de estas tecnologías; es importante estudiar las oportunidades de tecnología y datos para cada contexto geográfico, productivo, económico y sociocultural de los países, es decir: su mercado, economía, servicios, producción, innovación, migración, resiliencia, infraestructura, interacciones, entre otras, e involucrar a la ciudadanía dentro de los retos hacia la ciudad inteligente (Hamamurad et al., 2022). Bajo el amplio marco que son las ciudades inteligentes, las tecnologías más consideradas se agrupan en dos grupos:

- **TICs:** Que busquen garantizar la conectividad al nuevo mundo digital de manera rápida y segura, de manera colaborativa y que involucre a la comunidad. Acompañado de sensores que detecten cambios en el entorno, favoreciendo la trazabilidad, la prevención a las adversidades, y la resiliencia. En este grupo también entran campos de estudio como los GIS, el análisis de tendencias, y el trabajo colaborativo (Hamamurad et al., 2022).
- **Procesamiento de Datos:** En este grupo entran la mayor parte de las tecnologías de la industria 4.0 que faciliten la recolección, procesamiento y análisis de datos; como, por ejemplo, el *IoT*, el *Big Data* y la Computación en la nube. Dentro de este campo también se evalúan la investigación de nuevas tecnologías, como los nuevos materiales, la robótica, nuevos métodos de construcción, la impresión 3D, entre otras, que promuevan el desarrollo de las ciudades inteligentes (Hamamurad et al., 2022).

Las ciudades inteligentes también involucran la gestión del transporte y las herramientas informáticas para la solución a problemas de tráfico en las megaciudades; actualmente,

los datos geográficos, la cartografía digital, y los GIS son algunas de las tecnologías más utilizadas si se espera alcanzar una ciudad inteligente (Chehri et al., 2022).

Yamamoto (2020) presenta un caso de aplicación de TICs muy particular en el marco de la ciencia de datos geográficos, pues utiliza las TICs como herramienta de infraestructura digital para prevenir desastres y formular estrategias de contingencia en Japón; los autores proponen un mecanismo de Red social GIS, el cual involucra los servicios de comunicación social, la red social Twitter, y el Web-GIS, disponibles en Japón, creando así una herramienta colaborativa con un fuerte impacto social y contenido innovador. Este es un ejemplo de cómo relacionar las TICs con la ciencia de datos geográficos en el marco de la transformación digital para el beneficio de la comunidad.

Para finalizar esta sección, se destaca que la implementación de TICs ha dejado una serie de desafíos en la educación y el paso hacia una transformación digital, pues han cambiado la forma de aprendizaje tradicional a uno basado en el digital (Becerra, 2020), lo cual requiere de la coordinación de cada rol dentro de una organización, desde la dirección estratégica hasta el nivel operativo.

Según los hallazgos encontrados en la literatura, se puede evidenciar que la mayor parte de los estudios sobre la implementación de GIS y datos geográficos en contextos de TD se enfocan en el mejoramiento de los procesos de transporte, ruteo, cartografía, e infraestructura vial (González-Jaramillo, 2015; Haklay et al., 2018; Prah & Štrubelj, 2018; Yamamoto, 2020), cuyo fin último es fomentar el desarrollo hacia una ciudad inteligente mediante las TICs (Chehri et al., 2022; Daniel & Doran, 2013; Hamamurad et al., 2022), que se apoyen con tecnologías de la I4.0 para garantizar la transformación digital, desde las actividades operativas de cada industria hasta la coordinación gubernamental y la participación de la ciudadanía.

## **3. Marco teórico**

Este capítulo pretende acercar al lector a una aproximación conceptual y contextualización a los conceptos y nociones que se trabajarán a lo largo del documento, así como las generalidades más destacadas en estos campos. Para la búsqueda de información en esta sección se utilizaron bases de datos estructuradas (indexadas) y no estructuradas (también conocidas como “literatura gris”), las cuales definen teóricamente los conceptos a tratar y brindan información del contexto actual de estos campos.

### **3.1 Ciencia de datos geográficos**

En el campo de la ciencia existe múltiples ramas del conocimiento que, como lo es en este caso, se suelen entrelazar para compartir y crear nuevo conocimiento. Arribas-Bel & Reades (2018) señalan que las ciencias de la computación e información han estado entrelazadas con las ciencias geográficas, lo que dio paso a un nuevo campo que denominan Ciencia de los Datos Geográficos, en el que podría producirse una polinización cruzada en beneficio tanto de la Geografía como de la comunidad de datos en general. A partir de esta nueva rama, nace toda una serie de aproximaciones conceptuales adaptadas a los tiempos modernos y a la digitalización.

### **3.2 Datos geográficos**

Los datos geográficos, también conocidos como datos espaciales, describen la ubicación y atributos de objetos en la Tierra. Se pueden clasificar en localización absoluta, definida por coordenadas, y localización relativa, basada en relaciones topológicas. Los datos geográficos se representan comúnmente en forma de mapas y se georreferencian en sistemas de coordenadas terrestres, asociadas a un marco de referencia espacial. Para obtener información y realizar análisis, se requiere un tratamiento adecuado de los datos, que puede incluir análisis estadístico y características geométricas. Además, se pueden

combinar ambas perspectivas para lograr un análisis espacial completo. Morea Rodríguez & Huerta Rodríguez, 2018; Villarreal et al., 2022; Madrid Soto & Ortiz López 2005).

### **3.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas informáticos que capturan, almacenan y muestran datos relacionados con la ubicación en la superficie del planeta. Estos sistemas permiten comprender las relaciones espaciales, preservar datos y realizar análisis combinándolos con interfaces gráficas y de mapeo. Los SIG incluyen tanto *hardware* como *software* y pueden utilizar datos cartográficos, fotográficos, digitales y hojas de cálculo. (National Geographic Society, 2022; (Morea Rodríguez & Huerta Rodríguez, 2018).

La combinación de los conocimientos presentados en "*Geographic Information System and Science*" de Longley et al. (2015) y "*Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*" de Malczewski & Rinner (2015) proporciona una visión integral de la aplicación de los SIG en la ciencia de datos geográficos. Por un lado, Longley y Goodchild abarcan los fundamentos y aplicaciones generales del SIG, tales como la captura, el almacenamiento y el análisis de datos geográficos, así como el uso de tecnologías y técnicas avanzadas en SIG. Además, exploran la relación entre los SIG y disciplinas como la cartografía, la teledetección y el análisis espacial, mientras que Malczewski y Rinner se enfocan en el análisis de decisiones multicriterio dentro del contexto del SIG. Estas perspectivas combinadas ofrecen una base sólida para comprender y abordar problemas complejos en la toma de decisiones espaciales (Longley et al., 2015; Malczewski & Rinner, 2015)

### **3.4 Enfoque digital en los datos geográficos**

Tradicionalmente, la información cartográfica se presenta en forma analógica, es decir, representando la realidad de manera física y continua, sin embargo, con el avance tecnológico se hace necesario adaptar esta información a formato digital de manera discreta, es decir, de forma analítica (Morea Rodríguez & Huerta Rodríguez, 2018). Para obtener una cartografía digital, es necesario seguir con dos requisitos fundamentales:

- Los datos digitales deben estar georreferenciados, de tal forma que cada dato geográfico tenga una etiqueta que define su posición espacial en un marco de referencia.
- Las características espaciales del dato geográfico se deben describir en términos digitales mediante relaciones topológicas.

Adicionalmente, es importante codificar los datos geográficos mediante una geocodificación, la cual según Morea Rodríguez & Huerta Rodríguez (2018), pueden ser directa o indirecta:

- **Geocodificación Directa:** Consiste en determinar la localización espacial absoluta para cada dato geográfico en un sistema de ejes ortogonales de coordenadas. Los sistemas más utilizados son los de coordenadas planas para espacios sobre la superficie terrestre en un plano cartesiano con dos ejes perpendiculares (X, Y).
- **Geocodificación Indirecta:** Consiste en la posibilidad de localizar geográficamente los elementos a partir de los valores de un atributo de una entidad, como la dirección, el código postal, el municipio, entre otras. Esta geocodificación tiene un enorme espectro de análisis de carácter demográfico sobre la cartografía y la ciencia de datos geográficos.

## 3.5 Transformación Digital (TD)

### 3.5.1 Delimitación

La transformación digital es un proceso evolutivo que va más allá de la adopción de tecnologías, afectando todos los aspectos de una organización (Rodríguez-Abitia & Bribiesca-Correa, 2021). Hay diferentes interpretaciones de este concepto: algunos lo ven como una aplicación incremental de las tecnologías de la información (Heilig et al., 2017a), mientras que otros lo consideran un cambio disruptivo impulsado por innovaciones digitales acumulativas (Skog et al., 2018; Rodríguez-Abitia & Bribiesca-Correa, 2021).

La transformación digital implica cambios en procesos, organización, dominio comercial y sociedad (Parviainen et al., 2017a). También requiere enfoques multidimensionales, como el desarrollo de capacidades digitales (Gurbaxani & Dunkle, 2019) y consideraciones

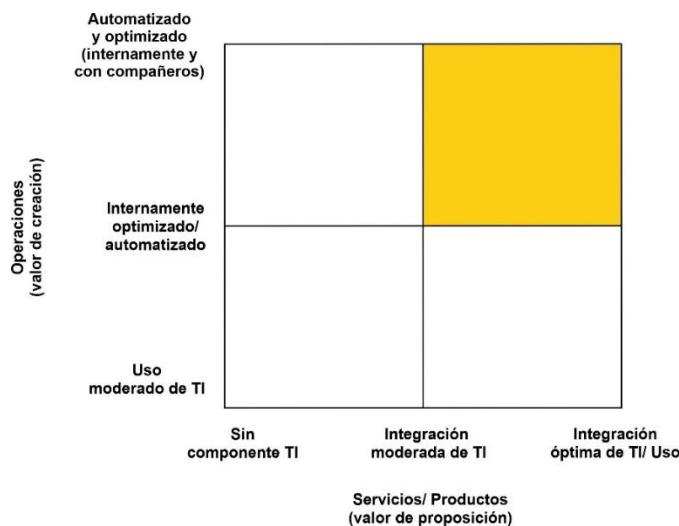
específicas de la industria y el tamaño de la organización (Demlehner & Laumer, 2020). Para tener éxito, es importante abordar aspectos como la cultura organizacional, la colaboración, el liderazgo digital y las capacidades de la fuerza laboral (Muehlburger et al., 2019).

La transformación digital busca mejorar el desempeño organizacional mediante la simplificación de procesos, la creación de nuevos servicios y la innovación de productos y servicios (Westerman et al., 2014). Además, puede generar beneficios como la mejora de la calidad de los servicios al cliente y la obtención de ventajas competitivas (Davenport, 2013; Fitzgerald et al., 2014; Rajabi & Bolhari, 2015; Sahu et al., 2018; Westerman & Bonnet, 2015).

En conclusión, la transformación digital implica cambios profundos en una organización y su entorno, y requiere una visión estratégica clara y la integración de capacidades digitales para aprovechar al máximo las oportunidades de la era digital.

La Figura 12 ilustra el área de TD (cuadrante superior izquierdo). Los dos ejes muestran los procesos operativos de una organización. El eje vertical presenta la creación de valor y provisión de servicios y el eje horizontal, los servicios o productos que ofrece la empresa. El enfoque está en la transición de modelos de negocios convencionales a innovadores.

**Figura 12:** Transformación digital de procesos operativos de una organización



Fuente: Adaptado de Berman & Bell (2011)

Los factores clave para los proyectos de transformación digital fueron descritos por Sandkuhl et al., 2019 y son: estrategia, liderazgo, productos, personas, cultura, operaciones, gobernanza y tecnología.

### **3.5.2 La digitalización no es transformación digital (TD)**

Digitalizar implica convertir información analógica en formato digital, como escanear documentos o utilizar formularios electrónicos (Reis et al., 2018a). Por otro lado, la digitalización utiliza la tecnología digital para crear valor de nuevas formas, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo errores (Gobble, 2018). Ejemplos de digitalización pueden ser los registros de coordenadas en de tablas Excel y la recopilación de coordenadas a través de lectores geoespaciales (Gobble, 2018; Hsu et al., 2018). Sin embargo, digitalizar no implica cambios en el proceso en sí, ni impulsa nuevos modelos, eso es parte de la digitalización (Hsu et al., 2018). En resumen, la digitalizar convierte información analógica en digital, mientras que la digitalización aprovecha la tecnología digital para generar valor.

Digitalizar implica implementar sistemas de registro y, cada vez más, sistemas de compromiso. Por otro lado, la digitalización implica aprovechar los datos y procesos digitalizados para generar conocimiento y tomar medidas (Manyika et al., 2016). La digitalización sienta las bases para la transformación digital, que implica una reconstrucción completa del negocio en torno a las oportunidades y demandas que ofrece la tecnología digital (Gobble, 2018). Según Jeanne Ross, la digitalización es una necesidad operativa, mientras que la digitalización o "volverse digital" requiere una propuesta de valor visionaria que tenga el potencial de redefinir un negocio e incluso una industria (Ross, 2017).(Figura 13).

**Figura 13:**Diferencia entre digitalizar, digitalización y transformación digital



Fuente: Adaptado de Abdul Malak (2022)

### 3.5.3 Impactos de la transformación digital (TD)

La transformación digital está cambiando la forma de trabajo de las organizaciones y su entorno organizacional. Ignorar este proceso puede suponer un riesgo en mercados altamente competitivos. La transformación digital tiene un impacto tanto en los aspectos operativos internos de una organización como en la creación de nuevas oportunidades comerciales y la reestructuración de roles en la cadena de valor. Por ejemplo, puede eliminar intermediarios tradicionales y dar lugar a nuevos intermediarios a través del acceso directo a los consumidores y el uso de dispositivos móviles (Parviainen et al., 2017).

La transformación digital se puede abordar desde tres perspectivas: eficiencia interna, oportunidades externas y cambio disruptivo. En términos de eficiencia interna, la digitalización mejora los procesos internos mediante medios digitales, lo que resulta en una mayor eficiencia, calidad y consistencia. También proporciona una mejor visión en tiempo real de la operación y los resultados al integrar datos estructurados y no estructurados, lo que permite una comprensión más completa de los datos de la organización y la integración de información de otras fuentes (Parviainen et al., 2017).

**Figura 14:** Impactos de la transformación digital



Fuente: Adaptado de (Parviainen et al., 2017)

La transformación digital tiene un impacto significativo en las organizaciones al mejorar la eficiencia interna, ofrecer oportunidades comerciales externas y provocar cambios disruptivos en el entorno operativo. Esto se logra mediante la automatización del trabajo rutinario, la mejora del servicio al cliente y la creación de nuevos modelos de negocio.

Además, la pandemia de COVID-19 ha acelerado la adopción de la transformación digital, y las empresas con un alto nivel de madurez digital han obtenido ventajas competitivas. La madurez digital se evalúa a través de características como el acceso, la automatización, la orientación al cliente, la eficiencia, la flexibilidad, la innovación, la eficacia operativa, la visión y la calidad (Parviainen et al., 2017; Performance Improvement Partners, 2021; von Solms, 2021; Kohlegger et al., 2009) Figura 14.

### **3.5.4 Transformación digital – madurez y modelos de madurez**

Existe la necesidad de adoptar un enfoque distinto hacia la Industria 4.0 y la transformación digital, considerando varios niveles de madurez. Se propone un enfoque gradual basado en la implementación de tecnologías y metodologías de Industria 4.0, así como cambios organizacionales para avanzar de un nivel de madurez al siguiente (Issa et al., 2018).

La madurez se representa a través de una matriz que muestra el desarrollo potencial de una organización en períodos secuenciales. El modelo de Nolan (Nolan, 1979) fue el precursor de la madurez en los sistemas de información, seguido por el Capability Maturity Model (CMM) (Paultk et al., 1993), utilizado para evaluar el desarrollo de sistemas de software y áreas relacionadas. Se asume que el desempeño de la organización está relacionado con su nivel de madurez (Issa et al., 2018).

Un Modelo de Madurez (MM) es una técnica valiosa para medir diferentes aspectos de un proceso u organización, proporcionando una medida para la auditoría, evaluación comparativa, evaluación del progreso y comprensión de fortalezas, debilidades y oportunidades (Proenca & Borbinha, 2016).

La madurez se define como un proceso para definir, gestionar, medir y controlar el crecimiento evolutivo de una Entidad, donde el objetivo es alcanzar un estado en el que la organización sea capaz de lograr sus objetivos. La madurez implica avanzar de un estado inicial a un estado final más avanzado (Fitterer & Rohner, 2010; Mettler, 2009; Sen et al., 2012).

Las organizaciones maduras miden diferentes indicadores en comparación con las menos maduras, y la madurez se relaciona con el progreso evolutivo hacia una capacidad o meta

específica (Amaral & Araújo, 2008; Cooke-Davies & Arzymanow, 2003; Koshgoftar & Osman, 2009).

La Figura 15 muestra que los modelos de madurez representan niveles secuenciales que forman un camino lógico anticipado desde un estado inicial hasta un estado final de madurez, evaluando el progreso en relación con los niveles definidos (Kohlegger et al., 2009; Proença & Borbinha, 2016; Röglinger & Pöppelbuß, 2011).

La transformación digital implica cambiar los flujos de trabajo y procesos a través de tecnologías digitales, mientras que la madurez digital es la comprensión y capacidad para implementar esos cambios. Ambas están interrelacionadas y afectan las operaciones comerciales y la eficiencia. La falta de comprensión de la madurez digital puede obstaculizar la transformación digital, y la falta de un modelo de madurez digital dificulta la evaluación de las áreas críticas para el cambio (Antonizzi & Smuts, 2020; Del Pozo & Cangrejo, 2018; Liu et al., 2022).

Un Modelo de Madurez Digital (MMD) o Modelo de Madurez de Transformación Digital (MMTD) es un marco que evalúa el nivel actual de madurez digital de una empresa y proporciona una hoja de ruta para alcanzar los objetivos de madurez digital (Brown & Brown, 2019; Liu et al., 2022).

Existen MMD genéricos y específicos de la industria, que ofrecen información basada en datos sobre los niveles actuales de madurez digital y se aplican a diferentes aspectos del negocio (Butt, 2020; Performance Improvement Partners, 2021; Sandkuhl et al., 2019).

**Figura 15:**Tres tipos de modelos de madurez digital



Fuente: Adaptado de Performance Improvement Partners (2021)

### 3.5.5 Dimensiones de la Transformación Digital

La transformación digital requiere una amplia reinvención que abarque consideraciones estratégicas, tecnológicas, de capital humano y de cultura organizacional (Gill & VanBoskirk, 2016; Wulf et al., 2017). La ventaja competitiva ahora proviene de ideas que se convierten en nuevos negocios y modelos de negocios innovadores, mejores productos y servicios, y mayor productividad y eficiencia, a través de la codificación en software y el aprovechamiento de plataformas digitales.

Al mismo tiempo, los activos físicos que solían conferir ventaja competitiva se están mercantilizando, especialmente con el aumento de las cadenas de suministro globales (Gurbaxani & Dunkle, 2019). Esto ha llevado a un cambio crucial en la fuente de ventaja competitiva hacia el software. La creación de valor a través del software requiere una visión y una estrategia redefinidas, alineación entre estrategias comerciales y digitales, codificación de propiedad intelectual y conocimientos valiosos, una cultura de innovación, talento técnico y capacidades de tecnología digital (Gurbaxani & Dunkle, 2019).

La Tabla 3-1 resume la investigación de Gurbaxani & Dunkle (2019), la cual identificó seis dimensiones empresariales clave para una transformación digital exitosa que posiciona a una empresa en una posición competitiva:

- Visión estratégica: incluye la existencia de una visión estratégica para el mundo digital y una estrategia para ejecutarla, así como la capacidad del equipo ejecutivo para liderar la transformación digital.

- Cultura de innovación: se refiere a prácticas de gestión que fomentan la innovación, como métricas de compensación, tolerancia al fracaso y evaluación de la cultura organizacional.
- Know-how y activos de propiedad intelectual (PI): se evalúa la cantidad de conocimientos y activos de PI que posee la empresa y cómo los aprovecha en términos de operaciones, comprensión del cliente y desarrollo de productos.
- Capacidades digitales (talento): se considera el talento disponible en la empresa para respaldar la transformación digital, tanto a nivel estratégico como técnico.
- Alineación estratégica: se refiere a la capacidad de la empresa para realizar inversiones financieras que respalden su visión estratégica, incluyendo la disposición a canibalizar flujos de ingresos y negocios existentes a corto plazo.
- Activos tecnológicos: se evalúa el nivel de uso de tecnologías digitales emergentes, como Big Data, análisis de datos, tecnologías móviles, computación en la nube e Internet y comunicaciones inalámbricas.

Estas dimensiones son fundamentales para posicionar a una empresa en una posición competitiva en la era digital (Heilig et al., 2017b; Liu et al., 2022; Reis et al., 2018; Teichert, 2019).

**Tabla 3-1:** Dimensiones de la Transformación Digital

<b>Dimensión: Visión Estratégica</b>
▪ Una visión estratégica claramente definida asignada a una comprensión de las necesidades digitales
▪ La empresa tiene una estrategia para la transformación digital
▪ El equipo ejecutivo senior tiene una comprensión clara de las capacidades de la tecnología digital y cómo respaldarán los objetivos comerciales.
▪ No hay problema con la falta de liderazgo digital para definir la estrategia
▪ Sin dificultad para desarrollar la estrategia digital de la empresa
<b>Dimensión: Cultura de Innovación</b>
▪ Existe una cultura de innovación y asunción de riesgos.
▪ Se fomentan nuevas formas de pensar y soluciones desde diversas perspectivas.
▪ Se debe aprender del fracaso al tomar un riesgo calculado; no es una marca negra en la carrera de uno.
▪ Los innovadores son recompensados
▪ No hay problema con la resistencia cultural

<b><i>Dimensión: Know-how y Propiedad Intelectual</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso cada vez mayor de <i>software</i> para mejorar el rendimiento de las operaciones</li> <li>▪ Uso cada vez mayor de <i>software</i> para mejorar la comprensión del cliente</li> <li>▪ Uso cada vez mayor de <i>software</i> para mejorar el conocimiento del producto</li> <li>▪ Suficientes activos de propiedad intelectual para implementar la visión estratégica</li> <li>▪ Uso cada vez mayor de <i>software</i> para mejorar las interacciones con los proveedores.</li> </ul>
<b><i>Dimensión: Capacidad digital</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disponibilidad de experiencia digital</li> <li>▪ En general, existen habilidades visionarias/innovadoras necesarias dentro de la empresa para definir la estrategia digital adecuada</li> <li>▪ Las calificaciones se asignan a las personas en función de su nivel de conocimiento sobre transformación digital.</li> <li>▪ El talento técnico para la innovación ya está disponible en la empresa</li> <li>▪ No hay problema con la falta de habilidades digitales para ejecutar la estrategia</li> </ul>
<b><i>Dimensión: Alineación Estratégica</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Empresa dispuesta a financiar iniciativas digitales estratégicas con rendimientos inciertos</li> <li>▪ Voluntad a corto plazo de canibalizar las fuentes de ingresos y los modelos comerciales existentes para obtener ganancias en el largo plazo</li> <li>▪ Colaboración y alineación entre los equipos digitales y de unidades de negocios</li> <li>▪ Ningún problema con la falta de presupuesto/recursos asignados a la transformación digital</li> <li>▪ Aumento de la inversión en nuevas formas de <i>software</i> en los últimos tres años</li> </ul>
<b><i>Dimensión: Activos tecnológicos</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tecnología en uso: <i>Big Data</i></li> <li>▪ Tecnología en uso: Minería y análisis de datos/Análisis de datos</li> <li>▪ Tecnología en uso: Tecnologías móviles</li> <li>▪ Tecnología en uso: computación en la nube</li> <li>▪ Internet y comunicaciones inalámbricas</li> <li>▪ Activos tecnológicos suficientes para implementar la visión estratégica</li> </ul>

Fuente: Adaptado de Gurbaxani & Dunkle (2019)

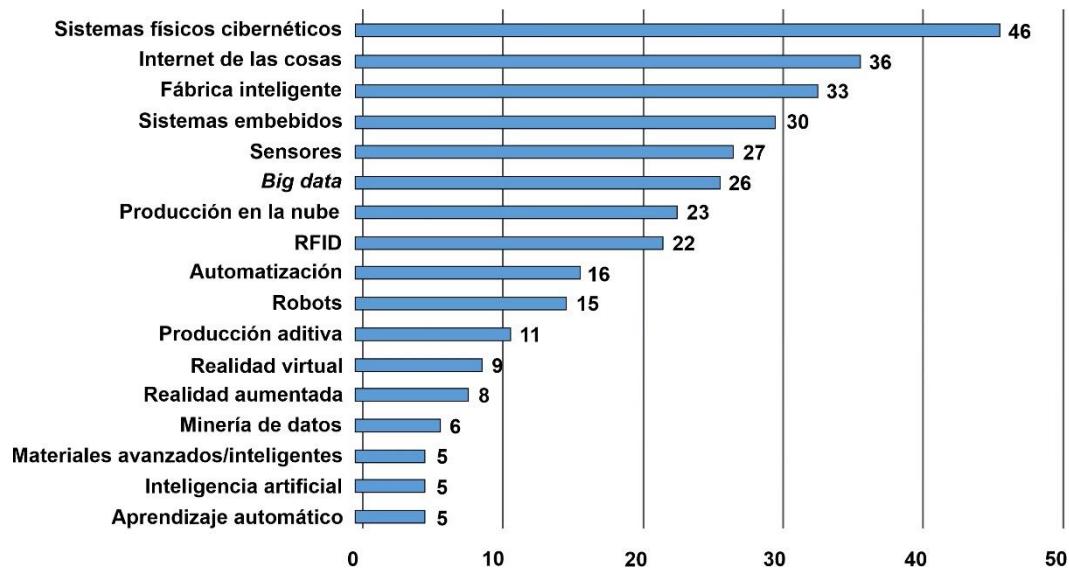
### 3.5.6 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs)

#### 3.5.6.1 Relevancia de las TICs en el paradigma de Industria 4.0

El término TICs se define en un sentido amplio como tecnologías dedicadas al almacenamiento, procesamiento y comunicación de información (Rao, 2004). Según Martyn et al. (2003) las TIC constituyen una gama de tecnologías, aplicaciones y

dispositivos de *software*, *hardware*, telecomunicaciones y gestión de la información que se utilizan para crear, producir, analizar, procesar, empaquetar, distribuir, recuperar, almacenar y transformar información. Por lo tanto, las TICs son redes de comunicación organizadas y recursos de datos que recopilan, transforman y difunden información dentro y entre organizaciones (Seyal et al., 2000; Sharma y Bhagwat, 2006). La adopción de las TICs brinda muchos beneficios en una amplia gama de transacciones y procesos comerciales dentro y entre empresas. La adopción de las TICs mejora la gestión de la información y el conocimiento dentro de la empresa y puede reducir los costos de transacción y aumentar la velocidad y confiabilidad de las transacciones tanto de empresa a empresa (B2B) como de empresa a consumidor (B2C) (Ongori & Migiro, 2010). Además, son herramientas efectivas para mejorar las comunicaciones externas y la calidad de los servicios para clientes nuevos y establecidos (OECD, 2019a).

A pesar de que la cuarta revolución industrial aún no ha tenido lugar, se reconocen diversas tecnologías que impulsarán su desarrollo. Según la literatura revisada, la Figura 16 proporciona un resumen de las tecnologías consideradas fundamentales (Wichmann et al., 2019). De las 17 tecnologías mencionadas, 15 comparten características similares. Aunque se clasifican como tecnologías industriales, su objetivo no es afectar a las células de producción individuales en procesos como el mecanizado, la unión o el conformado. En su lugar, se enfocan en recopilar, interconectar y gestionar los datos de la fábrica con el fin de optimizar y agilizar la secuencia de producción (Schmidt et al., 2015). Además de la robótica y la fabricación aditiva, las demás tecnologías utilizan la información como un recurso en la cadena de creación de valor (Wichmann et al., 2019).

**Figura 16:**Tecnologías clave fundamentales para la industria 4.0

Fuente: Adaptado de: Wichmann et al. (2019)

Las tecnologías predominantes en la cuarta revolución industrial pertenecen al ámbito de las TIC. Estas tecnologías permiten la interoperabilidad y la comunicación integral de los sistemas de producción en la fábrica. Dado que funcionan como medios de comunicación, es poco probable que se implementen de manera individual (Wichmann et al., 2019).

Dentro de estas tecnologías, el Sistema Ciberfísico (CPS) se considera especialmente instrumental para la Industria 4.0, ya que las principales menciones en la literatura tienen características y funcionalidades sinónimas que no pueden separarse unas de otras. (Wichmann et al., 2019).

