



Universidad del  
**Rosario**

Escuela de Ingeniería,  
Ciencia y Tecnología



**MODELO PROBABILÍSTICO QUE EVIDENCIA LOS FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO  
PARA EL DESARROLLO DE UN TERRITORIO INTELIGENTE EN COLOMBIA.**

Autor:

**Diego Fernando Arias Sanabria**

**Magda Ximena Garzón González**

**Rodrigo Andrés Linares Bernal**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**

**MAESTRÍA EN CIUDADES INTELIGENTES Y SOSTENIBLES ESCUELA DE INGENIERÍA  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
BOGOTÁ COLOMBIA, AGOSTO DE 2024**



Universidad del  
**Rosario**

Escuela de Ingeniería,  
Ciencia y Tecnología



**MODELO PROBABILÍSTICO QUE EVIDENCIA LOS FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO  
PARA EL DESARROLLO DE UN TERRITORIO INTELIGENTE EN COLOMBIA.**

Trabajo presentado para obtener el título de:

Magíster en Ciudades Inteligentes y Sostenibles

Autor:

**Diego Fernando Arias Sanabria**

**Magda Ximena Garzón González**

**Rodrigo Andrés Linares Bernal**

Director: Cristhian Ruíz

Codirector: Ricardo Bonilla

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**

**MAESTRÍA EN CIUDADES INTELIGENTES Y SOSTENIBLES PROGRAMA – ESCUELA DE  
INGENIERÍA CIENCIA Y TECNOLOGÍA BOGOTÁ COLOMBIA, AGOSTO DE 2024**

## ABSTRACT

A maturity model of smart cities and territories is a multidimensional quantitative description that represents the current state of a city or territory against established parameters, seeking to think about the direction of the territories towards increasingly higher connectivity exercises, through modernization. Of public institutions, the socialization of access to information and the improvement of the competitiveness of the productive sector. In that sense, the results are input to guide a work plan focused on achieving the attributes defined by the MinTIC in its maturity model.

Currently, this model has difficulties in relation to the ability of local governments to direct their efforts efficiently and effectively, allowing them to reach an optimal level of maturity as a smart territory.

Based on this, we seek to develop a solution proposal through a prescriptive analytics project to recommend optimal actions, and ethical approaches with privacy and transparency in models. These additions not only improve accuracy and efficiency, but also support the decision-making process of local governments.

This analytics project is proposed under the CRISP-DM methodology that supports the understanding of the problem and the data, following up the development of the project through short iterations where the results can be predicted and the changes can be evaluated for a prompt decision-making. Decision. In accordance with the latter, the aim is to develop a probabilistic model supported by analytical projection that generates quantitative results that give a general perspective of the data, based on scenarios, before making decisions.

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	4
INTRODUCCIÓN .....	9
1. OBJETIVOS .....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	14
3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	18
4. METODOLOGÍA .....	23
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	63
6. CONCLUSIONES .....	71
7. ANEXOS .....	73

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Indicadores del MMCTI.....25

## INDÍCE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Metodología CRISP-DM.....	23
Gráfico 2: Medición MMCTI.....	29
Gráfico 3: Dimensiones del MMCTI .....	29
Gráfico 4: Subdimensiones del MMCTI.....	29
Gráfico 5: Ranking Vs Reproducción índice.....	42
Gráfico 6: Boxplot R.....	44
Gráfico 7: Correlación entre variables R Studio.....	48

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Ranking 2022.....30

Figura 2 Matriz reproducción índice.....41

Figura 3 Matriz definitiva.....43

Figura 4 Boxplot R.....45

Figura 5 Boxplot R.....46

Figura 6 Boxplot R.....46

Figura 7: Varianza y dispersión R Studio.....47

Figura 8: Varianza y dispersión R Studio.....47

Figura 9: Varianza y dispersión R Studio.....48

Figura 10: PCA.....50

Figura 11: PCA.....50

Figura 12: Orange Data Mining .....51

Figura 13: Orange Data Mining .....52

Figura 14: Discretización variables.....52

Figura 15: Modelamiento de los datos en Orange Data Mining.....52

Figura 16: Análisis ROC.....53

Figura 17: Modelamiento de los datos en Orange Data Mining.....54

Figura 18: Selección de variables a usar en el modelo.....54

Figura 19: Test and Score Orange.....56

Figura 20: ROC Analysis Orange.....58

Figura 21: Confusion Matrix Orange.....60

Figura 22: Análisis de Componentes PCA Orange.....61

Figura 23: Grafico de Orange de clúster y PCA, relacionado por color.....61

Figura 24: Evaluación del índice de acuerdo con los ejes habilitantes en Power Bi.....65

Figura 25: Caracterización del territorio colombiano por clúster en Power Bi .....66

Figura 26: Resultados de la predicción Naive Bayes en Power Bi .....67

Figura 27: Rangos clasificación Naive Bayes.....67

Figura 28: Resultado Naive Bayes.....68

Figura 29: Resultado Naive Bayes.....69

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de territorios inteligentes ha emergido como un imperativo global en la era contemporánea, donde la convergencia de tecnologías digitales y la búsqueda de soluciones sostenibles se entrelazan para promover la prosperidad económica, la equidad social y la protección ambiental. Adentrándonos en la búsqueda de literatura respecto a lo que se puede interpretar como ciudad y/o territorio inteligente, identificamos que hoy por hoy es un tema que aún se encuentra en construcción, para Albino (2015), *“la literatura reveló que el significado de una ciudad inteligente es multifacético. Las descripciones de las ciudades inteligentes ahora incluyen las cualidades de las personas y las comunidades, así como las TIC”*.

A pesar de no encontrar un consenso claro en dónde se pueda contar con una definición parcial de lo que es una ciudad y/o territorio inteligente, es importante tener en consideración las varias tendencias que existen frente al término mencionado, para así adaptar el más adecuado a la presente investigación. De acuerdo con la aplicación de la metodología para la evaluación, identificación e implementación de proyectos ciudades inteligentes (“Smart Cities”) en América Latina y el Caribe, propuesta por el Banco Interamericano de Desarrollo – BID en alianza con la empresa de consultoría Deloitte, definen a una ciudad como: *... “aquella que pone a las personas en el centro del desarrollo, incorpora las tecnologías de la información y las comunicaciones en la gestión urbana, y utiliza estos elementos como herramientas para estimular la formación de un gobierno eficiente que incluya procesos colaborativos de planificación y participación. Al promover el desarrollo integrado y sostenible, las ciudades inteligentes se vuelven más innovadoras, competitivas, atractivas y resilientes, mejorando así las vidas...”*. Podemos ver otra opinión más preocupada por la dinámica fluctuante entre estos modelos de progreso y su comportamiento con la humanidad, como menciona Marta Galceran-Vercher: *“Existe una necesidad creciente de asegurar que el desarrollo y uso de aplicaciones de inteligencia artificial (IA) no comprometa los derechos fundamentales. Esto ha precipitado una carrera global entre grandes potencias, foros y organizaciones internacionales, así como empresas y organismos públicos y privados, por fijar los estándares que deben gobernar y regular este fenómeno. Ante un contexto regulatorio global fragmentado, las ciudades se están posicionando como actores normativos muy relevantes. Las ciudades asumen un papel regulador*

*individualmente, mediante el desarrollo de estándares e iniciativas de gobernanzas locales, pero también colectivamente, en el marco de alianzas de ciudades como la CC4DR o Eurocities.”*

A partir de los enfoques encontrados se pueden identificar tres grandes corrientes, una corriente tecnocéntrica que señala principalmente a la tecnología como característica definitoria de una ciudad inteligente; por otro lado, encontramos un enfoque humanista, que se concentra en el ser humano y el capital social de cada territorio y, finalmente, estamos con el enfoque colaborativo, cuyo objetivo se centra en los diferentes actores de las ciudades, sus interacciones y que pueden llegar al interior de cada entidad territorial.

De acuerdo con el enfoque colaborativo anteriormente descrito, una ciudad y/o territorio inteligente desde la perspectiva de Nam & Pardo quienes la definen como: ...” *una interacción entre tecnologías de innovación, innovación gerencial y organizacional e innovación de políticas. Las ciudades tienen tres elementos claves: (a) la integración de sistemas e infraestructuras; (b) la transformación y mejora de los servicios; (c) la mejora de la vida de los ciudadanos calidad de vida...*”, con base en lo anterior, Colombia, como nación en vía de desarrollo, en su plan nacional de desarrollo 2022- 2026 – (PND 2022 – 2026), ha declarado diferentes apuestas para la consolidación de ciudades y/o territorios inteligentes, dentro de las cuales se puede identificar: 1. La construcción e implementación de modelos de desarrollo municipales para el fortalecimiento de vínculos urbanos rurales multifuncionales y la integración de territorios sostenibles, 2. Un gobierno digital para la gente, 3. La democratización de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) para desarrollar una sociedad del conocimiento, tecnologías conectadas con el saber y con los circuitos globales de conocimiento..., entre otras; en la actualidad, el país cuenta con una posición estratégica respecto del tema, la cual le permitirá aprovechar y actuar en el marco de estas tendencias, para así poder transformar e impactar de manera positiva sus 32 departamentos, sus 10 distritos y sus 1.101 municipios – territorios, en entornos inteligentes, que impulsen el bienestar y la interacción de sus ciudadanos y que estos a su vez fomenten la competitividad a nivel nacional e internacional de los mismos.

Pensando en el contexto nacional, nos encontramos con que a partir del 2018, el país, a través del Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones – MinTIC ha definido una ciudad o territorio inteligente como: ...” *Una ciudad o territorio es inteligente en la medida que planifica y orienta sus acciones hacia la sostenibilidad y la inclusión, se conecta y se adapta a los desafíos y expectativas de las personas que lo habitan para garantizar el bienestar común*”; el MinTIC a su vez, ha venido trabajando en la construcción del MMCTI (Modelo de Madurez de Ciudades y Territorios Inteligentes), el cual toma como diseño base, el modelo de madurez de ciudades inteligentes (aplicación, metodología, evaluación identificación e implementación) construido por el BID.

Este modelo analiza seis dimensiones clave: personas, gobernanza, calidad de vida, desarrollo económico, medio ambiente y hábitat, permitiendo a las ciudades realizar un autodiagnóstico para establecer una línea base de su estado actual. A partir de este diagnóstico, las ciudades pueden identificar oportunidades de mejora y desafíos, diseñando una hoja de ruta concreta para su evolución hacia territorios inteligentes. Además, el MMCTI fomenta la participación ciudadana en el proceso de evaluación y planificación, asegurando que las estrategias desarrolladas reflejen las necesidades y expectativas de los habitantes. Al aplicar este modelo en múltiples ciudades, se facilita la comparación de resultados y el intercambio de mejores prácticas, promoviendo un desarrollo urbano sostenible, inclusivo y eficiente.

El actual MMCTI propuesto por MinTIC, arroja como resultado un índice que mide y posiciona a cada uno lo territorios de acuerdo a características propias, en un ranking de ciudad inteligente, el cual, se ha venido consolidando como una herramienta de autodiagnóstico para que las alcaldías y las gobernaciones establezcan una línea base en seis dimensiones de ciudad: personas, gobernanza, calidad de vida, desarrollo económico, medio ambiente y hábitat, las cuales a su vez se desglosan y/o subdividen en 52 variables, permitiéndoles a las diferentes entidades públicas, identificar oportunidades y solucionar problemáticas sociales , asociadas al uso de las tecnologías de la información y la comunicación - TIC.

De acuerdo con el índice de resultados, el MinTIC realiza una evaluación de los indicadores que tienen datos en las diferentes fuentes, lo ideal es que todas las dimensiones tengan datos para ser evaluados y no dejar una dimensión por fuera, existe una tabla de evaluación para los datos que ha definido el MinTIC lo

cual arroja un resultado por cada indicador, y serán promediados para obtener el indicador de resultados para ciudades y territorios inteligentes.

Con base en el cálculo del índice de madurez de ciudad y/o territorio inteligente anteriormente descrito, consideramos que es fundamental en la construcción a futuro de los territorios el ejercicio de comprender y abordar los determinantes que influyen en la construcción y definición de un territorio inteligente en el país.

En este sentido, a partir de un análisis previo, respecto de modelos probabilísticos tanto continuos (support vector machine, random forest, regresión lineal y gradiente de boosting) como modelos probabilísticos discretos (regresión logística, naive bayes, k-Nearest Neighbor y red neuronal esta última utilizada como machine learning), se propone implementar un modelo de probabilidad que permita articular la relación existen entre la diferentes variables que componen el índice del MMCTI y los distintos escenarios con los que cuenta un dirigente político a la hora tomar decisiones que permita conducir el municipio que dirige, por un camino conducente hacia el fortalecimiento de una ciudad inteligente. Al emplear enfoques probabilísticos, se busca capturar la complejidad y las incertidumbres inherentes a este proceso de transformación, reconociendo que múltiples variables y dinámicas pueden influir en los resultados obtenidos.

En resumen, nuestra problemática radica en la ausencia de un modelo de gestión que utilice la naturaleza del Índice de ciudades y territorios inteligentes, la cual limita la capacidad de gestión en los territorios. Esta situación genera desincentivos para la participación de las entidades territoriales en el proceso de evaluación, dificultando el avance hacia una verdadera transformación digital y el desarrollo de ciudades inteligentes de manera integral; este proyecto se sitúa en la intersección entre la planificación estratégica de los diferentes departamentos, distritos y municipios del país y los enfoques conceptuales para el desarrollo de territorios inteligentes, con el objetivo de identificar y evidenciar los factores críticos de éxito que impulsan esta transformación. Al hacerlo, se espera contribuir en el mejoramiento tanto del diseño de políticas públicas más efectivas como en el fortalecimiento del actual índice de modelo de madurez y su interpretación por parte de los gobernantes respecto de las capacidades locales que permitan

construir un futuro más inteligente, inclusivo y sostenible para todos y cada uno de los territorios en el país.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo general

- Implementar un modelo probabilístico que evidencie los factores críticos de éxito para el desarrollo de un territorio inteligente en Colombia.

### 1.2 Objetivos específicos

- Reproducir el cálculo de índice actual del MMCTI, haciendo uso de las diferentes bases de datos que lo integran.
- Aplicar el modelo de probabilidad a todos los territorios.
- Evaluar y comparar posibles escenarios que potencien o restrinjan el desarrollo de un territorio inteligente en el país.

## 2. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Desde la constitución de 1991, el país entra en un proceso de descentralización que busca mejorar las condiciones de la población, concentrándose en la distribución de competencias y recursos entre los diferentes niveles de la administración pública gubernamental, permitiéndoles así a las alcaldías y gobernaciones poder garantizar la eficiencia del uso de los recursos que tienen, su disposición y el sostenimiento de estos en el tiempo.

A partir de los anteriores procesos de descentralización el país ha venido trabajando en la reglamentación e implementación de estrategias que promuevan el tránsito de los territorios hacia territorios inteligentes, los cuales se describen principalmente a través del decreto 767 de 2022, estableciendo la política de gobierno digital, la cual por medio del MinTIC deberá contemplar las acciones prioritarias para el cumplimiento de estándares, para la integración de trámites, la publicación y el aprovechamiento de datos públicos y la adopción del modelo de territorios y ciudades inteligentes, esta última enmarcada en la resolución 01117 de 2022, expedida por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, cuyo objeto resuelve el establecimiento de los lineamientos de transformación digital para las estrategias de ciudades y territorios inteligentes de las entidades territoriales en el marco de la política de gobierno digital, las cuales son de obligatorio cumplimiento por parte de cada uno de los territorios del país.

Sin embargo, para (Angulo et al., 2018) las entidades territoriales en Colombia son altamente heterogéneas y experimentan unas condiciones muy disímiles en términos de desarrollo económico, social, político y en su capacidad institucional, como se evidencia en las diferencias en la incidencia de pobreza tanto monetaria como multidimensional a nivel departamental y municipal.", lo anteriormente expuesto no es ajeno a las diferentes situaciones que presenta el resultado índice de MMCTI descrito a través de sus 87 variables, pues se relacionan de manera directa, en la tomada de decisiones por parte de las alcaldías y las gobernaciones, en pro del fortalecimiento y posicionamiento en el resultado final del índice de ciudades y territorios inteligentes de cada entidad.

De lo anteriormente expresado, el MMCTI ofrece a los gobernantes regionales un resultado e información que clasifica automáticamente cualquier territorio (dependiendo de sus características y perfil) en un ranking nacional; lo ideal sería tener una herramienta que, además de ofrecer un resultado genérico, permita a los

gobernantes realizar un seguimiento y un comparativo detallado de su territorio frente a otros; visualizando e identificando los impactos de las decisiones tomadas en relación de las seis dimensiones del modelo por cada entidad, facilitando la planeación y desarrollo territorial.

Con el ánimo de abordar la oportunidad de mejora identificada, nos apoyaremos en la implementación de un modelo de probabilidad, pues a partir de A. Tarrch "la probabilidad es un modelo matemático que podemos usar para describir e interpretar la realidad de los fenómenos aleatorios, y ha mostrado su utilidad en casi en todos los campos de la actividad humana, como la ciencia, la técnica, la política y la gestión. "el cual desde un ámbito político – gobernanza, permita implementar un modelo probabilístico que potencie o restrinja el desarrollo de un territorio inteligente, el cual contribuya y potencie la herramienta de apoyo con la que cuentan hoy por hoy los gobernantes para su gestión, optimizando la toma de decisiones y los impactos que tienen estas en el MMCTI.

Desde la implementación del modelo, se espera que este apoye directamente al MinTIC en la presentación del resultado del índice del MMCTI, desde el punto de vista, en el que, mediante una sola ventana, se podrán identificar los resultados detallados de los municipios permitiendo visualizar en cualquier momento tanto las fortalezas como las debilidades de estos, respecto al comportamiento de las 87 variables que integran el MMCTI; y, no menos importante, cuando los municipios cuyo resultado general sea igual o superior a 3, podrán acceder a la información.

Desde el punto de vista del Ministerio de la Información y Comunicaciones de Colombia - MinTIC, el MMCTI se interpreta como una "herramienta muy útil en materia de ciudades y territorios inteligentes, ya que al tener en cuenta que el contexto local particulariza la situación de cada ciudad y, por ende, establece una hoja de ruta diferenciada. Así mismo, dado que estas iniciativas se planifican a mediano y largo plazo, se requiere de la generación de indicadores específicos que permitan orientarlas de forma acertada" permitiéndoles de una u otra forma a las alcaldías y las gobernaciones consolidar y/o fortalecer el índice de ciudad y territorio inteligente; teniendo como resultado una modelo que proporcione recomendaciones, y que de acuerdo y de la mano de una correcta interpretación y acompañamiento pueda alcanzar el objetivo del mismo.

El MMCTI sirve como una herramienta valiosa para que los municipios y gobiernos territoriales mejoren la inteligencia de las ciudades y territorios. Al aprovechar indicadores específicos, alinearse con los objetivos

globales de sostenibilidad y abordar los desafíos de gobernanza e inclusión, las iniciativas de ciudades inteligentes pueden contribuir eficazmente al desarrollo sostenible.

Las iniciativas de planificación de ciudades inteligentes requieren de una visión de largo plazo y la generación de indicadores específicos que orienten la toma de decisiones de manera efectiva (Bernal & Espitaleta, 2021). En este mismo sentido, para los entes locales y territoriales, los datos arrojados, se constituyen en una fuente para la gestión y desarrollo de un territorio inteligente, a partir de la identificación detallada de sus fortalezas y debilidades, a partir del seguimiento a los indicadores establecidos.

Estos indicadores desempeñan un papel vital para ayudar a las ciudades a mejorar la seguridad, la resiliencia y la sostenibilidad general de sus sistemas urbanos (Mutavdžija, 2024). Además, las capacidades derivadas de las ciudades ecológicas inteligentes pueden ayudar a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas en los países en desarrollo (Tarek, 2023). Los indicadores de ciudades inteligentes de la Organización Internacional de Normalización (ISO) proporcionan un marco con definiciones y metodologías para evaluar las ciudades inteligentes (Prevelianaki et al., 2022). Alinear las iniciativas de ciudades inteligentes con los ODS de la ONU es crucial para garantizar que estos desarrollos contribuyan positivamente a los esfuerzos de sostenibilidad global (Ismagilova et al., 2019). Además, incorporar perspectivas centradas en lo humano y tecno-céntricas es esencial para lograr un desempeño urbano inteligente, especialmente en regiones como África (Moumen, 2024). El análisis de la gobernanza desempeña un papel importante a la hora de impulsar políticas de ciudades inteligentes, centrándose en los aspectos de planificación espacial (Khalil, 2024). La implementación de conceptos de ciudades inteligentes puede contribuir al desarrollo sostenible, como se ve en proyectos como las Eco ciudades Inteligentes en Egipto (Tarek, 2023). Sin embargo, es necesario abordar desafíos como la periferización y los intereses específicos que atienden las iniciativas de ciudades inteligentes para garantizar un desarrollo inclusivo y equitativo (Dragan, 2023).