Una revolución industrial impulsa el paradigma de las mejores prácticas en la fabricación y permite niveles de productividad previamente inalcanzables. Se espera que la Industria 4.0 siga este patrón (Schmidt et al., 2015). Tanto los académicos como los fabricantes tienen grandes expectativas en este paradigma en evolución, ya que se anticipa que creará oportunidades extraordinarias para aumentar los ingresos y/o la productividad (Liao et al., 2017).

La Figura 17 resalta las propuestas de beneficios más comunes que se predice serán características de la fabricación futura. Estas características emergentes están

estrechamente relacionadas con la búsqueda de la Industria 4.0 y los beneficios de la próxima revolución industrial (Wichmann et al., 2019).

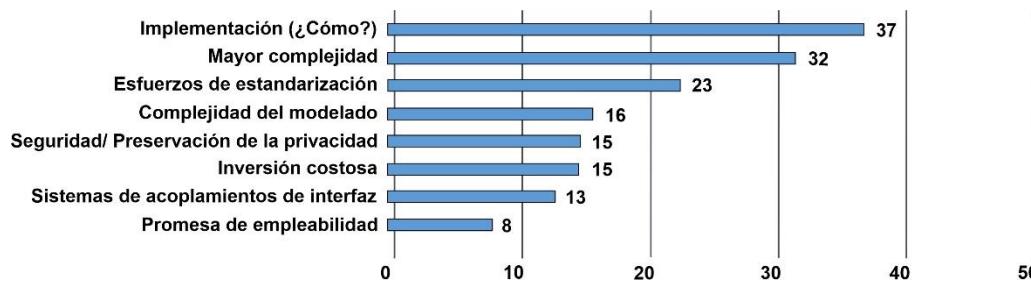
**Figura 17:** Propuestas de beneficios de la Industria 4.0



Fuente: Adaptado de Wichmann et al. (2019)

A pesar de los beneficios previstos, aún existen desafíos considerables que superar para que I4.0 se realice con éxito en la industria. La Figura 18 resume lo que la literatura revisada considera desafíos centrales que aún requieren investigación y desarrollo por parte de la academia. Muestra un fuerte consenso de que existe la necesidad de una guía en la implementación y preguntas sobre cómo gestionar el aumento esperado en la complejidad del sistema (Wichmann et al., 2019).

**Figura 18:** Industria 4.0 desafíos de implementación



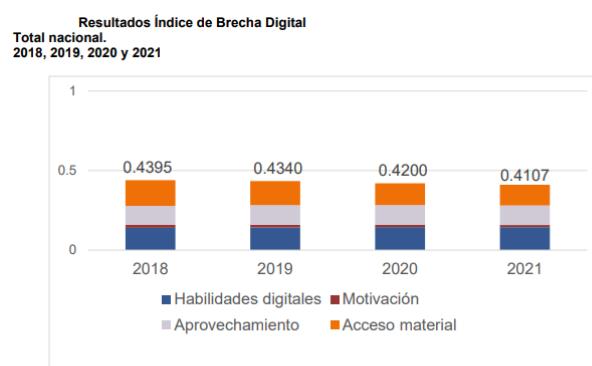
Fuente: Adaptado de Wichmann et al. (2019)

La literatura muestra que el mayor impulsor de la complejidad no resuelta es la conexión en red de una fábrica heterogénea para que todos los sistemas de producción puedan conectarse y comunicarse de manera autónoma (Li et al., 2017; Lin et al., 2022). No existe una solución estandarizada que facilite la conexión en red de interfaces y protocolos de comunicación específicos del proveedor (Wan et al., 2016). La Figura 18 ilustra que hay esfuerzos para normalizar los métodos de trabajo en red; sin embargo, la estandarización es lenta y es poco probable que los proveedores individuales esperen y, por lo tanto, pierdan oportunidades de mercado (Weyer et al., 2015). La investigación para desarrollar un CPS exitoso debe continuar buscando un método robusto que permita que todos los sistemas de producción se conecten a la red, comuniquen su estado y reaccionen a la información actualizada (Lu, 2017).

### 3.5.6.2 Índice de Brecha Digital en Colombia

El Índice de Brecha Digital en Colombia es una herramienta que evalúa la brecha digital en el país en una escala de 0 a 1, donde valores más cercanos a cero indican una menor brecha digital. Este índice se compone de cuatro dimensiones que influyen en la conformación de la brecha y su participación se refleja en una barra completa apilada. El objetivo principal de este índice es fortalecer las capacidades territoriales para monitorear y dar seguimiento a la brecha digital. Además, permite realizar comparaciones a nivel de departamentos en términos de motivación, acceso material, dominio de habilidades digitales y aprovechamiento de las tecnologías (MinTIC, 2022).

**Figura 19:** Resultados Índice de Brecha Digital total nacional del 2018 al 2021



Fuente: MinTIC 2022, IBD.

Nota: Este índice estima la brecha digital en un rango de 0 a 1, donde valores más cercanos a cero implican una menor brecha digital. La longitud de la barra completa apilada refleja el efecto acumulado de las cuatro dimensiones en la conformación de la brecha y a su vez la participación de cada dimensión en ese efecto.

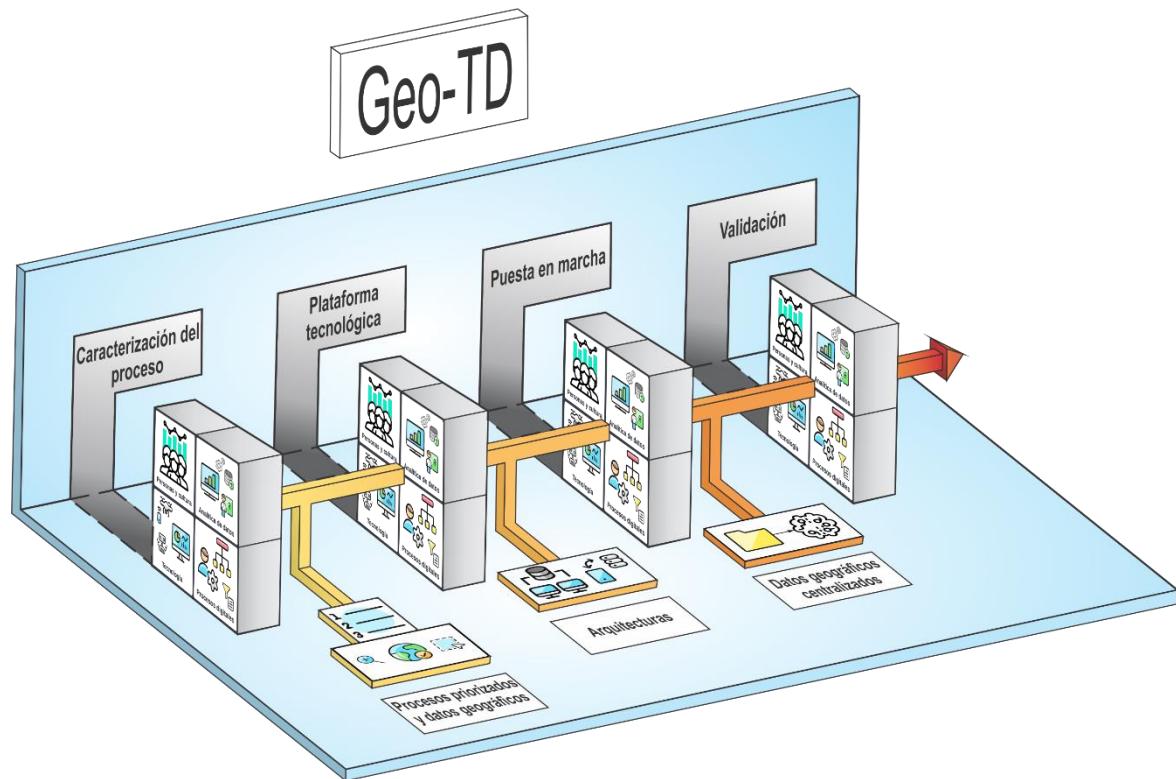
Fuente: Tomado de MinTIC (2022)

En 2021, el Índice de Brecha Digital de Colombia se situó en 0,4107. Esto indica una diferencia de 0,1561 en comparación con la mejor puntuación obtenida por Bogotá D.C. (0,2546) y una diferencia de 0,3425 en comparación con la peor puntuación registrada en Vichada (0,7532). En cuanto al peso de cada dimensión en la brecha digital a nivel nacional, se observa que las Habilidades Digitales representan el 35,1%, seguido del Acceso Material con el 31,7%, el Aprovechamiento con el 29,9% y la Motivación con el 3,3% (Figura 19), (MinTIC, 2022).

## 4. Modelo de transformación digital de datos geográficos Geo-TD

Considerando los objetivos de esta investigación y el andamiaje referencial contemplado en los capítulos 2 y 3, esta sección soporta la construcción del modelo diseñado para la transformación digital de datos geográficos y validado en el grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del SGC.

**Figura 20:** Modelo de transformación digital de datos geográficos Geo-TD



## 4.1 Caracterización del proceso

En el año 2020, el MinTIC presentó el documento *Marco para Transformación Digital*, el cual es la guía para habilitar las capacidades en las entidades públicas a fin de apalancar la transformación digital y el uso de tecnologías emergentes, a través de la reinención o modificación de procesos, productos o servicios que aseguren la generación de valor público (MinTIC, 2020b). En ese sentido, Geo-TD adoptó las herramientas desarrolladas para realizar el diagnóstico e identificación de las áreas y procesos que gestionen datos geográficos y que sean idóneos para proponer iniciativas de transformación digital.

**Figura 21:** Herramienta para la Transformación Digital de las Entidades Públicas



Fuente: Análisis Arthur D. Little y MinTIC.

El MinTIC dispone en su plataforma web la herramienta de medición de madurez digital y priorización de iniciativas para la transformación digital en entidades públicas (Figura 21).

Esta herramienta tiene como primer objetivo valorar la brecha digital a través de la calificación de cuatro segmentos (Figura 22):

- i. Personas y Cultura Digital
- ii. Procesos Digitales
- iii. Datos Digitales y Analítica de datos
- iv. Tecnología Digital

El segundo objetivo de la herramienta es identificar iniciativas a partir de los resultados obtenidos y priorizar los procesos que requieren concentración de esfuerzos en materia de transformación digital.

**Figura 22:** Valoración de la brecha digital

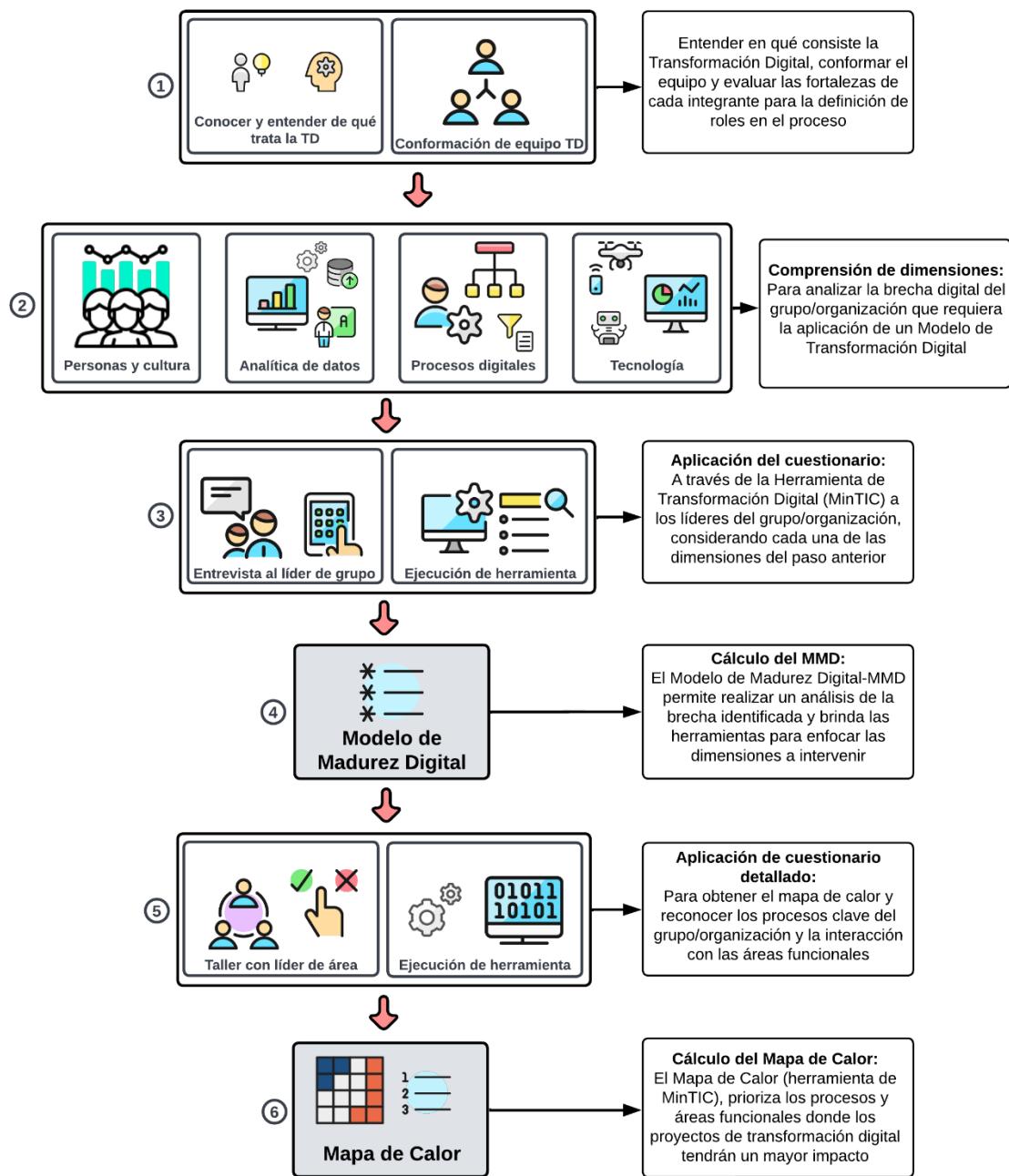


Fuente: Análisis Arthur D. Little y MinTIC.

Bajo la metodología establecida en el documento Marco del MinTIC, la Figura 23 relaciona los procesos abordados para la caracterización de este modelo.

**El primer paso** se basa en el entendimiento de los conceptos, elementos, tecnologías y procesos que enmarca la ruta hacia la Transformación Digital y en la conformación del equipo de acuerdo con las necesidades en el proceso identificado.

**Figura 23:** Segmento 1 del proceso para la caracterización del proceso a intervenir



**El segundo paso** es la comprensión de las cuatro dimensiones establecidas en el documento Marco para la Transformación Digital para las entidades públicas de Estado colombiano. Para ello, se requiere realizar la socialización y explicación a los integrantes del grupo u organización, haciendo énfasis en las personas responderán los instrumentos a aplicar.

- **Personas y cultura digital:** se analiza el nivel de digitalización de las personas que realizan los procesos principales de grupo y el manejo de las habilidades duras (operacionales/tecnológicas) y blandas (comportamientos/cultura frente al cambio) (MinTIC, 2020b).
- **Procesos digitales:** se enfoca en analizar la brecha digital existente dentro de los procesos clave del grupo, con el fin de alcanzar el estado ideal para cada uno de ellos (MinTIC, 2020b).
- **Datos digitales y analítica:** el habilitador principal para la toma de decisiones a nivel estratégico del grupo es el empleo de “Decisiones Data Driven” (decisiones basadas en datos), las cuales se caracterizan agrupar bases de datos robustas para tomar decisiones certeras y eficaces (MinTIC, 2020b).
- **Tecnología:** se basa en analizar las tecnologías actuales y emergentes que dispone el grupo para optimizar los principales procesos (MinTIC, 2020b).

**Figura 24:** Preguntas y respuestas en Instrumento No. 1.

 El futuro digital es de todos		MinTIC	<u>Formulario de Preguntas</u>				
<b>Las preguntas buscan medir las capacidades actuales e la entidad. Las respuestas deben permitir medir la situación actual y son una evaluación interna para tomar decisiones en materia de transformación digital. Califique de 0 a 4, cero es la menor calificación.</b>							
1	¿Cuál es la brecha existente en las habilidades duras requeridas para el manejo deseado de las tecnologías actuales o emergentes?	0	Aclaración 1	10	¿Están las bases de datos protegidas por tecnologías y procesos en materia de seguridad y privacidad de la información?	0	Aclaración 10
2	¿Cuál es la brecha existente en habilidades blandas requeridas para afrontar procesos digitales?	0	Aclaración 2	11	¿Las bases de datos son utilizadas para la toma de decisiones por las distintas áreas de la entidad?	0	Aclaración 11
3	¿Qué tan preparada está la cultura dentro de la entidad para desarrollar iniciativas de transformación digital?	0	Aclaración 3	12	¿Las tecnologías actuales son lo suficientemente robustas para suplir las necesidades de los usuarios al interior de la entidad?	0	Aclaración 12
4	¿Qué tan preparados están sus usuarios (ciudadanía y otros) para apropiar y aceptar los cambios de la Entidad frente a su transformación digital?	0	Aclaración 4	13	¿Las tecnologías actuales son lo suficientemente robustas para suplir las necesidades en la interacción con la ciudadanía?	0	Aclaración 13
5	¿Qué tan amplia es la brecha digital en los procesos clave para llegar al estado ideal en materia de transformación digital?	0	Aclaración 5	14	¿Conoce las tecnologías más relevantes que tengo implementadas en mis procesos core? (Tecnologías indispensables para el funcionamiento de la organización)	0	Aclaración 14
6	¿Hasta qué punto los proyectos de transformación digital pueden mejorar la eficacia y eficiencia los procesos core?	0	Aclaración 6	15	¿Conoce las tecnologías correspondientes a la cuarta revolución industrial para potenciar la eficiencia y eficacia de los principales procesos y para mejorar la interacción con la ciudadanía?	0	Aclaración 15
7	¿Qué tan efectivo resulta el esquema organizacional existente para llevar adelante un proceso de transformación digital?	0	Aclaración 7	16	¿Existen al interior brechas entre las tecnologías actuales de la entidad y las tecnologías de la cuarta revolución industrial, para suplir las necesidades de los procesos core?	0	Aclaración 16
8	¿La tecnología implementada por la entidad incentiva las soluciones basadas en datos?	0	Aclaración 8	17	¿Se identifican los tiempos, riesgos y costos requeridos para la implementación y adaptación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial en los procesos core de la entidad?	0	Aclaración 17
9	¿Cómo está la calidad de los datos en la entidad y qué tan confiable es la recolección, tratamiento y uso de datos en la entidad soportada en las bases de datos?	0	Aclaración 9	Explicación de puntuación.			

Fuente: Análisis Arthur D. Little y MinTIC.

**El paso tres** se realiza después de socializar las dimensiones, para ello, se aplica el Instrumento No.1 (Anexo A) con el fin de conocer el índice del Modelo de Madurez Digital, a través de la Herramienta para la Transformación Digital de las Entidades Públicas del MinTIC.

**Figura 25:** Explicación de resultados del Nivel de Madurez



Fuente: Análisis *Arthur D. Little* y MinTIC.

**El paso cuatro** consiste en calcular y evaluar los resultados obtenidos en el Modelo de Madurez, allí se debe evaluar cuáles serán las dimensiones que demandarán esfuerzos e iniciativas de transformación digital Figura 25.

**El paso cinco** del proceso para la caracterización del proceso de la Figura 23, consiste en la aplicación del Instrumento No. 2 (Anexo B) al líder o coordinador del grupo u organización, con el fin de identificar las fases, áreas funcionales, procesos clave que utilizan datos geográficos. Asimismo, conocer las interacciones, insumos y productos de cada uno.

Lo anterior se puede desarrollar a través de entrevistas, cuestionarios, reuniones y/o talleres con los integrantes cada área funcional.

Para identificar y priorizar los procesos y áreas funcionales que requieren una intervención en materia de transformación digital, cada líder o coordinador de área debe considerar los pasos sugeridos en el documento Marco para la Transformación Digital para las entidades públicas del MinTIC (2020b) y mencionados a continuación:

- i. Incorporar los procesos clave del grupo en el Eje X
- ii. Definir y añadir en el Eje Y las áreas funcionales del grupo
- iii. Identificar los puntos de vacío digital en la interacción entre los Ejes X e Y, a través de la evaluación de la relación entre cada área y proceso, si no existe o no aplica su valor debe ser cero (0).
- iv. Evaluar en una escala de 0 a 9 teniendo en cuenta 3 factores de priorización:
  - **Factibilidad/viabilidad** de implantar tecnología 4.0, ¿existe la tecnología para la interacción?, ¿existe voluntad para transformar digitalmente el área funcional o proceso?
  - **Potencial** que tendría implantar la tecnología 4.0, en cuanto a mejorar los indicadores del proceso o área funcional.
  - **Urgencia** existente para alcanzar el objetivo de transformación digital en la interacción.

**Figura 26:** Matriz con procesos clave (Eje X) y áreas funcionales (Eje Y)



**El paso seis** contiene el Mapa de Calor, la priorización de iniciativas se calcula con los valores definidos en la matriz presentada en la Figura 26 y en la Herramienta para la Transformación Digital de las Entidades Públicas del MintIC.

Los resultados del Mapa de Calor permiten identificar cuáles son los procesos y áreas que utilizan información geográfica y que requieren iniciativas de transformación digital.

**Figura 27:** Segmento 2 del proceso para la caracterización del proceso a intervenir



**El paso siete** se fundamenta en conocer todos los procesos y sus interacciones con el fin de distinguir la fase e instancia en la cual se ubica dentro del grupo u organización.

**El paso ocho** presenta el detalle de los procesos priorizados y su localización dentro del diagrama general. Asimismo, se identifican y caracterizan los datos geográficos que intervienen en el flujo, con el fin de proponer dentro de la plataforma tecnológica los elementos y componentes necesarios para garantizar reglas de validación de calidad conforme al modelo de datos que se establezca en las sesiones de requerimientos.

**El paso nueve** se enmarca en la delimitación de las necesidades técnicas del proceso y su integración con los conceptos TICs y tecnologías disponibles en el grupo u organización. Este paso deberá contener entre el equipo conocedor de las reglas de negocio y el equipo de TI.

## 4.2 Plataforma tecnológica

Considerando los resultados de la etapa de caracterización mediante la adopción parcial del Marco para la Transformación Digital para entidades públicas del MinTIC, se debe proponer una alternativa de solución y dependiendo del tipo de organización, es necesario orientar, priorizar y detallar los componentes identificados.

### 4.2.1 Análisis y especificación de requerimientos

Se debe identificar cual(es) son los espacios de trabajo de los *stakeholders* y tener una aproximación de las habilidades en el manejo de TICs.

#### 4.2.1.1 Necesidades de los usuarios

Se debe entender la importancia que tiene el usuario final como conocedor de las reglas de negocio de la organización. El tipo de sesiones de trabajo, lenguaje utilizado entre el grupo técnico y el usuario final debe ser el adecuado, con el fin de lograr un entendimiento mutuo, se debe evitar al máximo ambigüedades, al momento de identificar la necesidad del usuario por parte del analista. Es recomendable que se generen actas de trabajo con los compromisos, resultados de la sesión fecha y participantes. Lo anterior con el fin de generar trazabilidad sobre los requerimientos identificados y como soporte para identificar responsables ante puntos de discordia (componentes que no cumplen las expectativas del usuario).

#### 4.2.1.2 Restricciones de los ecosistemas tecnológicos existentes

Se debe hacer una revisión de los sistemas existentes a nivel de componentes de *software* y *hardware* de tal modo que la herramienta a desarrollar sea compatible con estos.

## 4.2.2 Planeación

Finalizada la etapa de levantamiento de requerimientos, se construye un cronograma a partir de la estimación en recursos que requiera cada funcionalidad según la complejidad que tenga, se recomienda utilizar una asignación de dificultad según la escala Fibonacci, esta tarea de asignación de dificultad puede resultar algo subjetiva, ya que depende en muchas ocasiones la habilidad o pericia del desarrollador. Es recomendable apoyarse en

herramientas como el diagrama Gantt para identificar la ruta crítica del proyecto, hitos y tareas que se puedan realizar en paralelo.

#### 4.2.3 Diseño

Una vez realizada la caracterización del proceso e identificadas las necesidades y tecnologías adecuadas para el desarrollo de la herramienta, se deben realizar sesiones de trabajo con el grupo de TI, coordinador, líderes de área y el grupo de desarrollo, en donde se definan *frameworks* de trabajo, lenguajes, arquitecturas, estándares, protocolos y metodologías de trabajo/desarrollo.

Para el presente trabajo de investigación se adopta el modelo desarrollado por el MinTIC denominado Guía de Arquitectura de Soluciones Tecnológicas aplicable a entidades Públicas (MinTIC, 2019). Como aporte a esta investigación, dentro del marco del desarrollo de un modelo, se hace énfasis en los flujos que involucran datos espaciales.

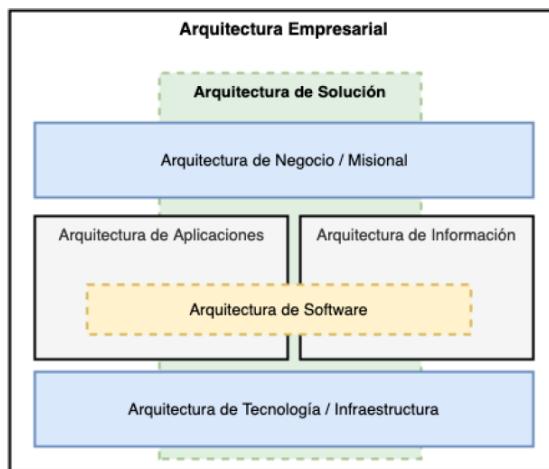
Esta metodología parte de lo general a lo específico, en el marco normativo del *Open Group*, acá se define una arquitectura como una estructura que contiene componentes y sus interrelaciones. En la presente sección se propone el desarrollo de las arquitecturas de referencia y solución, en el marco de un proceso de transformación digital, ya que estas son transversales a los ejes abordados, datos, personas, procesos y tecnologías.

La arquitectura de referencia se define como un diseño de alto nivel, no tiene detalles referentes a tecnologías o productos, comúnmente se utiliza como plantilla para el desarrollo de otras arquitecturas que involucran un mayor nivel de detalle. Su principal característica es que incluye los principios de diseño que gobiernan la organización. Este proceso produce una plantilla agnóstica transparente a las tecnologías de implementación y despliegue, asimismo, presenta una agrupación lógica a nivel de zonas de servicio (MinTIC, 2019).

La arquitectura de solución representa una materialización de una arquitectura de referencia, es decir, esta incluye componentes técnicos específicos involucrados en la arquitectura, al igual que la interacción de estos (canales y protocolos de comunicación). En esta arquitectura se detalla a nivel técnico los componentes involucrados en la configuración de una solución, representa el escenario en el que dichos componentes

interactúan entre sí, respetando los lineamientos y reglas de gobierno documentados en la arquitectura de referencia.

**Figura 28:** Visión general de la arquitectura empresarial y sus dominios



Fuente: Tomado de (MinTIC, 2019)

La principal ventaja de desarrollar una arquitectura de solución es que busca resolver el problema de integrar un nuevo componente de manera armónica, con los activos tecnológicos existentes de la organización, adicional se debe ceñir a unos lineamientos técnicos que finalmente obedecen a las necesidades del negocio y agregan valor estratégico a la Entidad.

Disponer de una arquitectura de solución también aborda componentes de datos, protocolos de integración, ambientes de ejecución y zonas de servicio, requerimientos no funcionales, esquemas de alta disponibilidad, entre otros aspectos (MinTIC, 2019).

#### 4.2.4 Desarrollo

Esta etapa comprende la creación de repositorios y la construcción del código para las necesidades definidas en el diseño.

#### 4.2.5 Despliegue

En esta instancia se debe realizar el despliegue de la aplicación. Es decir, instalar y configurar el software en un servidor o en un ambiente de producción. El usuario final

realiza la prueba del sistema con el fin de verificar el correcto funcionamiento a través del uso de los datos geográficos que hacen parte de los procesos priorizados.

#### **4.2.6 Validación**

Se debe realizar una prueba de aceptación para evaluar desde el punto de vista del usuario, si la plataforma tecnológica cumple con los requisitos y expectativas planteadas desde la priorización de procesos a intervenir.

### **4.3 Puesta en marcha del Modelo de Transformación Digital de datos geográficos**

Finalizada la prueba de validación de la plataforma tecnológica, se procede a realizar la puesta en marcha de Geo-TD en el grupo u organización. Para ello es necesario realizar un plan de comunicación, socialización y divulgación a las personas involucradas en los procesos involucrados en la TD.

Es necesario realizar talleres de pruebas y adaptación del modelo propuesto, teniendo en cuenta que el cambio del proceso debe hacerse gradualmente, es decir, mantener el modelo tradicional y el nuevo. Los talleres y el acompañamiento técnico se deben realizar antes, durante y después de cada jornada de campo. Se deben cometer por área funcional y evaluar los resultados para los procesos priorizados.

La transición puede iniciar con una muestra de datos geográficos que sea significativa y realizando copias de seguridad de los nuevos datos, hasta que se cuente con el 100% de manejo de la herramienta tecnológica e implementación de Geo-TD.

El próximo capítulo evidenciará el detalle de la implementación para el caso de uso seleccionado.

# **5. Validación de Geo-TD**

Este capítulo presenta la validación y pertinencia del Modelo de Transformación Digital, denominado Geo-TD y desarrollado para esta investigación.

## **5.1 Caso de estudio**

El SGC gestiona el estudio de las geociencias para contribuir al logro del Plan Nacional de Desarrollo y busca satisfacer las necesidades socioeconómicas del país, para el ejercicio de sus funciones tiene en su estructura a la DGB, mediante la cual se proponen planes, programas y proyectos en materia de investigación geocientífica básica regional. Bajo este enfoque, la generación de cartografía geológica se ha convertido en la base del conocimiento y caracterización de la evolución, la composición y los procesos que determinan la actual morfología, estructura y dinámica del subsuelo colombiano (SGC, 2022).

El caso de estudio seleccionado en esta investigación para validar el Modelo de Transformación Digital para datos geográficos es el Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica de la DGB del SGC. El cual se encuentra implementando tecnologías de geoinformación que permitan realizar la transición adecuada de procesos análogos a digitales, facilitando la captura, adquisición, gestión, análisis, interpretación, representación, almacenamiento y difusión de información geológica y geomorfológica de manera eficiente y conforme a estándares de calidad de la IG (SGC, 2022)

El objetivo misional del grupo seleccionado para el caso de estudio es: “*Desarrollar los planes programas y proyectos relacionados con el conocimiento geológico estructural y tectónico de la corteza terrestre, útil a la evaluación de las amenazas geológicas y a la exploración de los recursos del subsuelo, acuerdo a los estándares y políticas institucionales*” (SGC, 2022).

Dentro de las iniciativas del Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica, se encuentra el diseño y puesta en funcionamiento de la Sala de Geomática, la cual presenta una perspectiva tecnológica y moderna para proporcionar estrategias, métodos e instrumentos que permiten obtener altos niveles de desagregación de información geocientífica y potencializan los procesos en la generación y análisis de mapas de cartografía geológica a escalas adecuadas y su integración en plataformas web geográficas (SGC, 2022).

La selección del caso de estudio se fundamentó en la necesidad de estructurar y disponer digitalmente la IG producida por los profesionales en las jornadas de campo y las cuales son la base principal para la generación de productos cartográficos en la Entidad. El Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica presenta gran cantidad de datos geográficos históricos en formato analógico y constantemente genera nueva información geocientífica, la cual requiere hacer parte de un proceso de transformación digital.

## 5.2 Caracterización del proceso

Para la elaboración del estado tecnológico del caso de estudio, se utilizó el *Marco para Transformación Digital de entidades públicas del MinTIC* (2020) y descrito en el capítulo anterior.

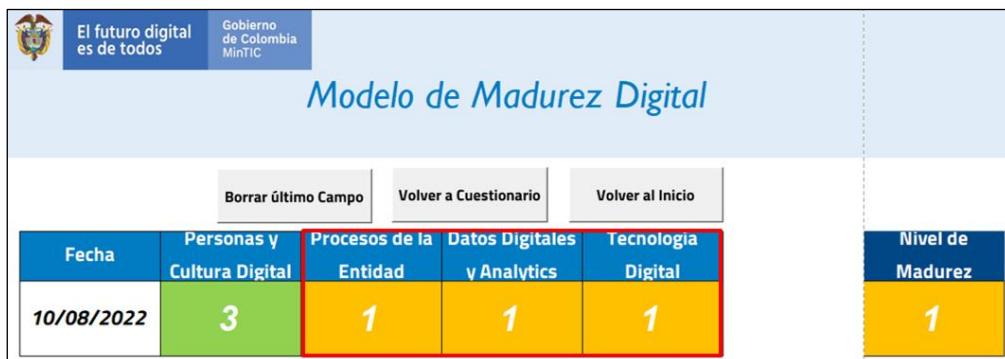
**Figura 29:** Preguntas y respuestas en Instrumento No. 1.

El futuro digital es de todos		Gobierno de Colombia MinTIC		Formulario de Preguntas								
<p>Las preguntas buscan medir las capacidades actuales de la entidad. Las respuestas deben permitir medir la situación actual y son una evaluación interna para tomar decisiones en materia de transformación digital. Clasifique de 0 a 4, cero es la menor calificación.</p>												
1	¿Cuál es la brecha existente en las habilidades duras requeridas para el manejo deseado de las tecnologías actuales o emergentes?	3	Aclaración 1	10	¿Existen las bases de datos protegidas por tecnologías y procesos en materia de seguridad y privacidad de la información?	0	Aclaración 10					
2	¿Cuál es la brecha existente en habilidades blandas requeridas para afrontar procesos digitales?	3	Aclaración 2	11	¿Las bases de datos son utilizadas para la toma de decisiones por las distintas áreas de la entidad?	1	Aclaración 11					
3	¿Qué tan preparada está la cultura dentro de la entidad para desarrollar iniciativas de transformación digital?	2	Aclaración 3	12	¿Las tecnologías actuales son lo suficientemente robustas para suprir las necesidades de los usuarios al interior de la entidad?	1	Aclaración 12					
4	¿Qué tan preparados están sus usuarios (trabajadores y otros) para apropiar y aceptar los cambios de la Entidad frente a su transformación digital?	3	Aclaración 4	13	¿Las tecnologías actuales son lo suficientemente robustas para suprir las necesidades en la interacción con la ciudadanía?	1	Aclaración 13					
5	¿Qué tan amplia es la brecha digital en los procesos clave para llegar al estado ideal en materia de transformación digital?	1	Aclaración 5	14	¿Conoce las tecnologías más relevantes que tengo implementadas en mis procesos core? (Tecnologías indispensables para el funcionamiento de la organización)	1	Aclaración 14					
6	¿Hasta qué punto los proyectos de transformación digital pueden mejorar la eficacia y eficiencia los procesos core?	2	Aclaración 6	15	¿Conoce las tecnologías correspondientes a la cuarta revolución industrial para potenciar la eficiencia y eficacia de los principales procesos y para mejorar la interacción con la ciudadanía?	2	Aclaración 15					
7	¿Qué tan efectivo resulta el espíritu organizacional existente para llevar adelante un proceso de transformación digital?	1	Aclaración 7	16	¿Existen al interior brechas entre las tecnologías actuales de la entidad y las tecnologías de la cuarta revolución industrial, para suprir las necesidades de los procesos core?	1	Aclaración 16					
8	¿La tecnología implementada por la entidad incentiva las soluciones basadas en datos?	1	Aclaración 8	17	¿Se identifican los tiempos, recursos y costos requeridos para la implementación y adaptación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial en los procesos core de la entidad?	1	Aclaración 17					
9	¿Cómo es la calidad de los datos en la entidad y qué tan confiable es la recopilación, tratamiento y uso de datos en la entidad soportada en las bases de datos?	1	Aclaración 9					Especificación de Preguntas fin				

Fuente: Análisis Arthur D. Little y MinTIC.

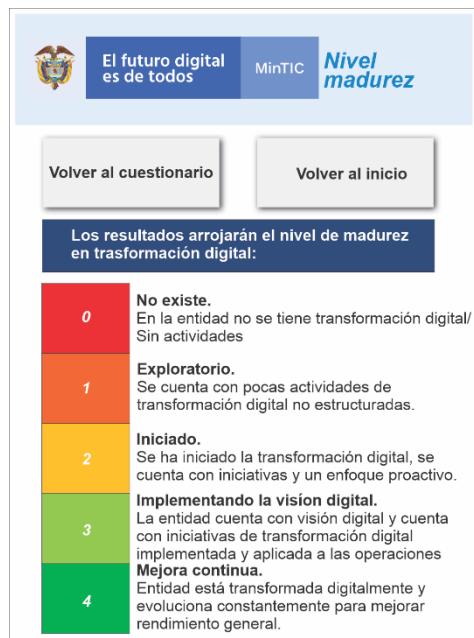
Una vez socializadas en el grupo del caso de estudio las dimensiones de la Transformación Digital, se procedió con la aplicación del Instrumento No.1 (Anexo A) para conocer el índice del Modelo de Madurez Digital, a través de la Herramienta para la Transformación Digital de las Entidades Públicas del MinTIC (Figura 29).

**Figura 30:** Resultados Modelo de Madurez Digital del caso de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta MinTIC

**Figura 31:** Explicación de resultados del Nivel de Madurez



Fuente: Análisis Arthur D. Little y MinTIC.

En ese sentido, se presenta en la Figura 30 el resultado para cada una de las dimensiones del modelo y el Nivel de Madurez Digital del grupo del caso de estudio. La Figura 31 muestra la explicación del resultado.

En la Figura 30 se identifican tres dimensiones seleccionadas para evaluar el Mapa de Calor:

- Procesos Digitales
- Datos Digitales y Analítica de datos
- Tecnología

El siguiente paso consistió en la aplicación del Instrumento No. 2 (Anexo B) al coordinador del grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica, con el fin de identificar cuáles son las fases de cada proyecto y las áreas funcionales para cada una.

Seguidamente, se realizó un taller con los integrantes las áreas descritas, con el fin de desagregar y comprender cada uno de los procesos, generar el diagrama de flujo integrado y determinar las relaciones directas área/proceso.

Para identificar y priorizar los procesos y áreas funcionales que requieren una intervención en materia de transformación digital, se realizaron talleres con los líderes de cada área y se consideraron los pasos sugeridos en el documento Marco para la Transformación Digital para las entidades públicas del MinTIC (2020b) y mencionados a continuación:

- i. Se incorporaron los procesos clave del grupo en el Eje X
- ii. En el Eje Y se definieron y añadieron las áreas funcionales del grupo
- iii. Se identificaron los puntos de vacío digital en la interacción entre los Ejes X e Y. Es decir, para las interacciones que no presentan relación directa o no aplique, el valor fue cero (0) (Color gris)
- iv. Las demás interacciones fueron analizadas y evaluadas en una escala de 0 a 9 a través de la ponderación de 3 factores de priorización:
  - **Factibilidad/viabilidad** de implantar tecnología 4.0, ¿existe la tecnología para la interacción?, ¿existe voluntad para transformar digitalmente el área funcional o proceso?
  - **Potencial** que tendría implantar la tecnología 4.0, en cuanto a mejorar los indicadores del proceso o área funcional.

- **Urgencia** existente para alcanzar el objetivo de transformación digital en la interacción.

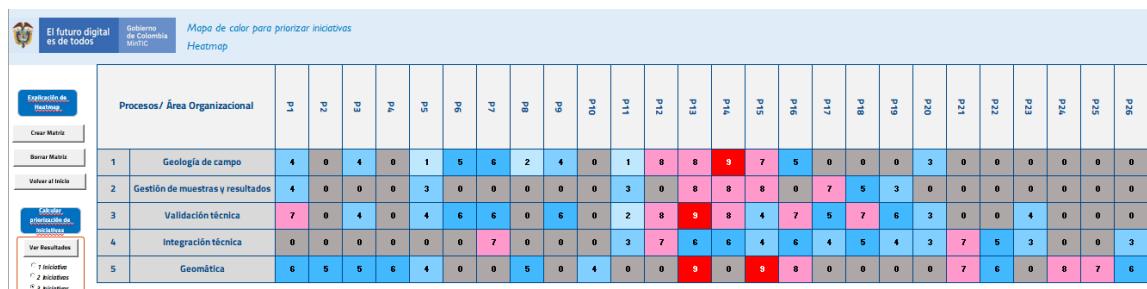
La Tabla 5-1 presenta las áreas funcionales y la Tabla 5-2 los procesos definidos con los líderes de área para la matriz del Mapa de Calor.

**Tabla 5-1:** Áreas funcionales definidas para el grupo del caso de estudio

1	Geología de campo
2	Gestión de muestras y resultados
3	Validación técnica
4	Integración técnica
5	Geomática

**Tabla 5-2:** Procesos clave del grupo del caso de estudio

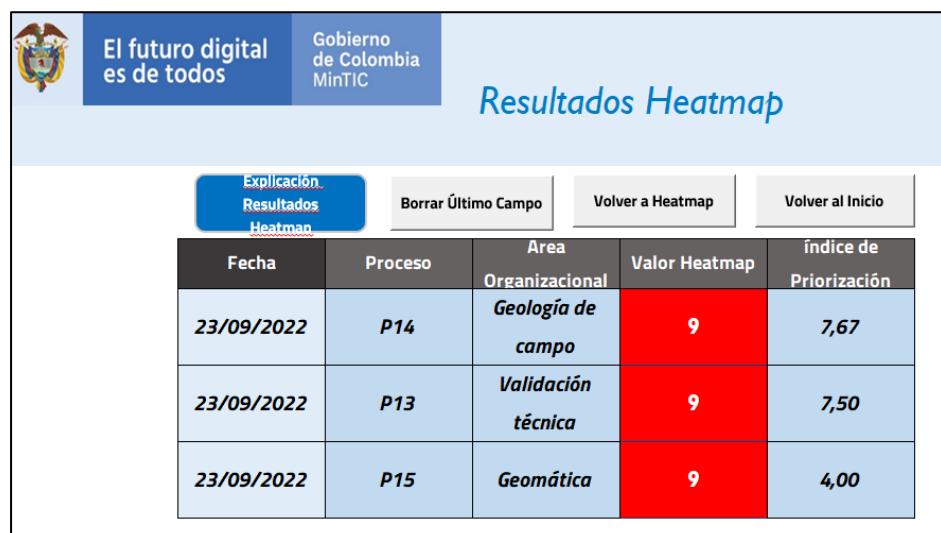
<b>Id proceso</b>	<b>Descripción proceso</b>
P1	Recopilación de información disponible para proyecto
P2	Generación de insumos para interpretación geológica y geomorfológica
P3	Interpretación geológica y geomorfológica a partir de SR
P4	Integración de mapas fotogeológicos
P5	Preparación de insumos para campo
P6	Identificación de afloramientos de interés geocientífico
P7	Descripción y caracterización del afloramiento
P8	Levantamiento topográfico de información de referencia para columnas estratigráficas
P9	Levantamiento de columna estratigráfica
P10	Procesamiento de datos topográficos de campo
P11	Toma de muestras para análisis
P12	Toma de datos estructurales
P13	Revisión y validación de los datos del repositorio del proyecto
P14	Estructuración y carga de los datos de campo al repositorio, conforme al estándar SGC
P15	Integración de los datos de campo del repositorio
P16	Ajuste de cartografía con información de subsuelo y SR
P17	Selección y envío de muestras a laboratorio
P18	Recepción y validación de resultados de laboratorio
P19	Análisis y discusión de datos integrados
P20	Elaboración de memoria técnica para el área de proyecto
P21	Integración y generación de cartografía geológica y geomorfológica
P22	Adecuación de estándares SGC en mapas
P23	Validación de cartografía geológica y geomorfológica
P24	Publicación de geoservicios
P25	Estructuración de productos para oficialización
P26	Oficialización de productos

**Figura 32:** Matriz con procesos clave (Eje X) y áreas funcionales (Eje Y)

Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta MinTIC

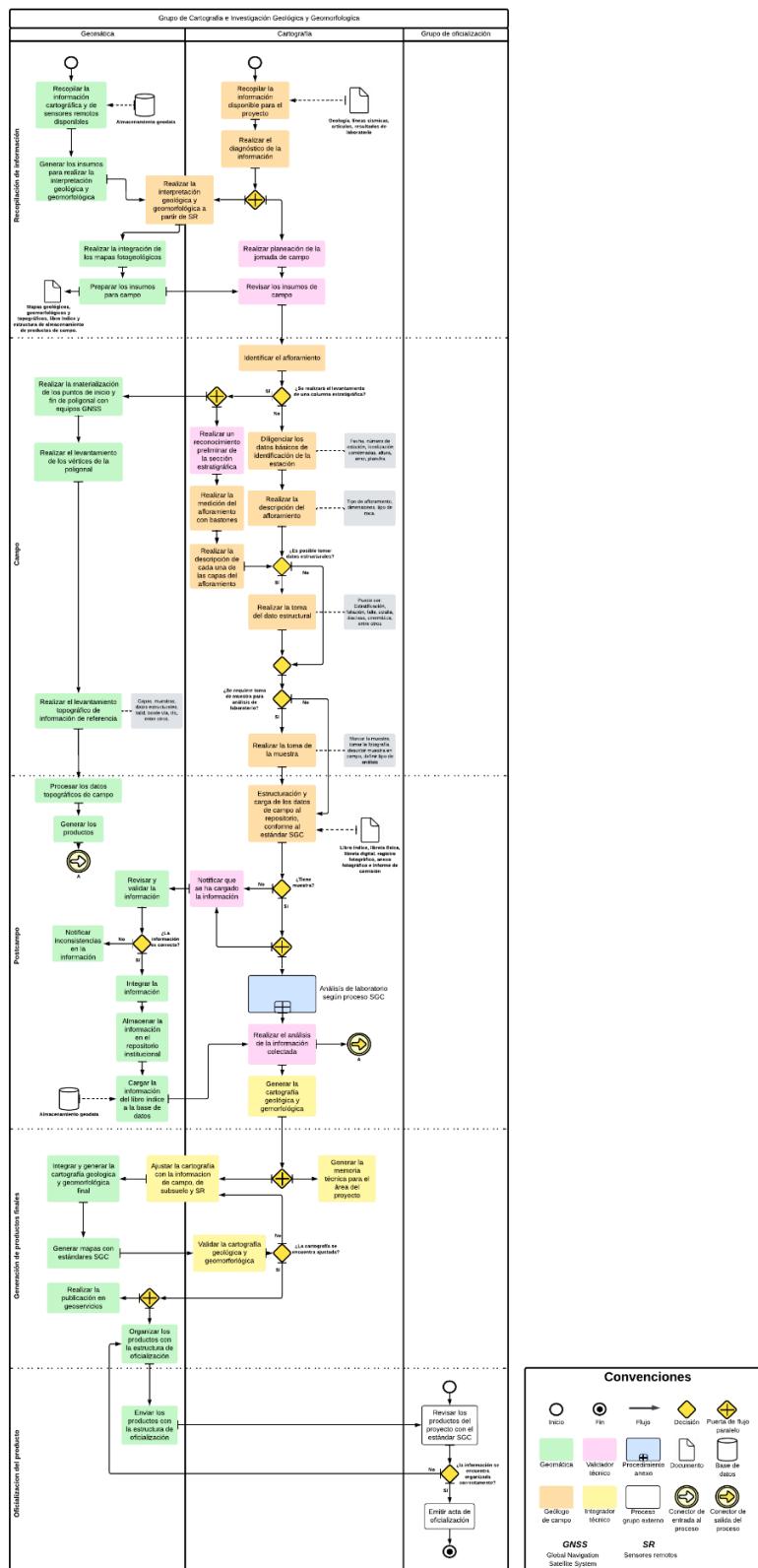
El cálculo del Mapa de Calor se realizó con la Herramienta para la Transformación Digital de las Entidades Públicas del MinTIC. La matriz presentada en la Figura 32 relaciona los valores asignados para cada interacción entre los procesos clave y las áreas funcionales, los valores en cero (0) representan los vacíos digitales (color gris), es decir, la relación directa no existe o no aplica.

De la misma manera, la priorización de iniciativas se realizó desde la Herramienta de MinTIC, la Figura 33 muestra las interacciones más calientes dentro del Mapa de Calor. En ese sentido, los procesos y áreas principales que sugiere la Herramienta para implementar iniciativas son los que relacionan datos de tipo geográfico.

**Figura 33:** Procesos priorizados a partir de los resultados del Mapa de Calor

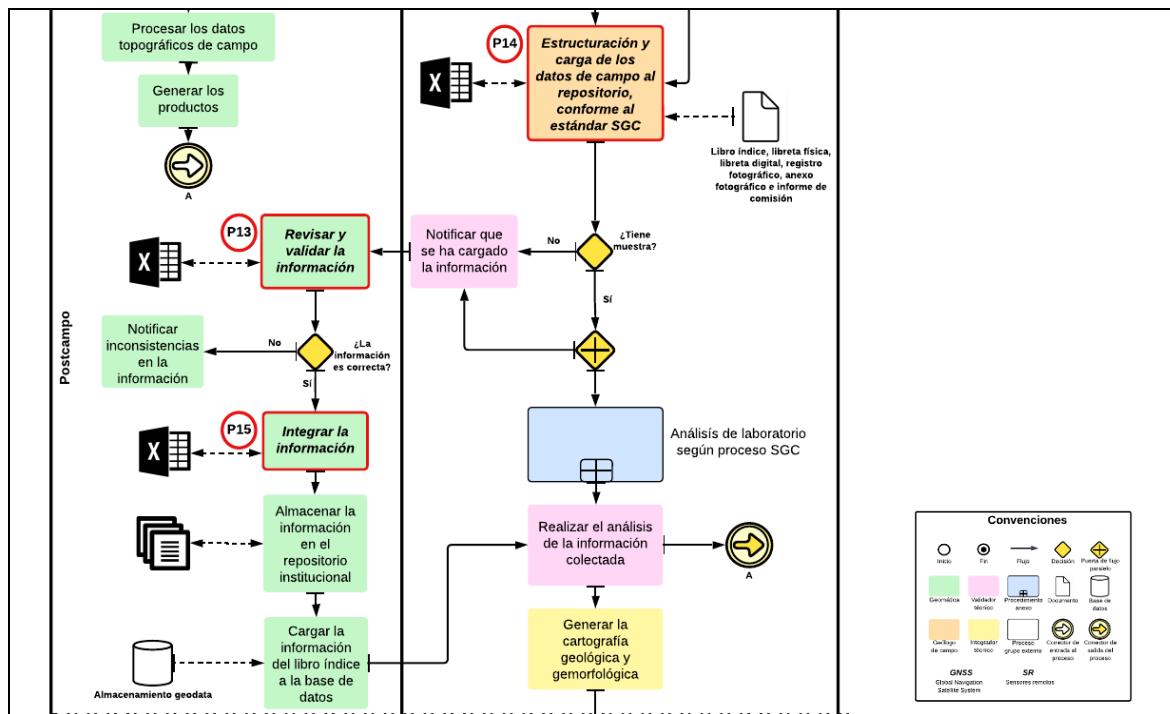
Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta MinTIC

Figura 34: Procesos integrados grupo del caso de estudio



Los talleres permitieron conocer y desagregar los procesos que se realizan en el grupo del caso de estudio, como resultado de este ejercicio se realizó un diagrama integrado en el cual se puede evidenciar los procesos identificados por la Herramienta (Figura 34).

**Figura 35:** Selección de procesos priorizados para implementar iniciativas de TD.



**Tabla 5-3:** Relación de procesos y áreas seleccionados para iniciativas

Id proceso	Descripción proceso	Área funcional
P14	Estructuración y carga de los datos de campo al repositorio, conforme al estándar SGC	Geología de campo
P13	Revisión y validación de los datos del repositorio del proyecto	Validación técnica
P15	Integración de los datos de campo del repositorio	Geomática

La fase de postcampo corresponde al procesamiento, estructuración, carga, generación de productos, análisis e interpretación a partir de la información recolectada en la fase de campo. Esta fase se divide en cuatro procesos: procesamiento de información de poligonales y vuelos de dron, estructuración, carga y almacenamiento de la información geocientífica recolectada en campo, análisis de laboratorios de las muestras y finalmente la generación de la cartografía geológica y geomorfológica (Figura 35 y Tabla 5-3).

La organización, cargue y almacenamiento de la información geocientífica recolectada en campo comienza con la digitalización de la libreta física de cada profesional en dos herramientas, el libro índice y la libreta digital. En estos dos archivos se registra tanto los datos generales de cada estación, dato estructural y muestra (localización, coordenadas, plancha, entre otros), como los datos específicos de cada dato (cantidad de muestras y datos estructurales tomados por estación, tipo de dato estructural, el dato estructural, características de la muestra, tipo de análisis a realizar, entre otros).

Adicionalmente, cada profesional debe entregar un registro fotográfico, un anexo fotográfico y un informe de comisión. Una vez se entregue toda la información recolectada en campo siguiendo los parámetros descritos, se realiza una validación técnica donde se revisa la correcta organización de la información recolectada, siguiendo los parámetros de oficialización del SGC.

Al terminar la validación de la información recopilada, se procede a realizar el almacenamiento de esta en el repositorio institucional y el cargue en la Base de Datos Geográfica **NO RELACIONAL** siguiendo los estándares de oficialización del SGC. Esta base de datos corresponde al insumo principal de consulta de la información de campo. Para el proceso de análisis de laboratorios el área de muestras se encarga de asignar los IGM, preparar las muestras y enviarlas a los respectivos laboratorios. Posteriormente se reciben los análisis realizados a cada muestra para su evaluación, análisis e integración en la cartografía geológica.

Finalmente se analiza toda la información recolectada en campo y almacenada en el repositorio institucional y en la GDB, así como los productos a partir de las poligonales y los vuelos de dron, para generar la cartografía geológica y geomorfológica del proyecto.

En conclusión, los métodos y tecnologías utilizados actualmente para estructurar, validar e integrar los datos de campo requieren de procesos de estandarización adicionales y el uso de varios *software*, además, la información reposa en múltiples archivos localizados en carpetas de unidades de almacenamiento de red asignadas.

**Tabla 5-4:** Acciones de la fase Postcampo

Responsable	Acción	Descripción
Geomática	1. Procesar la información	Se realiza el procesamiento de la información obtenida en el levantamiento de poligonales y los vuelos con dron, ajustando la información recopilada para la generación de los productos.
Geomática	2. Generar los productos	Una vez realizado el procesamiento de la información, se realiza la generación de las poligonales y modelos 3D.
Geología de campo	3. Organizar y cargar los datos de acuerdo con la estructura de almacenamiento	Cada profesional que realizó salida de campo debe organizar la información recopilada siguiendo la estructura de almacenamiento, entregando libro índice, libreta digital, registro fotográfico, anexo fotográfico e informe de comisión.
Validación técnica	4. Notificar que se ha cargado la información	Después de realizar la estructuración y cargue de la información recopilada en campo, el área de validación notifica a Geomática la entrega de estos productos
Geomática	5. Validar la información	Geomática se encarga de realizar la validación de la información cargada por los profesionales, siguiendo la estructura de almacenamiento definida.
Geomática	6. Notificar inconsistencias en la información	En caso de que la información cargada presente inconsistencias, se debe notificar al área de validación para que se realicen los respectivos ajustes a la información.
Geomática	7. Almacenar la información en el repositorio	Al comprobar que toda la información de campo entregada por los profesionales cumple con la estructura de almacenamiento requerida, se realiza el cargue de la información en el repositorio del proyecto para la consulta de todos.
Geomática	8. Cargar los datos del libro índice a la GDB	La información final de cada comisión es cargada en GDB para permitir su uso en la construcción de los mapas necesarios en el proyecto.
Gestión de muestras	9. Análisis de laboratorio	El área de gestión de muestras y laboratorios se encarga de preparar las muestras para los respectivos análisis de laboratorio que se deban realizar, así como su envío a los laboratorios y posterior análisis una vez se tengan los resultados.
Integrador técnico	10. Realizar el análisis de la información colectada	Una vez obtenida la información de los análisis de laboratorio de las muestras, y los datos recopilados en campo en la <b>GDB NO RELACIONAL</b> , se realiza el análisis e interpretación de dicha información, utilizando a su vez los productos generados con los drones, las poligonales e información de sensores remotos, generando los mapas geológicos y geomorfológicos necesarios.
Integrador técnico	11. Generar la cartografía geológica y geomorfológica	Cuando se tiene toda la información integrada, tanto la tomada en campo como la de análisis de laboratorios y los productos de las poligonales y los vuelos de dron, se procede a generar la cartografía geológica y geomorfológica de la zona de estudio.

## 5.2.1 Datos

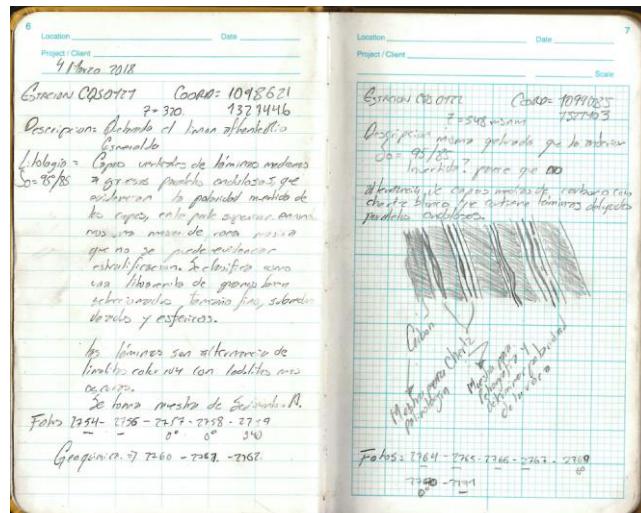
Los datos geocientíficos utilizados en esta investigación se encuentran disponibles en el Motor de Integración de Información Geocientífica (MIIG), plataforma del SGC. En su mayoría carecen de validación y estandarización, se describen a continuación:

**Tabla 5-5:** Datos utilizados en la investigación

No.	Dato / Insumo (nombre SGC)	Formato	Descripción
1	Libreta campo escaneada	PDF (*.pdf)	Contiene la información adquirida y medida por el profesional de campo en las zonas de interés geocientífico. Se presenta escrita a mano y escaneada.
2	Libreta de campo digital	Excel (*.xls)	Presenta la transcripción de atributos específicos de la libreta de campo escaneada. Se basa en un formato estándar institucional vigente.
3	Libro índice	Excel (*.xls)	Contiene atributos específicos de la libreta digital y relaciona los datos y resultados de laboratorio de las muestras recolectadas en campo. Se basa en un formato estándar institucional vigente.
4	Base de Datos Geográfica	ArcGIS (*.gdb y *.mdb)	Contiene los datos del libro índice estructurados en una base de datos espacial.