Los índices de madurez de las ciudades inteligentes pueden ayudar a los gestores a monitorear el rendimiento de los indicadores urbanos, lo que a su vez puede contribuir a la comprensión de las necesidades locales ya la toma de decisiones informadas (Aragão et al., 2023). Asimismo, la implementación de modelos de gobernanza en las ciudades inteligentes, que involucran estrategias de coproducción y organizaciones dedicadas, puede facilitar la comunicación con actores externos y mejorar la capacidad de gobernanza para

abordar desafíos de sostenibilidad a largo plazo (Pereira & Azambuja, 2021).

En resumen, los índices relacionados con las ciudades inteligentes pueden ser útiles para una amplia gama de actores, desde residentes y empresas hasta gobiernos locales, al proporcionar una visión estructurada y medible de diversos aspectos urbanos. Estos índices no solo ayudan a monitorear el progreso hacia ciudades más inteligentes, sino que también contribuyen a la comprensión de las necesidades locales y a la toma de decisiones estratégicas para un desarrollo urbano sostenible.

### 3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

El concepto de Ciudades Inteligentes responde a los desafíos del siglo XXI, aprovechando las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, aumentar la eficiencia de los servicios urbanos y promover la sostenibilidad. En Colombia, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) ha propuesto la construcción de un Índice de Ciudades Inteligentes como una herramienta para medir y comparar el progreso en este ámbito.

En este marco, los decretos 460 de 2022, 767 de 2022 y 1117 de 2022, junto con el Fondo Único para las TIC, son clave en la promoción y facilitación del desarrollo de Ciudades Inteligentes en el país.

El siglo XXI ha sido testigo de una rápida evolución tecnológica que ha transformado la forma en que interactuamos con nuestro entorno. Paralelamente, la urbanización acelerada ha generado desafíos en términos de bienestar ciudadano, eficiencia de los recursos y calidad de vida en las ciudades. Ante este panorama, el concepto de Ciudades Inteligentes ha surgido como una respuesta innovadora, aprovechando las TIC para abordar estos desafíos de manera integral, tanto desde un punto de vista conceptual y teórico, como desde un punto de vista jurídico y político de la siguiente manera:

#### 3.1. MARCO NORMATIVO

##### 3.1.1. Decreto 460 de 2022 - Política Nacional de Ciudades Inteligentes:

Este decreto establece la Política Nacional de Ciudades Inteligentes en Colombia, proporcionando un marco normativo que define los lineamientos y objetivos estratégicos para el desarrollo de iniciativas en este campo. Al establecer una política clara y coherente, el Decreto 460 facilita la coordinación de esfuerzos a nivel nacional y territorial, promoviendo la alineación de agendas y la asignación eficiente de recursos.

##### 3.1.2. Decreto 767 de 2022 - Implementación de la Política Nacional de Ciudades Inteligentes:

Complementando al Decreto 460, este decreto establece los mecanismos para la implementación efectiva de la Política Nacional de Ciudades Inteligentes. Define las responsabilidades de las entidades y de los funcionarios públicos y privados en la ejecución de proyectos relacionados con Ciudades Inteligentes, promoviendo la colaboración y la sinergia entre los diferentes actores involucrados en el proceso de

transformación urbana.

### **3.1.3. Decreto 1117 de 2022 - Incentivos para el Desarrollo de Ciudades Inteligentes:**

Este decreto ofrece incentivos fiscales y financieros para estimular el desarrollo de proyectos relacionados con Ciudades Inteligentes, incentivando la inversión del sector privado en iniciativas que contribuyan a la modernización y la innovación en el ámbito urbano. Estos incentivos juegan un papel crucial en la atracción de inversiones y en la aceleración del proceso de transformación digital de las ciudades.

### **3.1.4. Fondo Único para las TIC:**

El Fondo Único para las TIC, creado mediante la Ley 1778 de 2019, provee los recursos financieros necesarios para el desarrollo de proyectos relacionados con tecnologías de la información y las comunicaciones. Este fondo juega un papel crucial en el financiamiento de iniciativas de Ciudades Inteligentes, permitiendo la inversión en infraestructura tecnológica, capacitación, investigación y desarrollo.

La contribución de los decretos y el Fondo Único para las TIC al Índice de Ciudades Inteligentes propuesto por el MinTIC se manifiesta en varios aspectos claves:

En primer lugar, los decretos proporcionan un marco normativo que facilita la definición de estándares y métricas para la evaluación de ciudades inteligentes. Estos estándares son fundamentales para la construcción de un índice que permita comparar el nivel de desarrollo de las ciudades; Además, el Fondo Único para las TIC proporciona los recursos financieros necesarios para la implementación de proyectos que contribuyan a mejorar la infraestructura tecnológica y la capacidad de las ciudades para adoptar soluciones inteligentes.

En resumen, los decretos 460, 767 y 1117, junto con el Fondo Único para las TIC, proporcionan el marco normativo, las hojas de ruta, los recursos financieros y los incentivos necesarios para impulsar el desarrollo de Ciudades Inteligentes en Colombia y contribuir a la construcción del Índice de Ciudades Inteligentes propuesto por el MinTIC. Estos instrumentos son fundamentales para promover la transformación digital de nuestras ciudades y mejorar la calidad de vida de nuestros ciudadanos en el siglo XXI.

El marco teórico de esta investigación se organiza en cuatro ejes temáticos fundamentales, que abordan aspectos normativos-legales, políticas públicas, transformación digital y cuidado del medioambiente, cada

uno de los cuales se subdivide en áreas específicas de interés.

En el eje temático normativo-legal, se destacan disposiciones como el Plan Nacional de Desarrollo y la Ley 1955 de 2019, que establecen lineamientos para la implementación de acuerdos marco de precios, estrategias de ciudades inteligentes y políticas de gobierno digital. Además, se regulan aspectos relacionados con la planeación y gestión, así como la transformación digital, concretados en decretos como el 1499 de 2017.

El componente de transformación digital, como eje temático independiente, se encuentra respaldado por instrumentos legales como la Ley 1955 de 2019 y documentos como el CONPES 3975 de 2019, que delimitan la política nacional en esta área. Además, se establecen lineamientos específicos para el gobierno digital y abierto, así como para la seguridad de la información, a través de decretos como el 1008 de 2018 y el 2106 de 2019.

En relación con la seguridad de la información, se destacan normativas como la Resolución 816 de 2004 y la Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27001:2006, que establecen requisitos para la gestión de la seguridad de la información y sistemas de seguridad digital.

La explotación de datos y la protección de la privacidad también son áreas abordadas en el marco normativo, con disposiciones como la Ley 1273 de 2009 y la Ley Estatutaria 1581 de 2012, que protegen la información personal y regulan el acceso a la información pública.

En el ámbito del cuidado del medioambiente, se destacan leyes como la Ley 99 de 1993 y la Ley 1931 de 2018, que establecen directrices para la gestión del medioambiente y el cambio climático, así como documentos como el CONPES 3934 de 2018, que promueven el crecimiento verde.

En el eje temático de políticas públicas, se abordan iniciativas como la Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana, que incluye líneas de acción para la incorporación de tecnología en la seguridad ciudadana y la prevención del ciberdelito.

El modelo de madurez se refleja en instrumentos como el Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y el Marco de Transformación Digital del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

(MINTIC), que buscan guiar la implementación de políticas y proyectos en ciudades y territorios inteligentes.

El marco teórico expuesto es un panorama completo de las bases normativas, políticas y estratégicas que orientan la transformación digital, la seguridad de la información, el cuidado del medioambiente y la gestión pública en Colombia, estableciendo una base sólida para la investigación propuesta.

Desde el punto de vista del análisis, la construcción del Índice de Ciudades Inteligentes propuesto por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) en Colombia, requiere el análisis y la integración de una amplia gama de datos provenientes de diferentes fuentes (entidades). En este contexto, la aplicación de modelos probabilísticos emerge como una herramienta poderosa para extraer conocimientos y patrones significativos a partir de estos datos. En este marco, modelos como Naive Bayes, Análisis de Componentes Principales (PCA) y Clustering, pueden desempeñar un papel crucial en la construcción y evaluación del Índice de Ciudades Inteligentes.

### 3.2. Definiciones / Aplicación.

#### 3.2.1. Naive Bayes:

El modelo de Naive Bayes es un clasificador probabilístico que se basa en el teorema de Bayes y asume independencia condicional entre las características. En el contexto del Índice de Ciudades Inteligentes, Naive Bayes puede utilizarse para clasificar las ciudades en diferentes categorías en función de diversas variables, como la infraestructura tecnológica, la calidad de vida, la eficiencia de los servicios públicos, entre otros; la aplicación del modelo apoya con la eficiencia computacional, lo que lo hace adecuado para el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Además, este modelo puede proporcionar una medida de la probabilidad de pertenencia de una ciudad a una determinada categoría, lo que facilita la interpretación de los resultados y la toma de decisiones.

#### 3.2.2. Análisis de Componentes Principales (PCA):

El PCA es una técnica de reducción de dimensionalidad que busca transformar un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto de variables no correlacionadas, denominadas componentes principales. En el contexto del Índice de Ciudades Inteligentes, PCA puede utilizarse para identificar las variables más relevantes que contribuyen a la construcción del índice de madurez de ciudades inteligentes reduciendo así

la complejidad del análisis; la aplicación de PCA radica en su capacidad para identificar patrones ocultos y reducir la redundancia en los datos, lo que permite una representación más compacta y fácilmente interpretable de la información.

### **3.2.3. Clustering:**

El clustering es una técnica de aprendizaje automático no supervisado que agrupa datos similares en grupos o clúster. En el contexto del Índice de Ciudades Inteligentes, el clustering puede utilizarse para identificar patrones y segmentar las ciudades en función de características compartidas, lo que permite una comprensión más profunda de la diversidad y heterogeneidad de cada uno de los territorios; la aplicación de clustering radica en su capacidad para identificar estructuras subyacentes en los datos sin la necesidad de etiquetas predefinidas. Esto permite una exploración más libre y sin sesgos de los datos, lo que puede conducir a la identificación de relaciones complejas y no lineales entre las variables.

Por lo inmediatamente anterior, la aplicación conjunta de Naive Bayes, PCA y clustering en la construcción del Índice de Ciudades Inteligentes puede ofrecer múltiples beneficios complementarios.

### **3.2.4. Preprocesamiento de Datos:**

PCA puede utilizarse como una etapa de preprocesamiento para reducir la dimensionalidad de los datos, lo que puede mejorar la precisión de los modelos de Naive Bayes y clustering.

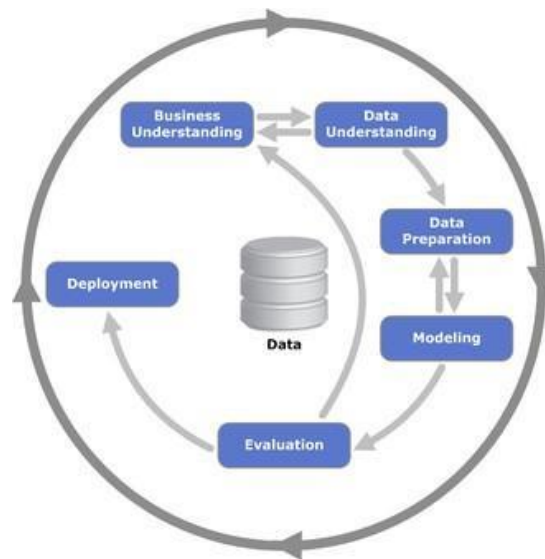
### **3.2.5. Segmentación de Ciudades:**

El clustering puede utilizarse para segmentar las ciudades en grupos homogéneos en función de características compartidas, lo que puede facilitar la identificación de patrones y la formulación de políticas específicas para cada grupo.

En resumen, la aplicación conjunta de modelos probabilísticos como Naive Bayes, PCA y clustering puede proporcionar una base sólida para la construcción del Índice de Ciudades Inteligentes en Colombia. Estos modelos pueden ayudar a extraer conocimientos significativos a partir de datos complejos y heterogéneos, facilitando la toma de decisiones informadas y la formulación de políticas efectivas para el desarrollo de los territorios inteligentes y sostenibles que procuren el bienestar de los ciudadanos.

#### 4. METODOLOGÍA

La metodología CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) “es un enfoque estándar empleado a nivel mundial tanto en la industria como en la academia para proyectos de minería de datos. La metodología CRISP-DM consta de seis fases” (Espinosa Zúñiga, 2020), ver gráfico 1. Se selecciona CRISP-DM como la más adecuada para el desarrollo de este trabajo, porque se articula directamente con el objetivo general y con los objetivos específicos de nuestra investigación; proporcionando herramientas a los gobernantes en la toma de decisiones.



(Gráfico 1: Metodología CRISP-DM. Fuente IBM)

Para ello, se considerarán las etapas contempladas bajo esta metodología, partiendo de la comprensión del problema, que abarca su identificación, determinación de los objetivos para realizar un análisis comparativo entre los indicadores del modelo madurez de cada territorio que facilita una medición inicial del éxito del proyecto.

Posteriormente, la metodología CRISP-DM define una segunda etapa para la comprensión de datos. Durante esta fase del proyecto, se desarrollan las actividades de recolección, descripción y exploración de datos; de forma tal que puedan presentarse de manera sencilla facilitando su comprensión.

Una vez se cumplen las actividades de la etapa dos, se inicia la limpieza de datos aplicando diferentes técnicas que permitan su discretización, normalización o imputación, entre otros aspectos de limpieza de datos. Esta

tercera etapa incluye también la creación de indicadores y transformación de datos, precisando que, sin cambiar el significado de la información, facilita el modelado posterior.

Precisamente este modelado se lleva a cabo en la cuarta etapa, con el propósito de obtener el modelo de minería de datos. En esta altura del proyecto, se realiza la selección de la técnica de modelado en concordancia con los datos y herramientas disponibles.

La evaluación del modelo es propia de la quinta etapa, en donde, partiendo de diferentes métricas estadísticas, se propicia la posibilidad para comparar con resultados previos o con apoyo de expertos. Los resultados de esta fase requieren un análisis para determinar si se continúa con la siguiente etapa de implementación, o si, por el contrario, es necesario hacer algún ajuste o incluso, reiniciar el proyecto.

Por último, la implementación del modelo o sexta etapa de la metodología CRISP-DM, aquí se asegura que todas las etapas previas estén debidamente documentadas, se hace una revisión final y se monitorean las acciones, para detectar áreas de oportunidad o incluso nuevos problemas.

La implementación de la Política de Gobierno Digital en Colombia, enmarcada en el Decreto 767 de 2022 y la Resolución 1117 de 2022, ha dado un impulso significativo al desarrollo de ciudades y territorios inteligentes en el país. El Modelo de Madurez de Ciudades y Territorios Inteligentes (MMCTIC) se ha convertido en una herramienta fundamental para medir el avance en este ámbito, permitiendo a las entidades territoriales identificar su estado actual y establecer una hoja de ruta para alcanzar la madurez deseada.

En el año 2022, 38 entidades territoriales colombianas aplicaron el MMCTIC de manera virtual, evaluando diversos instrumentos de percepción, resultados y capacidades. Esta evaluación tuvo como objetivo principal medir la cobertura de servicios ciudadanos digitales, la implementación de iniciativas de territorios inteligentes y la disponibilidad de habilitadores para la transformación digital en cada entidad.

La aplicación del MMCTIC se llevó a cabo a través de diversas herramientas y metodologías, incluyendo:

- **Sesiones simultáneas y en diferentes salas:** Se utilizaron plataformas digitales para permitir la participación de un gran número de personas de diferentes entidades territoriales, divididas en salas con moderadores y líderes.
- **Familiarización y diligenciamiento de herramientas:** Se brindó capacitación a los participantes

sobre el uso de las herramientas, instrumentos e indicadores del MMCTIC.

- **Análisis de información y contexto:** Se analizaron los datos recolectados a través de los instrumentos, los planes de desarrollo de las entidades territoriales, la oferta disponible por parte del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), las tendencias internacionales en materia de ciudades inteligentes y el contexto territorial específico de cada entidad.

La aplicación del MMCTIC en 2022 permitió identificar iniciativas y actividades que conformarán la hoja de ruta para el avance de los territorios hacia ciudades inteligentes. Esta hoja de ruta se alinea con los lineamientos establecidos en la Resolución 1117 de 2022 y busca promover el desarrollo sostenible, inclusivo y resiliente de las ciudades y territorios colombianos.

El MMCTIC se ha consolidado como una herramienta valiosa para la gestión del desarrollo de ciudades y territorios inteligentes en Colombia. La aplicación del modelo en 2022 ha permitido a las entidades territoriales participantes obtener una comprensión profunda de su estado actual y establecer una hoja de ruta clara para avanzar hacia la madurez deseada. Se espera que el uso continuo del MMCTIC contribuya a la transformación digital del país y a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos colombianos.

Para entender el índice, es indispensable conocer algunos conceptos claves establecidos por MINTIC para el cálculo:

- **Ranking:** Posición del territorio en el ranking de clasificación de acuerdo con los parámetros establecidos.

Índice de Madurez CTI del territorio acorde con la puntuación de las variables establecidas en el modelo.

El Modelo de Madurez de Ciudades y Territorios Inteligentes propuesto en el ejercicio de cocreación se sustenta en tres criterios de medición:

1. **Medición de percepción:** el objetivo de la medición de percepción es conocer, mediante un ejercicio de encuesta, la opinión que los habitantes tienen en función de las acciones que una ciudad desarrolla en torno a las dimensiones y subdimensiones del Modelo de Madurez. Se fundamenta en un cuestionario que comprende un conjunto de afirmaciones que deberán ser respondidas con una escala

de percepción entre uno y seis, siendo uno la calificación de mayor desacuerdo con la afirmación propuesta en la medición, y seis la escala más alta en la que el encuestado se encuentra totalmente de acuerdo con la afirmación.

Dentro de los actores involucrados dentro de esta medición encontramos:

**Academia:** Instituciones de educación presentes en la ciudad y/o territorio, Organizaciones de investigación (Centros de investigación, excelencia, tecnológicos), Asociaciones del gremio educativo.

**Sector público:** Agencias del gobierno regional, Gobiernos locales, Gobierno Nacional Empresas prestadoras servicios públicos territoriales, Entes de control local.

**Sector privado:** Pymes regionales, Grandes firmas regionales Asociaciones empresariales/ Cámaras de comercio, Incubadoras, aceleradoras Firmas extranjeras, Clústeres Parques tecnológicos.

**Sociedad civil:** Organizaciones de la sociedad civil (ONG, etc.), Uniones Sindicales, Representantes de minorías, Representantes culturales.

#### **Niveles para la Medición de Percepción:**

Nivel 1: El ciudadano percibe que los indicadores de las dimensiones de la ciudad empeoran.

Nivel 2: La ciudadanía no percibe ningún avance en los indicadores de las dimensiones de la ciudad.

Nivel 3: La ciudadanía percibe una leve mejora de los indicadores.

Nivel 4: La ciudadanía percibe avances, pero no le impactan directamente a su calidad de vida.

Nivel 5: La ciudadanía percibe una mejora en los indicadores de las dimensiones de la ciudad.

Nivel 6: La ciudadanía percibe que los indicadores de las dimensiones de la ciudad mejoran ostensiblemente

- 2. Medición de resultados:** este componente de la medición se consolida en una serie de indicadores que dan cuenta del estado real en el que se encuentra la ciudad o territorio, en cada una de las dimensiones y subdimensiones, partiendo de la recolección de información y datos reales de la ciudad.

### **Niveles de Medición de Resultados:**

Nivel 1: Los indicadores muestran un deterioro respecto a la línea base generada.

Nivel 2: No existe avance en los indicadores de resultado. Los indicadores permanecen iguales a los de la línea base.

Nivel 3: Los avances de los indicadores de resultado son incipientes. No logran solucionar de forma contundente las problemáticas.

Nivel 4: El avance de los indicadores de resultados es sustancial.

Nivel 5: El avance de los indicadores de resultados está por encima del promedio de los indicadores de otras ciudades.

Nivel 6: Los indicadores de resultado se posicionan entre los mejores del país.

**3. Medición de capacidades:** este componente corresponde a la medición respecto a las capacidades de la entidad en cada uno de los ejes habilitadores del Modelo de Madurez. Con el fin de verificar estas capacidades, se ha diseñado un autodiagnóstico disponible para que las entidades públicas del país en especial aquellas que actualmente o de manera potencial son generadoras de iniciativas o soluciones para el desarrollo de ciudades y/o territorios inteligentes, puedan identificar el nivel de madurez en cada eje habilitador. Una vez aplicada la herramienta, la entidad podrá generar nuevas capacidades o fortalecerlas a través de la implementación de planes de acción concretos.

#### Niveles de Medición de Capacidades:

Nivel 1: La gestión tecnológica es de apoyo. Se desarrollan iniciativas de TI de manera aislada.

Nivel 2: No se cuenta con la participación del líder de TI. Las iniciativas no se enfocan en ciudades inteligentes. Los sistemas de información no están integrados.

Nivel 3: Las iniciativas son colideradas por el líder de TI y el área que debe resolver la problemática. Las iniciativas funcionan como silos.

Nivel 4: Diferentes áreas de la entidad se conectan en torno a las iniciativas.