- Libreta de campo escaneada**

**Figura 36:** Ejemplo de libreta de campo, plancha 91- Belencito, Cuenca sedimentaria Sinú San Jacinto



Fuente: Tomado de repositorio MIIG - SGC

- **Libreta de campo digital (*Excel*)**

La libreta digital es la transcripción a *Excel* de la libreta de campo, una vez el profesional de campo termina su labor en terreno, extrae y diligencia los datos relacionados en el Anexo C.

Es importante mencionar que el objetivo de este archivo es tener una copia digital de la libreta de campo, por lo tanto, se tendrán tantos archivos de *Excel* como libretas utilizadas por cada profesional. En ese sentido, dependiendo de las necesidades de cada proyecto, se puede tener un promedio de 150 libretas digitales por proyecto/año. Para esta investigación se utilizaron 100 libretas digitales de datos

- **Libro índice (*Excel*)**

El libro índice es un archivo en formato *Excel* que relaciona toda la información de estaciones, datos estructurales, muestras recolectadas en campo y los análisis realizados a cada una de ellas. Cada hoja de este libro presenta los resultados de los análisis, es decir, por cada tipo de análisis realizado a una muestra se habilitará una hoja.

**Figura 37:** Ejemplo de hojas de libro índice, formato general

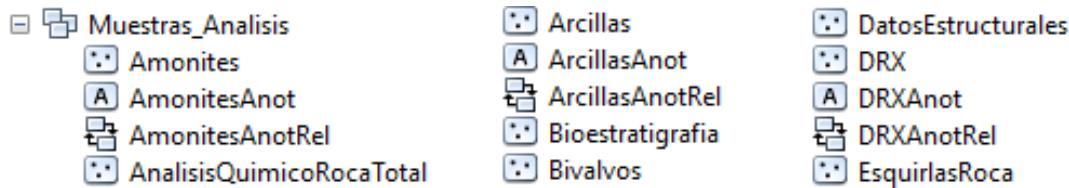
<b>Libretas</b>	EstacionesGeologicas	DatosEstructurales	MuestraRoca	SeccionDelgada	Bivalvos	Palinologia
-----------------	----------------------	--------------------	-------------	----------------	----------	-------------

Fuente: Tomado de repositorio MIIIG - SGC

- **Base de Datos Geográfica (GDB)**

La GDB estándar del SGC es la representación espacial del libro índice, contiene tantas capas (*feature class*) como hojas del archivo *Excel*, estas capas no se encuentran normalizadas y no están estructuradas en un modelo relacional, lo que dificulta la gestión de los datos y ejecución de consultas sin tener que hacer operaciones espaciales en un GIS. El modelo de datos se encuentra en el Anexo D.

**Figura 38:** Ejemplo *Dataset Muestras\_Analisis* de GDB estándar SGC



Fuente: Tomado de repositorio MIIIG – SGC

### 5.2.2 Resultado preliminar del diagnóstico de los procesos priorizados

- No existe una GDB que centralice los datos, se trabaja con archivos independientes en almacenamientos locales, en el mejor de los casos las GDBs se encuentran almacenadas en unidades de red, pero sin documentación, versionamiento o control de cambios.
- Se utilizan documentos de *Excel* para los registros, las coordenadas en la mayoría de los casos se transcriben.
- No existen reglas de calidad, integridad y completitud de datos en los registros de *Excel*, en algunos casos se manejan dominios.
- Uno de los problemas más graves del proceso está en la marcación de muestras, ya que el identificador o clave del registro es dinámico y depende de la aplicación de reglas de negocio de varios actores.
- La generación de nuevos productos resulta dispendiosa ya que se requiere validar en varias fuentes de datos posibles actualizaciones al no estar disponibles en una única fuente de datos centralizada.
- No existe gobierno de datos.

### 5.3 Plataforma tecnológica<sup>1</sup>

A partir de los resultados de la etapa de caracterización mediante la adopción parcial del Marco para la Transformación Digital para entidades públicas del MinTIC, se requiere la construcción de una plataforma tecnológica como herramienta de consulta, registro y gestión de los datos de carácter geológico tomados en campo. Lo anterior con el fin de:

- i. Estandarizar los códigos asociados a registros y muestras.
- ii. Generación de consultas y reportes especializados.
- iii. Disponer de un sistema de información que centralice los datos de campo.
- iv. Proveer un mecanismo de visualización para datos geográficos que integre los elementos necesarios para la construcción del contexto espacial requerido.

---

<sup>1</sup> Esta herramienta tecnológica fue desarrollada por la autora en el marco de su compromiso laboral con el SGC, por lo tanto, los derechos de la herramienta tecnológica le pertenecen a la Entidad.

El Anexo E: Interfaces de Plataforma Tecnológica presenta algunas capturas de pantalla de la Plataforma Tecnológica desarrollada y validada en el grupo del caso de estudio.

### **5.3.1 Levantamiento de requerimientos**

Con el fin de conocer de primera mano las expectativas y solicitudes de los usuarios de la plataforma tecnológica, se realizaron talleres y entrevistas al coordinador, líderes técnicos y personal del grupo de Cartografía e investigación geológica y geomorfológica de la DGB.

Los requerimientos se basaron principalmente en el análisis del problema, documentación existente, y a partir de la información recolectada de las jornadas conjuntas se identificaron los requerimientos funcionales, no funcionales y actores de la plataforma tecnológica.

- **Consideraciones previas:**

En este caso de estudio, se requiere de trabajo en campo en donde los recursos de conectividad y cómputo son limitados, se podrá disponer en el mejor de los casos de un *smartphone* o una *laptop*.

Las zonas de trabajo son de baja o nula cobertura de redes de datos móviles, ya que el trabajo se desarrollará en las zonas rurales de Colombia, zonas de interés que normalmente se encuentran lejos de los centros poblados.

En atención a esta necesidad se valida que la plataforma tecnológica tendrá que incorporar los mecanismos necesarios para disponer de un dispositivo que pueda funcionar de manera *offline*. Este dispositivo podrá alojar los datos en una unidad de almacenamiento local hasta que puedan ser enviados al componente que acopie y centralice todos los datos enviados por los usuarios.

Existen usuarios que prefieren registrar los datos que toman en campo en un libro físico, denominado libreta de campo.

En consecuencia, la plataforma deberá disponer un mecanismo que incorpore un teclado mecánico que permita hacer la transcripción de estos datos de forma rápida, las aplicaciones que se puedan ejecutar en una *laptop* o estación de trabajo ya sea de tipo

web o *standalone* se perfilan como alternativas de solución a la necesidad. Por este medio también se podrá realizar el cargue masivo, es decir, resultados de muchas estaciones o muestras. Los formularios de cargue deben ser amigables, con elementos de ayuda y que incorporen reglas de validación, como por ejemplo longitud, tipos, listas desplegables o dominios.

Para los usuarios que tengan funciones de validación e integración de datos se permitirá el acceso a los datos a través de un sistema de información que permita el manejo de datos con componente geográfica. Este podrá ser un sistema desarrollado por terceros y que se pueda conectar a la solución tecnológica a desarrollar.

### **5.3.1.1 Requerimientos funcionales**

Los requerimientos funcionales de la herramienta tecnológica se basaron en la identificación de historias de usuario, producto de la caracterización del proceso.

Las tablas comprendidas entre Tabla 5-6 y la Tabla 5-11 presentan la consolidación detallada de las principales historias de usuario y la Figura 39 agrupa sus componentes en interacciones.

**Tabla 5-6: HU 01- Iniciar sesión en plataforma tecnológica**

<b>Título</b>	Iniciar sesión en la plataforma tecnológica
<b>Descripción</b>	Como usuario, quiero poder iniciar sesión en la plataforma tecnológica para poder acceder a las funcionalidades que correspondan según mi rol.
<b>Criterios de aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El usuario debe tener la opción de poder ingresar su nombre de usuario y contraseña.</li> <li>▪ El usuario debe ser redirigido a su perfil una vez iniciada la sesión.</li> <li>▪ El usuario debe recibir un mensaje de error en caso de ingresar datos incorrectos.</li> </ul>
<b>Escenario</b>	El usuario podrá acceder desde cualquier dispositivo que tenga instalado un navegador web.
<b>Notas</b>	El sistema debe tener la opción de poder recuperar la contraseña en caso de que el usuario lo olvide.

**Tabla 5-7:** HU 02 - Administrar estaciones

<b>Título</b>	Administrar estaciones
<b>Descripción</b>	Como usuario con rol <i>geólogo</i> , quiero poder Crear, Leer, Actualizar y Eliminar las estaciones en las cuales sea el propietario
<b>Criterios de aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El usuario debe diligenciar todos los campos que sean obligatorios y cumplir las reglas de validación de cada uno.</li> <li>▪ El usuario debe tener la opción de disponer de una vista con todas las estaciones registrados, poderlos seleccionar y realizar la operación que se requiera.</li> </ul>
<b>Escenario</b>	El usuario podrá acceder desde cualquier dispositivo que tenga instalado un navegador web.
<b>Notas</b>	Antes de aplicar cualquier modificación, el sistema debe preguntar si está seguro con la operación a realizar. El o los usuarios afectados deberán recibir una notificación vía correo electrónico.

**Tabla 5-8:** HU 03 - Administrar columnas

<b>Título</b>	Administrar columnas
<b>Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Como usuario con rol <i>Administrador</i>, quiero poder Crear, Leer, Actualizar y Eliminar las columnas.</li> <li>▪ Como usuario <i>Geólogo</i> quiero poder Crear, Leer, Actualizar y Eliminar las columnas en las cuales sea el propietario</li> </ul>
<b>Criterios de aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El usuario debe diligenciar todos los campos que sean obligatorios y cumplir las reglas de validación de cada uno.</li> <li>▪ El usuario debe tener la opción de disponer de una vista con todas las columnas registrados, poderlos seleccionar y realizar la operación que se requiera.</li> </ul>
<b>Escenario</b>	El usuario podrá acceder desde cualquier dispositivo que tenga instalado un navegador web.
<b>Notas</b>	Antes de aplicar cualquier modificación, la plataforma tecnológica debe preguntar si está seguro con la operación a realizar. El o los usuarios afectados deberán recibir una notificación vía correo electrónico.

**Tabla 5-9:** Administrar muestras

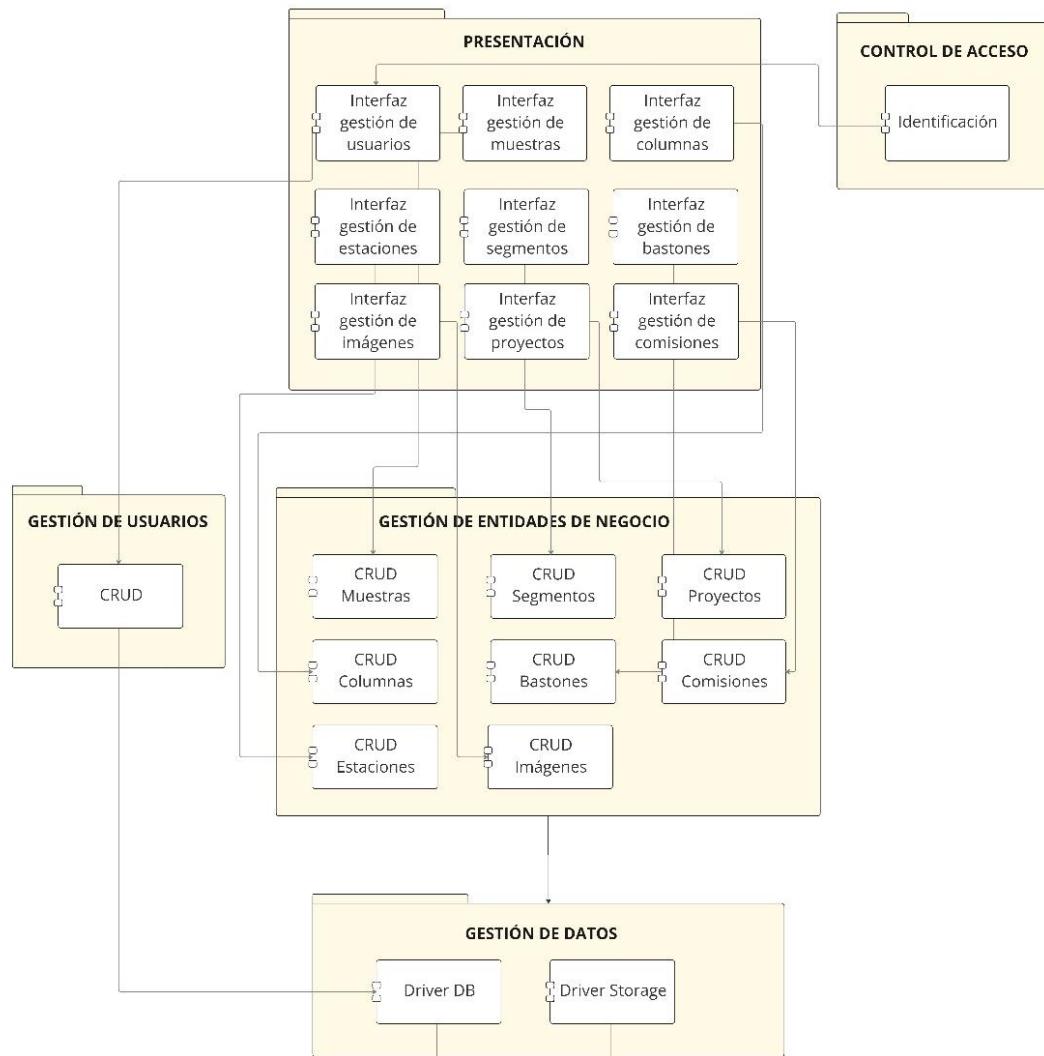
Título	Administrar muestras
<b>Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Como usuario con rol <i>Administrador</i>, quiero poder Crear, Leer, Actualizar y Eliminar las muestras.</li> <li>▪ Como usuario <i>Geólogo</i> quiero poder Crear, Leer, Actualizar y Eliminar las muestras en las cuales sea el propietario</li> </ul>
<b>Criterios de aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El usuario debe diligenciar todos los campos que sean obligatorios y cumplir las reglas de validación de cada uno.</li> <li>▪ El usuario debe tener la opción de disponer de una vista con todas las muestras registradas, poderlos seleccionar y realizar la operación que se requiera.</li> </ul>
<b>Escenario</b>	El usuario podrá acceder desde cualquier dispositivo que tenga instalado un navegador web.
<b>Notas</b>	Antes de aplicar cualquier modificación, la plataforma tecnológica debe preguntar si está seguro con la operación a realizar. El o los usuarios afectados deberán recibir una notificación vía correo electrónico.

**Tabla 5-10:** Administrador de la plataforma tecnológica

Título	Administrador de la plataforma tecnológica
<b>Descripción</b>	Como usuario con rol <i>Administrador</i> , quiero poder Crear, Leer, Actualizar y Eliminar las estaciones, columnas, muestras, usuarios registrados en la plataforma tecnológica.
<b>Criterios de aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El usuario debe diligenciar todos los campos que sean obligatorios y cumplir las reglas de validación de cada uno.</li> <li>▪ El usuario debe tener la opción de disponer de una vista con todas las entidades registradas, poderlos seleccionar y realizar la operación que se requiera.</li> </ul>
<b>Escenario</b>	El usuario podrá acceder desde cualquier dispositivo que tenga instalado un navegador web.
<b>Notas</b>	Antes de aplicar cualquier modificación, la plataforma tecnológica debe preguntar si está seguro con la operación a realizar. Cualquier operación sobre usuarios implicará el envío de un correo de notificación.

**Tabla 5-11:** Auditor de la plataforma tecnológica

<b>Título</b>	Auditor de la plataforma tecnológica
<b>Descripción</b>	Como usuario con rol <i>Auditor</i> , quiero poder Leer las estaciones, columnas, muestras, usuarios registrados en la plataforma tecnológica.
<b>Criterios de aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El usuario debe tener la opción de disponer de una vista con todas las entidades registradas.</li> </ul>
<b>Escenario</b>	El usuario podrá acceder desde cualquier dispositivo que tenga instalado un navegador web.
<b>Notas</b>	N/A

**Figura 39:** Diagrama de componentes de la herramienta tecnológica

### 5.3.1.2 Requerimientos no funcionales

Luego de la consolidación de los requerimientos funcionales de la herramienta tecnológica y conforme con las conclusiones de los talleres realizados con los líderes de área, se identificaron y consolidaron los requerimientos no funcionales que se describen a continuación:

- La aplicación web deberá estar desplegada sobre tecnología *Docker*.
- La publicación de los geoservicios deberá adoptar los estándares de la OGC.
- La aplicación se podrá utilizar sobre las versiones más recientes de *Google Chrome*, *Firefox* y *Microsoft EDGE*. Al momento de la publicación del presente documento.
- La aplicación deberá adoptar las normas de estilo institucional del SGC.
- La aplicación deberá responder en los tiempos adecuados, implementará una interfaz de fácil uso, amigable e intuitiva para el usuario.
- Debe implementar una arquitectura basada en microservicios, con separación de *backend*, *frontend*, y DB.
- El sistema deberá contar con un módulo de autenticación que haga uso de *OAuth 2.0* de *Google*.
- Se hará uso de los lenguajes de programación *Python 3* y *TypeScript*.
- Se utilizarán los frameworks *Django* y *Angular*.
- Debe asegurar la auditoría sobre las acciones de creación, actualización, modificación o borrado de las entidades identificadas.
- Toda la información geográfica debe contar con sus respectivos metadatos, nombre de quien la generó, fuente, método de obtención y otros datos que permitan un correcto análisis y procesamiento de la información descargada de la plataforma.
- La plataforma tecnológica hará uso de los servicios habilitados por el ecosistema Esri y adquiridos por el SGC.

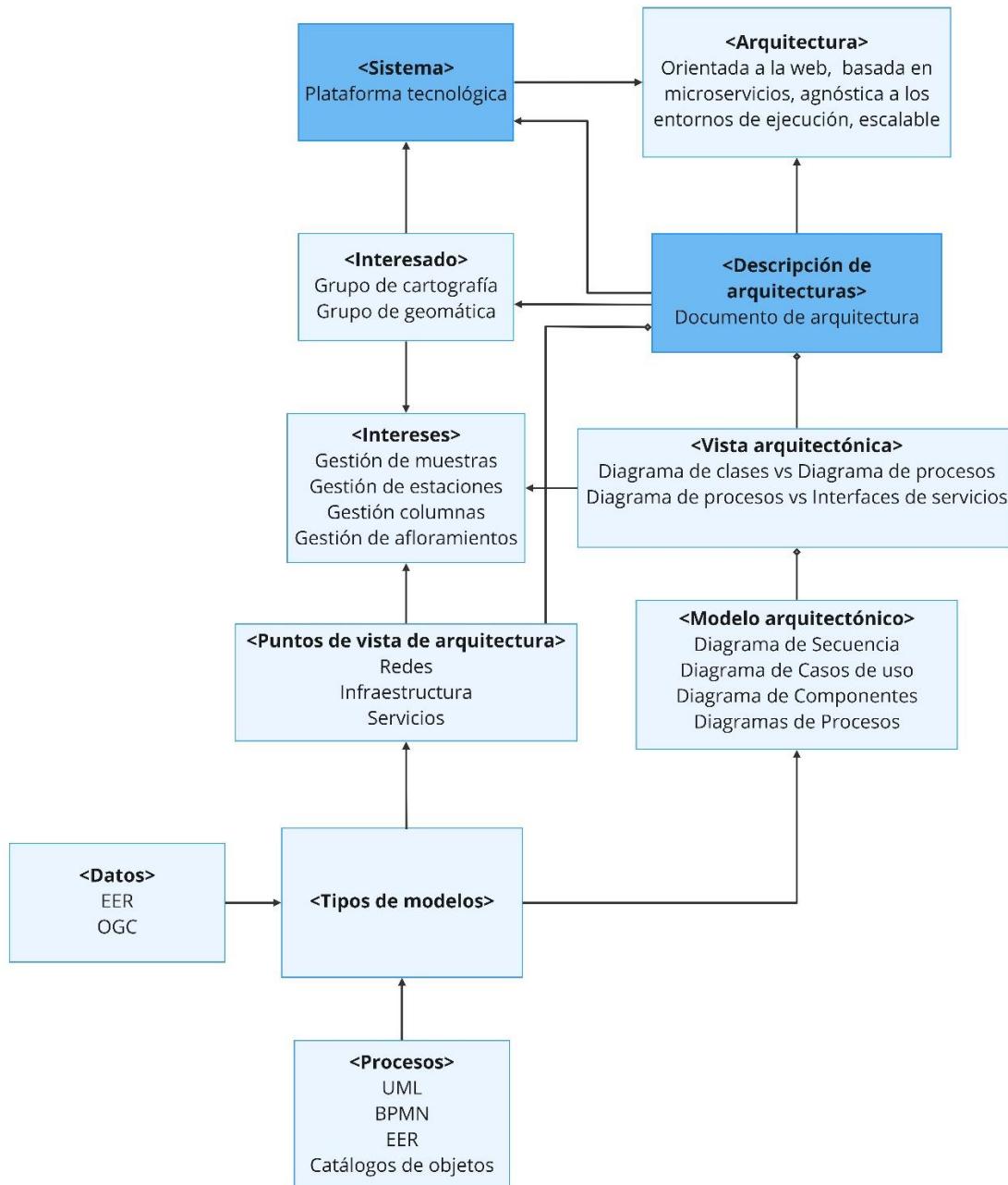
### 5.3.2 Modelo de datos institucional

El Modelo de datos utilizado como insumo para la identificación de las entidades propias del modelo de negocio y sus posibles relaciones de la plataforma tecnológica fue el vigente

en el estándar SGC, las tablas y atributos de la GDB institucional se presenta en el Anexo D: Modelo de datos libro índice y GDB, estándar vigente SGC.

### 5.3.3 Arquitectura

**Figura 40:** Aplicación del metamodelo propuesto por MinTIC (2019)



### 5.3.3.1 Arquitectura de referencia

- **Caracterización de zonas**

- **Zona de canales:** Intranet, Internet, aplicación móvil, aplicación web, SIG de Escritorio.
- **Zona transaccional:** Gestión de muestras, gestión de Estaciones, Gestión de Columnas estratigráficas, Gestión de Afloramientos, Gestión de Usuarios.
- **Zona de interoperabilidad con externos:** Acceso a api de ArcGIS Online, ArcGIS Enterprise, Google.
- **Zona de notificación:** Correo electrónico, notificación en WebApp.
- **Zona de seguridad:** Servicio de autorización, Servicio de Navegación, Servicio de Autenticación, Trazabilidad/Auditoría del sistema, tokens.
- **Zona de Almacenamiento:**
  - Datos transaccionales: Política de *Backups*
  - Datos Analíticos: Poner a disposición los datos históricos.
  - Gestión de Archivos: Volumen lógico

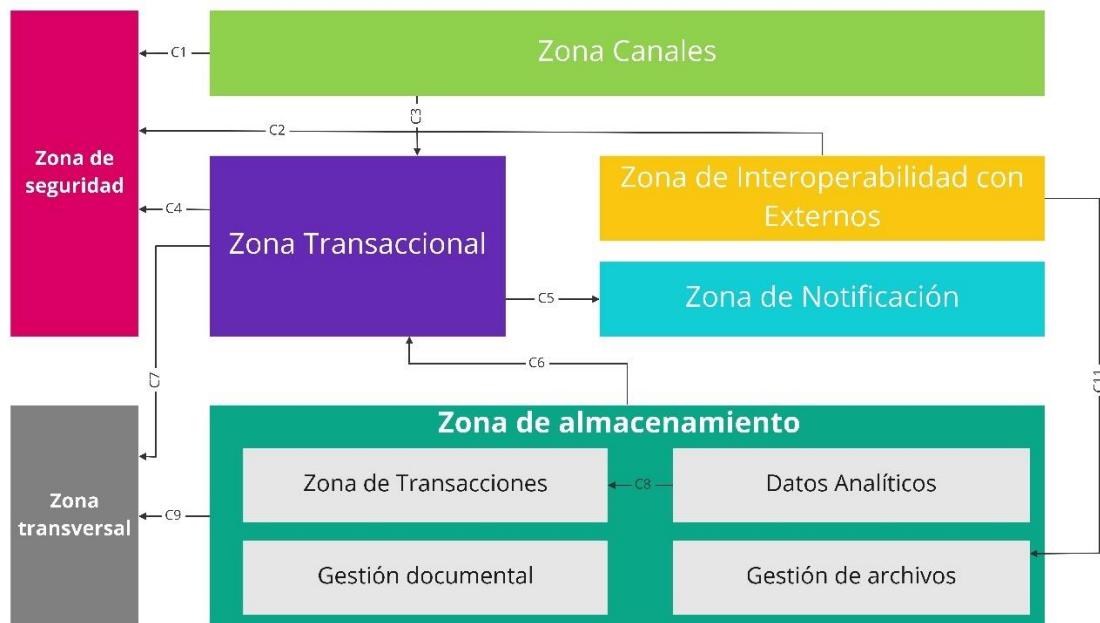
- **Caracterización de zonas**

**Tabla 5-12:** Caracterización de zonas servicios de TI

ID	Zona/ Subzona Origen	Zona/ Subzona Destino	Tipo de Conector	Descripción
C1	Canales	Seguridad	Sin dirección	Todo acceso por los canales debe ser autenticado y autorizado por los servicios de seguridad de terceros y de la propia plataforma tecnológica.
C2	Interoperabilidad con terceros	Seguridad	Sin dirección	Todo acceso a los servicios de la plataforma debe ser autenticado y autorizado.
C3	Canales	Transaccional	Unidireccional	Toda solicitud desde la zona de canales debe ser atendida a través del <i>pool</i> de servicios.
C4	Transaccional	Seguridad	Unidireccional	Todos los servicios transaccionales se apoyarán en la zona de seguridad, es decir, todas las peticiones pasaron por esta zona.
C5	Transaccional	Notificaciones	Unidireccional	Los servicios de la zona transaccional podrán hacer uso de los servicios de notificaciones.

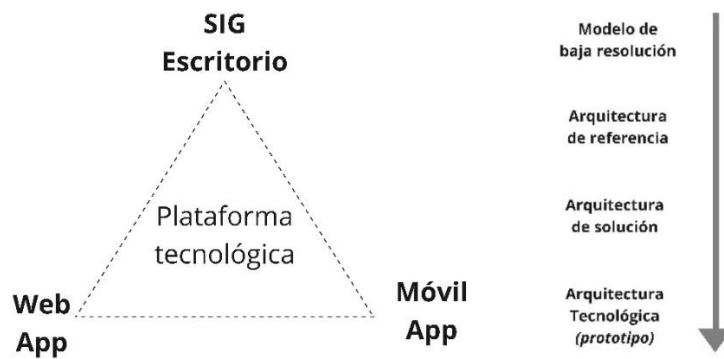
ID	Zona/ Subzona Origen	Zona/ Subzona Destino	Tipo de Conector	Descripción
C6	Almacenamiento	Transaccional	Unidireccional	Servicios síncronos o asíncronos que son provistos para centralizar la gestión sobre la DB Geográfica y para los documentos cargados por los usuarios de la plataforma.
C7	Transaccional	Transversal	Unidireccional	Lanzar tareas de sincronización, depuración de datos haciendo uso de las funciones propias del sistema operativo huésped.
C8	Almacenamiento /Datos analíticos	Almacenamiento /Zona de transacciones	Unidireccional	Transferencia de datos de un volumen de producción a un volumen de analítica, lo anterior para no afectar negativamente el desempeño de la plataforma.

**Figura 41:** Zonas caracterizadas para la arquitectura de referencia



En el marco de los objetivos de esta investigación, se procedió a identificar los elementos del ecosistema de la plataforma tecnológica y su implementación a través de los componentes conceptuales y funcionales basados en TICs, para la transformación digital de los datos geográficos del caso de estudio.

**Figura 42:** Interfaces de la plataforma tecnológica



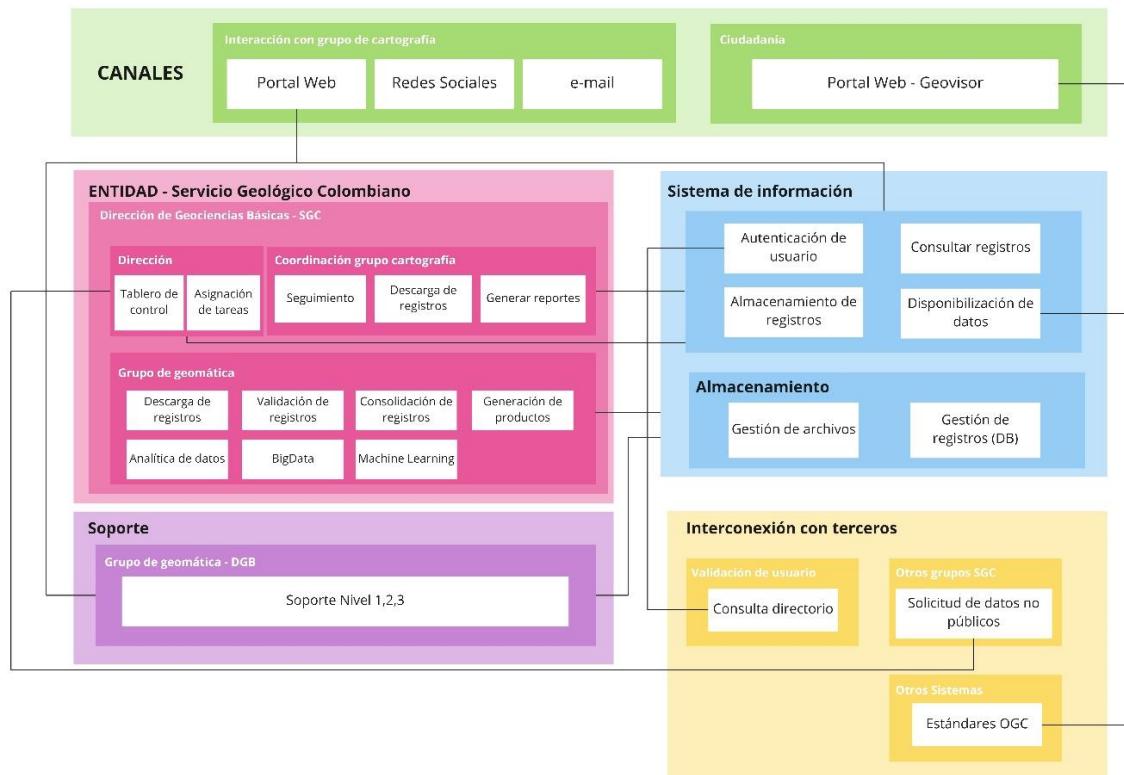
En ese sentido, la arquitectura propuesta para el caso de estudio está orientada a servicios. La presenta tres interfaces identificadas: i) Web App, ii) SIG Escritorio y iii) Móvil App, a través de las cuales los usuarios podrán acceder a los servicios (Figura 42).

La Figura 43 presenta las cuatro capas (elementos) que interactúan para proveer los servicios priorizados en la plataforma tecnológica, y la Figura 44 muestra la comunicación entre ellas.

**Figura 43:** Diagrama conceptual de capas de la herramienta tecnológica



**Figura 44:** Diagrama conceptual de la herramienta tecnológica



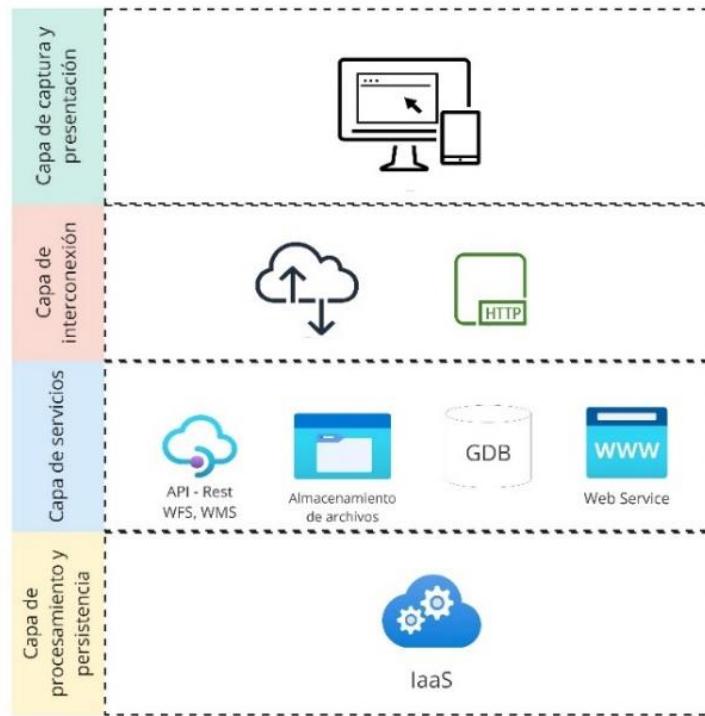
### 5.3.3.2 Arquitectura de solución

Considerando la caracterización del proceso, los talleres realizados con el grupo de TI, coordinador, líderes de área y el grupo de desarrollo, se identifican las capas y sus componentes tecnológicos en términos de protocolos, servicios e interfaces necesarios para la arquitectura de solución (Figura 45).

La arquitectura adopta el modelo de nube híbrida, haciendo uso de los recursos disponibles en el *Datacenter* de la Entidad los servicios adquiridos en el ecosistema Esri.

Algunos de los servicios desplegados serán accedidos desde internet, intranet o algún túnel sobre internet (VPN) que proporcione elementos de seguridad adicionales.

**Figura 45:** Modelo conceptual de la arquitectura de solución



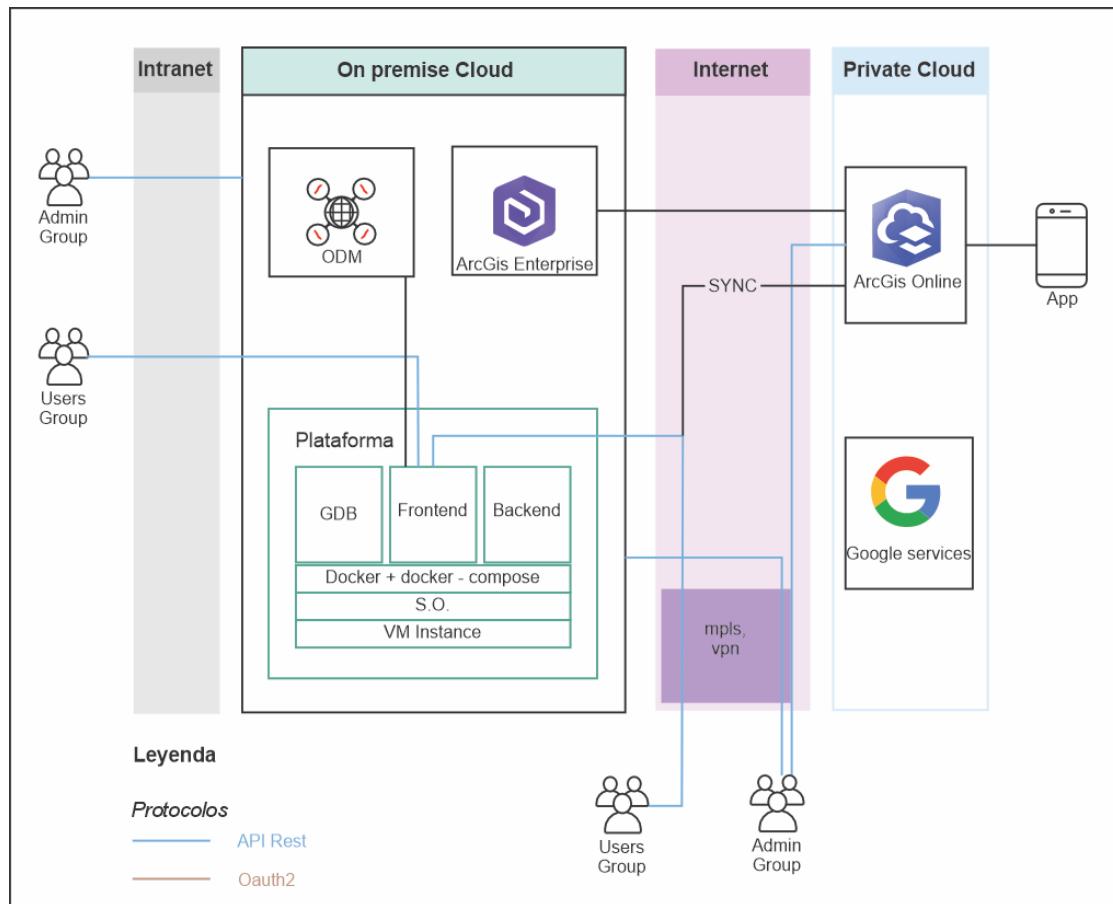
La herramienta tecnológica adopta elementos de una arquitectura basada en microservicios, existe una separación lógica entre los componentes *Backend*, *Frontend*, y *DataBase-DB*. Lo anterior permite disponer de una solución de fácil mantenimiento y operación. Al estar implementada sobre este paradigma, incorpora ventajas como la escalabilidad horizontal, fácil migración y despliegue, es agnóstica al sistema operativo del servidor ya que opera sobre tecnología *Docker*.

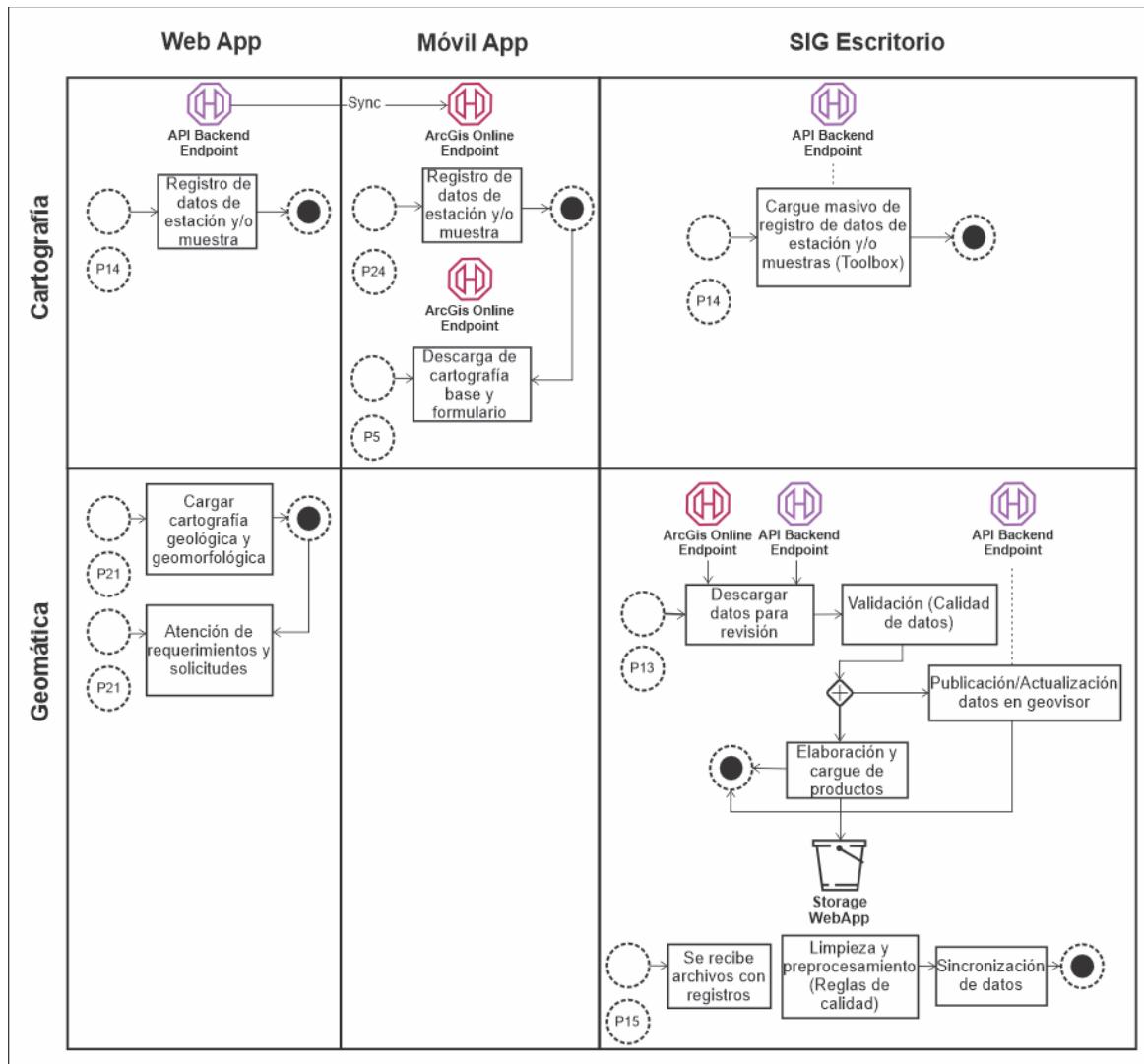
La aplicación hace uso del protocolo **http** para exponer sus servicios a los usuarios y otros sistemas (es el caso del ecosistema de Esri y para el uso de Google OAuth 2.0), a través de uso de redes WLAN/LAN. Para brindar seguridad sobre el tráfico que sale a internet, se implementan certificados SSL.

Por políticas de la organización, este tipo de aplicaciones no podrán estar expuestas en internet, por lo tanto, para aquellos usuarios que deseen ingresar y no se encuentren en las instalaciones de la Entidad, lo podrán hacer desde un túnel VPN. La herramienta tecnológica estará desplegada sobre un servidor *OnPremise* aprovisionado por el grupo de TI de la Entidad.

Como resultado de lo anterior, se presenta la Figura 46: Arquitectura de solución de la herramienta tecnológica.

**Figura 46:** Arquitectura de solución de la herramienta tecnológica



**Figura 47:** Componentes de la arquitectura - plataforma tecnológica

La Figura 47 muestra los componentes de la arquitectura que dan soporte tecnológico a los procesos priorizados en la caracterización, se evidencia el flujo datos geográficos en cada una de las interfaces definidas y habilitadas.

### 5.3.4 Implementación de Plataforma tecnológica

Esta sección presenta el desarrollo e implementación de la plataforma tecnológica como elemento de soporte para la ejecución de los procesos priorizados e identificados,

mediante la aplicación del Marco de Transformación Digital para entidades públicas (MinTIC, 2020b).

- **Alcance técnico:** A través de la plataforma tecnológica el usuario puede realizar las tareas priorizadas en la caracterización.
- **Alcance temático:** La plataforma tecnológica permite que los profesionales del grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica registren los datos geográficos obtenidos en campo en una GBD centralizada para facilitar el proceso de estructuración, validación, gestión e integración de información de estaciones geológicas, datos estructurales, muestras recolectadas en campo, resultados de análisis de laboratorio y capas de cartografía básica y temática.

### **5.3.5 Metodología**

Para el desarrollo de esta plataforma tecnológica se adoptó la metodología propuesta por Sandoval & Vargas (2019), aplicando un proceso compuesto de cuatro fases que se describen a continuación.

- **Fase de planeación**

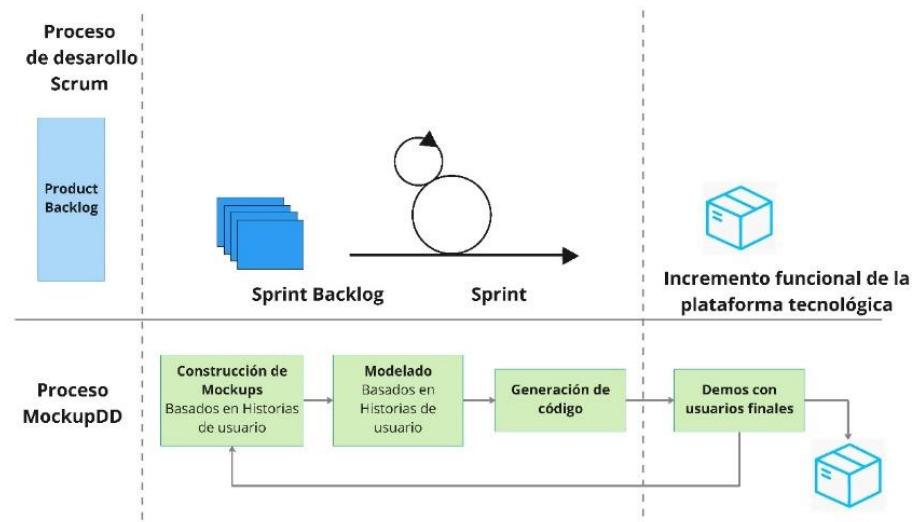
Se identifican los requerimientos de la plataforma tecnológica, su estructura, componentes y relaciones (Sandoval & Vargas, 2019).

- **Fase de diseño**

La fase de diseño contempla la creación de la arquitectura física de la plataforma tecnológica, teniendo en cuenta el análisis de usuarios, requerimientos y estándares y estrategias de diseño (Sandoval & Vargas, 2019).

- **Fase de desarrollo**

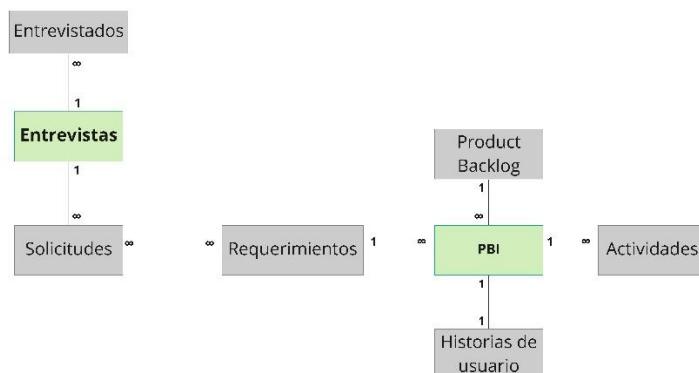
En esta fase se decide adoptar las metodologías de desarrollo SCRUM y *Mockup-Driven-Development* (en adelante MDD) (Figura 48).

**Figura 48:** Metodología de desarrollo SCRUM y MDD

La metodología SCRUM está ampliamente adoptada para el desarrollo de proyectos de software por ser una metodología ágil y de fácil adopción.

A partir de las sesiones llevadas a cabo con el grupo del caso de estudio se evidenció la facilidad de utilizar elementos gráficos como lenguaje común entre el equipo de desarrollo y los conocedores del negocio, es por lo que también se adopta la metodología MDD.

SCRUM inicia con la construcción del *Product Backlog*, el cual es que un listado priorizado, a partir del valor entregado al cliente, de todas las características que debe tener la plataforma tecnológica.

**Figura 49:** Modelo relacional de la metodología SCRUM

La solución se construye de manera iterativa en *Sprints*, allí se asigna un número determinado de *Product Items* a cada desarrollador, los cuales tienen un coeficiente de dificultad, con el fin de hacer una distribución adecuada de cargas de trabajo y tener un estimado de tiempo acertado.

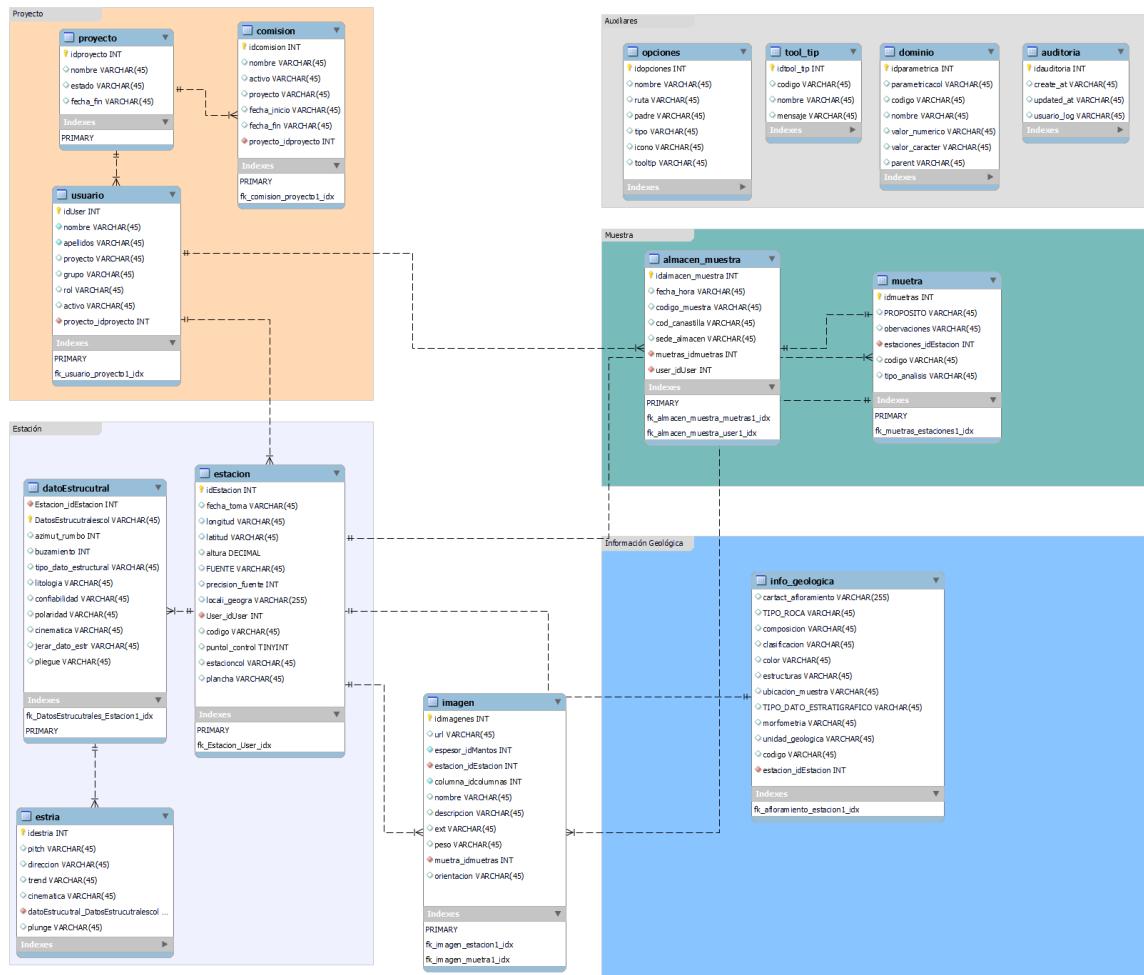
#### - **Modelo de datos**

Para simplificar la visualización y priorizando las entidades que tienen significancia y pertinencia, en este documento se omiten entidades de uso interno para la Aplicación Web, como tablas paramétricas, tablas con sentencias SQL, de estilos, entre otras. Se hace uso del modelado EER (EER por sus siglas *Entity-Entity-Relationship*).

El modelo EER se utiliza para diseñar un esquema de bases de datos relacional, que se basa en la relación entre las entidades y las relaciones entre ellas (Figura 50).

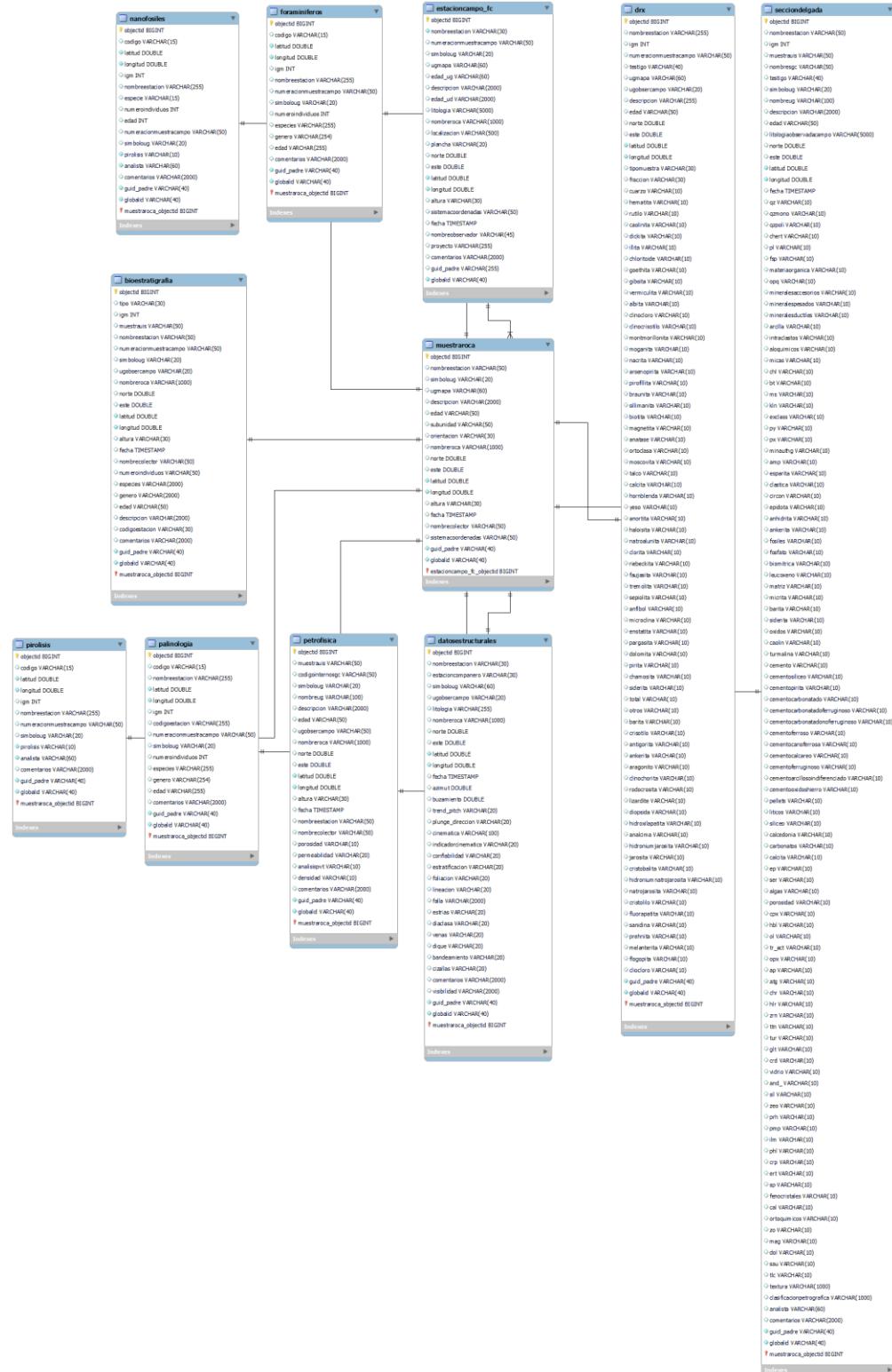
- Atributos de calidad**

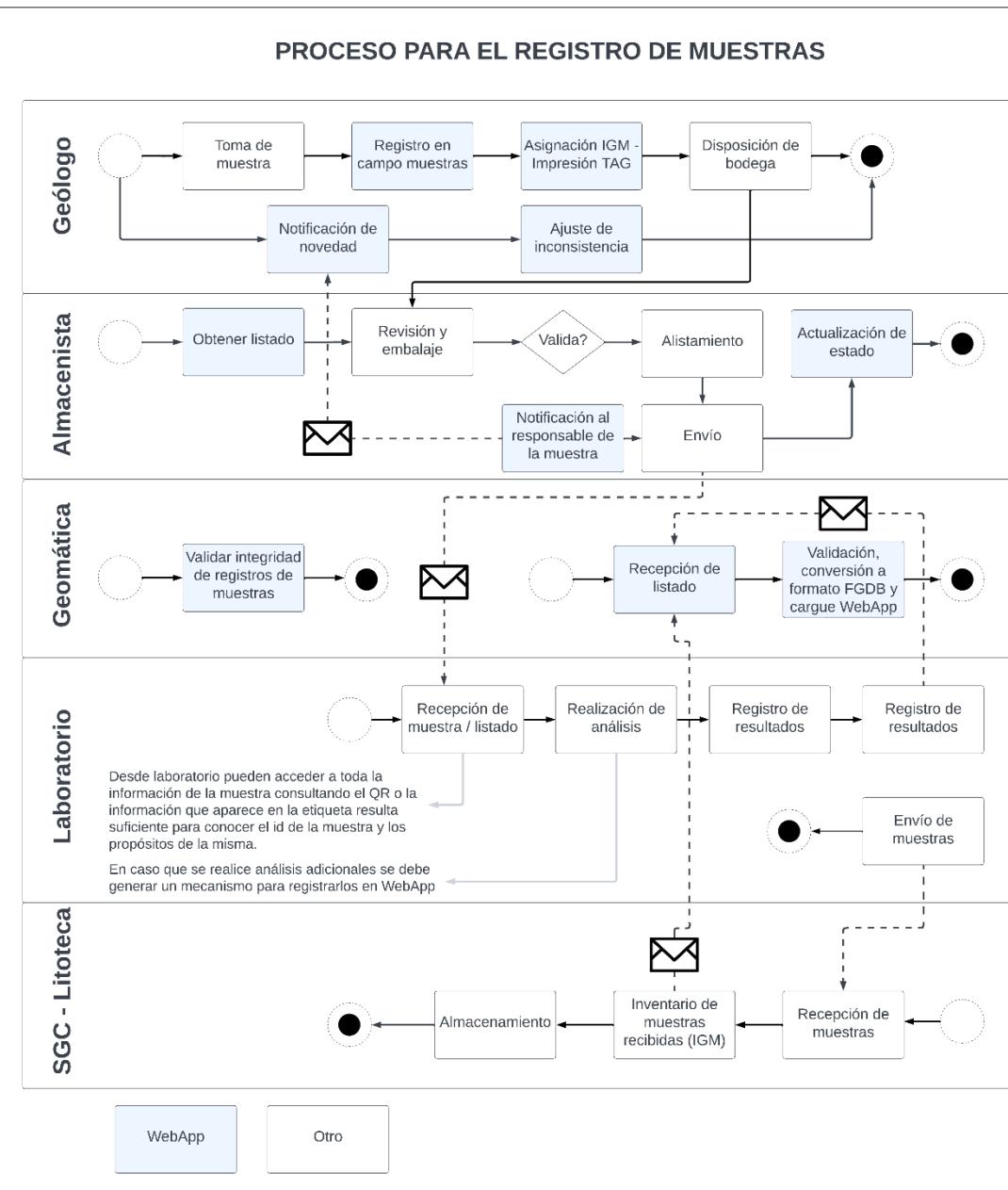
**Figura 50:** Modelo EER Entidades principales



La Figura 51 presenta el Modelo EER para la gestión de los resultados de análisis de laboratorio de las muestras recolectadas en campo. Contar con los datos centralizados en una GDB, facilita la consulta, creación, actualización y conciliación de datos geográficos.