Nivel 5: Se integra otros actores del orden departamental, regional y nacional.

Nivel 6: Se realizan procesos de mejora continua de la iniciativa.

El promedio ponderado de las mediciones de capacidades, percepción y resultados permite generar el índice

de Ciudades y Territorios Inteligentes. Esta medición permite a los actores de la ciudad obtener una visión comparativa sobre su propia realidad. Gracias a estos análisis se pueden identificar aquellos elementos que necesitan optimizarse o reconocer relaciones entre los respectivos niveles de madurez, lo que permitirá desarrollar iniciativas y tomar decisiones estratégicas relevantes.

**Dimensiones:** Las dimensiones son los ámbitos creados por el Modelo de Madurez para agrupar las áreas funcionales de una ciudad o territorio, donde se puede avanzar mediante el diseño y aplicación de iniciativas de ciudad o territorio inteligente. Cada una de las seis dimensiones puede medirse para identificar niveles de percepción y resultados concretos.

- **Gobernanza:** comprende la política pública, los procesos y los mecanismos que permitan la interacción y la participación segura entre gobernantes y gobernados de tal forma que favorezcan la toma de decisiones y una mayor eficiencia, transparencia y colaboración.
- **Medio ambiente:** abarca todos los aspectos relacionados con la gestión sostenible y de riesgos ambientales, así como la protección y conservación de los recursos naturales.
- **Hábitat:** contempla todas las características físicas y estructurales que permiten generar el entorno adecuado para que las personas puedan vivir satisfactoriamente en una ciudad o territorio.
- **Calidad de vida:** comprende todos los aspectos que faciliten y favorezcan la interacción e inclusión segura entre las personas y los entornos económicos, sociales, de salud y bienestar, entre otros, para satisfacer de manera adecuada y satisfactoria las necesidades de las personas.
- **Personas:** comprende todos los aspectos que favorezcan el desarrollo personal de los habitantes de la ciudad o territorio.
- **Desarrollo económico:** comprende todas las acciones hacia el fortalecimiento de la productividad, la competitividad, la sostenibilidad y el tejido empresarial.

**Ejes habilitadores:** Los ejes habilitadores son aspectos o elementos básicos y transversales que se deben considerar al momento de impulsar una iniciativa de ciudad y/o territorio inteligente, sin importar la dimensión en la que se ubiquen. Los ejes habilitadores muestran que una iniciativa de ciudad o territorio inteligente va más allá de una reflexión de incorporación tecnológica en la ciudad y reflejan el conjunto de capacidades que deben ser desarrolladas en la ciudad o territorio.

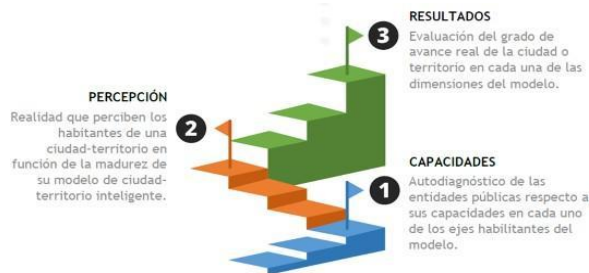
- **Institucionalidad e innovación:** Conjunto de elementos relacionados al ordenamiento de las actividades humanas en la ciudad y/o territorio, la gestión de la innovación y del conocimiento al interior de

las entidades, la ciudad y/o territorio inteligente, y las condiciones normativas y financieras para la formulación e implementación de iniciativas sostenibles operativa y económicamente.

- **Infraestructura e interoperabilidad:** Consolida los elementos que permiten el desarrollo, despliegue y gestión de infraestructura tecnológica de redes y comunicaciones para la apertura e interacción entre los diferentes actores del ecosistema de ciudad y/o territorio. Asimismo, garantiza que los productos y servicios de proveedores dispares puedan intercambiar información y trabajar en forma conjunta.
- **Liderazgo y capital humano:** Comprende los elementos propulsores del liderazgo y el fortalecimiento del capital humano de las entidades para el desarrollo de iniciativas de ciudades y territorios inteligentes, así como el conjunto de conocimientos y habilidades que permiten un uso seguro y eficiente de las tecnologías de la información y las comunicaciones.
- **Tecnología y estándares:** Incluye los aspectos que permiten la incorporación, implementación y gestión de la conectividad, nuevas tecnologías y estándares para la resolución de necesidades, desafíos y retos de la ciudad o el territorio.
- **Analítica y gestión de los datos:** Aspectos relacionados con la disponibilidad y acceso a la información pública, de forma que pueda ser usada, analizada y aprovechada por ciudadanos, academia, sector privado y entidades públicas para apoyar las dinámicas de ciudad y/o territorio, mejorar los procesos de decisión y generar riqueza.

Por lo inmediatamente anterior durante la primera fase correspondiente al “**Business Understanding**”, se procede con la búsqueda de información existente en Colombia respecto a ciudades inteligentes, encontrando que en el país la medición de territorios inteligentes se encuentra a cargo del MinTIC, el cual cuenta con una metodología de medición definida para la caracterización de territorios inteligentes.

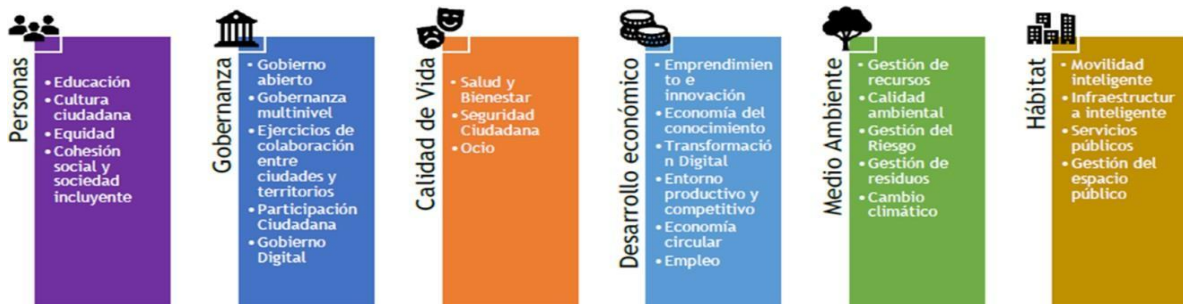
A partir de la propuesta de MinTIC, se establece un modelo de medición de madurez en ciudades y territorios inteligentes por sus siglas MMCTI, contemplando tres mediciones (ver gráfico 2): medición de capacidades, medición de percepción y medición de resultados, que a su vez está compuesto por seis dimensiones (ver gráfico 3): **Personas, gobernanza, calidad de vida, desarrollo económico, medio ambiente y hábitat**, distribuidas en veintinueve subdimensiones (ver gráfico 4); Adicionalmente se tienen cinco ejes habilitadores: Institucionalidad e innovación, infraestructura digital e interoperabilidad, liderazgo y capital humano, tecnología y estándares, analítica y gestión de los datos.



(Gráfico 2: Medición MMCTI)



(Gráfico 3: Dimensiones del MMCTI)



(Gráfico 4: Subdimensiones del MMCTI)

Cabe precisar que este índice mide a las entidades territoriales que se presentan voluntariamente y que hasta la fecha no es una medición que se haga a todo el territorio colombiano, esto es importante para nuestro estudio porque a partir de esta etapa se pudo interpretar que muchos de los municipios del país no tienen el conocimiento de este tipo de mediciones que pueden habilitar para conseguir recursos orientados a las ciudades y territorios inteligentes, muestra de ello, en la siguiente figura, se puede ver un Ranking de ciudades y territorios inteligentes y en las que no están todos los municipios del país.

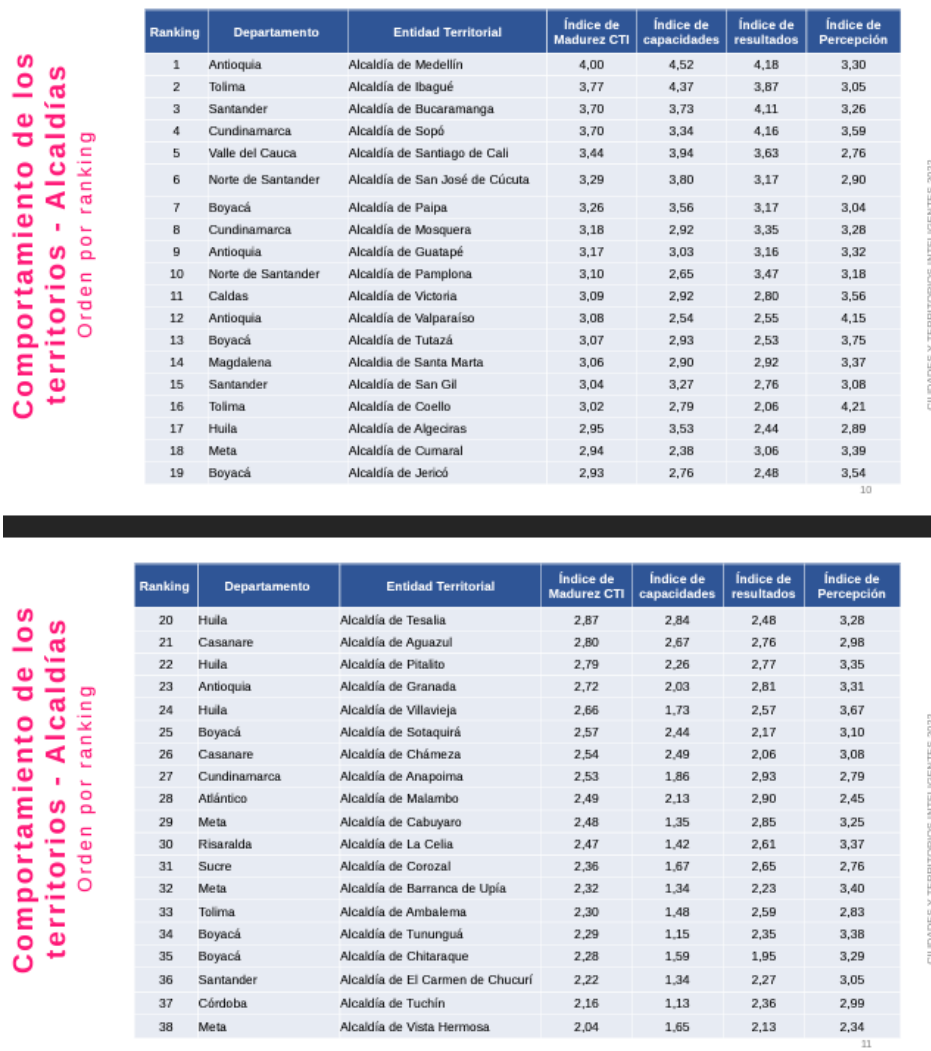


Figura 1: Ranking 2022

En 2022 solo se presentaron 38 ciudades las cuales solo 20 tienen una calificación que las acredita como “ciudad y territorio inteligente” según el índice de medición del MinTIC.

Una vez abordada esta etapa se tiene una mayor noción de la situación actual del MMCTI identificando su

estructura, sus características y los resultados de su implementación en las dimensiones que se contemplan en cada territorio.

A partir de la identificación del modelo de madurez entregado por MinTIC, encontramos que la fuente de los datos para dicha medición, provienen de entidades centralizadas y descentralizadas, dejando entrever que la comunicación y desarrollo se presenta en espectros interseccionales y el desarrollo de un futuro de territorios inteligentes tiene dinámicas específicas dependiendo del territorio.

Desde los municipios o territorios en su mayoría no se relacionan datos que permitan comparar los resultados del gobierno central con el modelo del territorio inteligente, permitiéndonos así visualizar brechas en los datos e identificar oportunidades de mejora tanto en la recolección, presentación y comparación de los indicadores que hacen parte del modelo para cada territorio.

Posteriormente, la metodología CRISP-DM define una segunda etapa para la comprensión de datos **“Data Understanding”**; durante esta fase del proyecto, se realizan actividades de recolección, descripción y exploración de datos; para que puedan presentarse sencillamente facilitando su comprensión. Se inicia con la búsqueda de datos relacionados con el MMCTI y los componentes que lo integran. En esta recopilación se encontró información sobre los tres tipos de medición mencionados, enfatizando en la medición de resultados, que se encuentran directamente relacionados con las dimensiones, subdimensiones, indicadores y fuentes de los datos.

Para determinar el índice de ciudades inteligentes, se evalúa de acuerdo con los porcentajes y rangos estimados previamente por MinTIC, evaluando los KPIS y tomando estos como referencia de arranque para realizar el análisis posterior.

El análisis se parte de la información entregada por MINTIC para el año 2022, relacionada con la medición de resultados, en la cual se pueden observar los siguientes KPIS o indicadores valorados dentro de la evaluación correspondiente a ese año (ver tabla 1):

Tabla 1. Indicadores del MMCTI

Dimensión	Subdimensión	Indicador	Descripción
PERSONAS	Educación	Cobertura neta en educación primaria	Porcentaje de alumnos entre los 7 y 11 años matriculados en primaria, del total de población de la entidad territorial que tiene entre 7 y 11 años
		Cobertura neta en educación secundaria	Porcentaje de alumnos entre los 12 y 15 años matriculados en secundaria, del total de población de la entidad territorial que tiene entre 12 y 15 años
		Cobertura neta en educación media	Porcentaje de alumnos entre los 16 y 17 años matriculados en educación media, del total de población de la entidad territorial que tiene entre 16 y 17 años
		Tasa de deserción intra-Anual del sector oficial en educación básica y media (Desde transición hasta once)	Porcentaje de estudiantes desde transición hasta once que abandonan el sistema escolar antes de que finalice el año lectivo, como proporción de los alumnos matriculados ese año.
		Tasa de repitencia del sector oficial en educación básica y media	Porcentaje de Estudiante que repiten el año escolar
		Tasa de reprobación total	Porcentaje de estudiantes que no aprobaron el año
		Cobertura neta de educación-Total	Porcentaje de alumnos matriculados en las instituciones de educación en el municipio
		Cobertura educación superior pregrado	Porcentaje de alumnos matriculados en pregrado en las instituciones de educación superior en el municipio

		Puntaje promedio Pruebas Saber 11 - Matemáticas	Puntaje promedio que los estudiantes de grado 11 de la entidad territorial alcanzaron en el componente de matemáticas de la prueba Saber 11, al presentarla por primera vez
		Puntaje promedio Pruebas Saber 11 - Lectura crítica	Puntaje promedio que los estudiantes de grado 11 de la entidad territorial alcanzaron en el componente de lectura crítica de la prueba Saber 11, al presentarla por primera vez
		Tasa de analfabetismo	Porcentaje de la población de la entidad territorial que no sabe leer ni escribir
		Cobertura educación superior posgrado	Número de alumnos matriculados en posgrado en las instituciones de educación por cada 1000 habitantes
	Equidad	Coeficiente de Gini	Medición del grado de desigualdad de la distribución del ingreso entre los habitantes de la entidad territorial para el periodo de referencia
		Incidencia de la pobreza monetaria	Porcentaje de la población con ingresos por debajo del mínimo de ingresos mensuales definidos como necesarios para cubrir sus necesidades básicas: se debe tomar como referencia las condiciones particulares de cada municipio
	Sociedad Incluyente	Espacios de participación ciudadana	Tasa de variación de espacios formales de participación ciudadana promovidos o apoyados por la administración municipal con respecto al año anterior (o el último periodo del que se tenga registro)
		Brecha digital	Porcentaje de crecimiento de personas con acceso a internet con respecto al año anterior (o el último periodo del que se tenga registro)
	Cultura Ciudadana	Violencia intrafamiliar	Cantidad de casos de violencia de intrafamiliar que ocurrieron en la entidad territorial (Tasa de violencia intrafamiliar (x cada 100.000 habitantes)

		Promoción de la cultura	Número de eventos o actividades culturales promovidas o apoyadas por la administración municipal con respecto al año anterior (o el último periodo del que se tenga registro)
		Escenarios culturales	Número de escenarios para la promoción de la cultura disponibles en el Municipio (teatros, academias, espacio público, entre otros)
	Cohesión Social	Grupos étnicos	Número de grupos étnicos presentes en el territorio con visibilidad a través de colectivos o agremiaciones (afro, raizales, palenqueros, indígenas y gitanos)
		Capital social	Número de redes organizadas de ciudadanos que favorezcan o promuevan la participación en procesos colectivos
Calidad de Vida	Ocio	Cantidad de bibliotecas adscritas a la Red Nacional de Bibliotecas Públicas	Número de bibliotecas de la entidad territorial adscritas a la Red Nacional de Bibliotecas Públicas
		Escenarios deportivos y recreativos en condiciones de calidad para el desarrollo de programas	El indicador cuantifica el número de escenarios que se encuentran disponibles para el desarrollo de actividades y programas de deporte, recreación, actividad física y aprovechamiento del tiempo libre.
		Uso y apropiación de los servicios ciudadanos digitales	Porcentaje de integración de mecanismos digitales en las entidades municipales ofrecidos para la ciudadanía
		Visitantes a parques nacionales naturales	Tasa de crecimiento en el número de visitantes a parques nacionales naturales
		Prestadoras de Servicios Turísticos activos	Número total de prestadores de servicios turísticos activos en el Registro Nacional de Turismo
	Bienestar	Índice de bienestar económico	Índice de ahorro de las familias y la acumulación de capital tangible: posesión de vivienda propia - Se calculó a partir del Déficit cuantitativo de vivienda (Censo)
		Índice de progreso social	Tasa de variación de personas en el territorio que tienen sus necesidades básicas insatisfechas


	Seguridad Ciudadana	Hurto a personas	Casos de hurto a personas por cada 100.000 habitantes (Tasa de hurtos (x cada 100.000 habitantes))
		Homicidio	casos de hurto a personas por cada 100.000 habitantes (Tasa de homicidios (x cada 100.000 habitantes))
		Número de sentencias delitos contra la administración pública	Número de sentencias de delitos contra la administración pública por cada 100.000 habitantes
	Salud	Tasa de mortalidad del territorio	Casos de mortalidad en el territorio - (Tasa de mortalidad (x cada 1.000 habitantes))
		Hospitales o centros de salud	# de Hospitales o centros de salud por cada 1000 habitantes
		Cobertura de salud	Porcentaje de personas cubiertas por los servicios de salud en el municipio
HÁBITAT	Movilidad Inteligente	Mortalidad por accidentes de transporte terrestre	cantidad de defunciones por accidentes de transporte por cada 100.000 habitantes - (Tasa ajustada de mortalidad por accidentes de transporte terrestre)
		Transporte en medios alternativos	Cantidad de categorías del Sistema Integrado de Transporte Masivo, Metro y Cable según áreas metropolitanas, ciudades y nivel de servicio
		Transporte aéreo según categoría de aeropuerto	Medida estandarizada que calcula el flujo de pasajeros transportados por el aeropuerto
		Vías del municipio	Medida estandarizada de las vías del territorio
		Composición de parque automotor	Porcentaje y caracterización de medios de transporte para uso particular presentes en el municipio: carros y motos (y demás vehículos particulares)

	Infraestructura inteligente	Índice de Sostenibilidad	Medida estandarizada del Índice de sostenibilidad del municipio
		Zonas wifi-públicas	Porcentaje de crecimiento del # de conexiones wifi en espacios públicos respecto al año anterior
		Velocidad de banda ancha	Medida estandarizada: de la Velocidad de bajada banda ancha del territorio
	Servicios públicos	Cobertura de alcantarillado	Porcentaje de viviendas que tienen servicio de alcantarillado
		Cobertura de acueducto	Porcentaje de viviendas que tienen servicio de acueducto
		Cobertura de aseo	Porcentaje de viviendas que tienen servicio de aseo público, con adecuado sistema de gestión de residuos y reciclaje
		Cobertura de Energía Eléctrica	Porcentaje de viviendas que cuentan con energía eléctrica, ya sea a través de los servicios públicos tradicionales o a través de fuentes alternativas (servicios prepagos)
		Cobertura de Gas Natural	Porcentaje de viviendas conectadas a la red pública de gas natural en la entidad territorial, ya sea a través de los servicios públicos tradicionales o a través de fuentes alternativas (carros distribuidores)
		Cobertura de Internet	Porcentaje de viviendas con servicio de Internet ya sea a través de los servicios públicos tradicionales o a través de fuentes alternativas (servicios prepagos)
	Gestión del espacio público	Área municipal rural (uso)	Medida estandarizada del uso adecuado del suelo rural