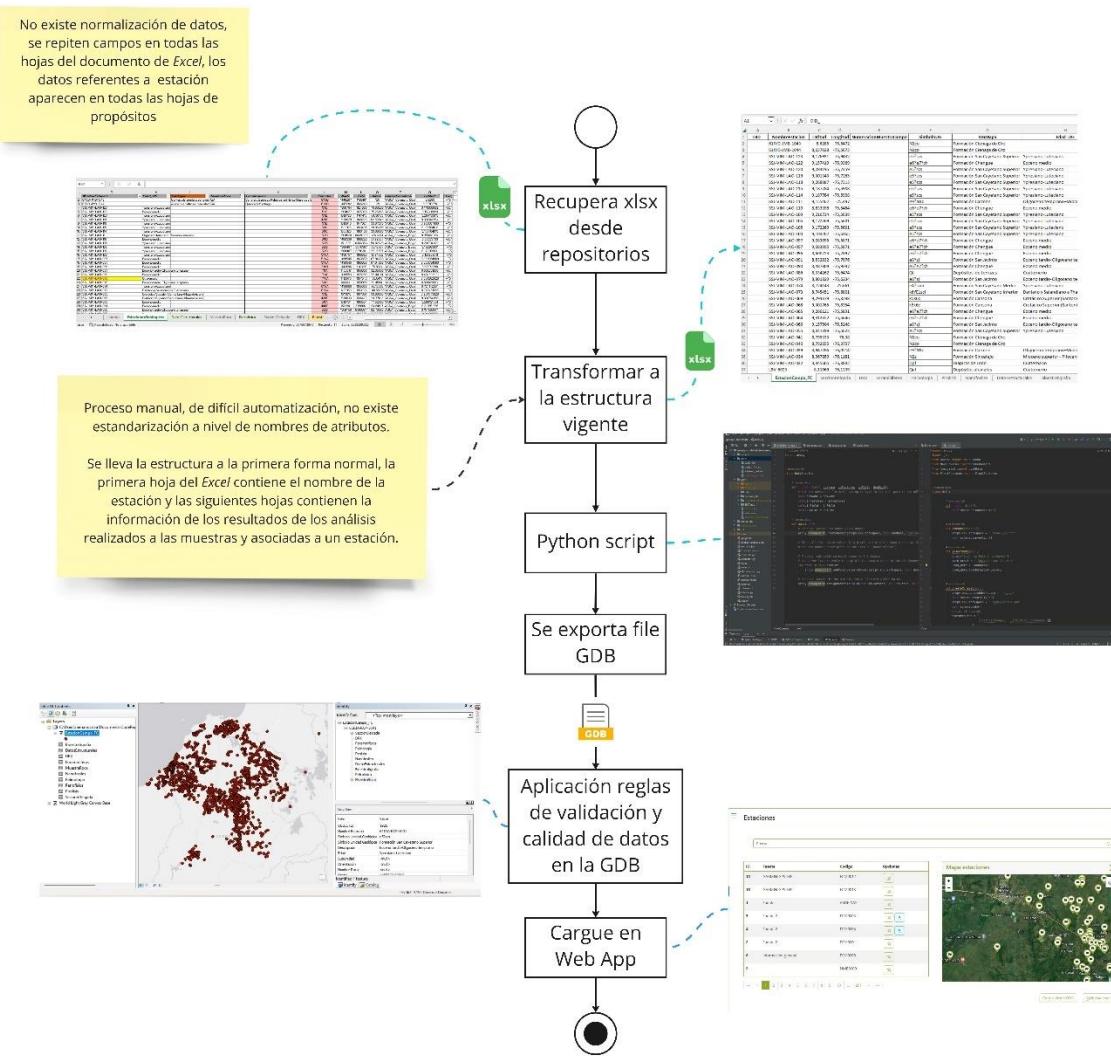
**Figura 51:** Modelo EER para resultados de muestras



**Figura 52:** Proceso para el registro de muestras

La Figura 52 detalla el proceso para registrar los datos de las muestras recolectadas en campo, se evidencia los subprocesos y flujos para cada rol identificado para el área de gestión de muestras y análisis de laboratorio identificada y priorizada en la caracterización.

**Figura 53:** Diagrama de procesos para el cargue masivo de datos geográficos



La Figura 53 presenta los procesos a realizar para cargar los datos existentes en los repositorios de la Entidad. Como se evidenció en el desarrollo de este capítulo, la mayoría de los datos obtenidos en campo se encuentran en múltiples archivos de Excel.

Actualmente, en el grupo del caso de estudio, el proceso para transformar los datos a GDBs demanda subtareas y geoprocесamiento en software GIS, el resultado de ello son capas geográficas independientes. Con la plataforma tecnológica desarrollada, este proceso se realiza mediante la ejecución del script de Python y es cargado en la WebApp.

### 5.3.6 Resultados de la validación de Geo-TD

Esta sección presenta el resultado de la implementación y validación de Geo-TD en el grupo del caso de estudio, para lo cual se diseñaron dos formularios (Anexo F: Formulario para , Anexo G: Formulario de medición de resultados de Geo-TD y Anexo F: Formulario para establecer línea base) que permitieron cuantificar el tiempo que llevaban los procesos priorizados bajo el cálculo del mapa de calor en la caracterización de la sección 5.2, Tabla 5-13 y el tiempo después de la implementación de Geo-TD.

**Tabla 5-13.** Procesos priorizados para el caso de estudio

Id proceso	Descripción proceso	Área funcional
P14	Estructuración y carga de los datos de campo al repositorio, conforme al estándar SGC	Geología de campo
P13	Revisión y validación de los datos del repositorio del proyecto	Validación técnica
P15	Integración de los datos de campo del repositorio	Geomática

El objetivo del formulario es identificar la línea base del rendimiento en los procesos para los cuales se propuso aplicar el Modelo de transformación digital de datos geográficos. Los profesionales que respondieron las preguntas pertenecen a las áreas funcionales de la Tabla 5-13.

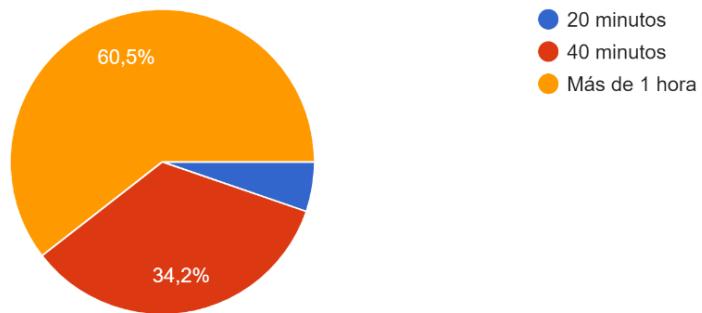
La línea base en la implementación de un modelo se refiere a la medición o evaluación inicial de un conjunto de variables o indicadores relevantes antes de realizar cambios o intervenciones (Bernard, 2002; Patton, 2015). Representa un punto de referencia para comparar y evaluar el impacto de las acciones implementadas a lo largo del tiempo.

La importancia de establecer una línea base radica en que permite evaluar y medir los resultados de la implementación del modelo en comparación con la situación inicial (Yin & Campbell, 2018). También proporciona información valiosa para identificar cambios significativos y determinar la afectación de las intervenciones realizadas

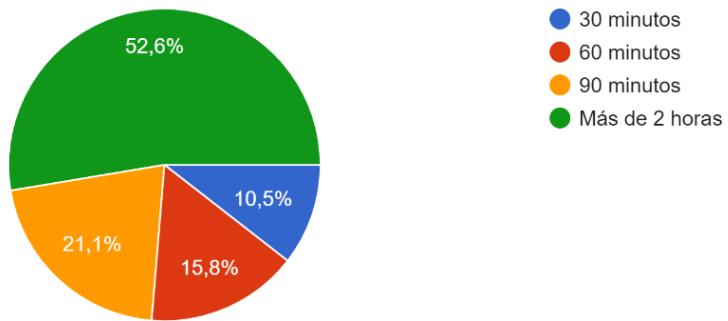
A continuación, se presentan los resultados previos y posteriores a la implementación de Geo-TD con relación a la variable de **tiempo**, para los procesos priorizados en la caracterización:

- **Resultados Línea base**

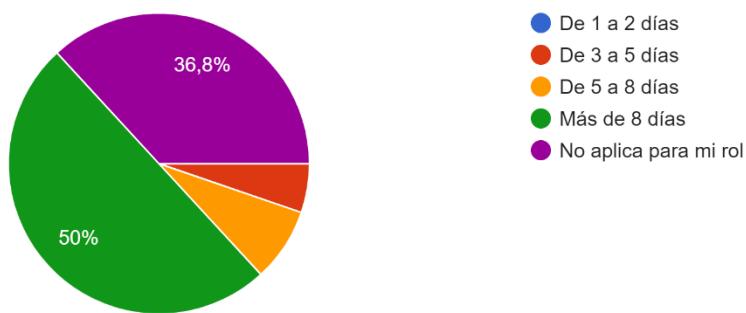
1. Considerando los estándares vigentes del SGC y los datos requeridos de campo ¿Cuánto tiempo en promedio le toma realizar la descripción completa de una (1) estación geológica?



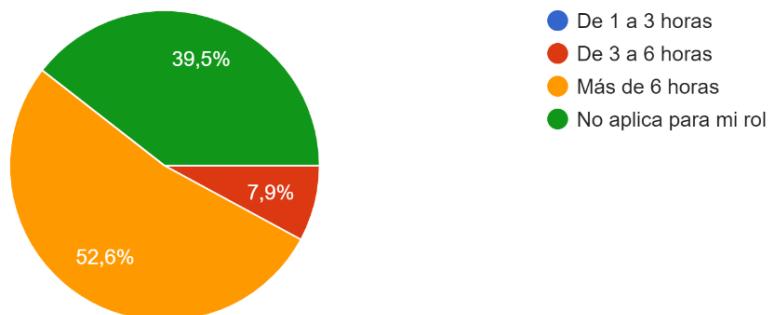
2. Una vez realizado el trabajo de campo y considerando los estándares requeridos en el SGC, ¿cuánto tiempo en promedio le lleva trascibir los datos y estructurar toda la información de una (1) estación geológica (libro índice, libreta digital, muestras, fotografías, GPX) hasta la aprobación por el área de Geomática?



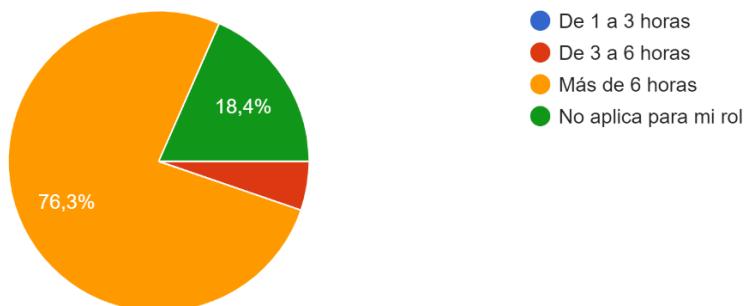
3. Si usted pertenece al grupo de Geomática, ¿cuánto tiempo en promedio le lleva integrar la información completa en Bases de Datos Geográficas y en la estructura de carpetas de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?



4. Si usted es el encargado de la validación de la información integrada en los repositorios ¿cuánto tiempo en promedio le toma revisar y validar la información dispuesta en los formularios de Excel (libro índice y libreta digital) y la Base de Datos Geográfica-GDB de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?

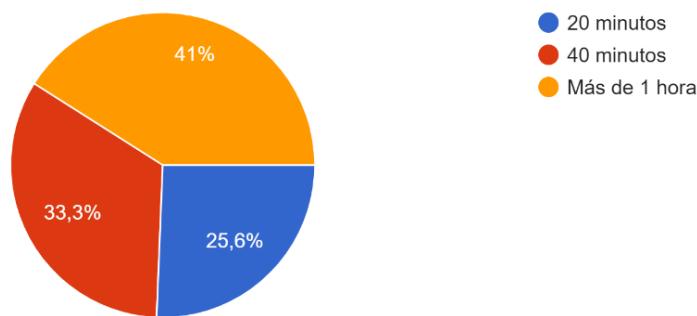


5. Si usted es el encargado de generar la cartografía geológica y geomorfológica, ¿cuánto tiempo en promedio le toma realizar el análisis de la información dispuesta en los formularios de Excel (libro índice y libreta digital) y la Base de Datos Geográfica-GDB para una plancha que tiene en promedio 100 estaciones geológicas?

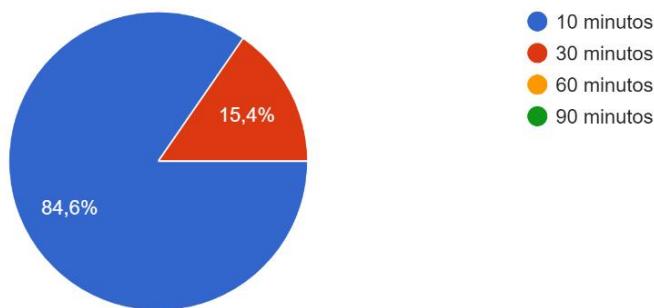


- **Resultados implementación**

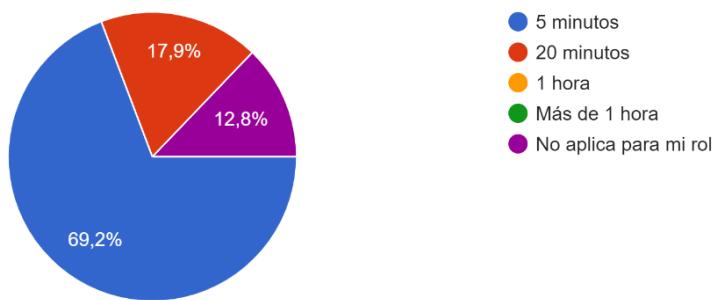
1. Considerando los estándares vigentes del SGC y los datos requeridos de campo ¿Cuánto tiempo en promedio le toma realizar la descripción completa de una (1) estación geológica?



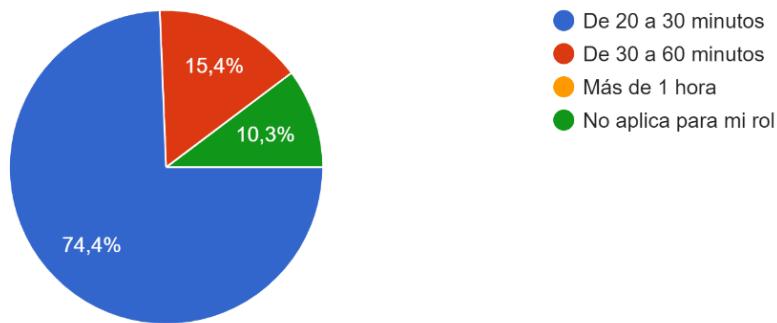
2. Una vez realizado el trabajo de campo y considerando los estándares requeridos en el SGC, ¿cuánto tiempo en promedio le lleva trascibir los datos y estructurar toda la información de una (1) estación geológica en la plataforma tecnológica hasta la aprobación por el área de Geomática?



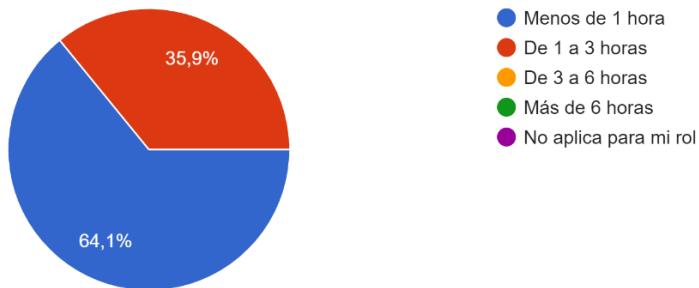
3. Si usted pertenece al grupo de Geomática, ¿cuánto tiempo en promedio le lleva integrar la información completa de la plataforma tecnológica en Bases de Datos Geográficas y en la estructura de carpetas de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?

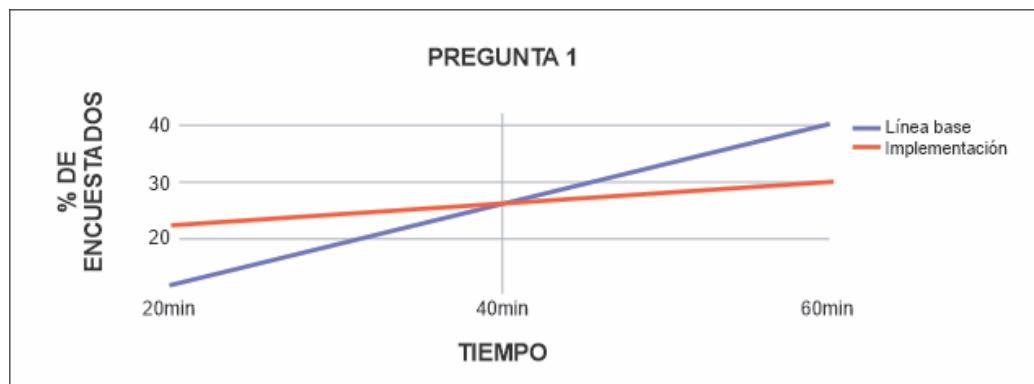
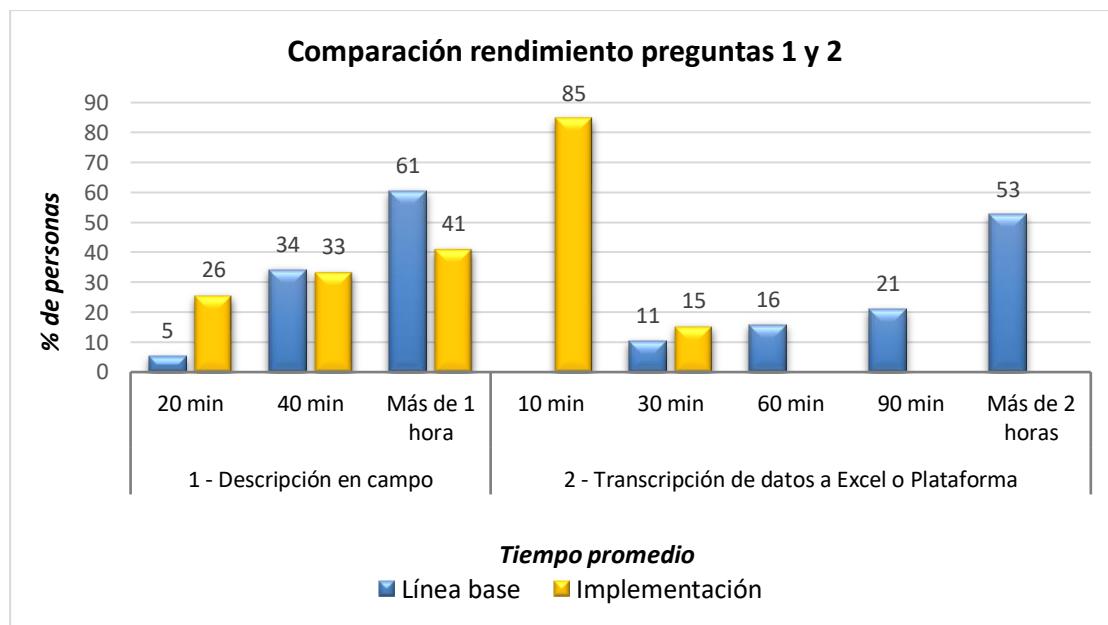


4. Si usted es el encargado de la validación de la información integrada ¿cuánto tiempo le toma revisar y validar la información dispuesta en la plataforma tecnológica y la Base de Datos Geográfica-GDB de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?

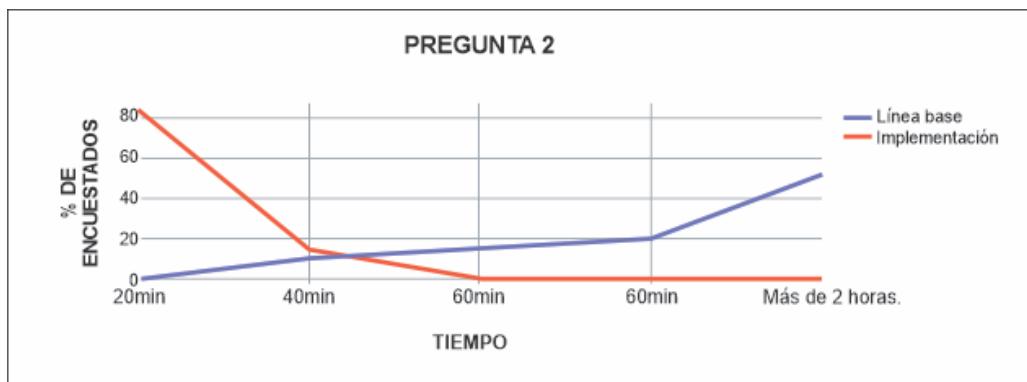


5. Si usted es el encargado de generar la cartografía geológica y geomorfológica, ¿cuánto tiempo le toma realizar el análisis de la información dispuesta en la plataforma tecnológica y la Base de Datos Geográfica-GDB para una plancha que tiene en promedio 100 estaciones geológicas?

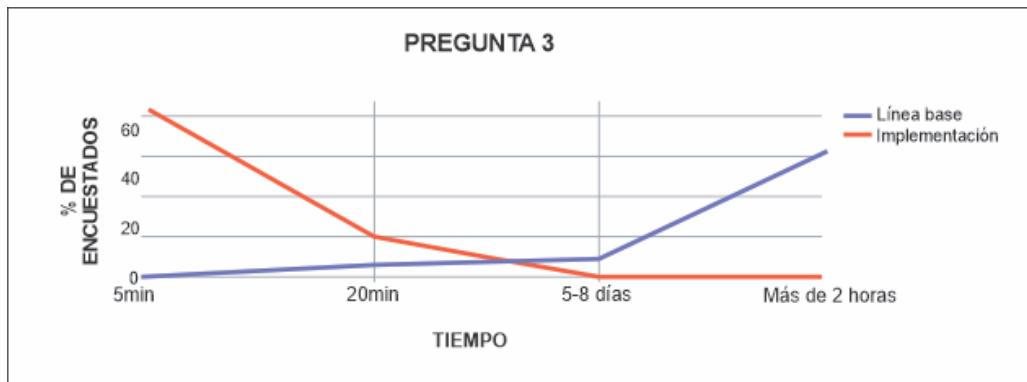


**Figura 54:** Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 1**Figura 55:** Comparación rendimiento preguntas 1 y 2

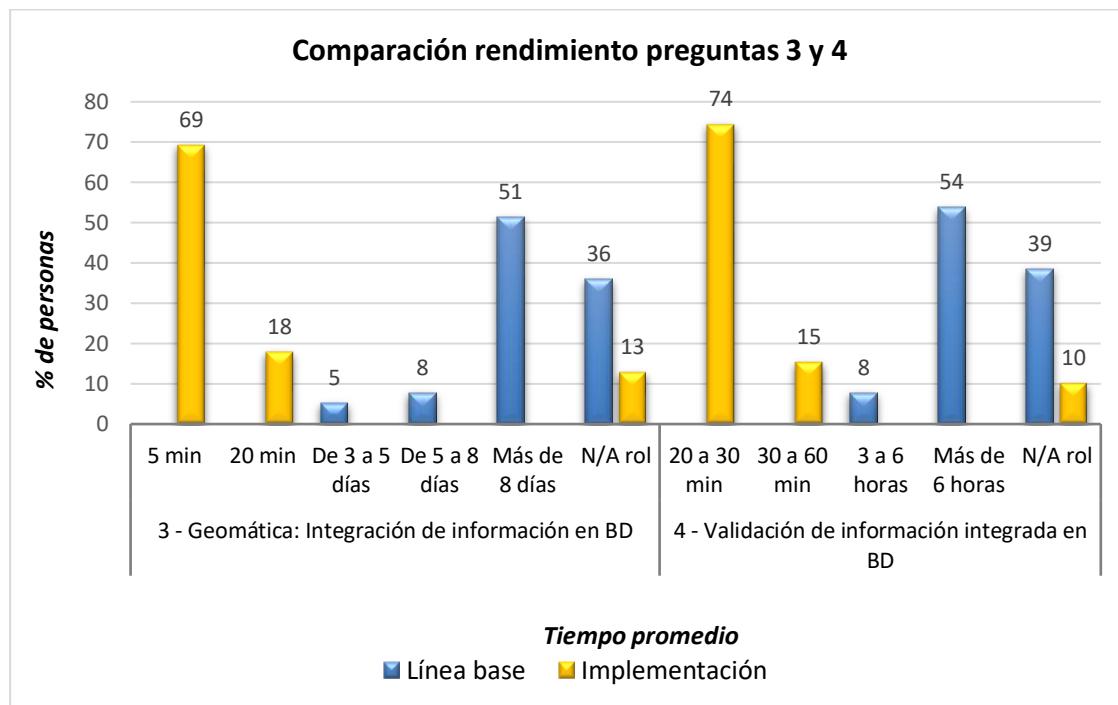
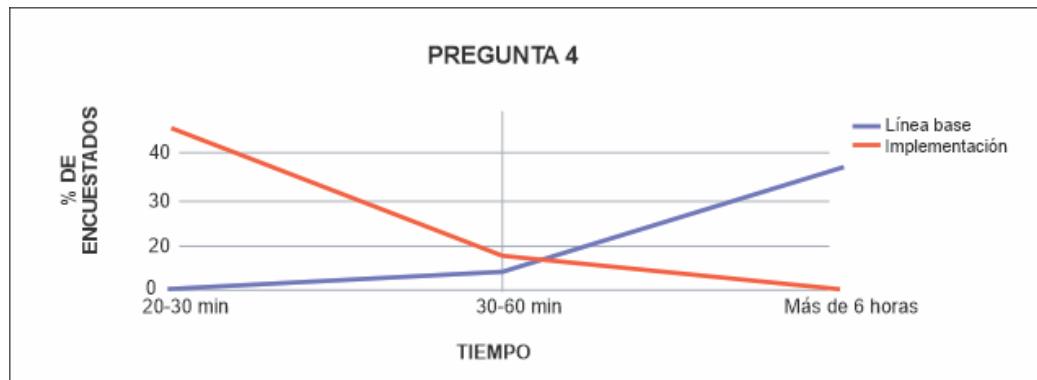
En la pregunta 1 "Descripción en campo" se nota una mejoría con respecto al tiempo, debido a la estructuración de los campos y asignación de dominios para algunos de los campos, disponibilidad de respuestas de una lista de selección, o selección única. A pesar de que el diligenciamiento se haya realizado en una libreta física, y no en una App móvil debido al alcance del proyecto. El 20% de los geólogos que se gastaban más de 1 hora después de la implementación gastaron menos de 40 minutos.