GOBERNANZA	Gobierno Abierto	Datos abiertos	Número de set de datos emitidos por el municipio disponibles para consulta a través de sus plataformas digitales o las del Gobierno Nacional
		Gobierno abierto y transparencia	Medida estandarizada sobre el indicador de desempeño del territorio referente a Gobierno abierto y transparencia del territorio
	Ejercicios de colaboración	Índice de Gobernanza, participación e instituciones	Medida estandarizada que sobre el Índice de Gobernanza, participación e instituciones del territorio
		Pertenece a esquemas asociativos	Medida estandarizada si el territorio Pertenece a esquemas asociativos
	Participación Ciudadana	Participación electoral	% de votantes sobre población en elecciones municipales
	Gobernanza multinivel	Pertenencia a Asociación de Municipios	Dato que indica si el territorio se forma parte de la Asociación de Municipios
	Gobierno Digital	Índice de desempeño de Gobierno Digital	Indicadores de gobierno digital para el municipio
MEDIO AMBIENTE	Gestión de recursos	Porcentaje en manejo de desastres (Inversión en gestión del riesgo y gestión ambiental)	Medida de porcentaje en manejo de desastres del territorio
		Recursos mineros	Porcentaje del territorio destinado a la explotación minera (con respecto al territorio Colombiano)
		Porcentaje de Inversión en gestión de riesgo como proporción de la inversión total	Porcentaje de Inversión en gestión de riesgo como proporción de la inversión total de cada territorio
		Calidad de Agua total	Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia, para el total del municipio o departamento, expresada en porcentaje (IRCA)

	Calidad ambiental	Índice de cuidado ambiental	Medida estandarizada del Índice de cuidado ambiental de cada municipio
		Porcentaje del área departamental deforestada del municipio	Porcentaje del área departamental deforestada del municipio
	Gestión del riesgo	Porcentaje en conocimiento del riesgo	Inversión de la entidad territorial en conocimiento del riesgo según Ley 1523 de 2012. (Información consolidada a partir del FUT)
		Incendios forestales	Porcentaje de incendios forestales ocurridos en el territorio
		Inundaciones	Porcentaje de inundaciones ocurridas en el territorio
		Índice de riesgo ajustado por capacidades	Indicador que mide el riesgo a nivel municipal ante eventos hidrometeorológicos relacionados con el aumento de precipitaciones y las capacidades de las entidades territoriales para gestionarlo
		Porcentaje en reducción del riesgo	Porcentaje en el valor de reducción del riesgo del municipio
	Gestión de residuos	Sitio de disposición final de residuos sólidos	Categorización según la disposición final de residuos sólidos.
	Cambio climático	Inversión en adaptación al cambio climático	Tasa de crecimiento de inversiones en adaptación al cambio climático frente al año inmediatamente anterior
	DESARROLLO ECONÓMICO	Emprendimiento e innovación	Número de proyectos de investigación e innovación
Grupos de investigación reconocidos (Colciencias)			Cantidad de grupos de investigación reconocidos por Colciencias en cada territorio

	Economía del conocimiento	Índice de complementariedad económica	Medida estandarizada del Índice de complementariedad económica municipal
		Índice de Ciencia, Tecnología e Innovación	Medida estandarizada del Índice de Índice de Ciencia, Tecnología e Innovación del territorio
		Índice de Tecnología	Medida estandarizada del Índice de Tecnología del territorio
		Índice de Ciencia	Medida estandarizada del Índice de ciencia del territorio
		Política 15 - Gestión del Conocimiento	Mide la capacidad de la entidad pública de implementar acciones, mecanismos o instrumentos orientados a generar, capturar, transferir, analizar, difundir y preservar el conocimiento de los servidores públicos.
	Entorno productivo y competitivo	PIB por actividades económicas	Porcentaje del PIB respecto a la(s) actividades económicas de mayor impacto en el municipio, de modo que permita identificar la vocación productiva del territorio
		Índice de Competitividad de Ciudades	Mide el nivel de competitividad de ciudades de Colombia
	Empleo	Hombres empleados	Porcentaje de la población masculina, en edad de trabajar, empleada (cotizante)
		Mujeres empleadas	Porcentaje de la población femenina, en edad de trabajar, empleada (cotizante)
		Número de empresas generadoras de empleo formal por cada 10.000 habitantes	Cuantifica el número de empresas generadoras de empleo formal por cada 10.000 habitantes

		MODELO PROBABILÍSTICO QUE EVIDENCIA LOS FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO PARA EL DESARROLLO DE UN TERRITORIO INTELIGENTE EN COLOMBIA.		Página 43 de 83	
		Porcentaje de personas ocupadas formalmente con respecto a la población total	Porcentaje de personas ocupadas formalmente con respecto a la población total del territorio		
	Transformación digital	Disponibilidad de oferta educativa	Número de programas de formación en carreras STEM -(tasa de variación de programas STEM en los últimos 3 años consecutivos)		
		Personal capacitado	Número de estudiantes del municipio matriculados en carreras STEM -(tasa de variación de matriculados en STEM en los últimos 3 años consecutivos)		
		Penetración de banda ancha	Porcentaje de hogares con acceso dedicado a Internet (suscriptores)		
	Economía circular	Número de empresas B	Número de empresas B (B Corporation) en la ciudad: certificadas o no		
		Cantidad de empresas registradas en el portafolio de negocios verdes del Ministerio de Ambiente	Cuantifica el número de empresas del territorio registradas en el portafolio de negocios verdes del Ministerio de Ambiente		

(Fuente: Modelo de Madurez – MinTIC.)

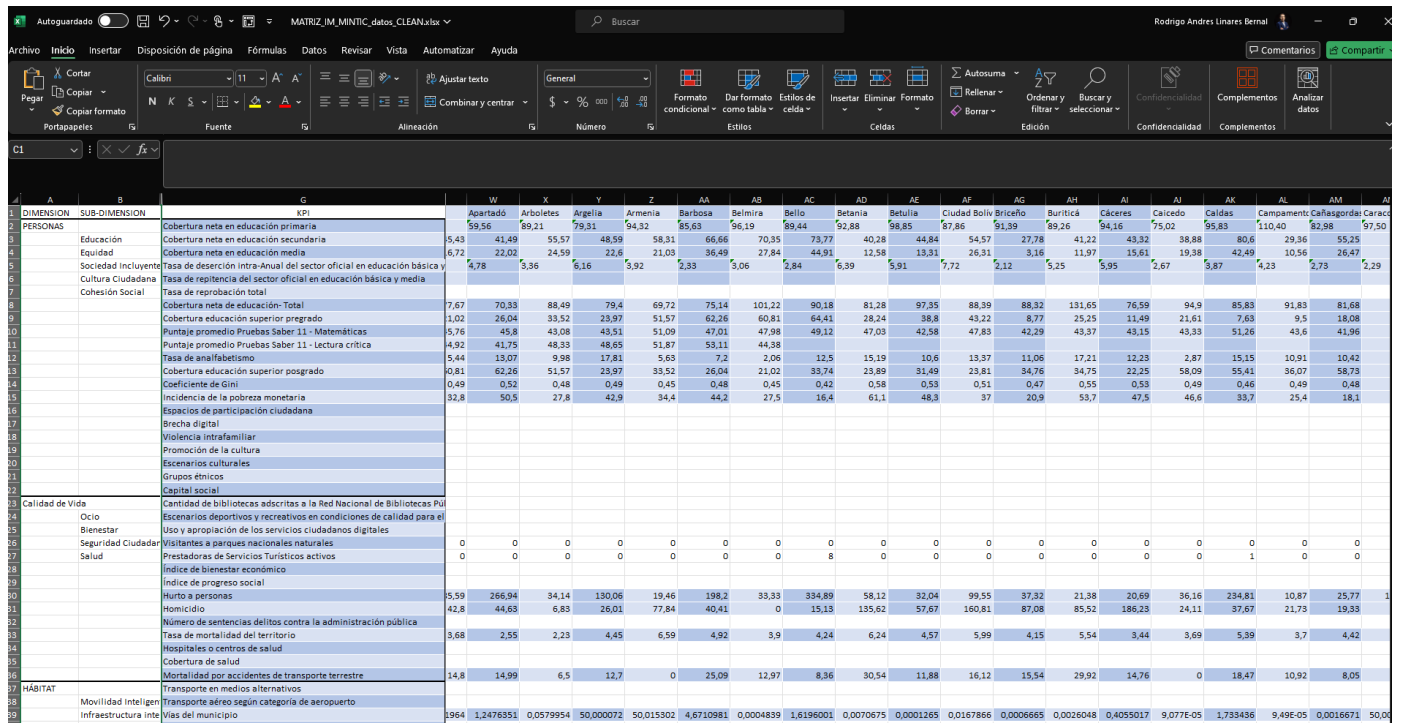
Finalmente, para la comprensión del objeto de estudio se realiza la recolección, descripción y exploración de datos; de forma tal, que puedan presentarse de manera sencilla a través de la construcción de una matriz para consolidar los datos, facilitando el análisis de los resultados.

Por otro lado, durante la tercera etapa Preparación de Datos **“Data Preparation”** se inicia con la limpieza de datos, aplicando diferentes técnicas que permiten su discretización, normalización o imputación, continuando con su procesamiento, clasificación y categorización por entidad y fuente.

Para la construcción de la matriz anteriormente mencionada se tuvieron en cuenta diferentes fuentes de datos relacionadas con el MMCTI encontrando que la mayoría de los datos provienen de información del año 2018, como también que las principales fuentes de datos son generadas por portales tales como: Terridata, Dane y DNP.

A partir tanto de las identificaciones como de las clasificaciones descritas, como se mencionó anteriormente, se procede a la construcción de una matriz la cual permita consolidar los resultados recopilados para cada

uno de los 1.101 municipios del país, respecto a la validación metodológica correspondiente a la ponderación (peso porcentual de los indicadores) acorde con el MMCTI, se asignan los puntajes correspondientes al nivel de madurez de la ciudad y/o territorio en cada una de las variables, de manera que se garantice que al aplicar la herramienta, la totalidad de los indicadores tengan el mismo peso y se pueda obtener un nivel de madurez para cada dimensión coherente con la metodología propuesta en la medición de percepción y de capacidades, permitiendo de esta forma alimentar nuestra matriz con los resultados encontrados en las cada una de las fuentes.



DIMENSION	SUB-DIMENSION	KPI	Apartadó	Arboletes	Argelia	Armenia	Barbosa	Belmira	Bello	Betania	Betulia	Ciudad Bolívar	Briceno	Buriticá	Cáceres	Caicedo	Caldas	Campamento	Casagrande	Caracas
PERSONAS	Educación	Cobertura neta de educación primaria	59,56	69,21	79,31	94,32	85,63	96,19	89,44	92,88	98,85	87,86	91,39	69,26	94,16	75,02	95,83	110,40	82,98	97,50
		Cobertura neta de educación secundaria	5,43	41,49	55,57	48,59	58,31	66,66	70,35	73,77	40,28	44,84	54,57	27,78	41,22	43,32	38,88	80,6	29,36	55,25
	Equidad	Cobertura neta en educación media	6,72	22,02	24,59	22,6	21,03	36,49	27,84	44,91	12,58	13,31	26,31	3,16	11,97	15,61	19,38	42,49	10,56	26,49
		Tasa de deserción intra-Anual del sector oficial en educación básica y media	4,78	3,36	5,16	5,92	2,33	5,06	2,84	6,39	5,91	7,72	2,12	5,25	5,95	2,67	5,87	4,23	2,73	2,29
	Sociedad Incluyente	Tasa de repitencia del sector oficial en educación básica y media	7,67	70,33	88,49	79,4	69,72	75,14	101,22	90,18	81,28	97,35	88,39	88,32	131,65	76,59	94,9	85,83	91,83	81,68
		Cobertura neta de educación superior	1,02	26,04	33,52	23,97	51,57	62,26	60,81	64,41	28,24	38,8	43,22	8,77	25,25	11,49	21,61	7,63	9,5	18,08
	Cultura Ciudadana	Puntaje promedio Pruebas Saber 11 - Matemáticas	5,76	45,8	43,08	43,51	51,09	47,01	47,98	49,12	47,03	42,58	47,83	42,29	43,37	43,15	43,33	51,26	43,6	41,96
		Puntaje promedio Pruebas Saber 11 - Lectura crítica	4,92	41,78	48,33	48,65	51,87	53,11	44,38											
	Cohesión Social	Tasa de analfabetismo	5,44	13,07	9,98	17,81	5,63	7,2	2,08	12,5	15,19	10,6	13,37	11,06	17,21	12,23	2,87	15,15	10,91	10,42
		Cobertura educación superior posgrado	0,81	62,26	51,57	23,97	33,52	26,04	21,02	33,74	23,89	31,49	23,81	34,76	34,75	22,25	58,09	55,41	36,07	58,73
	Calidad de Vida	Coefficiente de Gini	0,49	0,52	0,48	0,49	0,45	0,48	0,45	0,42	0,58	0,53	0,51	0,47	0,55	0,53	0,49	0,46	0,49	0,48
		Incidencia de la pobreza monetaria	32,8	50,5	27,8	42,9	34,4	44,2	27,5	16,4	61,1	48,3	37	20,9	53,7	47,5	46,6	33,7	25,4	18,1
	HÁBITAT	Capital social	Escenarios de participación ciudadana																	
			Brecha digital																	
		Buenestar	Violencia intrafamiliar																	
Promoción de la cultura																				
Seguridad Ciudadana		Escenarios culturales																		
		Grupos étnicos																		
Salud		Cantidad de bibliotecas adscritas a la Red Nacional de Bibliotecas Pú																		
		Escenarios deportivos y recreativos en condiciones de calidad para el																		
Movilidad Inteligente		Uso y apropiación de los servicios ciudadanos digitales																		
		Visitantes a parques nacionales naturales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infraestructura Inteligente	Prestadores de Servicios Turísticos activos	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	Índice de bienestar económico																			
Infraestructura Inteligente	Índice de progreso social																			
	Hurto a personas	5,59	266,94	34,14	130,06	19,46	198,2	33,33	334,89	58,12	32,04	99,55	37,32	21,38	20,69	36,16	234,81	10,87	25,77	
Infraestructura Inteligente	Homicidio	42,8	44,63	6,83	26,01	77,84	40,41	0	15,13	135,62	57,67	160,81	87,08	85,52	186,23	24,11	37,67	21,73	19,33	
	Número de sentencias delitos contra la administración pública																			
Infraestructura Inteligente	Tasa de mortalidad del territorio	3,68	2,55	2,23	4,45	6,59	4,92	3,9	4,24	6,24	4,57	5,99	4,15	5,54	3,44	3,69	5,39	3,7	4,42	
	Hospitales o centros de salud																			
Infraestructura Inteligente	Cobertura de salud																			
	Mortalidad por accidentes de transporte terrestre	14,8	14,99	6,5	12,7	0	25,09	12,97	8,36	30,54	11,88	16,12	15,54	29,92	14,76	0	18,47	10,92	8,05	
Infraestructura Inteligente	Transporte en medios alternativos																			
	Transporte aéreo según categoría de aeropuerto																			
Infraestructura Inteligente	Vías del municipio	1,964	1,247,6351	0,057,9954	50,000072	50,015502	4,6710981	0,0004839	1,6196001	0,0070675	0,0001265	0,0167866	0,0006665	0,0026048	0,4055017	9,077E-05	1,733436	9,49E-05	0,0016671	50,0

Figura 2: Matriz reproducción índice

Se anexa la matriz creada.

Al realizar el análisis de la matriz de datos se puede identificar la carencia significativa y atemporalidad de los datos respecto a la totalidad de los territorios con sus diferentes dimensiones y subdimensiones de la medición de los resultados por parte del MMCTI.

Al consolidar la información, algunos KPI no cuentan con datos porque algunos no están disponibles o corresponden a datos privados, por lo que hay que descartar los KPI que no cuentan con información.

Se genera una hoja llamada Matriz con los KPI eliminando los datos nulos o datos sin información, según el planteamiento de MinTIC inicialmente se contaba con 87 KPI, luego de la limpieza de los datos, se tienen 27 KPI con información para ser evaluada, considerando que es un indicador válido ya que se encuentran

representadas cada una de las dimensiones permitiendo su evaluación, es por esto que se puede proceder con la construcción y reproducción del cálculo actual del Índice de Ciudades y Territorios Inteligentes (ICTI) evaluando de acuerdo con lo establecido por la metodología descrita por MinTIC, obteniendo la calificación por cada uno de los municipios del país. Esto puede servir como variable dependiente para la evaluación de nuestro modelo en la siguiente fase. Se agregó esta columna a la matriz.

Una vez se realiza la reproducción del índice se compara el valor mostrado en el ranking con los obtenidos para las 38 ciudades evaluadas

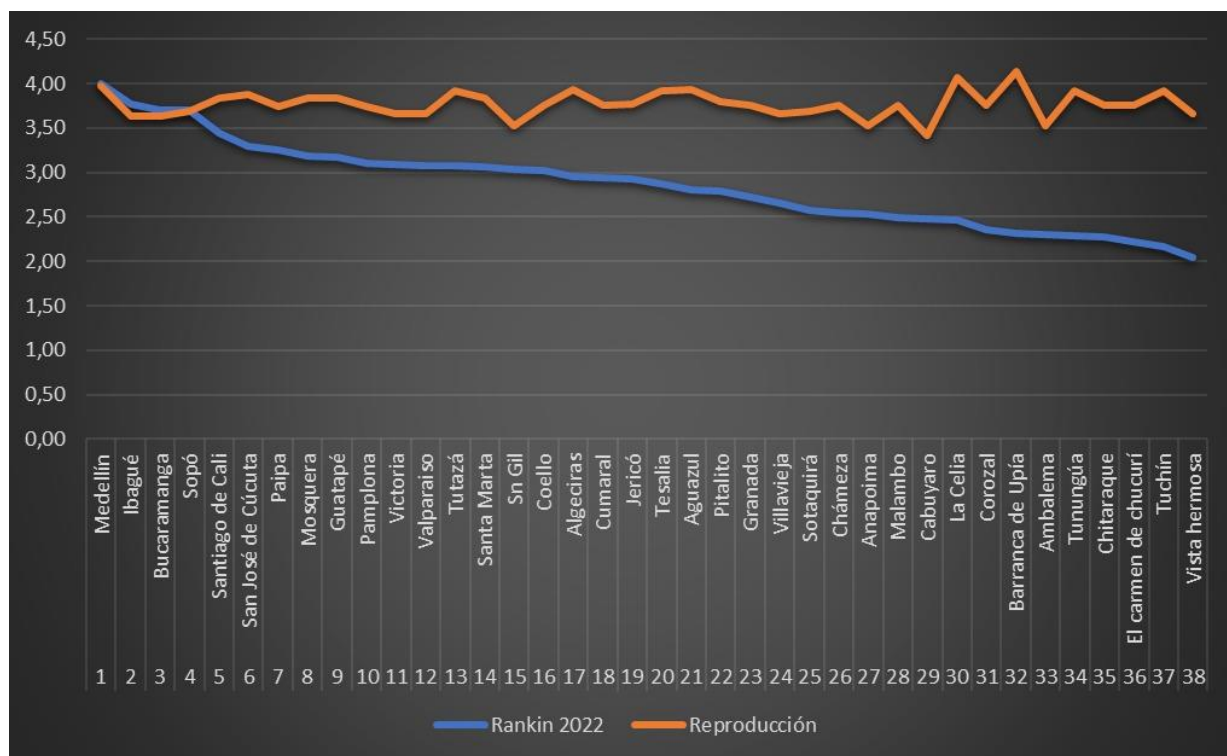


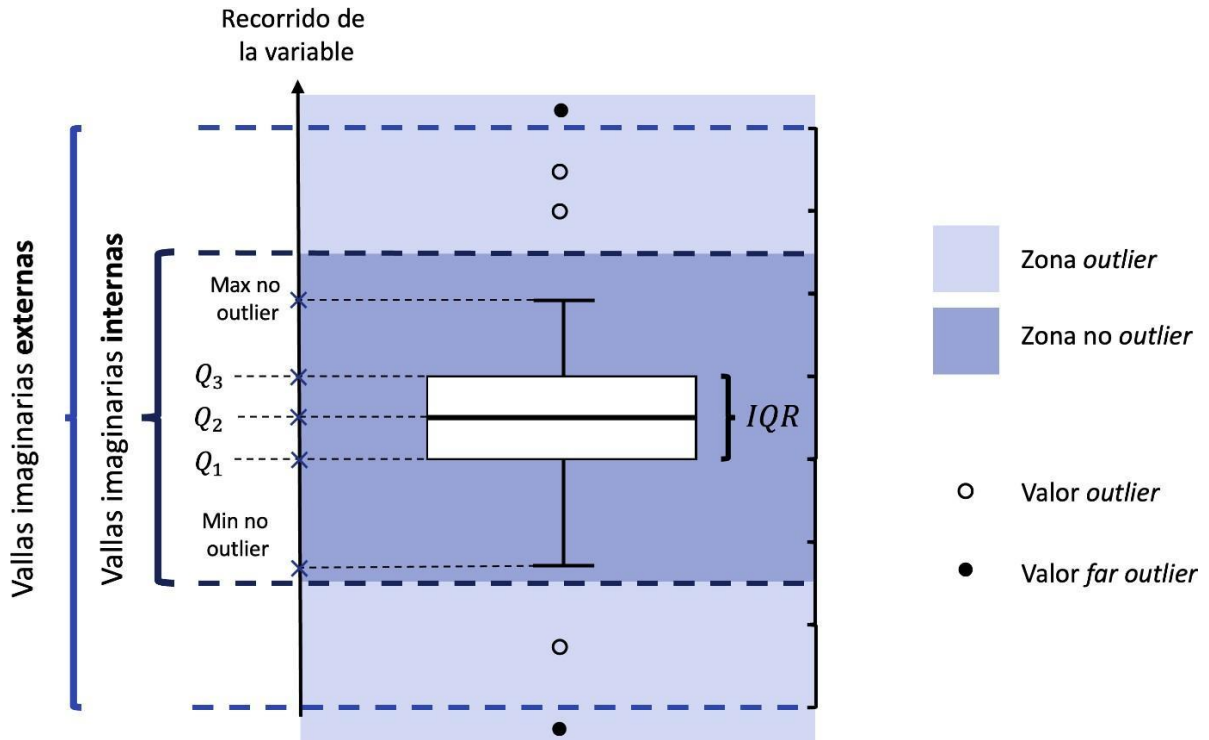
Grafico 5: Ranking vs Reproducción índice

El modelado “**Modeling**” se realiza en la cuarta etapa, para obtener el modelo de minería de datos. En esta altura del proyecto, se realiza la selección de la técnica de modelado en concordancia con los datos y herramientas disponibles.



En el recorrido de la variable se ubican las medidas resumen descritas y se visualizan en forma de caja, esta escala es usualmente ubicada en el eje yy (al cambiar la ubicación del recorrido de la variable para el eje xx, la orientación del gráfico resulta horizontal sin pérdida de información alguna). (Ver gráfico 6)

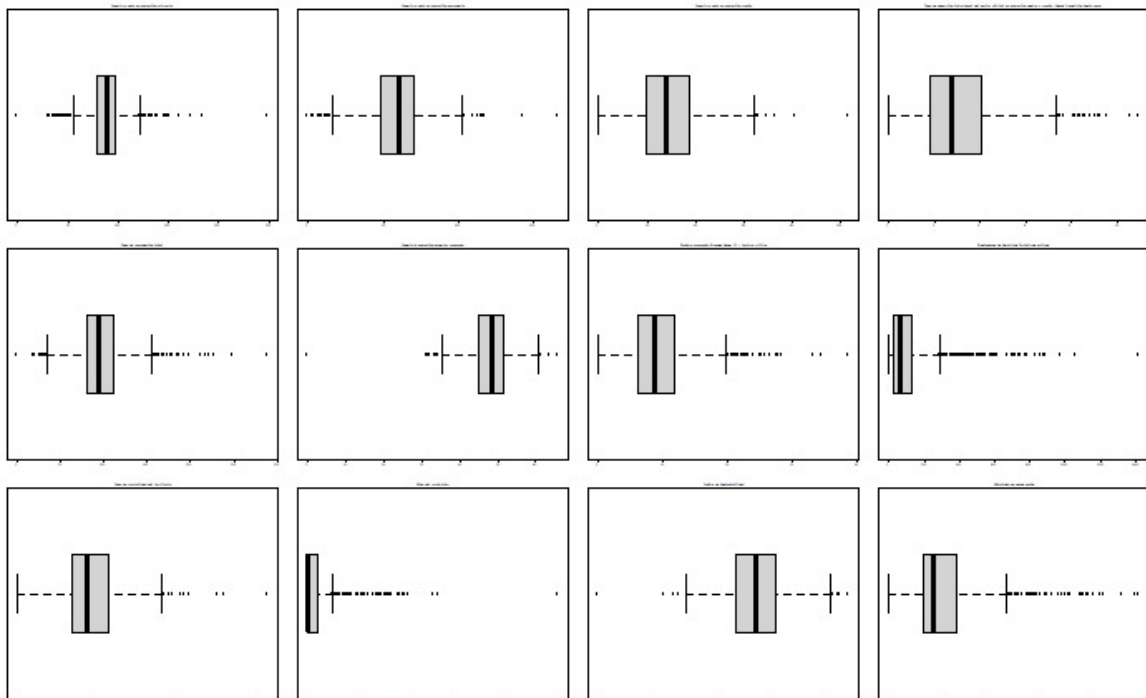
Gráfico 6: Definición BoxPlot R



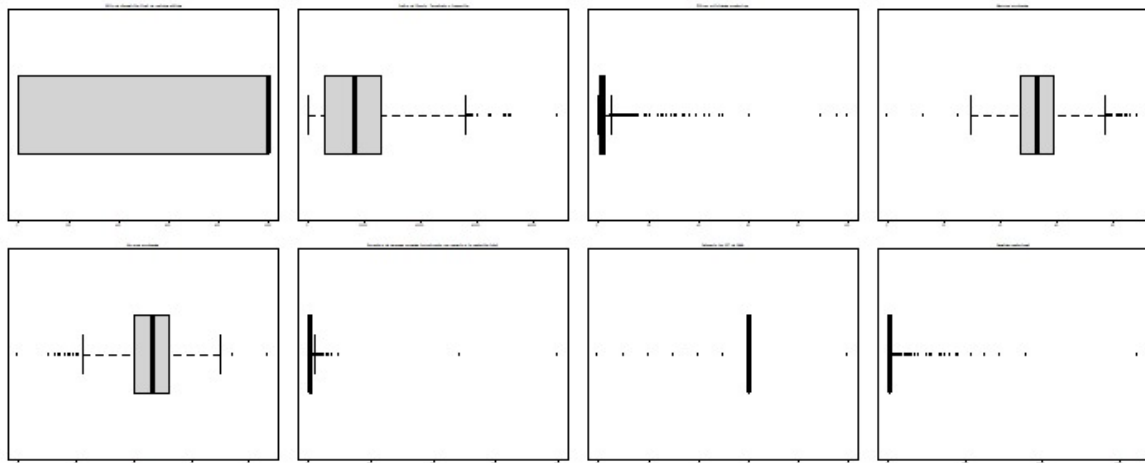
(Fuente: Material de clase. Sesión 1. Análisis Estadístico de Datos)

Se evidencian además los bigotes del diagrama, los cuales se extienden hasta la máxima y mínima observación no outlier. Estos permiten, con ayuda de la caja, determinar características de forma (simetría y apuntamiento) en los datos. En conjunto, el análisis del Boxplot permite de manera gráfica y a partir de la descripción numérica de los datos, un entendimiento de la centralidad, localización, dispersión, forma y atipicidades de los datos cuantitativos univariados.

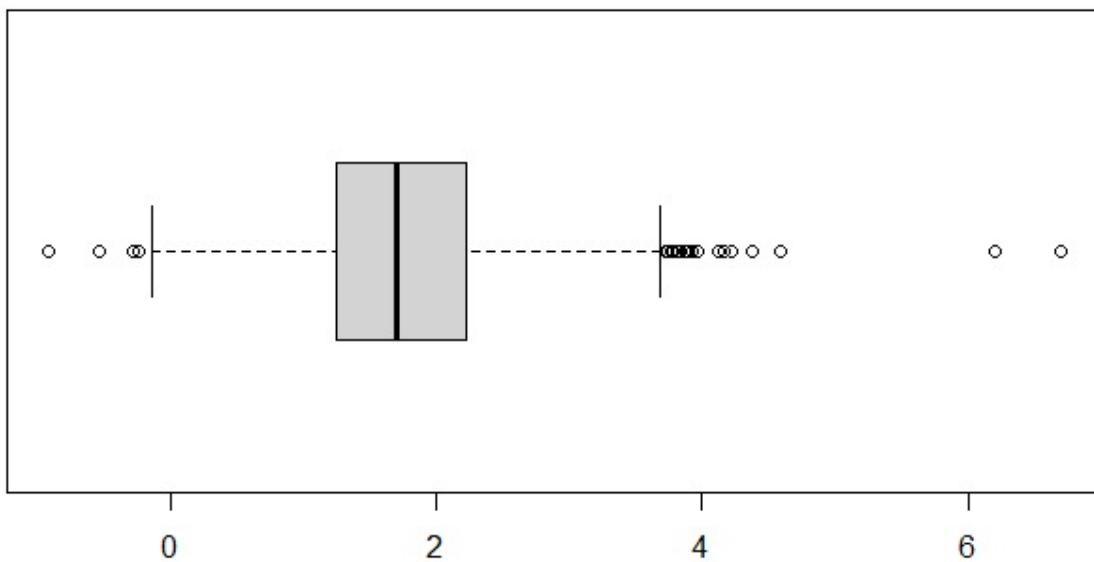
Con los datos recolectados se pudo obtener los gráficos de R, los cuales se muestran en las imágenes 1, 2 y 3



(Figura 4 Boxplot R Studio)



(Figura 5: Boxplot R Studio)

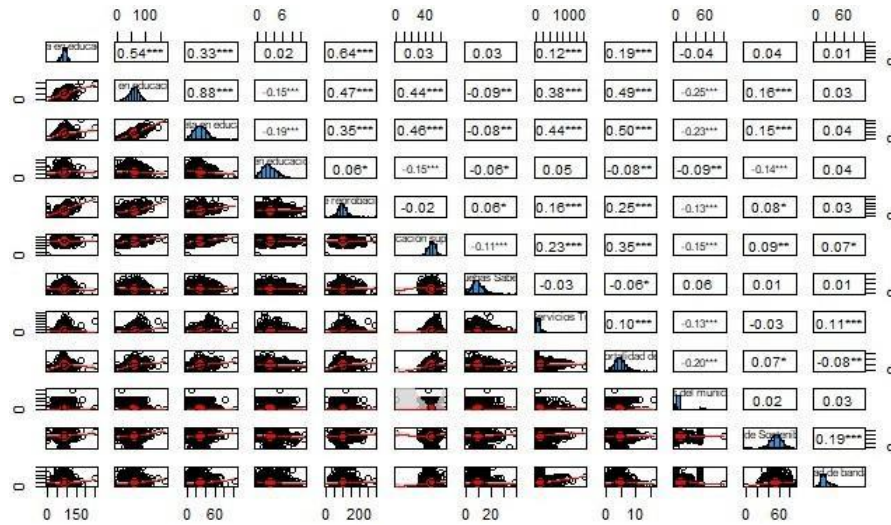


(Figura 6: Boxplot R Studio)

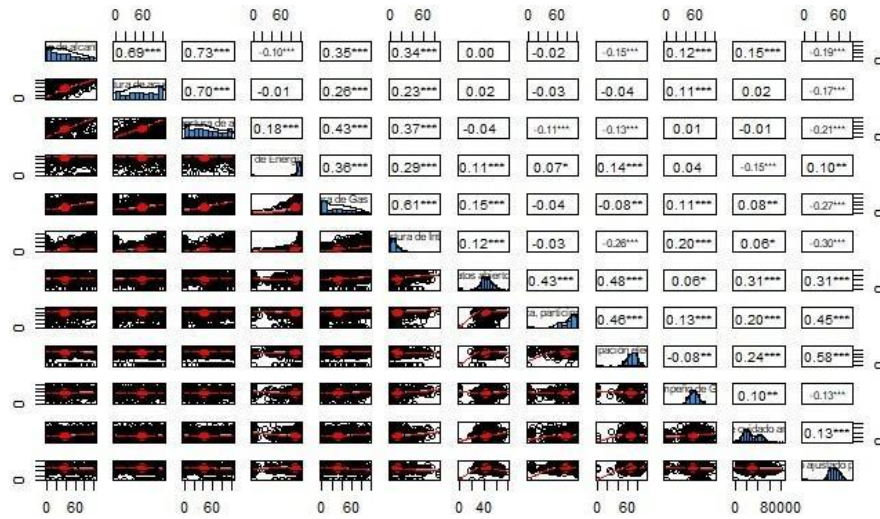
Inicialmente los outliers no se quitaron, se hizo un trabajo de tratamiento de logaritmo a las variables outliers para condensar la información, encontrando una ambigüedad en los resultados arrojados, posteriormente se descartan las variables que no sirven por ser cualitativas.

Se continúa el análisis con la gráfica de varianza y covarianza, permitiendo encontrar que los gráficos debajo de la diagonal principal son gráficos de dispersión que muestran el 1 a 1 de los individuos en nuestra base de datos, encontrando estructuras de correlación dos a dos en las variables; en la diagonal principal están los histogramas de frecuencia y las densidades estimadas de las variables en estudio; los valores sobre la diagonal principal hacen referencia al valor de la correlación lineal de Pearson entre las variables, y los acompañan a

la significancia de una prueba de hipótesis sobre esta esta estadística. (Ver imágenes 4, 5, 6)



(Figura 7: Varianza y dispersión R Studio)



(Figura 8: Varianza y dispersión R Studio)



En la gráfica no hay correlaciones fuertes entre las variables, excepto por un par de variables en un rango  $>70\%$ , esto nos puede afectar en el cálculo del modelo pero como son variables que vienen del ICTI no podemos descartarlas ya que a partir de las 32 variables la respuesta del modelo será una distribución normal. Considerando que los conjuntos de datos multivariados pueden ser complejos y difíciles de analizar, es necesaria la reducción de la dimensionalidad para transformar estas variables en variables más pequeñas y manejables, manteniendo la mayor cantidad posible de información original.

El análisis de componentes principales (ACP o PCA por sus siglas en inglés) nos permite resumir y visualizar la información en un conjunto de datos que contiene individuos/observaciones descritas por múltiples variables cuantitativas interrelacionadas. El análisis de componentes principales se utiliza para extraer la información importante de una tabla de datos multivariada y para expresar esta información como un conjunto de pocas variables nuevas llamadas componentes principales. Estas nuevas variables corresponden a una combinación lineal de las originales. El número de componentes principales es menor o igual que el número de variables originales.

La información en un conjunto de datos dado corresponde a la variación total que contiene. El objetivo de PCA es identificar direcciones (o componentes principales) a lo largo de las cuales la variación en los datos es máxima. En otras palabras, PCA reduce la dimensionalidad de los datos multivariados a dos o tres componentes principales, que se pueden visualizar gráficamente, con una mínima pérdida de información.

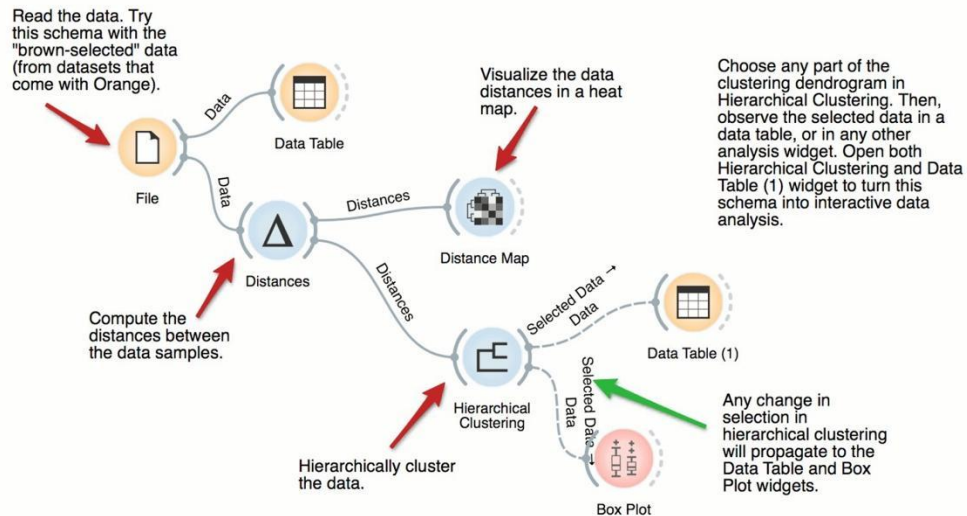
El análisis de componentes principales es la identificación de la combinación lineal de variables que proporciona la máxima variabilidad.

Para poder ver gráficamente cómo se relacionan las Componentes y las variables se gráfica un biplot. Este incluye la posición de cada muestra en términos de las Componentes Principales PC1 y PC2 y también muestra cómo las variables se pueden visualizar como vectores.

Un biplot es un tipo de gráfico que le permitirá visualizar cómo las muestras se relacionan entre sí en nuestro PCA (qué muestras son similares y cuáles son diferentes) y simultáneamente revelará cómo cada variable contribuye a cada componente principal. Ver figuras 10 y 11.



obtienen con la toma de resultados hasta este momento, se explora con una segunda herramienta para el análisis con el software Orange Data Mining (Ver figuras 12 y 13).



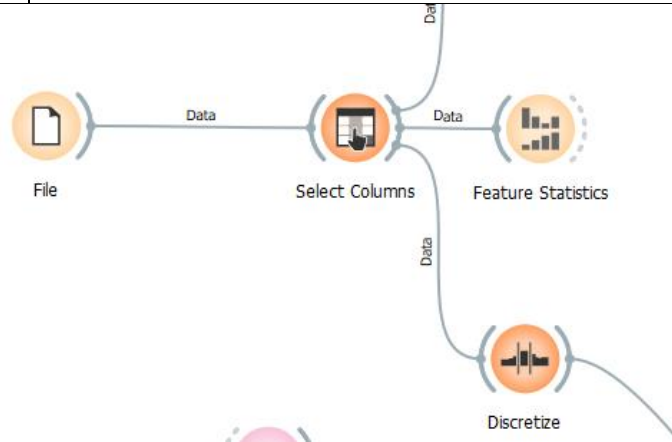
(Figura 12: Orange Data Mining)

De acuerdo con lo establecido por Oscar Schmitz CEO y Fundador, Orange Data Mining es un software de minería de datos de código abierto que se utiliza para visualizar, analizar y modelar datos.

Orange proporciona una interfaz gráfica de usuario que permite a los usuarios crear flujos de trabajo de minería de datos, arrastrando y soltando widgets en una paleta. Los widgets pueden ser desde una simple tabla de datos, una gráfica, un modelo de aprendizaje automático, o incluso una interfaz personalizada.

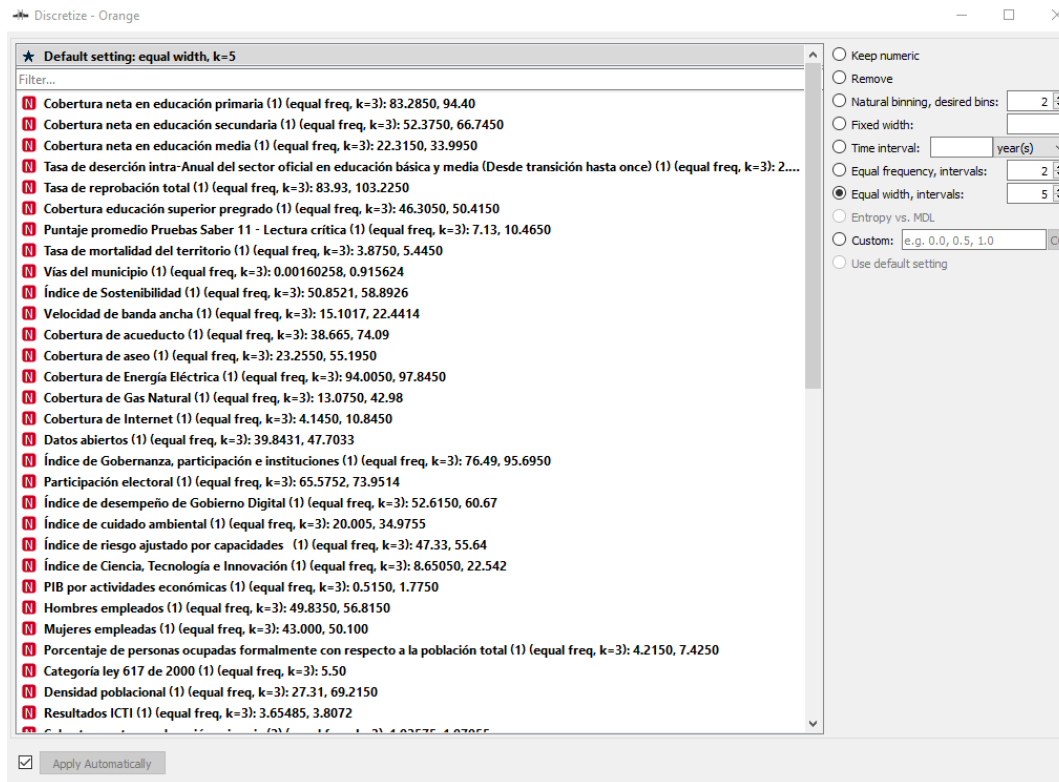
El software es capaz de realizar tareas como pre procesamiento de datos, clasificación, regresión clustering análisis de redes, visualización de datos y más. También es compatible con muchos formatos de archivo de datos incluyendo CSV, Excel, SQL entre otros. Además, la comunidad de usuarios de Orange es muy activa, lo que significa que hay muchos recursos disponibles en línea, como tutoriales, videos y documentación, así como una amplia gama de widgets personalizados desarrollados por la comunidad.