**Figura 56:** Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 2

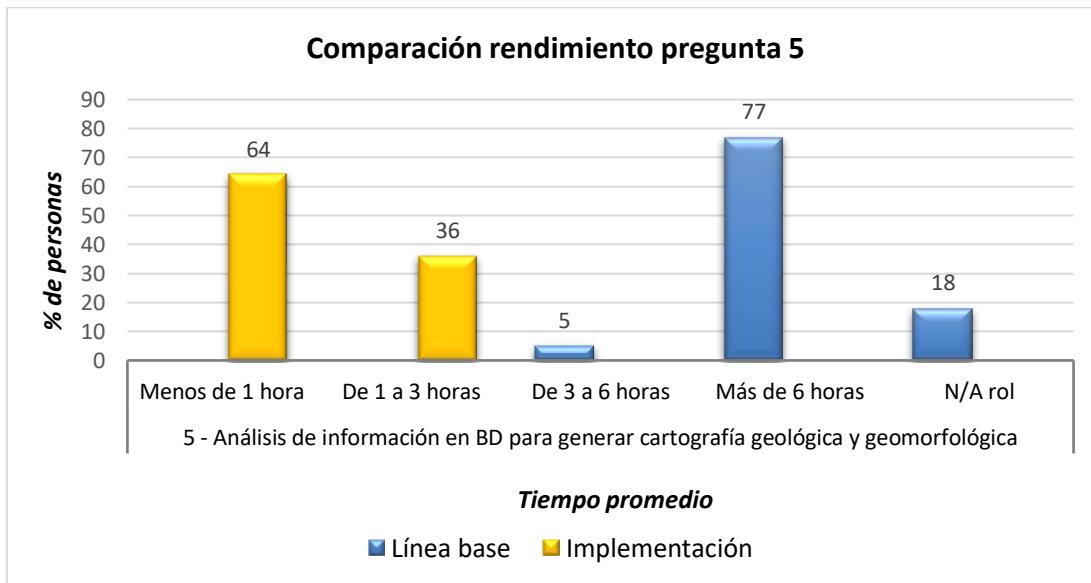
Para la pregunta 2, se ve un impacto significativo en la reducción de tiempos, el 85% de los usuarios que gastaban más de 30 minutos se decantaron en los grupos de 10 y 30 minutos, los grupos de usuarios que gastaban en promedio 60, 90 y más 2 horas desaparecieron, concentrando el 85% de los usuarios alrededor del grupo que en promedio gasta 10 minutos y 15% para el grupo que gasta en promedio 30 minutos.

**Figura 57:** Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 3

Para la pregunta 3, el 69% de los usuarios realiza las tareas de integración en 5 minutos en promedio y el 18% de los usuarios toma aproximadamente 20 minutos en realizar la tarea. Los grupos que tomaban más de 3 días desaparecieron.

**Figura 58:** Comparación rendimiento preguntas 3 y 4**Figura 59:** Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 4

Para la pregunta 4 el 74% y 15% los usuarios se agrupan en los rangos de 20-30 y 30-60 minutos, respectivamente; esto agrupa 89% de los usuarios a diferencia de la línea base en donde el 64% de los usuarios estaban agrupados en los rangos de tiempo mayores a 3 horas.

**Figura 60:** Comparación rendimiento pregunta 5**Figura 61:** Gráfica comparativa de los resultados de la pregunta 5

Para la pregunta 5 el tiempo promedio que le llevaba a los profesionales analizar la información contenida en las bases de datos (formularios de Excel) se agrupa en el rango de más de 6 horas, mientras que después de la implementación de Geo-TD el tiempo que toman para analizar la información desde la plataforma tecnológica se agrupa en el rango de 1 a 3 horas.



## **6. Resultados y Conclusiones**

Este capítulo consta de tres secciones, la primera presenta los resultados de la investigación respecto al logro de los objetivos propuestos y las preguntas de investigación formuladas, la segunda presenta las conclusiones generales y la tercera describe los puntos propuestos para ampliar la investigación en trabajos futuros.

### **6.1 Resultados de la investigación**

#### **6.1.1 Objetivos**

*Elaborar el diagnóstico del estado tecnológico actual de la transformación digital de los datos del Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC), para identificar los retos y desafíos en la digitalización de datos geográficos.*

Este objetivo se cumplió mediante la caracterización del proceso, a través de la revisión de literatura y la aplicación parcial del Marco de Transformación Digital para entidades públicas del MinTIC (2020). Para este ejercicio se utilizaron las herramientas disponibles para medir el Nivel de Madurez Digital e identificar y priorizar a través del Mapa de Calor, los procesos que demandan una intervención en términos de Transformación Digital. No obstante, esta fue una aproximación del estado tecnológico actual y debió complementarse con la evaluación y desagregación de los procesos. La sección 4.1 enmarca el proceso a realizar dentro del modelo y la sección 5.2 detalla el resultado del objetivo mediante la validación de GeoTD.

Esta investigación supuso una intervención para los datos de tipo geográfico, por lo tanto, fue necesario revisar en detalle los procesos clave del grupo del caso de estudio mediante

sesiones de trabajo con las diferentes áreas funcionales del grupo, a fin de conocer la dinámica de los procesos, insumos y productos.

**Identificar los componentes conceptuales y funcionales basados en TICs, para la transformación digital de los datos geográficos.**

El cumplimiento de este objetivo se logró mediante tres instancias, la primera abordó la revisión conceptual sobre TICs y la exploración de trabajos previos de aplicación documentados en el capítulo 2, la segunda instancia conllevó la identificación de los problemas en los procesos priorizados en la caracterización y la tercera instancia comprendió la selección de métodos y tecnologías adecuadas para la solución de los problemas.

Es de anotar que los componentes conceptuales y funcionales basados en TICs seleccionados en esta investigación se detallan en la sección 4.2.2, sin embargo, también se relacionan en las secciones 2.1.5, 2.2.3 y 3.2.

Para la validación del modelo en esta investigación se utilizaron los siguientes conceptos TICs: Computación en la nube, Geolocalización, Microservicios, Computación en el borde. No obstante, los proyectos que se deriven de esta investigación, en especial para el caso de estudio pueden enmarcarse en el uso de *Machine Learning* y *Big Data*.

**Diseñar el modelo de transformación digital para datos geográficos.**

El diseño y construcción del modelo de transformación digital para datos geográficos Geo-TD, se basó en las dimensiones planteadas por el MinTIC en el Marco de la Transformación Digital para entidades públicas, es un modelo orientado al usuario y a los procesos internos e intermedios de las organizaciones.

Geo-TD busca habilitar los procesos que utilizan datos geográficos para que evolucionen transversalmente en cuanto a: i) Personas y cultura digital ii) Datos digitales y Analítica, iii) Procesos digitales y iv). Tecnología, brindando las herramientas a los grupos u organizaciones para construir soluciones basadas en TICs.

Asimismo, contempla el metamodelo de arquitectura del MinTIC, el cual orienta la selección y definición de componentes tecnológicos para el diseño y construcción de la plataforma. El diseño, caracterización y construcción de Geo-TD se detalla en el Capítulo 4.

**Validar el modelo propuesto para la transformación digital de datos geográficos.**

**Caso de uso: Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC).**

Este objetivo se cumplió mediante la aplicación de Geo-TD en el Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Este caso de estudio fue seleccionado porque reúne los escenarios potenciales para la validación del modelo. Adicionalmente porque se pertenece al grupo y se conoce la misionalidad y datos utilizados en el grupo.

Adicional a los objetivos y a fin de soportar la validación del modelo, se desarrolló e implementó una plataforma tecnológica orientada a la web, la cual funciona bajo un motor de base de datos relacional, con una arquitectura basada en microservicios, utiliza protocolo *http* para exponer los servicios a los usuarios y los sistemas de Esri y Google mediante el uso de redes WLAN/LAN e implementa certificados de seguridad en internet SSL.

En ese sentido, esta investigación presenta el cumplimiento de los 4 objetivos planteados. El repositorio de código y la documentación asociada de la plataforma tecnológica de validación de Geo-TD puede ser consultada en el enlace de Azure habilitado para tal fin.

### **6.1.2 Pregunta de investigación**

¿Qué elementos metodológicos y conceptuales se pueden incorporar en un modelo para potenciar la madurez digital de las organizaciones que generan y utilizan información geográfica en sus procesos misionales?

En el marco de la transformación digital y considerando la SLR, existen diversos instrumentos orientados a potenciar la madurez digital a nivel organizacional, sin embargo,

modelos como Geo-TD reúne y puntualiza los instrumentos y herramientas necesarias para potenciar la madurez digital de las organizaciones que generan y utilizan datos geográficos.

En ese sentido y en primera instancia, las herramientas de caracterización y cálculo del nivel de madurez digital son un valioso instrumento para diagnosticar el estado tecnológico actual y orientar iniciativas de aplicación de las TICs. En segunda instancia, la implementación de plataformas y soluciones tecnológicas basadas en conceptos TICs, concentran instrumentos que potencian los procesos misionales en las organizaciones. Esta investigación describe con mayor detalle en los capítulos 4 y 5, los instrumentos diseñados e implementados para validar el modelo Geo-TD en el caso de estudio seleccionado.

## 6.2 Conclusiones

- Esta investigación constituye un aporte desde la Geomática a las organizaciones públicas y privadas que involucren datos geográficos en sus procesos, y carezcan de elementos para emprender iniciativas de transformación digital en diferentes escenarios y niveles.
- Geo-TD permite consultar trabajos históricos sin redundar en esfuerzos y recursos, elimina el uso de correo electrónico o sistemas de mensajería instantánea con archivos adjuntos, fortalece la certeza en la toma de decisiones y los ajustes o correcciones se ven reflejados con mayor inmediatez.
- Geo-TD reduce el tiempo de ejecución en los procesos priorizados, ya que dispone la información en servicios para la consulta, gestión, análisis y generación de productos geológicos y geomorfológicos.
- Las TICs se han constituido como un elemento fundamental para la transformación digital de los procesos en las organizaciones, sin embargo, esto conlleva orientar esfuerzos para aumentar las inversiones en tecnología y talento humano altamente capacitado, que pueda asumir los retos en materia de transformación digital.
- Centralizar los datos geográficos en un único sistema, evita la duplicidad de registros y permite un mejor uso de los recursos de TICs. Además, los ajustes o correcciones se ven reflejados con mayor inmediatez.
- Geo-TD representa una alternativa de solución apropiada a las necesidades del caso de estudio, ya que elimina cuellos de botella, uso de archivos

descentralizados, incorpora elementos de calidad de datos geográficos mediante formularios con validación en campos y elimina la transcripción de coordenadas.

- Conocer de primera mano las necesidades de los actores, incluso acompañar jornadas de campo para comprender los escenarios, debe ser fundamental en un correcto levantamiento de requerimientos para el desarrollo de un sistema de información que responda a las necesidades y expectativas de la organización, lo cual evita resistencia en su adopción.
- Los Modelos de Transformación Digital no se deben centrar únicamente en la adopción de tecnologías para lograr cambios en sus procesos, debe existir una cultura organizacional que propicie, fomente y adopte los cambios a nivel tecnológico.
- La tecnología debe entenderse como un potenciador de los procesos y no como una amenaza, los servidores públicos deben ser aliados de estas iniciativas y cambios y no convertirse en un obstáculo para su adopción.
- La transformación digital debe ser una política de estado y no de gobierno, lo cual sugiere una continuidad de los procesos y esfuerzos realizados a pesar de los cambios ideológicos y políticos que se presenten.

### 6.3 Trabajo futuro

- Es necesario introducir validaciones a partir métricas de calidad basados en normas ISO 9126 – 19157 que evalúen la plataforma tecnológica y la calidad de la IG.
- Se debe incorporar a la plataforma tecnológica las funcionalidades que den soporte a los procesos no atendidos y que hayan aparecido en la lista de procesos priorizados en la Matriz de Calor.
- Incorporar capacidades de *Machine Learning* y *Big Data* sobre los datos geográficos colectados representa un desafío interesante de trabajo, ya que las iniciativas de esta índole han resultado infructuosas por la no existencia de una única fuente de datos digital que contenga todos los registros históricos de estaciones y muestras.
- Es importante desarrollar una App móvil propia que incorpore funciones especializadas en el área de cartografía, escaneo QR para muestras, funciones avanzadas de uso de brújula y adición de marcas de agua en imágenes.

## **Anexo A: Formulario de preguntas para calcular el Nivel de Madurez Digital**

Las preguntas buscan medir las capacidades actuales de la Entidad. Las respuestas deben permitir medir la situación actual y son una evaluación interna para tomar decisiones en materia de transformación digital. Califique de 0 a 4, cero es la menor calificación:

1. ¿Cuál es la brecha existente en las habilidades duras requeridas para el manejo deseado de las tecnologías actuales o emergentes?
2. ¿Cuál es la brecha existente en habilidades blandas requeridas para afrontar procesos digitales?
3. ¿Qué tan preparada está la cultura dentro de la Entidad para desarrollar iniciativas de transformación digital?
4. ¿Qué tan preparados están sus usuarios (ciudadanía y otros) para apropiar y aceptar los cambios de la Entidad frente a su transformación digital?
5. ¿Qué tan amplia es la brecha digital en los procesos clave para llegar al estado ideal en materia de transformación digital?
6. ¿Hasta qué punto los proyectos de transformación digital pueden mejorar la eficacia y eficiencia los procesos core?
7. ¿Qué tan efectivo resulta el esquema organizacional existente para llevar adelante un proceso de transformación digital?
8. ¿La tecnología implementada por la Entidad incentiva las soluciones basadas en datos?
9. ¿Cómo está la calidad de los datos en la Entidad y qué tan confiable es la recolección, tratamiento y uso de datos en la Entidad soportada en las bases de datos?
10. ¿Están las bases de datos protegidas por tecnologías y procesos en materia de seguridad y privacidad de la información?

11. ¿Las bases de datos son utilizadas para la toma de decisiones por las distintas áreas de la Entidad?
12. ¿Las tecnologías actuales son lo suficientemente robustas para suplir las necesidades de los usuarios al interior de la Entidad?
13. ¿Las tecnologías actuales son lo suficientemente robustas para suplir las necesidades en la interacción con la ciudadanía?
14. ¿Conoce las tecnologías más relevantes que tengo implementadas en mis procesos core? (Tecnologías indispensables para el funcionamiento de la organización)
15. ¿Conoce las tecnologías correspondientes a la cuarta revolución industrial para potenciar la eficiencia y eficacia de los principales procesos y para mejorar la interacción con la ciudadanía?
16. ¿Existen al interior brechas entre las tecnologías actuales de la Entidad y las tecnologías de la cuarta revolución industrial, para suplir las necesidades de los procesos core?
17. ¿Se identifican los tiempos, riesgos y costos requeridos para la implementación y adaptación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial en los procesos core de la Entidad?

## Anexo B: Preguntas de enfoque

1. ¿Cuáles son las principales fases de un proyecto de generación de cartografía geológica y geomorfológica?
2. ¿Qué actores o áreas del Grupo de Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica son primordiales para la ejecución del proyecto?
3. Describa el objetivo y/o función de cada área del Grupo Cartografía e Investigación Geológica y Geomorfológica.
4. A su criterio, enumere las áreas mencionadas de menor a mayor importancia y/o prioridad para la generación de cartografía geológica y geomorfológica.

*Para las siguientes preguntas se debe tener en cuenta los siguientes criterios:*

- ¿Es factible / viable la implantación de tecnología 4.0? ¿Existe la tecnología? ¿impulsa los objetivos de eficacia / eficiencia / satisfacción cliente interno / satisfacción ciudadana? ¿Existe voluntad para transformar digitalmente el área o proceso?
- ¿Qué potencial tendría implantar esta tecnología 4.0
  - i. ... en cuanto a mejora sustancial de los KPIs (indicadores clave) asociados
  - ii. ... a la mejora del proceso o en el área en general?
- ¿Qué urgencia existe en mejorar el “punto de intersección”? , ¿Existe una voluntad de la Administración de la que dependo? ¿Existe prioridad para alcanzar objetivo de transformación digital?

### Preguntas detalladas

1. ¿Qué datos se recopilan y procesan en cada proceso?
2. ¿Quiénes son los responsables de recopilar, procesar y utilizar los datos en cada proceso?

3. ¿Cómo se asegura la calidad de los datos en cada proceso?
4. ¿Cómo se protegen los datos sensibles y confidenciales en cada proceso?
5. ¿Cómo se utilizan los datos en cada proceso para tomar decisiones y mejorar los resultados de la organización?
6. ¿Cómo se integran los datos de diferentes procesos para obtener una visión más completa de la organización?
7. ¿Cuál es el objetivo principal del proceso que involucra datos geográficos?
8. ¿Cómo se recopilan y almacenan los datos geográficos?
9. ¿Cuáles son los formatos/tipos de archivos utilizados por la organización para la gestión de datos geográficos?
10. ¿Cuáles son los flujos de los datos dentro de la organización?
11. ¿Cómo se analizan y visualizan los datos geográficos en la organización?
12. ¿Cuáles son las tecnologías (protocolos, formatos, estándares) utilizadas para el manejo de datos geográficos?
13. ¿Cómo se integran los datos geográficos con otros tipos de datos en la organización?
14. ¿Cuáles son los desafíos y limitaciones en el procesamiento de datos geográficos?
15. ¿Tienen políticas para la privacidad y seguridad de los datos geográficos en la organización?
16. ¿Cuáles son los resultados y la impacto de utilizar datos geográficos en la toma de decisiones en la organización?
17. ¿Qué información se recolecta en campo? (Capas geográficas, fotos y videos)
18. ¿Cuáles mapas de referencia llevan a campo para realizar las labores?
19. ¿Después de la salida de campo, en qué formato se almacenan los datos y en dónde se dejan?:
20. ¿Qué uso se le da a lo recolectado en campo? ¿Quiénes usan esa información y cómo la usan?
21. ¿Cuántas personas realizan la recolección de información en campo?
22. ¿Existe un catálogo de objetos sobre los productos geográficos resultantes?
23. ¿Cuáles son los procesos de calidad que se implementan sobre los datos? ¿Cómo se aplican y quién lo realiza?
24. ¿Se cuenta con un esquema de arquitectura de los ambientes disponibles para el despliegue del proyecto?

25. Modelos de despliegue: *¿on premise?* *¿nube?* *¿híbrido?*
26. ¿Qué tecnologías de almacenamiento usan para los datos geográficos?
27. ¿Usan tecnologías de virtualización? (Ejemplo: ArcGIS Pro)
28. ¿Qué tecnologías de bases de datos usan?
29. ¿Qué sistemas operativos utilizan?
30. ¿Cuál es la conectividad entre sedes? (si es que aplica) canales y anchos de banda
31. ¿Cuál es la conectividad para salida de servicios a internet?
32. ¿Cuáles son los métodos de integración con otras tecnologías?

## Anexo C: Libreta de campo digital

Nombre		Tipo
Código Estación ( <i>NombreEstacion</i> )		<i>String</i>
Código Estación Compañero ( <i>EstacionCompanero</i> )		<i>String</i>
INFORMACIÓN GENERAL	Coordenadas	Norte
		Este
	Altura	<i>Double</i>
	Error	<i>Double</i>
	Origen	<i>String</i>
	Fuente	<i>String</i>
	Plancha	<i>String</i>
	Localización Geográfica ( <i>Localizacion</i> )	<i>String</i>
	Características del afloramiento	<i>String</i>
	Tipo de Roca	<i>String</i>
INFORMACIÓN GEOLÓGICA	Composición Clasificación (Textural y Composicional) ( <i>NombreRoca</i> ) Color Estructuras Unidad Geológica  Datos Estructurales	Composición
		<i>String</i>
		Clasificación (Textural y Composicional) ( <i>NombreRoca</i> )
		<i>String</i>
		Color
		<i>String</i>
		Estructuras
		<i>String</i>
		Unidad Geológica
		 Azimut de Buzamiento
	Datos Estructurales	<i>Float</i>
		Buzamiento
		<i>Float</i>
		Tipo de dato
		<i>String</i>
		Trend/Pitch
		<i>String</i>
		Plunge/Dirección
		<i>String</i>
	Cinemática	Cinemática
		<i>String</i>
		Indicador Cinemático
		<i>String</i>
	Polaridad	Polaridad
		<i>String</i>
	Confiabilidad	Confiabilidad
		<i>String</i>

Nombre	Tipo	
INFORMACIÓN GEOMORFOLÓGICA	Ambiente morfogenético (estructural, denudacional, residual, agradacional, fluvial, lacustre, glacial u otro).	String
	Unidad Geomorfológica (ver Mapa).	String
	Morfometría (describir: pendiente, índice de relieve, inclinación, longitud y forma de la ladera).	String
	Procesos morfodinámicos	Erosión (hídrica, eólica, antrópica u otra).
		Movimientos en Masa (describir: tipo, material, estado y causas).
		Inundación (causa).
INFORMACIÓN ADICIONAL	Código Muestra (s) (NumeracionMuestraCampo)	String
	ID Fotos (incluir orientación c/u)	String
	Fotografía	String
	Observaciones	String

## **Anexo D: Modelo de datos libro índice y GDB, estándar vigente SGC**

Este anexo es solo una capa geográfica de las múltiples existentes.

Código temático	Nombre entidad	Alias	Geometría	Subtipo		Atributos		Estructura	Captura según escala	
				Nombre de Alias	Código Descripción	Nombre de Alias	Código Descripción		Allow null	10 000
22.12. Estaciones Geológicas										
Altura	Este	Norte	Plancha	Localizació n	NombreRo	Litología	UGMapa	Type		
Altura	Este	Norte	Plancha	Localizació n	Nombre de roca	Litología	UG en el mapa	Length		
								Allow null		
									10 000	
									25 000	
									100 000	
									500 000	
									1 000 000	

Código temático	Nombre entidad	Alias	Geometría	Subtipo		Atributos			Estructura		Captura según escala	
				Nombre de		Nombre de		Nombre de		Código	Descripción	Type
22.12. Estaciones Geológicas												Allow null
MR	SistemaCoordenadas	Mu	NombreOb	Proyecto	Fecha	Longitud	Latitud					10 000
Muestra de roca	Sistema de coordenadas	Existe mu	Nombre del observador	Proyecto	Fecha	Longitud	Latitud					25 000
		0	No									100 000
		1	Si									500 000
		2		MAGNA_Colombia_Este_Este								1 000 000
		3		MAGNA_Colombia_Este								
		4		MAGNA_Colombia_Bogota								
		5		MAGNA_Colombia_Oeste								
				MAGNA_Colombia_Oeste_Oeste								
	Text	Text	Sh	Text	Text	Date	Text	Text	Text	Type		
10	50		50	254			25	25		Length		
Yes	Yes	Ye	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Allow null		

	Código temático	Nombre entidad	Alias	Geometría	Subtipo	Atributos			Estructura	Captura según escala
						Nombre de	Alias	Código		
<b>22.12. Estaciones Geológicas</b>										
SD	ER	Arcillas	Suelos	B C MSr	MF	Gravas			Type	
Sección delgada	Esquirlas de roca	Arcillas	Suelos	Muestras de sedimento	Muestras de finos	Gravas			Length	
									Allow null	
									10 000	
									25 000	
									100 000	
									500 000	
									1 000 000	





# Anexo E: Interfaces de Plataforma Tecnológica

**Sistema de gestión de información**

Arcgis Map

Yuri Lorena Becerra Martinez  
ybecerra@sgc.gov.co

Super Admin

Inicio

- Estaciones
- Columnas
- Avisos
- Usuarios
- Proyectos
- Reportes
- Comisiones
- Afloramientos

Exportar

Título: Título de archivo

Configuración de página: Carta ANSI A horizontal

Formato de archivo: PDF

PLANCHAS

ESTACIONES

FCM0006MFA

Powered by Esri

Visualización módulo de Inicio

**Gestión de estaciones**

Yuri Lorena Becerra Martinez  
ybecerra@sgc.gov.co

Super Admin

Inicio

Estaciones

Columnas

Avisos

Usuarios

Proyectos

Reportes

Comisiones

Afloramientos

Estaciones

Buscar

ID	Fuente	Código	Opciones
73	P001_2022_19TST_0018		
74	P001_2022_19TST_0019		
75	P001_2022_19TST_0020		
76	P001_2022_19TST_0021		
77	P001_2022_19TST_0022		
78	P001_2022_19TST_0023		
79	P001_2022_19TST_0024		
80	P001_2022_19TST_0025		

Mapa estaciones

Visualización módulo de Estaciones

Visualización módulo de descripción de Estaciones

Visualización módulo de ubicaciones de deltas de poligonal topográfica

Visualización módulo de Reportes

Visualización módulo de Litología de roca

Visualización módulo de Muestra

## Anexo F: Formulario para establecer línea base



### Validación Geo-TD

*Este formulario tiene como objetivo presentar línea base de los recursos utilizados actualmente para la generación de cartografía geológica y geomorfológica.*

[ybecerra@unal.edu.co](mailto:ybecerra@unal.edu.co) Cambiar de cuenta



\* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Considerando los estándares vigentes del SGC y los datos requeridos de campo ¿Cuánto tiempo en promedio le toma realizar la descripción completa de una (1) estación geológica?
  - a) 20 minutos
  - b) 40 minutos
  - c) Más de 1 hora
2. Una vez realizado el trabajo de campo y considerando los estándares requeridos en el SGC, ¿cuánto tiempo le lleva transcribir los datos y estructurar toda la información de una (1) estación geológica (libro índice, libreta digital, muestras, fotografías, GPX) hasta la aprobación por el área de Geomática?

- a) 30 minutos
  - b) 60 minutos
  - c) 90 minutos
  - d) Más de 2 horas
3. Si usted pertenece al grupo de Geomática, ¿cuánto tiempo en promedio le lleva integrar la información completa en Bases de Datos Geográficas y en la estructura de carpetas de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?
- a) De 1 a 2 días
  - b) De 3 a 5 días
  - c) De 5 a 8 días
  - d) Más de 8 días
  - e) No aplica para mi rol
4. Si usted es el encargado de la validación de la información integrada en los repositorios ¿cuánto tiempo le toma revisar y validar la información dispuesta en los formularios de Excel (libro índice y libreta digital) y la Base de Datos Geográfica-GDB de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?
- a) De 1 a 3 horas
  - b) De 3 a 6 horas
  - c) Más de 6 horas
  - d) No aplica para mi rol
5. Si usted es el encargado de generar la cartografía geológica y geomorfológica, ¿cuánto tiempo le toma realizar el análisis de la información dispuesta en los formularios de Excel (libro índice y libreta digital) y la Base de Datos Geográfica-GDB para una plancha que tiene en promedio 100 estaciones geológicas?
- a) De 1 a 3 horas
  - b) De 3 a 6 horas
  - c) Más de 6 horas
  - d) No aplica para mi rol

## Anexo G: Formulario de medición de resultados de Geo-TD



### Validación Geo-TD - Medición de resultados

*Este formulario tiene como objetivo presentar el rendimiento con Geo-TD de los procesos priorizados para la generación de cartografía geológica y geomorfológica.*

ybecerra@unal.edu.co [Cambiar de cuenta](#)



\* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Considerando los estándares vigentes del SGC y los datos requeridos de campo ¿Cuánto tiempo en promedio le toma realizar la descripción completa de una (1) estación geológica?
  - a) 20 minutos
  - b) 40 minutos
  - c) Más de 1 hora
2. Una vez realizado el trabajo de campo y considerando los estándares requeridos en el SGC, ¿cuánto tiempo le lleva trascribir los datos y estructurar toda la información de una (1) estación geológica en la plataforma tecnológica hasta la aprobación por el área de Geomática?