Iniciando con el análisis de nuestros datos, se realiza la carga o ingesta de datos en Orange, seleccionando el archivo construido como matriz y con los datos limpios y listos para analizar:



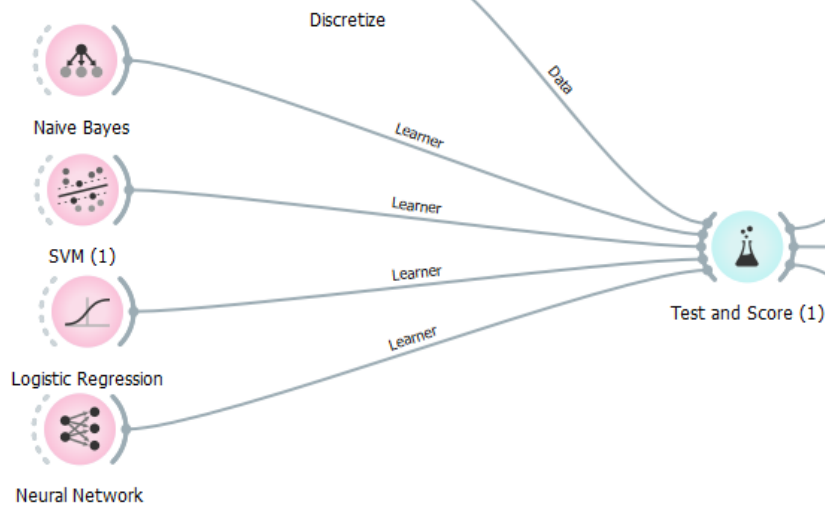
(Figura 13: Orange Data Mining)

Continuamos con una discretización de las variables, con rangos divididos por 4. Para la evaluación del modelo, ya que la discretización nos sirve para agrupar y dar un lugar a cada una de las entidades dentro de un plano cartesiano.



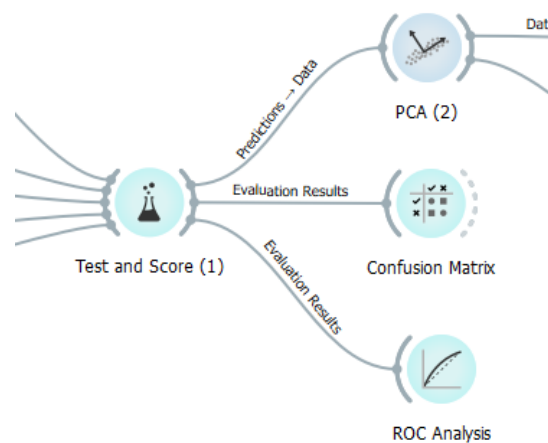
(Figura 14: Discretización variables)

A partir de lo anterior, se procede a evaluar los diferentes modelos, con una herramienta dentro de Orange, que permite hacer la evaluación conociendo cuál es el modelo que mejor se ajusta a los datos que hemos provisto.



(Figura 15: Modelos Orange)

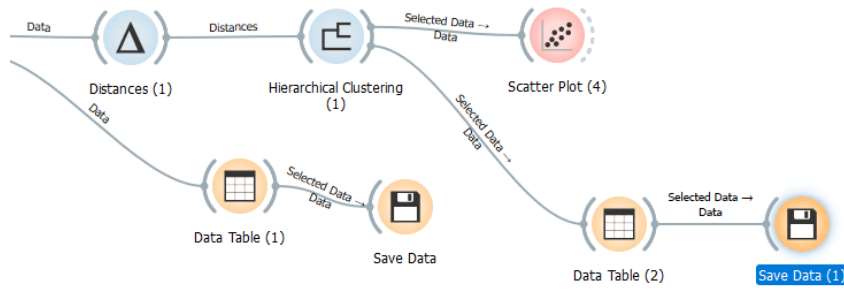
Posteriormente se hace el análisis de ROC que nos indica si el resultado de los modelos es válido o no es válido. También hacemos la matriz de confusión que nos indica los valores de cada modelo con respecto a los datos que posteriormente se describe en este documento y finalmente se puede ver el análisis de PCA de los datos con respecto al modelo que se ha escogido, Naive Bayes, por el tipo de datos que tenemos y por la confianza mostrada en la matriz de confusión.



(Figura 16: Análisis ROC)

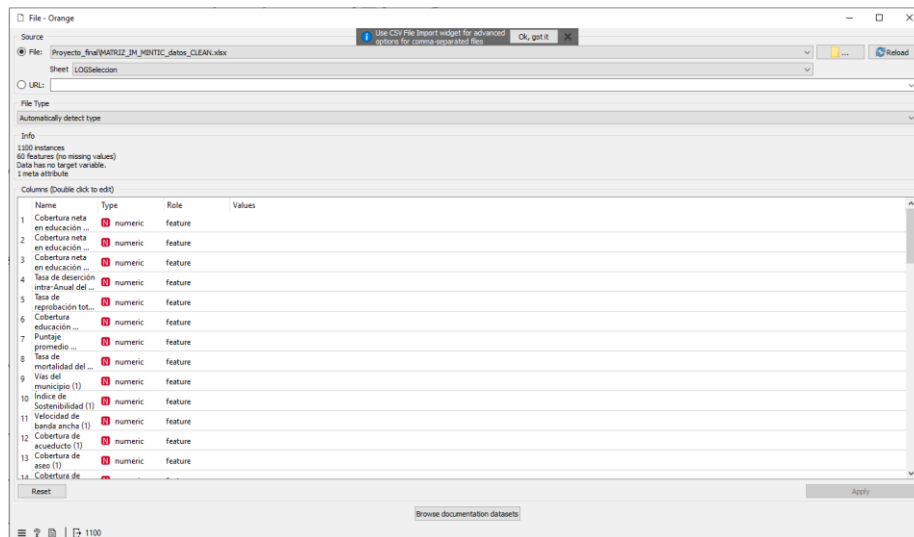
Finalmente se realiza un análisis de cluster respecto al modelo y al resultado del análisis de PCA lo cual nos da un orden de los datos por entidad (alcaldía) que permite asociar diferentes territorios como similares y posteriormente hacer una visualización de los datos con el scatter plot. De aquí podemos asociar alcaldías

con características similares y tener los primeros resultados del proyecto.



(Figura 17: Modelamiento de los datos en Orange Data Mining)

En Orange se puede traer la selección de los datos brutos sin análisis o la selección de los logaritmos de los KPI o variables revisadas previamente, para ajustar escala, para ajustar el modelo probabilístico a usar. Esto es una gran ventaja por el tipo de información que se maneja, se opta por su automatización estratégica. (Ver figura 18)



(Figura 18. Selección de variables a usar en el modelo)

A medida que los datos se introducen en el modelo, esté ajusta sus ponderaciones hasta que dicho modelo se haya ajustado adecuadamente, como parte del proceso de validación cruzada. El aprendizaje supervisado, conocido como machine learning supervisado, es una subcategoría del machine learning y la inteligencia artificial. Continuando con las definiciones de los algoritmos de aprendizaje supervisado presentes en Orange, encontramos:

Redes neuronales (Neural Network) que se utilizan principalmente para los algoritmos de deep learning, procesan los datos de entrenamiento imitando la interconectividad del cerebro humano a través de capas de nodos.

Cada nodo se compone de entradas, pesos, un sesgo (o umbral) y una salida. Si esa salida excede un umbral dado, "dispara" (o activa) el nodo, pasando datos a la siguiente capa en la red. Las redes neuronales aprenden esta función de mapeo a través del aprendizaje supervisado, ajustándose en función de la función de pérdida a través del proceso de descenso de gradiente. Cuando la función de costo es igual o cercana a cero, podemos confiar en la precisión del modelo para obtener la respuesta correcta.

Naive Bayes es un enfoque de clasificación que adopta el principio de independencia condicional de clase del Teorema de Bayes. Esto significa que la presencia de una característica no afecta la presencia de otra en la probabilidad de un resultado dado, y cada predictor tiene el mismo efecto en ese resultado. Hay tres tipos de clasificadores bayesianos ingenuos: multinomial, de Bernoulli y Gaussiano.

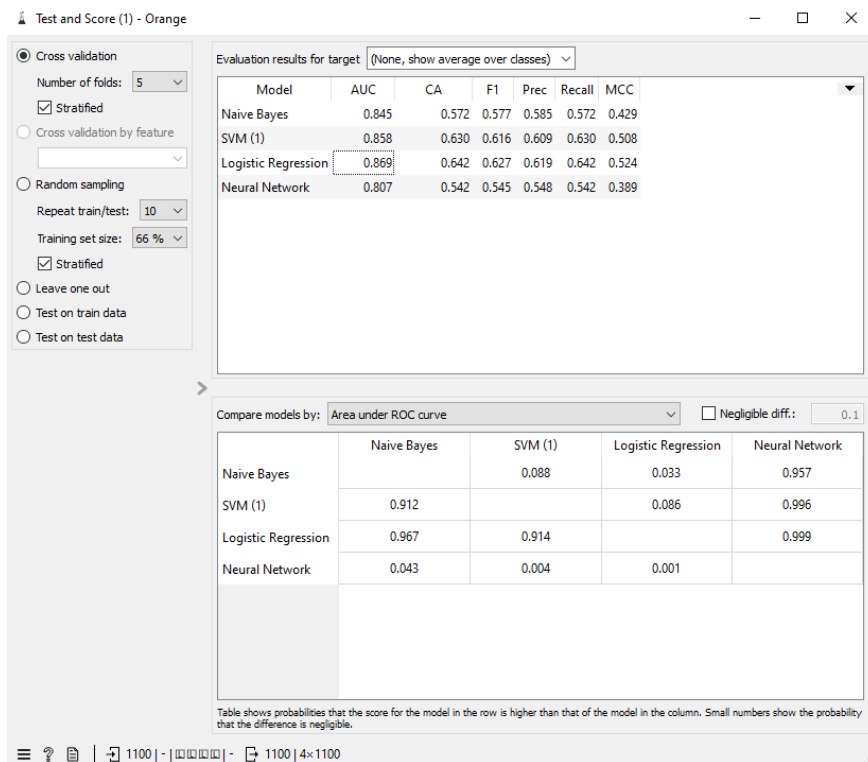
La regresión logística se selecciona cuando la variable dependiente es categórica, lo que significa que tienen resultados binarios, como "verdadero" y "falso" o "sí" y "no". La regresión logística se utiliza para resolver problemas de clasificación binaria, como la identificación de spam.

Máquinas de vectores de soporte (SVM) es un popular modelo de aprendizaje supervisado desarrollado por Vladimir Vapnik, que se utiliza tanto para la clasificación como para la regresión de datos. SVM generalmente se aprovecha para problemas de clasificación, construyendo un hiperplano donde la distancia entre dos clases de puntos de datos es máxima. Este hiperplano se conoce como el límite de decisión, que separa las clases de puntos de datos (por ejemplo, naranjas frente a manzanas) en ambos lados del plano.

La evaluación del modelo **“Evaluation”** es propia de la quinta etapa, en donde, partiendo de diferentes métricas estadísticas, se propicia la posibilidad para comparar con resultados previos o con apoyo de expertos. Los resultados de esta fase requieren un análisis para determinar si se continúa con la siguiente etapa de implementación, o si, por el contrario, es necesario hacer algún ajuste o incluso, reiniciar el proyecto.

Dentro del análisis adelantado en Orange, se procede a realizar la prueba o test de los modelos probabilísticos o algoritmos sobre los datos. En este widget están disponibles diferentes esquemas de muestreo, incluido el uso de datos de prueba separados. El widget hace dos cosas. Primero, muestra una tabla con diferentes medidas de desempeño del clasificador, como la precisión de la clasificación y el área bajo la curva. En

segundo lugar, genera resultados de evaluación, que pueden ser utilizados por otros widgets para analizar el rendimiento de los clasificadores, como ROC Analysis o Confusion Matrix. Encontrando que los modelos con los números más altos o que tienden a uno son los que se comportan mejor. Para este caso encontramos que los modelos que más se acerca a uno son Bayes y regresión logística. (Ver figura 19)



(Figura 19: Test and Score Orange)

### Descripción de los resultados de una evaluación de modelos

La tabla muestra los resultados de una evaluación de cuatro modelos de aprendizaje automático: Naive Bayes, SVM, Regresión logística y Red neuronal. Los modelos se evaluaron en función de seis métricas: AUC, CA, F1, Precisión, Recuerdo y MCC.

- AUC (Área bajo la curva ROC)

La AUC es una medida de la capacidad de un modelo para distinguir entre clases positivas y negativas. Una puntuación de AUC más alta indica un mejor rendimiento del modelo. En esta tabla, el modelo de Regresión logística tiene la puntuación de AUC más alta (0,869), seguido de SVM (0,858), Naive Bayes (0,845) y Red neuronal (0,807).

- CA (Precisión)

La CA es la proporción de predicciones correctas realizadas por el modelo. Una puntuación de CA más alta indica un mejor rendimiento del modelo. En esta tabla, el modelo de Regresión logística tiene la puntuación de CA más alta (0,642), seguido de SVM (0,63), Naive Bayes (0,572) y Red neuronal (0,542).

- F1 (Puntaje F1)

La F1 es una medida del equilibrio entre la precisión y la sensibilidad del modelo. Una puntuación de F1 más alta indica un mejor rendimiento del modelo. En esta tabla, el modelo de Regresión logística tiene la puntuación de F1 más alta (0,627), seguido de SVM (0,616), Naive Bayes (0,577) y Red neuronal (0,545).

- Precisión

La precisión es la proporción de predicciones positivas correctas realizadas por el modelo. Una puntuación de precisión más alta indica un mejor rendimiento del modelo para las instancias positivas. En esta tabla, el modelo de Naive Bayes tiene la puntuación de precisión más alta (0,585), seguido de Regresión logística (0,619), SVM (0,609) y Red neuronal (0,548).

- Recuerdo

El recuerdo es la proporción de instancias positivas correctamente identificadas por el modelo. Una puntuación de recuerdo más alta indica un mejor rendimiento del modelo para las instancias positivas. En esta tabla, el modelo de SVM tiene la puntuación de recuerdo más alta (0,63), seguido de Regresión logística (0,642), Naive Bayes (0,572) y Red neuronal (0,542).

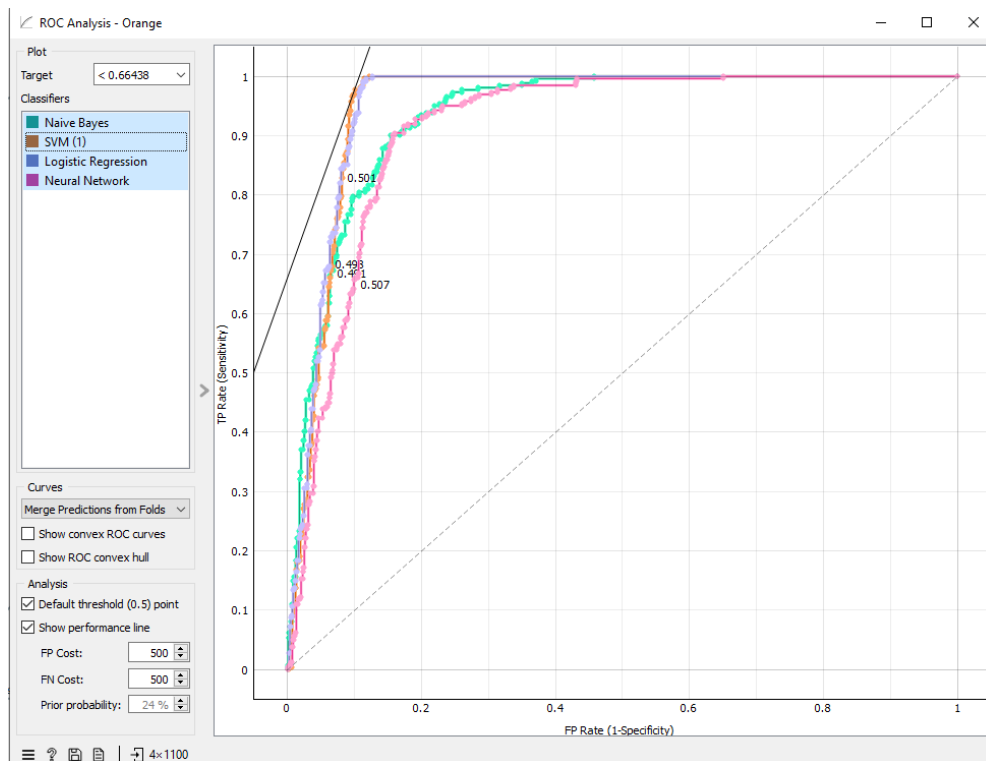
- MCC (Coeficiente de correlación de Matthews)

El MCC es una medida de la capacidad del modelo para distinguir entre clases positivas y negativas, teniendo en cuenta la precisión y el recuerdo. Una puntuación de MCC más alta indica un mejor rendimiento del modelo. En esta tabla, el modelo de SVM tiene la puntuación de MCC más alta (0,508), seguido de Regresión logística (0,524), Naive Bayes (0,429) y Red neuronal (0,389).

### **Interpretación de los resultados**

En base a los resultados de la evaluación, se puede concluir que el modelo de **Regresión logística** es el que mejor rendimiento tiene en general, ya que tiene las puntuaciones más altas en las métricas de AUC, CA, F1 y Precisión. El modelo de **SVM** tiene un buen rendimiento en las métricas de AUC, CA, F1 y Recuerdo, y el modelo de **Naive Bayes** tiene un buen rendimiento en las métricas de AUC y Precisión. El modelo de **Red neuronal** tiene el peor rendimiento general, ya que tiene las puntuaciones más bajas en la mayoría de las métricas.

Se valida el análisis ROC, la cual traza una tasa de verdaderos positivos frente a una tasa de falsos positivos de una prueba. El widget muestra curvas ROC para los modelos probados y el casco convexo correspondiente. Sirve como medio de comparación entre modelos de clasificación. La curva traza una tasa de falsos positivos en el eje x (especificidad 1; probabilidad de que el objetivo = 1 cuando el valor verdadero = 0) frente a una tasa de verdaderos positivos en el eje y (sensibilidad; probabilidad de que el objetivo = 1 cuando el valor verdadero = 1). Cuanto más cerca siga la curva del borde izquierdo y luego del borde superior del espacio ROC, más preciso será el clasificador. Dados los costos de los falsos positivos y falsos negativos, el widget también puede determinar el clasificador y el umbral óptimos. Según la figura 20, los modelos de regresión logística y Bayes son los que mejor funcionan.



(Figura 20: ROC Analysis Orange)

Se procede con la validación de Confusion Matrix, la cual muestra proporciones entre la clase prevista y real. La matriz proporciona el número/proporción de instancias entre la clase prevista y la real. La selección de los elementos en la matriz alimenta las instancias correspondientes a la señal de salida. Así se observa qué instancias específicas se clasificaron mal y cómo. Para nuestro caso de estudio encontramos que Bayes en su diagonal tiene una validez del 82% y del 83% en la hipótesis nula.

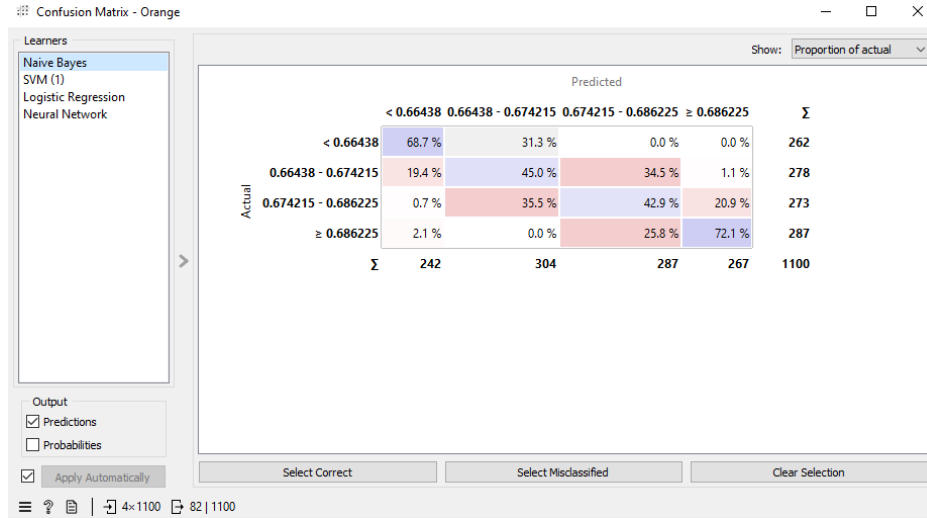
Descripción de la matriz de confusión:

La matriz de confusión muestra los resultados de la clasificación de 1100 alcaldías utilizando un modelo de predicción Naive Bayes. La matriz se divide en cuatro cuadrantes: nuestro modelo clasifica los municipios en 4 rangos. 1. municipios que tienen un Índice de ciudades y territorios inteligentes (ICTI)  $< 0.66438$ . 2.  $0.66438 < \text{ICTI} < 0.674215$ . 3.  $0.674215 < \text{ICTI} < 0.686225$ . y 4.  $> 0.686225$ .

En donde podemos asignar un calificativo para cada uno de los rangos:

- $(\text{ICTI}) < 0.66438$  índice muy bajo
- $0.66438 < \text{ICTI} < 0.674215$  índice bajo
- $0.674215 < \text{ICTI} < 0.686225$  índice medio
- $> 0.686225$  índice alto

Es aquí donde el modelo aporta un valor agregado a nuestro caso de estudio. ¿Por qué? Porque es aquí donde vemos que el modelo nos muestra resultados donde podemos situar los municipios que por ejemplo son calificados con “índice muy bajo” en 68% pero hay 31% de municipios que según sus características pudieron ser un poco mejor calificados en el modelo de evaluación determinista que tiene el ICTI del MinTIC. O la otra cara de la moneda, nos dice que existe un 45% de municipios que tiene una calificación de “índice bajo” pero existe un 19% que pudieron ser “índice muy bajo” en la calificación pero que por alguna razón pudieron ser calificados con mejor nota. De esta manera podemos ver otra forma de aplicar el modelo probabilístico de Naive bayes para calificar los municipios sin intentar cambiar el procedimiento que tiene el MinTIC sino que esta herramienta nos permitirá presentar una situación tanto a los gobiernos locales como al ministerio, es decir, que la herramienta permite visualizar un futuro sin importar donde se encuentre el interlocutor, ya que si se quiere ver un territorio específico se mostraran resultados orientados al territorio, pero si por el contrario es una autoridad central que quiere ver un resultado por clúster y saber cómo se encuentran los municipios de determinada categoría, podemos visualizar la situación actual y una predicción de acuerdo con el modelo.

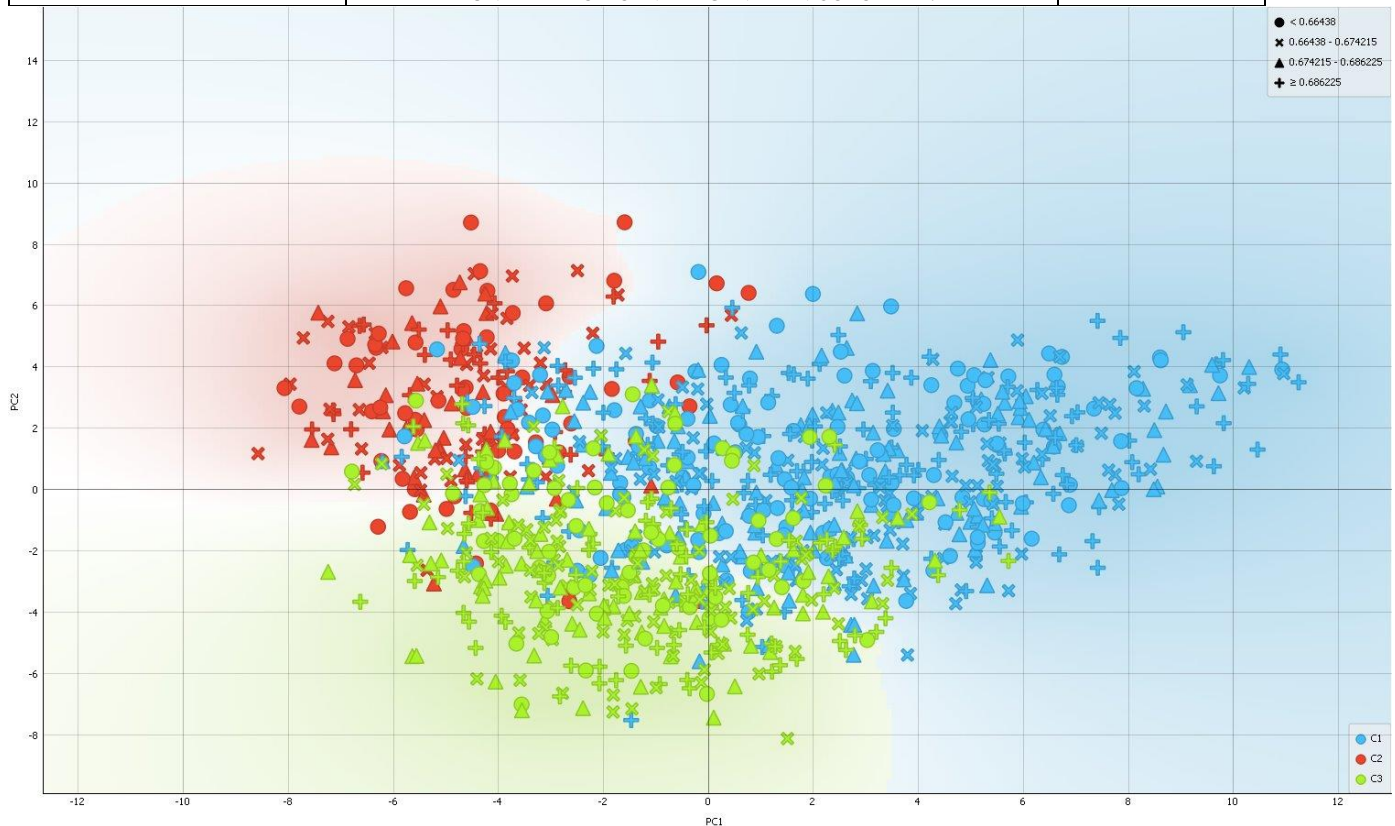


(Figura 21: Confusion Matrix Orange)

Por último, la implementación del modelo **“Deployment”** sexta etapa de la metodología CRISP-DM, aquí se asegura que todas las etapas previas estén debidamente documentadas, se hace una revisión final y se monitorean las acciones, para detectar áreas de oportunidad o incluso nuevos problemas.

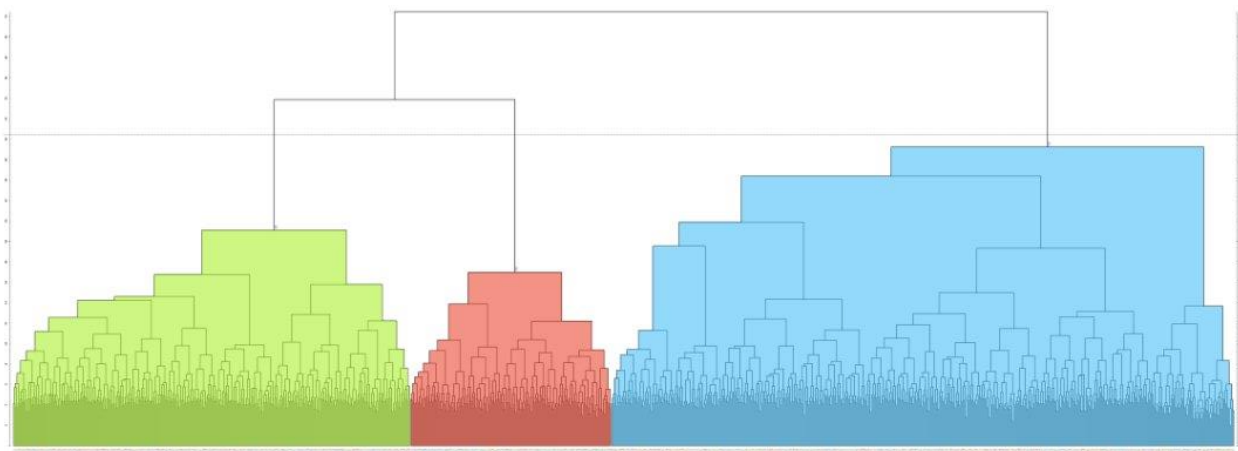
Para este caso de estudio y el tipo de datos que se analizan el modelo Naive Bayes dado el comportamiento y su finalidad de clasificación de variables, es el que más se ajusta al objeto de estudio. Su principal ventaja radica en su simplicidad y eficiencia, ya que es fácil de entender e implementar, requiere menos datos de entrenamiento y es rápido en el procesamiento. Funciona sorprendentemente bien incluso con la fuerte suposición de independencia entre las características.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) transforma los datos de entrada en un conjunto de datos ponderados, permitiendo visualizar la distribución de los municipios en tres grandes grupos mediante clúster jerárquico. Al analizar los componentes principales, se puede interpretar la ubicación de los municipios en un plano cartesiano dividido en cuatro cuadrantes. Esta herramienta ayuda a identificar y mejorar los indicadores clave de rendimiento (KPI) necesarios para llevar un municipio de un estado negativo a uno más positivo, mediante un análisis detallado de los componentes negativos. (Ver figura 22)



(Figura 22: Análisis de Componentes PCA Orange)

En azul se muestran los municipios que tienen KPI más positivos, en rojo los que se encuentran positivos en algunos aspectos y negativos en otros y en verde los que están rezagados o negativos en los indicadores. Dicho procedimiento representa un mayor orden en la manera de posicionarse la realidad de ciertos procesos realizados en cada territorio.



(Figura 23: Grafico de Orange de clúster y PCA, relacionado por color.)

A partir de esto se pueden generar tablas para obtener el listado de clúster, para seleccionar los municipios

de clúster positivo y los de clúster negativo para analizar qué KPI están afectando la calificación y poder orientar a mejorar el indicador. Por esta razón creemos que la sistematización de dichos procesos puestos en este sistema ofrece un panorama claro, conciso y detallado, contando con la exposición de las variables tenidas en cuenta, ayudando a que los gobernantes puedan trazar un plan de acción completo, si este tiene en cuenta los resultados arrojados por este método.

Una vez concluida la metodología CRISP-DM, estamos en la capacidad de implementar y dar cumplimiento al objetivo específico de aplicar el modelo de probabilidad propuesto a cualquier territorio del país.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la problemática identificada en torno al Índice de Madurez de Ciudades y Territorios Inteligentes (MMCTI) en Colombia, y proponer soluciones viables basadas en los hallazgos encontrados y las habilidades adquiridas en la maestría. Se busca abordar la problemática desde una perspectiva holística, considerando los aspectos técnicos, sociales y políticos que influyen en el desarrollo de ciudades inteligentes en el país.

La problemática central radica en la naturaleza determinística del Índice MMCTI, el cual limita la capacidad de los territorios para mejorar su posición en el ranking. Esta situación genera desincentivos para la participación de las entidades territoriales en el proceso de evaluación, dificultando el avance hacia una verdadera transformación digital y el desarrollo de ciudades inteligentes de manera integral.

A partir del análisis realizado, se identifican los siguientes hallazgos clave:

**Falta de participación:** La construcción del Índice MMCTI se percibe como un proceso descendente, donde el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) asume un rol predominante sin fomentar la participación de los territorios.

**Dificultad en la comprensión de datos:** La información proporcionada por el Índice MMCTI no siempre es clara o comprensible para las entidades territoriales, lo que dificulta la toma de decisiones informadas para mejorar su desempeño.

**Desconexión entre datos y planes de desarrollo:** Los datos utilizados para la evaluación del Índice MMCTI no siempre están alineados con los planes de desarrollo de las entidades territoriales, generando una disonancia entre los objetivos locales y la evaluación nacional.

**Falta de acceso a datos:** Algunas entidades territoriales enfrentan dificultades para acceder a los datos necesarios para completar el Índice MMCTI, lo que genera sesgos en la evaluación y limita la participación equitativa.

Para abordar las problemáticas identificadas, se propone la implementación de un modelo probabilístico complementario al Índice MMCTI, basado en el método Naive Bayes. Este modelo permitirá a las entidades territoriales:

Visualizar su posición relativa: El modelo permitirá identificar a los municipios y departamentos en clústeres, facilitando la comparación con entidades similares en términos de desarrollo socioeconómico, político e institucional.

Estimar probabilidades de mejora: El modelo Bayesiano permitirá estimar la probabilidad de que un municipio o departamento avance a un nivel superior en el Índice MMCTI, en función de su desempeño actual y las acciones que se implementen.

Identificar áreas de mejora: El modelo proporcionará información sobre las variables que mayor impacto tienen en el desempeño del Índice MMCTI, permitiendo a las entidades territoriales enfocar sus esfuerzos en áreas prioritarias para la mejora.

Desarrollar planes de acción personalizados: Con base en la información proporcionada por el modelo, las entidades territoriales podrán desarrollar planes de acción personalizados para mejorar su posición en el Índice MMCTI y avanzar en el camino hacia el desarrollo de ciudades inteligentes.

Si bien dos municipios pueden pertenecer al mismo clúster, las diferencias en las variables que componen el Índice MMCTI pueden ser significativas. Estas diferencias pueden estar relacionadas con diversos factores, como:

Contexto socioeconómico: Municipios con niveles de pobreza, educación y acceso a servicios básicos dispares pueden presentar un desempeño desigual en el Índice MMCTI.

Capacidades institucionales: La capacidad de gestión municipal, la disponibilidad de recursos humanos y tecnológicos y la eficiencia de la administración pública pueden influir en el desempeño del Índice MMCTI.

Voluntad política: El compromiso de las autoridades locales con el desarrollo de ciudades inteligentes y la asignación de recursos para este propósito pueden tener un impacto significativo en el Índice MMCTI.

Factores históricos: Legados de violencia, conflictos armados o desastres naturales pueden haber obstaculizado el desarrollo de algunos municipios, afectando su desempeño en el Índice MMCTI.

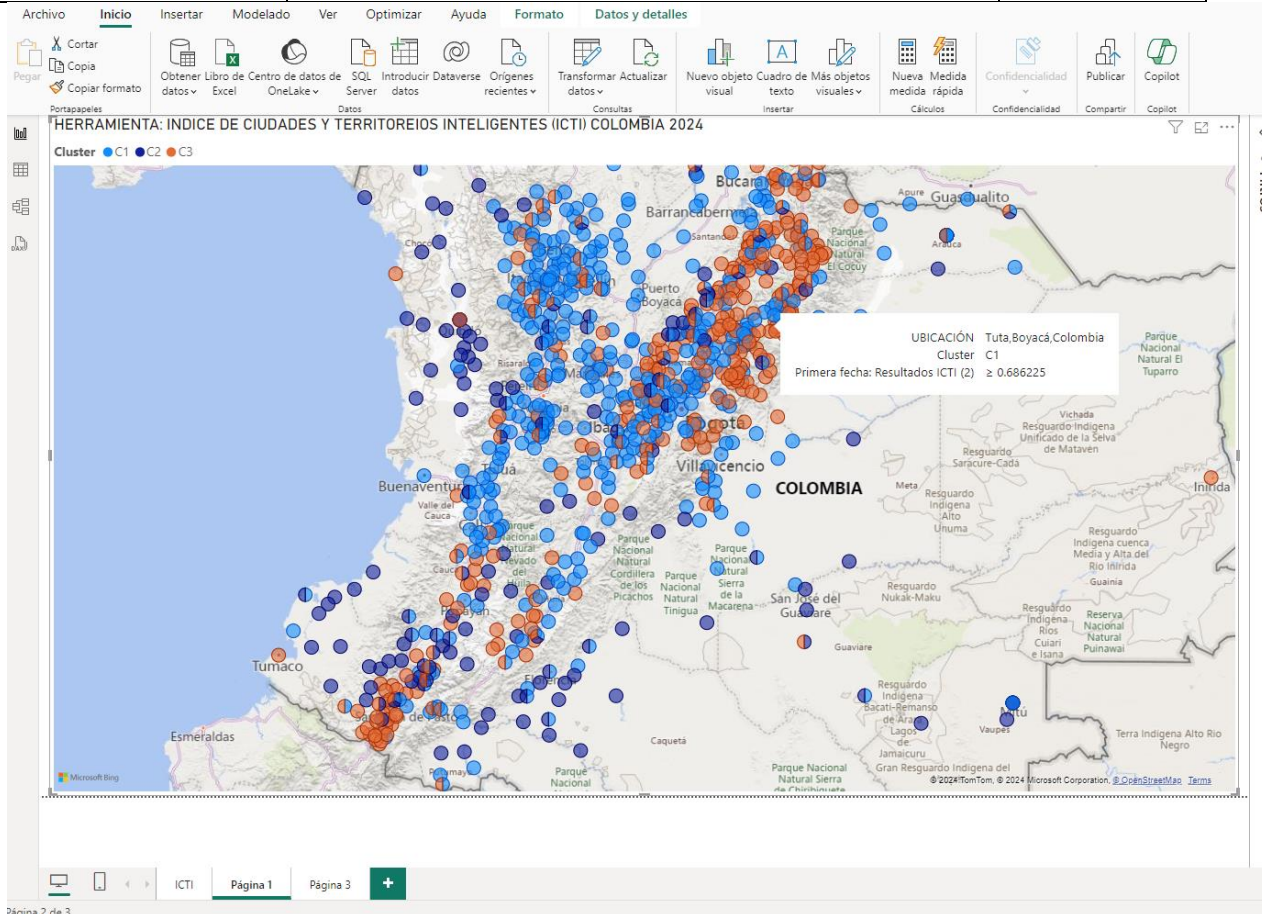
Para facilitar la comprensión de los resultados del modelo probabilístico y dar cumplimiento al objetivo específico de evaluar y comparar posibles escenarios que potencien o restrinjan el desarrollo de un territorio inteligente en el país, se propone la utilización de herramientas de visualización como Power BI. Estas herramientas permitirán crear y visualizar indicadores en gráficas, mapas interactivos, barras, tortas, entre otros, que muestren la distribución de municipios y departamentos por clústeres, y la probabilidad de mejora para cada entidad territorial según la figura 24.



(Figura 24: Evaluación del índice de acuerdo con los ejes habilitantes en Power Bi.)

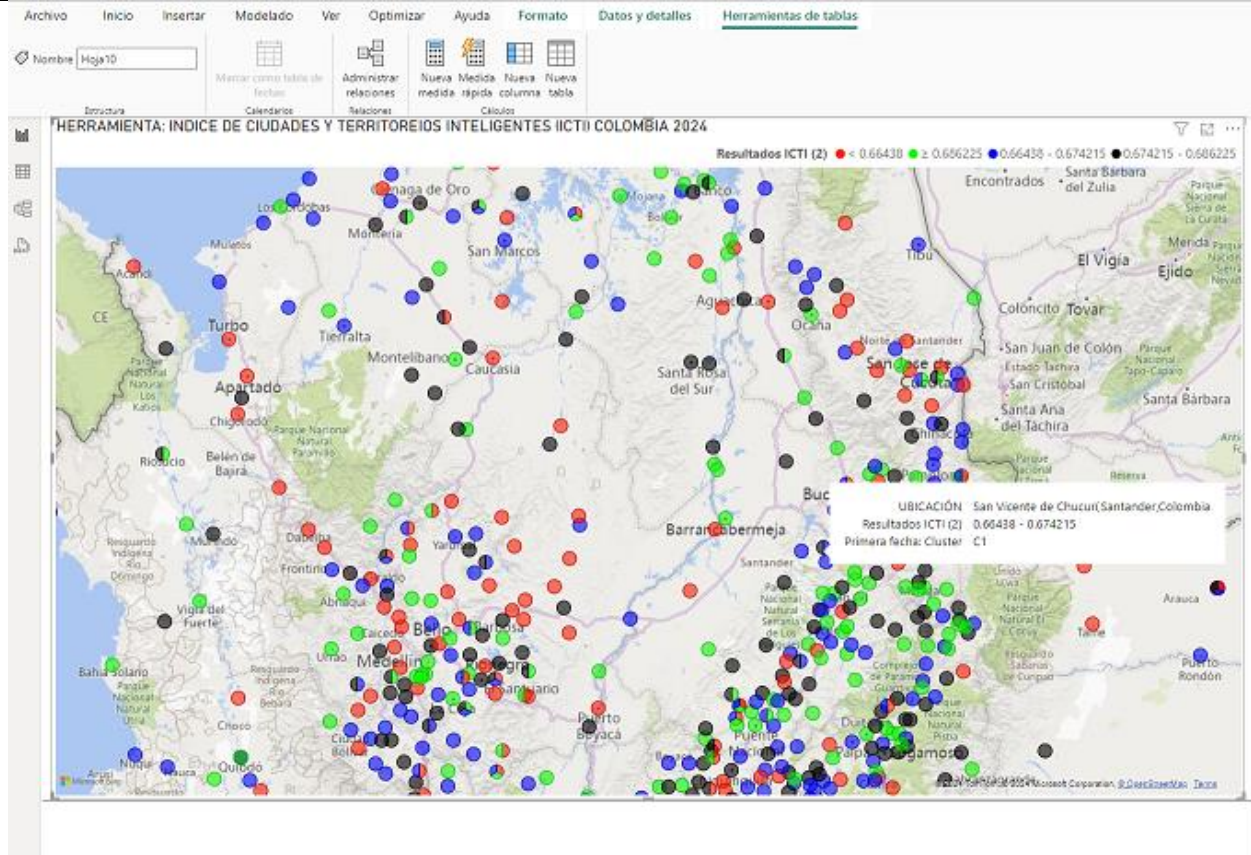
Nuestra herramienta muestra una primera pantalla de la medición de una ciudad o territorio según como hemos reproducido el índice basado en la metodología del MinTIC. Esta primera pantalla nos muestra los indicadores por eje habilitante y el resultado del ICTI de cada uno de los 1.101 municipios del país. Aunque en el actual ranking del índice no hay más de 200 municipios.

De acuerdo con el desarrollo del presente documento, nuestra herramienta presenta un resultado georreferenciado útil para ver las características de todos los municipios del país. La herramienta nos permite ver la clasificación según el clúster junto con la información del resultado de predicciones del ICTI. Ver figura 25



(Figura 25: Caracterización del territorio colombiano por clúster en Power Bi).