- a) 10 minutos
  - b) 30 minutos
  - c) 60 minutos
  - d) 90 minutos
3. Si usted pertenece al grupo de Geomática, ¿cuánto tiempo en promedio le lleva integrar la información completa de la plataforma tecnológica en Bases de Datos Geográficas y en la estructura de carpetas de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?
- f) 5 minutos
  - g) 20 minutos
  - h) 1 hora
  - i) Más de 1 hora
  - j) No aplica para mi rol
4. Si usted es el encargado de la validación de la información integrada ¿cuánto tiempo le toma revisar y validar la información dispuesta en la plataforma tecnológica y la Base de Datos Geográfica-GDB de una (1) comisión de campo con diez (10) geólogos?
- e) De 20 a 30 minutos
  - f) De 30 a 60 minutos
  - g) Más de 1 hora
  - h) No aplica para mi rol
5. Si usted es el encargado de generar la cartografía geológica y geomorfológica, ¿cuánto tiempo le toma realizar el análisis de la información dispuesta en la plataforma tecnológica y la Base de Datos Geográfica-GDB para una plancha que tiene en promedio 100 estaciones geológicas?
- e) De 1 a 3 horas
  - f) De 3 a 6 horas
  - g) Más de 6 horas
  - h) No aplica para mi rol

# Bibliografía

- Abdul Malak, H. (2022). *Digitization vs Digitalization: What's The Difference?* <https://theecmconsultant.com/digitization-vs-digitalization/>
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Amaral, A., & Araújo, M. (2008). The organizational maturity as a conductive field for germinating business sustainability. In *Proceedings of Business Sustainability I Conference, Póvoa Do Varzim, Portugal.*
- Angevine, C., Keomany, J., Thomsen, J., & Zemmel, R. (2021). Implementing a Digital Transformation at Industrial Companies. *McKinsey & Company.* <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/implementing-a-digital-transformation-at-industrial-companies>
- Antonizzi, J., & Smuts, H. (2020). *The Characteristics of Digital Entrepreneurship and Digital Transformation: A Systematic Literature Review* (pp. 239–251). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44999-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44999-5_20)
- Ariza, F., & Rodríguez, A. (2019). Calidad en datos geográficos, geoservicios y productores de datos: análisis crítico. *Revista Cartográfica*, 105–143. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i97.178>
- Arora, V., Basu, R., & Daniels, S. (2016). *Strategic Digital Transformation*. Kearney. <https://www.kearney.com/digital/strategic-digital-transformation>
- Arribas-Bel, D., & Reades, J. (2018). Geography and computers: Past, present, and future. *Geography Compass*, 12(10). <https://doi.org/10.1111/GEC3.12403>
- Ashrafi, R., & Murtaza, M. (2008). Use and impact of ICT on SMEs in Oman. *The Electronic Journal Information Systems Evaluation Volume*, 11, 125–138.
- Balogun, J., & Hailey, V. H. (2008). *Exploring Strategic Change*; Prentice-Hall.
- Barbero, M., Lopez Potes, M., Vancauwenberghe, G., & Vandebroucke, D. (2019). *The role of Spatial Data Infrastructures in the Digital Government Transformation of Public Administrations* (Issue KJ-03-19-578-EN-N (online)). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/324167> (online)
- Becerra, L. Y. (2020). Tecnologías de la información y las Comunicaciones en la era de la cuarta revolución industrial: Tendencias Tecnológicas y desafíos en la educación en Ingeniería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(28), 76–81. <https://doi.org/10.31908/19098367.2057>
- Bechtold, J., Kern, A., Lauenstein, C., & Bernhofer, L. (2014). Industry 4.0—The Capgemini Consulting View. Sharpening the Picture beyond the Hype. *Capgemini Consulting*. <https://www.capgemini.com/consulting/wp-content/uploads/sites/30/2017/07/capgemini->

consulting-industrie-4.0\_0\_0.pdf

- Bellantuono, N., Nuzzi, A., Pontrandolfo, P., & Scozzi, B. (2021). Digital Transformation Models for the I4.0 Transition: Lessons from the Change Management Literature. *Sustainability*, 13(23), 12941. <https://doi.org/10.3390/su132312941>
- Berman, S. J., & Bell, R. (2011). Digital transformation: Creating new business models where digital meets physical. *IBM Institute for Business Value*.
- Bernard, H. R. (2002). Research methods in anthropology : qualitative and quantitative approaches. In *TA - TT* - (3rd ed). AltaMira Press. <https://doi.org/10.3390/su132312941> <https://worldcat.org/title/932903806>
- Boardman, S., & KPN. (2015). Open group snapshot—open platform 3.0™. *The Open Group*.
- Bordeleau, F.-È., & Felden, C. (2019). Digitally transforming organisations: A review of change models of industry 4.0. In *Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems: Information Systems for a Sharing Society, ECIS 2019, Stockholm and Uppsala, Sweden*. <https://core.ac.uk/download/pdf/301379432.pdf>
- Brown, N., & Brown, I. (2019). From Digital Business Strategy to Digital Transformation - How. *Proceedings of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists 2019 on ZZZ - SAICSIT '19*, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3351108.3351122>
- Brunelli, J., Lukic, V., & Milon, T. (2017). Five Lessons from the Frontlines of Industry 4.0. *Boston Consulting Group*. <https://www.bcg.com/publications/2017/industry-4.0-lean-manufacturing-five-lessons-frontlines>
- Bula Páez, A., Hernández-Amórtgui, P. T., & Cruz Giraldo, P. (2022). PND 2018 - 2022 y el sector TIC: ¿Cuál es su estado actual? Marzo 2022. *El Tanque de Análisis y Creatividad de Las TIC (TicTac)*. <https://www.ccit.org.co/estudios/pnd-2018-2022-y-el-sector-tic-cual-es-su-estado-actual-informe-marzo-2022/>
- Burmeister, C., Lüttgens, D., & Piller, F. T. (2016). Business Model Innovation for Industrie 4.0: Why the “Industrial Internet” Mandates a New Perspective on Innovation. *Die Unternehmung*, 70(2), 124–152. <https://doi.org/10.5771/0042-059X-2016-2-124>
- Burnes, B. (2004). *Managing Change: A Strategic Approach to Organisational Dynamics*. Pearson Education.
- Butt, J. (2020). A Conceptual Framework to Support Digital Transformation in Manufacturing Using an Integrated Business Process Management Approach. *Designs*, 4(3), 17. <https://doi.org/10.3390/designs4030017>
- Buzai, G. D., Lanzelotti, S. L., Paso Viola, L. F., & Principi, N. (2018). Cartografía analógica y digital para la delimitación regional y el análisis temático: Aplicación a la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*, 2018(69), 99–119. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022018000100099>
- Castellanos, O., Fúquene, A., & Ramírez, D. C. (2011). *Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación*. Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Colombia. [http://bdigital.unal.edu.co/3564/1/ANALISIS\\_DE\\_TENDENCIAS\\_MAYO\\_7.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/3564/1/ANALISIS_DE_TENDENCIAS_MAYO_7.pdf)
- Catlin, T., Lorenz, J.-T., Sternfels, B., & Willmott, P. A. (2017). Roadmap for a Digital Transformation; McKinsey Co. *McKinsey & Company*. <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/a-roadmap-for-a-digital-transformation>
- Chehri, A., Sharma, T., Debaque, B., Duclos, N., & Fortier, P. (2022). *Transport Systems for Smarter*

- Cities, a Practical Case Applied to Traffic Management in the City of Montreal* (L. J.R., H. R.J., & J. L.C. (eds.); Vol. 263, pp. 255–266). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0\\_22](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0_22)
- Chen, A., Di, L., Bai, Y., Wei, Y., & Liu, Y. (2010). Grid computing enhances standards-compatible geospatial catalogue service. *Computers & Geosciences*, 36(4), 411–421. <https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2009.09.006>
- Cimini, C., Pinto, R., & Cavalieri, S. (2017). The business transformation towards smart manufacturing: a literature overview about reference models and research agenda. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14952–14957. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2548>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Datos y hechos sobre la transformación digital: informe sobre los principales indicadores de adopción de tecnologías digitales en el marco de la Agenda Digital para América Latina y el Caribe | Publicación | Comisión Económica para América Latina y el Car.* Documentos de proyectos (LC/TS.2021/20). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46766-datos-hechos-la-transformacion-digital-informe-principales-indicadores-adopcion>
- Cooke-Davies, T. J., & Arzymanow, A. (2003). The maturity of project management in different industries. *International Journal of Project Management*, 21(6), 471–478. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00084-4)
- Creasey, T. (2018). An Introduction to Change Management. Prosci. <https://www.prosci.com/hubfs/367443/2.downloads/ebooks/An-Introduction-Guide-to-Change-Management-guide.pdf?hsLang=en-ca>
- Creswell, J. W., & Garrett, A. L. (2008). The “movement” of mixed methods research and the role of educators. *South African Journal of Education*, 28, 321–333.
- Cruz Pérez, M. A., Pozo Vinueza, M. A., Yupangui, A., Rocío, H., & Arias Parra, A. D. (2019). Las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) como forma investigativa interdisciplinaria con un enfoque intercultural para el proceso de formación estudiantil. *E-Ciencias de La Información*, 9(1)(44–59). <https://doi.org/10.15517/eci.v1i1.33052>
- Cummings, T. G., & Worley, C. G. (2009). *Organization Development & Change* (9th ed.). South-Western Cengage Learning.
- Daniel, S., & Doran, M.-A. (2013). *GeoSmartCity: Geomatics contribution to the Smart City*. 65–71. <https://doi.org/10.1145/2479724.2479738>
- Davenport, T. H. (2013). *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*. Harvard Business Press.
- Del Pozo, I., & Cangrejo, D. (2018). *Creating Smart Environments: Analysis of Improving Security on Smart Homes* (Y. M. & D. J.P. (eds.); pp. 303–310). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/FiCloud.2018.00051>
- Demlehner, Q., & Laumer, S. (2020). Why Context Matters: Explaining the Digital Transformation of the Manufacturing Industry and the Role of the Industry's Characteristics in It. *Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems*, 12(3), 57–81. <https://doi.org/10.17705/1pais.12303>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2009). CONPES 3585 - Consolidación de la Política Nacional de Información Geográfica y la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales - ICDE. *Consejo Nacional de Política Económica y Social*, 68.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2019). CONPES 3975 - Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial. *Consejo Nacional de Política Económica y Social - República de Colombia*, 63. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3975.pdf>

Ley 1955 De 2019. Por el cual se expide el plan nacional de desarrollo 2018-2022 pacto por colombia, pacto por la equidad., 1 (2019).

Dremel, C., Herterich, M., Wulf, J., Waizmann, J.-C., & Brenner, W. (2017). How AUDI AG Established Big Data Analytics in its Digital Transformation. *MIS Quarterly Executive*, 16, 81–100.

Elwood, S. (2009). Geographic Information Science: New geovisualization technologies - Emerging questions and linkages with GIScience research. *Progress in Human Geography*, 33(2), 256–263. <https://doi.org/10.1177/0309132508094076>

Erol, S., Schumacher, A., & Sihn, W. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0—A three-stage process model. In *Proceedings of the International Conference on Competitive Manufacturing, COMA, Stellenbosch, South Africa, 27–29 January 2016*, 495–501.

Fitterer, R., & Rohner, P. (2010). Towards assessing the networkability of health care providers: a maturity model approach. *Information Systems and E-Business Management*, 8(3), 309–333. <https://doi.org/10.1007/s10257-009-0121-9>

Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2014). Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative. *MIT Sloan Management Review*, 55(2), 1.

Gill, M., & VanBoskirk, S. (2016). Digital Maturity Model 4.0. *Forrester Research*.

Gobble, M. M. (2018). Digitalization, Digitization, and Innovation. *Research-Technology Management*, 61(4), 56–59. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471280>

Gómez, C., Valencia, F., & Marulanda, C. (2018). Information and communication technologies and technological services in the public entities of the coffee triangle, in Colombia. *Informacion Tecnologica*, 29(4), 119–128. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400119>

González-Jaramillo, V. H. (2015). *Use of geographic information systems with open source solutions, an approach to access edemocracy & egovernance* (T. L., T. L., & M. A. (eds.); pp. 7–8). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

<https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2015.7114459>

Gurbaxani, V., & Dunkle, D. (2019). Gearing Up For Successful Digital Transformation. *MIS Quarterly Executive*, 18(3), 209–220. <https://doi.org/10.17705/2msqe.00017>

Haklay, M., Jankowski, P., & Zwoliński, Z. (2018). Selected modern methods and tools for public participation in urban planning - A review. *Quaestiones Geographicae*, 37(3), 127–149. <https://doi.org/10.2478/quageo-2018-0030>

Hamamurad, Q. H., Jusoh, N. M., & Ujang, U. (2022). Modern City Issues, Management and the Critical Role of Information and Communication Technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(4), 368–373. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130443>

Haworth, B. T., Biggs, E., Duncan, J., Wales, N., Boruff, B., & Bruce, E. (2018). Geographic information and communication technologies for supporting smallholder agriculture and climate resilience. *Climate*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/cli6040097>

- Heilig, L., Schwarze, S., & Voss, S. (2017a). *An Analysis of Digital Transformation in the History and Future of Modern Ports*. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2017.160>
- Heilig, L., Schwarze, S., & Voss, S. (2017b). *An Analysis of Digital Transformation in the History and Future of Modern Ports*. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2017.160>
- Hsu, C.-C., Tsaih, R.-H., & Yen, D. (2018). The Evolving Role of IT Departments in Digital Transformation. *Sustainability*, 10(10), 3706. <https://doi.org/10.3390/su10103706>
- Ibarra, D., Ganzarain, J., & Igartua, J. I. (2018). Business model innovation through Industry 4.0: A review. *Procedia Manufacturing*, 22, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.002>
- Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE). (2017). Informe ejecutivo Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales. In *Informe Ejecutivo Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales*. ICDE.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2022). *Semana Geomática 9na Edición*. <https://beta.igac.gov.co/9na-semana-geomatica>
- Issa, A., Hatiboglu, B., Bildstein, A., & Bauernhansl, T. (2018). Industrie 4.0 roadmap: Framework for digital transformation based on the concepts of capability maturity and alignment. *Procedia CIRP*, 72, 973–978. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.151>
- Jefatura de Inteligencia de Negocio - Coordinación de Inteligencia Externa. (2021). ESTUDIO DEL SECTOR TICS COLOMBIANO. <https://repositorio.findeter.gov.co/bitstream/handle/123456789/9701/%282%29 ESTUDIO SECTORIAL TICS .pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kagermann, H. (2015). Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. In *Management of Permanent Change* (pp. 23–45). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6_2)
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. 2.
- Kohlegger, M., Maier, R., & Thalmann, S. (2009). Understanding maturity models: Results of a structured content analysis. In *Proceedings of the I-KNOW 09 and I-SEMANTICS '09, 2-4 September 2009, Graz, Austria*.
- Koshgoftar, M., & Osman, O. (2009). Comparison between maturity models. In *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, 5, 297–301.
- Kotter, J. P. (1996). Leading Change: Why Transformation Efforts Fail. *Harv. Bus. Rev.*, 86, 59–67. <https://hbr.org/1995/05/leading-change-why-transformation-efforts-fail-2>
- Le Grand, T., & Deneckere, R. (2019). COOC: An Agile Change Management Method. *2019 IEEE 21st Conference on Business Informatics (CBI)*, 28–37. <https://doi.org/10.1109/CBI.2019.90093>
- Leone, D., & Barni, A. (2020). *Industry 4.0 on Demand: A Value Driven Methodology to Implement Industry 4.0* (pp. 99–106). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_12)
- Li, X., Li, D., Wan, J., Vasilakos, A. V., Lai, C.-F., & Wang, S. (2017). A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless Networks*, 23(1), 23–41. <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of

- Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Lin, C.-C., Peng, Y.-C., Chang, L.-W., & Chen, Z.-Y. (2022). Joint deployment and sleep scheduling of the Internet of things. *Wireless Networks*, 28(6), 2471–2483. <https://doi.org/10.1007/s11276-022-02981-3>
- Liu, Y., Wang, W., & Zhang, Z. (Justin). (2022). The dual drivetrain model of digital transformation: role of industrial big-data-based affordance. *Management Decision*, 60(2), 344–367. <https://doi.org/10.1108/MD-12-2019-1664>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4a Edición). Wiley.
- Lorenz, M., Rüßmann, M., & Waldner, M. (2015). *Industry 4 . 0 : The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Boston Consulting Group BCG. [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries)
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Madrid Soto, A., & Ortiz López, L. M. (2005). Análisis y síntesis en cartografía: Algunos procedimientos. *Universidad Nacional de Colombia*, 16. <https://doi.org/ISBN: 958-8063-32-9>
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Manyika, J., Pinkus, G., & Ramaswamy, S. (2016). *The most digital companies are leaving all the rest behind*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2016/01/the-most-digital-companies-are-leaving-all-the-rest-behind>
- Masuda, Y., & Viswanathan, M. (2019). Enterprise Architecture for Global Companies in a Digital IT Era. In *Enterprise Architecture for Global Companies in a Digital IT Era* (pp. 1–16). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1083-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1083-6_1)
- Mendhurwar, S., & Mishra, R. (2021). Integration of social and IoT technologies: architectural framework for digital transformation and cyber security challenges. *Enterprise Information Systems*, 15(4), 565–584. <https://doi.org/10.1080/17517575.2019.1600041>
- Mettler, T. (2009). A design science research perspective on maturity models in information systems. *St. Gallen: Institute of Information Management, Universtiyy of St. Gallen*.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2019). *Guía de Arquitectura de Soluciones Tecnológicas*. 63. <https://www.mintic.gov.co/arquitecturati/630/w3-article-117954.html>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2020a). Evaluación de la política de gobierno digital. *Ministerio de Tecnologías de La Información y Las Comunicaciones*, 105.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2020b). *Marco para la Transformación Digital* (p. 80).
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2022). Índice de brecha digital regional. Resultados 2021. *Ministerio de Tecnologías de La Información y Las Comunicaciones*.

- Comunicaciones. [https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-238353\\_recurso\\_1.pdf](https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-238353_recurso_1.pdf)
- MinTIC. (2019). Guía con lineamientos generales para el uso de tecnologías emergentes. *Ministerio De Tecnologías De La Información Y Las Comunicaciones*.
- MinTIC. (2020a). Esquema formato: Plan de transformación digital. *Ministerio De Tecnologías De La Información Y Las Comunicaciones*.
- MinTIC. (2020b). Guía para el diseño de Servicios Ciudadanos Digitales Contenido. *Ministerio De Tecnologías De La Información Y Las Comunicaciones*.
- MinTIC. (2020c). Marco de la Transformación Digital para el Estado Colombiano. *Viceministerio de Economía Digital, Dirección de Gobierno Digital. Versión 1, Julio 2020.*, 1, 86. [https://mintic.gov.co/portal/715/articles-149186\\_recurso\\_1.pdf](https://mintic.gov.co/portal/715/articles-149186_recurso_1.pdf)
- Moran, J. W., & Brightman, B. K. (2000). Leading organizational change. *Journal of Workplace Learning*, 12(2), 66–74. <https://doi.org/10.1108/13665620010316226>
- Morea Rodríguez, M. L., & Huerta Rodríguez, J. C. (2018). Sistemas de Información Geográfica. *Sistemas de Información Geográfica*, 1–47.
- Muehlburger, M., Rueckel, D., & Koch, S. (2019). A Framework of Factors Enabling Digital Transformation. In *Proceedings of the AMCIS 2019 Proceedings, Cancun, Mexico, 15–17 August*, 1–10.
- National Geographic Society. (2022). *GIS (Geographic Information System) | National Geographic Society*. Resource Library - Encyclopedic Entry. <https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis>
- Ng, H. Y., Tan, P. S., & Lim, Y. G. (2018). Methodology for Digitalization - A Conceptual Model. *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1269–1273. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607457>
- Nikitin, I., & Kulchytskyy, O. (2021). Model and Mechanism Management of the Digital Transformation. *2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC52061.2021.9570121>
- Nils Olaya, F., & Ross, J. W. (2015). Building business agility: cloud-based services and digitized platform maturity, research briefing (Vol. XV, ). Cambridge, MA: MIT Center for Information Systems Research, XV.
- Nolan, R. L. (1979). Managing the crises in data-processing. *Harvard Business Review*, 57(2), 115–126.
- Ongori, H., & Migiro, S. O. (2010). Information and communication technologies adoption in SMEs: literature review. *Journal of Chinese Entrepreneurship*, 2(1), 93–104. <https://doi.org/10.1108/17561391011019041>
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2019a). *Digital Government Index: 2019 results | OECD Public Governance Policy Papers | OECD iLibrary*. [https://www.oecd-ilibrary.org/governance/digital-government-index\\_4de9f5bb-en](https://www.oecd-ilibrary.org/governance/digital-government-index_4de9f5bb-en)
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2019b). *Shaping the Digital Transformation in Latin America: Strengthening Productivity, Improving Lives* (OECD (ed.)). OECD Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/8bb3c9f1-en>
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2020). Digital Government Index: 2019 results. *Documentos de Política de Gobernanza Pública de La OECD*, 03(03), 55.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1787/4de9f5bb-en>

Ou, T.-Y., Lin, G.-Y., Liu, C.-Y., & Tsai, W.-L. (2021). Constructing a Sustainable and Dynamic Promotion Model for Fresh Foods Based on a Digital Transformation Framework. *Sustainability*, 13(19), 10687. <https://doi.org/10.3390/su131910687>

Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>

Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), 63–77. <https://doi.org/10.12821/ijispdm050104>

Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods : integrating theory and practice. In *TA - TT -* (Fourth edition). SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781483359902> LK - <https://worldcat.org/title/890080219>

Paulk, M. C., Curtis, B., Chrissis, M. B., & Weber, C. V. (1993). Capability maturity model, version 1.1. " *IEEE Software*, 10(4), 18–27.

Performance Improvement Partners. (2021). *Digital Maturity: What It Is, How to Achieve It, and the Digital Maturity Model to Drive Business Transformation*. Performance Improvement Partners. <https://www.pipartners.com/digital-maturity/>

Pessl, E., Sorko, S. R., & Mayer, B. (2017). Roadmap industry 4.0—Implementation guideline for enterprises. In *Proceedings of the 26th International Association for Management of Technology Conference, IAMOT, Vienna, Austria, 14–18 May 2017*, 5, 193–202.

Petticrew, M., & Roberts, H. (2006). *Systematic reviews in the social sciences : a practical guide*. Blackwell Pub.

Polk, J. D. (2011). Lean Six Sigma, innovation, and the change acceleration process can work together. *Physician Exec.*, 37, 38–42. <https://www.semanticscholar.org/paper/Lean-Six-Sigma%2C-innovation%2C-and-the-change-process-Polk/db22d27ad3c2248cf9e98ee43aa3ee903b70b8ea>

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harv. Bus. Rev.*, 93, 96–114.

Poßner, P., Großmann, J., Rudolf, H., & Kaden, R. (2021). Geodata Intelligence For Interoperable Data Management With The Envvisio Method-Envvisio-Gi. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 8(4/W2-2021), 29–35. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-29-2021>

Prah, K., & Štrubelj, G. (2018). Comparison of using different kinds of traffic data in best route analysis based on GIS. *FME Transactions*, 46(4), 668–673. <https://doi.org/10.5937/fmet1804668P>

Proença, D., & Borbinha, J. (2016). Maturity Models for Information Systems - A State of the Art. *Procedia Computer Science*, 100, 1042–1049. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279>

Prosci. (2018). Prosci Change Management Methodology. *Prosci*. <https://www.prosci.com/methodology/pct-model>

Rajabi, M., & Bolhari, A. (2015). *Business Transformations* (pp. 61–86). <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-8228-3.ch003>

- Rautenbach, W. J., Kock, I. de, & Jooste, J. L. (2019). The development of a conceptual model for enabling a value-adding digital transformation: A conceptual model that aids organisations in the digital transformation process. *2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/ICE.2019.8792675>
- Reinhard, G., Jesper, V., & Stefan, S. (2016). Industry 4.0: Building the Digital Enterprise. 2016 Global Industry 4.0 Survey. Pwc. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Reis, J., Amorim, M., Melão, N., & Matos, P. (2018). *Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research* (pp. 411–421). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0_41)
- Rodríguez-Abitia, G., & Bribiesca-Correa, G. (2021). Assessing Digital Transformation in Universities. *Future Internet*, 13(2), 52. <https://doi.org/10.3390/fi13020052>
- Röglinger, M., & Pöppelbuß, J. (2011). What makes a useful maturity model? A framework for general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. In *Proceedings of the 19th European Conference on Information Systems, Helsinki, Finland*.
- Romero, D., Flores, M., Herrera, M., & Resendez, H. (2019). Five Management Pillars for Digital Transformation Integrating the Lean Thinking Philosophy. *2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICE.2019.8792650>
- Ross, J. (2017). Don't confuse digital with digitization. *MITSloan Management Review*. <https://sloanreview.mit.edu/article/dont-confuse-digital-with-digitization>
- Sahu, N., Deng, H., & Molla, A. (2018). Investigating the critical success factors of digital transformation for improving customer experience. *Nternational Conference on Information Resources Management 2018*.
- Sandkuhl, K., Shilov, N., & Smirnov, A. (2019). Facilitating Digital Transformation by Multi-Aspect Ontologies: Approach and Application Steps. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1609–1614. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.430>
- Sandoval, A., & Vargas, G. (2019). *Construcción de un visor cartográfico para la administración de información técnica georreferenciada y el seguimiento contractual de activos en exploración y producción de hidrocarburos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Schallmo, D., Williams, C. a., & Boardman, L. (2017). Digital Transformation Of Business Models - Best Practice, Enablers and Roadmap. *International Journal of Innovation Management*, 21(08), 1740014. <https://doi.org/10.1142/S136391961740014X>
- Schmidt, R., Möhring, M., Härtig, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). *Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results* (pp. 16–27). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3_2)
- Schroeck, M., Kwan, A., Kawamura, J., Stefanita, C., & Sharma, D. (2019). Digital Industrial Transformation in the Age of Industry 4.0. *Deloitte Insights*. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-industrial-transformation-industrial-internet-of-things.html>
- Sen, A., Ramamurthy, K., & Sinha, A. P. (2012). A Model of Data Warehousing Process Maturity. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 38(2), 336–353. <https://doi.org/10.1109/TSE.2011.2>

- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *IDE Geocientífica*. <https://www2.sgc.gov.co/sgc/ide-geocientifica/Paginas/ide.aspx>
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2021). *Plan Estratégico de Tecnologías de la Información (PETI)* (p. 97). SGC. <https://www.uniamazonia.edu.co/documentos/docs/Departamento%20de%20Tecnologias%20de%20la%20Informacion/Planes/Plan%20Estrategico%20de%20Tecnologias%20de%20la%20Informacion%202021.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2022). *Plan Estratégico del Conocimiento Geocientífico del Territorio Colombiano 2022-2031*. 237.
- Shah, B., Roytman, A., & De Matteis, P. (2014). Transformation Re-Imagine from the outside-In. *Accenture Interactive-Point of View Series Digital*. [https://www.accenture.com/t20160128t000639\\_\\_w\\_\\_/us-en/\\_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/technology\\_7/accenture-interactive-digital-transformation.pdf](https://www.accenture.com/t20160128t000639__w__/us-en/_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/technology_7/accenture-interactive-digital-transformation.pdf)
- Siabato, W. (2018). Sobre la evolución de la información geográfica: las bodas de oro de los SIG. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27, 1–9. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.69500>
- Skog, D. A., Wimelius, H., & Sandberg, J. (2018). Digital Disruption. *Business & Information Systems Engineering*, 60(5), 431–437. <https://doi.org/10.1007/s12599-018-0550-4>
- Teichert, R. (2019). Digital Transformation Maturity: A Systematic Review of Literature. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 67(6), 1673–1687. <https://doi.org/10.11118/actaun201967061673>
- Tello, E. (2007). Las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) y la brecha digital: su impacto en la sociedad de México. *Revista de Universidad y Sociedad Del Conocimiento (RUSC)*, 4(2 UOC), 8. <http://www.uoc.edu/rusc/4/2/dt/esp/tello.pdf>
- Tota, L. A., Pereira, L. C., & Curiel, D. (2020). Tecnologías de información y Comunicación en la Cuarta Revolución Industrial 4.0. *Télématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos. Universidad Rafael Belloo Chacín*, 19, 12. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8052045>
- Universidad de los Andes (UNIANDES). (2019). *Primera evaluación del nivel de madurez de datos v1.5*.
- Van Tonder, C., Schachtebeck, C., Nieuwenhuizen, C., & Bossink, B. (2020). A framework for digital transformation and business model innovation. *Management*, 25(2), 111–132. <https://doi.org/10.30924/mjcmi.25.2.6>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Villarreal, C. A., Garzón, C. G., Mora, J. P., Rojas, J. D., & Ríos, C. A. (2022). Workflow for capturing information and characterizing difficult-to-access geological outcrops using unmanned aerial vehicle-based digital photogrammetric data. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100292. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2021.100292>
- Von Der Linn, B. (2009). Overview of GE's Change Acceleration Process (CAP). *Agility Science*. <https://bvonderlinn.wordpress.com/2009/01/25/overview-of-ges-change-acceleration-process-cap/>

- Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M., & Vasilakos, A. (2016). Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0. *IEEE Sensors Journal*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2565621>
- Westerman, G., & Bonnet, D. (2015). Revamping Your Business through Digital Transformation. *MIT Sloan Management Review*, 56(3), 10.
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation*. Harvard Business Press.
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>
- Wichmann, R. L., Eisenbart, B., & Gericke, K. (2019). The Direction of Industry: A Literature Review on Industry 4.0. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 2129–2138. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.219>
- Wulf, J., Mettler, T., & and Brenner, W. (2017). Using a Digital Services Capability Model to Assess Readiness for the Digital Consumer. *MIS Quarterly Executive*, 16(3), 171–195.
- Yamamoto, K. (2020). Utilization of ICT as a digital infrastructure concerning disaster countermeasures in Japan. *Information (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/INFO11090434>
- Yin, R. K., & Campbell, D. T. (2018). Case study research and applications : design and methods. In *TA - TT -* (Sixth edition). SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781526425554> - <https://worldcat.org/title/983826254>
- Znobishchev, S., & Shamraeva, V. (2019). Practical use of bim modeling for road infrastructure facilities. *Architecture and Engineering*, 4(3), 49–54. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-3-49-54>