De acuerdo con la figura se representan los resultados de la predicción según el modelo de Naive Bayes con información del clúster en el territorio colombiano. Esta relación es para poder mostrar la cercanía de algunos municipios geográficamente y saber la calificación del modelo y si es referente o no para otro municipio.



(Figura 26: Resultados de la predicción Naive Bayes en Power Bi.)

La propuesta presentada ofrece una solución viable para abordar las problemáticas del Índice MMCTI y fomentar el desarrollo de ciudades inteligentes en Colombia. El modelo probabilístico, en conjunto con las herramientas de visualización, permitirá a las entidades territoriales obtener información valiosa para la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias efectivas para mejorar su desempeño en el Índice MMCTI y avanzar en el camino hacia una transformación digital integral.

Asimismo, es fundamental fomentar la participación de las entidades territoriales en todo el proceso de desarrollo e implementación de la solución propuesta. La colaboración entre los diferentes actores involucrados será clave para el éxito de la iniciativa y para lograr un verdadero impacto en el.

De acuerdo con el modelo Naive Bayes podemos identificar las probabilidades que tienen los territorios para subir de nivel, teniendo en cuenta estos rangos.

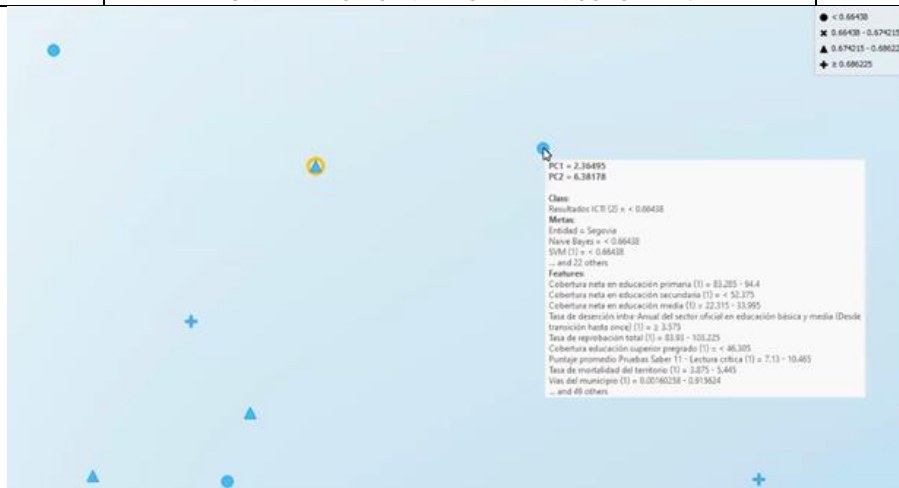


(Figura 27: Rangos clasificación Naive Bayes.)

Si validamos dos municipios que están cercanos en el clúster pero que presentan diferente rango, podemos tomar como referencia que el que tiene mejor calificación para tomar como referencia y poder usar las buenas prácticas realizadas por esta entidad y así mejorar la calificación. (Ver figuras 28 y 29).



(Figura 28: Resultado Naive Bayes.)



(Figura 29: Resultado Naive Bayes.)

Adicional a este análisis se puede determinar a partir de la predicción la probabilidad que tiene el municipio o el territorio para subir de nivel y mejorar su calificación, generando un panorama para el tomador de decisiones en las estrategias que debe implementar. La baja probabilidad de algunos municipios para subir un nivel en el Índice MMCTI no debe ser interpretada como un determinismo fatal. Esta información sirve como una referencia, pero no debe limitar las posibilidades de mejora del municipio.

**Esfuerzo sostenido:** Un compromiso persistente por parte de las autoridades locales y la comunidad puede generar cambios significativos a lo largo del tiempo.

**Inversión estratégica:** La asignación eficiente de recursos en áreas prioritarias puede catalizar el progreso y mejorar el desempeño del Índice MMCTI.

**Monitoreo y evaluación:** Un seguimiento constante del progreso y una evaluación periódica de las estrategias implementadas permitirán realizar ajustes y optimizar el enfoque.

El modelo probabilístico ofrece ventajas adicionales que van más allá de la simple estimación de probabilidades, como la identificación de municipios rezagados, lo que permite identificar municipios con una situación particularmente difícil y que requieren atención especial; Priorización de intervenciones la cual sirve como herramienta para priorizar las intervenciones y asignar recursos de manera más efectiva, enfocándose en aquellos municipios con mayor potencial de mejora. Adicionalmente la evaluación del impacto de políticas útil para evaluar el impacto y las estrategias de desarrollo urbano en el desempeño del

## Índice MMCTI.

La comunicación efectiva de los resultados del modelo probabilístico es crucial para su aprovechamiento. Se deben utilizar estrategias que garanticen la accesibilidad, la información debe presentarse de manera clara, concisa y en un lenguaje comprensible para todos los actores involucrados. Además, se deben crear espacios de diálogo y discusión para que las diferentes partes interesadas puedan compartir sus perspectivas y contribuir al análisis. Impulsar la colaboración entre las entidades territoriales, el gobierno nacional, el sector privado y la academia para generar soluciones conjuntas.

## 5. CONCLUSIONES

El Índice MMCTI, enfrenta desafíos que limitan su efectividad, tales como: la falta de participación territorial distorsiona los resultados, la comprensión de los datos es difícil y existe desconexión con los planes de desarrollo. Además, algunas entidades carecen de acceso a datos, creando disparidades. La falta de comunicación sobre los resultados perpetúa la falta de transparencia. Es por esto por lo que se plantea a manera de solución los siguientes pasos a seguir:

- Implementar un modelo probabilístico complementario al Índice MMCTI, basado en el modelo Naive Bayes.
- Utilizar herramientas de visualización como Power BI para facilitar la comprensión de los resultados del modelo probabilístico.
- Establecer un mecanismo de seguimiento para evaluar el impacto de la iniciativa en el desarrollo de ciudades inteligentes en Colombia.
- Establecimiento de periodos constantes en la evaluación del Índice en el país.

La implementación de un modelo probabilístico complementario al Índice MMCTI, junto con el uso de herramientas de visualización y un mecanismo de seguimiento continuo, representará un avance significativo en la medición y promoción del desarrollo de ciudades inteligentes. Con base en estas soluciones esperamos desarrollar los siguientes beneficios:

- Mejorar la comprensión del Índice MMCTI por parte de las entidades territoriales.
- Facilitar la identificación de áreas de mejora en el desempeño del Índice MMCTI.
- Permitir a las entidades territoriales desarrollar planes de acción personalizados para mejorar su posición en el ranking.
- Fomentar la participación de las entidades territoriales en el proceso de evaluación.
- Contribuir al desarrollo de ciudades inteligentes en Colombia.

Con el apoyo del Fondo Único para las TIC, acceder a los recursos financieros necesarios para el desarrollo de proyectos relacionados con tecnologías de la información y las comunicaciones. Este fondo juega un papel crucial en el financiamiento de iniciativas de Ciudades Inteligentes.

La colaboración entre los diferentes actores involucrados será clave para el éxito de la iniciativa y para lograr un verdadero impacto en el desarrollo de ciudades inteligentes en Colombia.

Se invita al MinTIC, a las entidades territoriales, a la academia y a la sociedad civil a trabajar en conjunto para implementar la propuesta presentada y avanzar en el camino hacia el desarrollo de ciudades inteligentes en Colombia.

*Palabras Clave:* Índice MMCTI, ciudades inteligentes, desarrollo urbano, modelo probabilístico, herramientas de visualización, participación ciudadana, Colombia.

## 6. ANEXOS

El marco teórico de este proyecto se divide en cuatro ejes temáticos:

### 1. Eje temático normativo - legal:

Plan Nacional de Desarrollo:

- Ley 1955 de 2019 Art. 41. (...) El Gobierno nacional señalará la entidad o entidades que tendrán a su cargo el diseño, organización y celebración de los acuerdos marco de precios. El reglamento establecerá las condiciones bajo las cuales el uso de acuerdos marco de precios, se hará obligatorio para todas las entidades sometidas al Estatuto General de Contratación de la Administración Pública.”
- Art. 147. (...) Las entidades territoriales podrán definir estrategias de ciudades y territorios inteligentes, para lo cual deberán incorporar los lineamientos técnicos en el componente de transformación digital que elabore el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (...)”
- Art. 148. “Esta política (Política de Gobierno Digital) liderada por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones contemplará como acciones prioritarias (...) la adopción del modelo de territorios y ciudades inteligentes, la optimización de compras públicas de tecnologías de la información (...), el aprovechamiento de tecnologías emergentes en el sector público, (...) y el fomento a la participación y la democracia por medios digitales.

Planeación y Gestión:

- Decreto 1499 de 2017. Por el que se modifica el Decreto 1083 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Función Pública, relativo al Sistema de Gestión establecido en el artículo 133 de la Ley 1753 de 2015.

Transformación Digital:

- Ley 1955 de 2019 Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” (Art. 147).
- Documento CONPES 3975 de 2019. Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial.

Gobierno Digital y Gobierno Abierto:

- Decreto 1008 de 2018. Por el cual se establecen los lineamientos generales de la política de Gobierno Digital.
- Decreto 2106 de 2019. Por el cual se dictan normas para simplificar, suprimir y reformar

trámites, procesos y procedimientos innecesarios existentes en la administración pública.

- Directiva Presidencial No. 07 del 01 de octubre de 2018. Medidas para racionalizar, simplificar y mejorar los trámites ante entidades gubernamentales y el ordenamiento jurídico.
- Directiva Presidencial No 02 del 02 de abril de 2019. Simplificación de interacción digital los ciudadanos y el estado.

Seguridad de la Información:

- Resolución 816 de 2004 del Ministerio de Salud. Por la cual se regula la difusión, acceso y utilización de la información en los Sistemas de Seguridad Social Integral y de Protección Social administrados por el Ministerio de la Protección Social.
- Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27001: 2006. Tecnologías de la Información. Técnicas de Seguridad. Sistemas de Gestión de la Seguridad de la Información (SGSI). Requisitos.
- Documento CONPES 3701 de 2011. Lineamientos de política para ciberseguridad y ciberdefensa.
- Documento CONPES 3854 de 2016. Política Nacional de Seguridad Digital.
- Documento CONPES 3995 de 2020. Política Nacional de Confianza y Seguridad

Digital Explotación de Datos:

- Documento CONPES 3920 de 2018. Política Nacional de Explotación de Datos (Big Data). Privacidad y protección de datos personales:
- Ley 1273 de 2009. Por medio de la cual se modifica el Código Penal, se crea un nuevo bien jurídico tutelado - denominado “de la protección de la información y de los datos”- y se preservan integralmente los sistemas que utilicen las tecnologías de la información y las comunicaciones, entre otras disposiciones.
- Ley Estatutaria 1581 de 2012. Por la que se dictan disposiciones generales para proteger datos personales.
- Decreto 1377 de 2013. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012. Acceso a la información pública.

Acceso a la información pública:

- Ley 1712 de 2014. Por medio de la cual se crea la ley de transparencia y del derecho de acceso a la información pública nacional y se dictan otras disposiciones.

Cuidado del medioambiente:

- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales

renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA- y se dictan otras disposiciones.

Crea el Sistema de Información Ambiental.

- Ley 165 de 1994. Por medio del cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica" hecho en Río de Janeiro en junio de 1992.
- Decreto 1603 del 27 de julio de 1994. Por el cual se organizan y establecen los Institutos de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander Von Humboldt", el Instituto Amazónico de Investigaciones "Sinchi" y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico "John von Neumann". Define las funciones de los institutos en lo referente al Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) en coordinación con el IDEAM.
- Ley 1549 de 2012. Por la que se fortalece la institucionalización de la política nacional de educación ambiental y su incorporación al desarrollo territorial.
- Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Incluye disposiciones relacionadas con las funciones de las instituciones del Sistema Nacional Ambiental en materia de gestión de datos e información ambiental.
- Ley 1931 de 2018. Establece las directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de las personas públicas y privadas, la concurrencia de la Nación, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas Metropolitanas y Autoridades Ambientales.
- CONPES 3934 de 2018. Política de Crecimiento Verde.

Desarrollo urbano y territorial:

- Ley 388 de 1997. Ley de Desarrollo Territorial.
- CONPES 3305 de 2004: Lineamientos para optimizar la política de desarrollo urbano.
- Ley 1454 de 2011. Por la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones.
- Ley 1469 de 2011. Por la cual se adoptan medidas para promover la oferta de suelo urbanizable y se adoptan otras disposiciones para promover el acceso a la vivienda.
- CONPES 3819 de 2014: Política Nacional para Consolidar el Sistema de Ciudades en Colombia.
- Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

Movilidad:

- Decreto 2060 de 2015. Por medio del cual se reglamentan los Sistemas Inteligentes para la

Infraestructura, el Tránsito y el Transporte (SIT), estableciendo los parámetros para expedir los reglamentos técnicos, estándares, protocolos y uso de la tecnología en los proyectos de SIT.

• **Eje temático: Políticas públicas**

Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana:

- Línea de Política para la Transformación de Entornos que da prioridad a tres iniciativas, el espacio público ordenado y seguro, la intervención transformadora en zonas de miedo e impunidad, y un ambiente sano y seguro.
- Línea de Política 7.10 para incorporar la tecnología en la convivencia y la seguridad ciudadana a través de cámaras para mejorar la vigilancia y control y “drones” para la vigilancia de distritos, municipios y veredas.
- Línea de Política 7.11 de Ciudadanos ciberseguros que busca la prevención de delitos en el ciberespacio, la persecución a los ciberdelincuentes y la articulación institucional contra el ciberdelito.

• **Eje Temático: Transformación digital de los gobiernos Transformación Digital:**

- Guía de transformación digital del gobierno. BID.
- Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” - VII. Pacto por la transformación digital de Colombia: Gobierno, empresas y hogares conectados con la era del conocimiento.
- Manual de Gobierno Digital - Implementación de la Política de Gobierno Digital.

• **Eje Temático: Modelo de Madurez**

- Modelo de Madurez de Ciudades y Territorios Inteligentes. MinTIC.

Planeación y Gestión:

- Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG).

Transformación Digital:

- Marco de Transformación Digital MINTIC.

Con la normatividad vigente podemos ver que, aunque no haya alguna regulación que obedezca al desarrollo y construcción de ciudades y/o territorios inteligentes, se puede prever una preparación de la nación para recibir dichos procesos. Por ejemplo, cómo mencionan Paola Alexandra Ortega Sánchez, H. F. Salazar, H. González: *“El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), toma como*

*referente la ciudad de Medellín, que apunta a convertirse en ejemplo de ciudad inteligente en Colombia por su avanzada infraestructura, y tecnología, dentro de los componentes más relevantes se encuentra la simplificación de trámites, mayor y mejor movilidad, y seguridad entre otros aspectos. Igualmente, con su programa bandera "MDE: Medellín Ciudad Inteligente" busca involucrar a los ciudadanos hacia el gobierno abierto con la creación de zonas de libre acceso a Internet, a las Tics”*

Esto nos puede dar una pista sobre la base en la que se está trabajando en el país, dejando ejemplos exitosos cómo el de Medellín y labrando el camino para que futuros proyectos cuenten con un precedente de lo que se puede alcanzar partiendo de la normatividad disponible.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] «MinTIC - Resolución 01117: 2022».
- [2] «Decreto 767 de 2022».
- [3] «Aplicación de la Metodología para evaluación, identificación e implementación de proyectos Ciudades Inteligentes (“Smart Cities”) en América Latina y el Caribe», 2021.
- [4] T. Nam y T. A. Pardo, «Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions», en ACM International Conference Proceeding Series, 2011, pp. 282-291. doi: 10.1145/2037556.2037602.
- [5] C. Echebarria, J. M. Barrutia, y I. Aguado-Moralejo, «The Smart City journey: a systematic review and future research agenda», Innovation: The European Journal of Social Science Research, vol. 34, n.o 2, pp. 159-201, 2021, doi: 10.1080/13511610.2020.1785277.
- [6] «PND2022-2026».
- [7] A. Cubo, J. Hernández, M. Porrúa, y B. Roseth, «Guía de transformación digital del gobierno», p. 722, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Guia-de-transformacion-digital-del-gobierno.pdf>
- [8] MINTIC COLOMBIA, «Resumen ejecutivo. Concepto de Ciudad Inteligente en Colombia», vol. 57, n.o 1, 2021, [En línea]. Disponible en: [www.mintic.gov.co](http://www.mintic.gov.co)
- [9] P. de la república DNP, «Resultados Índice Desempeño Fiscal 2021», p. 37, 2022, [En línea]. Disponible en: [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DesarrolloTerritorial/Desempeno\\_Fiscal/Resultados\\_Nuevo\\_IDF\\_2021.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DesarrolloTerritorial/Desempeno_Fiscal/Resultados_Nuevo_IDF_2021.pdf)
- [10] R. Angulo et al., «Medición del Desempeño Municipal: Hacia una Gestión Orientada a Resultados»; Universidad de los Andes-CEDE: Bogotá, Colombia, p. 47, 2018.
- [11] A. Tarrach, «El presupuesto orientado a resultados. Principales componentes y aspectos claves.», Nota d’economía, n.o 99, pp. 11-32, 2011, [En línea]. Disponible en: [http://www20.gencat.cat/docs/economia/70\\_Economia\\_Catalana/arxiu/Anna\\_Tarrach\\_NE\\_99\\_ESP.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/economia/70_Economia_Catalana/arxiu/Anna_Tarrach_NE_99_ESP.pdf)
- [12] « ¡El SISFUT se ha renovado ! Guía rápida de navegación para el nuevo SISFUT ¿Qué es SISFUT ? Informes disponibles», 2013.
- [13] J. J. Espinosa Zúñiga, «Aplicación de metodología CRISP-DM para segmentación geográfica de una base de datos pública», Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 21, n.o 1, pp. 1-13, 2020, doi: 10.22201/fi.25940732e.2020.21n1.008.
- [14] A. E. D. E. Negocios, «Inteligencia artificial en Bogotá-Región Contenido».
- [15] «Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33508302>», 2005.
- [16] Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, «Índice de CTI 2022», 2022,

[En línea]. Disponible en: <https://gobiernodigital.mintic.gov.co/portal/Iniciativas/Ciudades-y-Territorios-Intelig>

[17] V. Albino, U. Berardi, y R. M. Dangelico, «Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives», *Journal of Urban Technology*, vol. 22, n.o 1, pp. 3-21, 2015, doi: 10.1080/10630732.2014.942092.

[18] G. C. Lazaroiu y M. Roscia, «Definition methodology for the smart cities model», *Energy*, vol. 47, n.o 1, pp. 326-332, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.09.028.

[19] Ministerio de las Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, «Recomendaciones para el Desarrollo De Ciudades Y Territorios inteligentes. Colombia», *Gobiernodigital.Mintic.Gov.Co*, p. 68, 2020, [En línea]. Disponible en: [https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-179099\\_Recomendaciones\\_Desarrollo\\_CI.pdf](https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-179099_Recomendaciones_Desarrollo_CI.pdf)

[20] Aragão, F., Chiroli, D., Zola, F., Aragão, E., Marinho, L., Correa, A.,... & Colmenero, J. (2023). Modelo de madurez de ciudades inteligentes: un enfoque multicriterio. *Sostenibilidad*, 15(8), 6695. <https://doi.org/10.3390/su15086695>

[21] Bernal, W. and Espitaleta, K. (2021). Framework for developing an information technology maturity model for smart city services in emerging economies: (fsce2). *Applied Sciences*, 11(22), 10712. <https://doi.org/10.3390/app112210712>

[22] Dragan, A. (2023). The spatial development of 82omania82alization: the case of smart city projects in 82omania. *Area*, 56(1). <https://doi.org/10.1111/area.12902>

[23] Ismagilova, E., Hughes, D., Dwivedi, Y., & Raman, K. (2019). Smart cities: advances in research—an information systems perspective. *International Journal of Information Management*, 47, 88-100. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>

[24] Khalil, Z. (2024). Governance analysis in driving smart city policy in aceh. *Kne Social Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i7.15470>

[25] Moumen, N. (2024). Contextualizing the smart city in Africa: balancing human-centered and technocentric perspectives for smart urban performance. *Smart Cities*, 7(2), 712-734. <https://doi.org/10.3390/smartcities7020029>

[26] Mutavdžija, M. (2024). Moving towards sustainable mobility: a comparative analysis of smart urban mobility in Croatian cities. *Sustainability*, 16(5), 2004. <https://doi.org/10.3390/su16052004>

[27] Pereira, G. y Azambuja, L. (2021). Hoja de ruta para una ciudad inteligente y sostenible como herramienta para abordar los desafíos de la sostenibilidad y desarrollar la capacidad de gobernanza.

Sostenibilidad, 14(1), 239. <https://doi.org/10.3390/su14010239>

[28] Prevelianaki, K., Sherratt, F., & Henjewe, C. (2022). Iso standards or global indices: who decides if a city is smart? *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1101(2), 022045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/2/022045>

[29] Tarek, S. (2023). Smart eco-cities conceptual framework to achieve un-sdgs: a case study application in Egypt. *Civil Engineering and Architecture*, 11(3), 1383-1406. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110322>