



MRAE.ADM.01

# PLAZOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL

Ministerio de Tecnologías de la Información y las comunicaciones - MINTIC 2023

MRAE

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Viceministerio de Transformación Digital

Dirección de Gobierno Digital

Subdirección de Estándares y Arquitectura de Tecnologías de la Información

Equipo de trabajo

Mauricio Lizcano Arango - Ministro de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Sindey Carolina Bernal Villamarín - Viceministra de Transformación Digital

Ana María Sterling Bastidas – Directora de Gobierno Digital

Luis Clímaco Córdoba Gómez - Subdirector de Estándares y Arquitectura de TI

Arlington Fonseca Lemus – Equipo de Política Dirección de Gobierno Digital

Jairo Alberto Riascos Muñoz – Equipo Subdirección de Equipo de Estándares y Arquitectura de TI

Claudia Milena Rodríguez Álvarez – Equipo Subdirección de Estándares y Arquitectura de TI

Julio César Anaya Esteves – Equipo Subdirección de Estándares y Arquitectura de TI

Empresa Consultora Yobiplex

## **Versión**

## **Observaciones**

**Versión 3.0**  
**mayo 2023**

Modelo de plazos para implementación del MAE

## Tabla de Contenido

<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>1. Segmentación de las entidades publicas</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Agrupación de municipios</b>	<b>8</b>
1.1.1 Algoritmos de agrupación	8
1.1.2 Implementación	12
<b>1.2 Agrupación de entidades territoriales</b>	<b>15</b>
1.2.1 Etapa uno	15
1.2.2 Etapa dos	16
<b>1.3 Agrupación de entidades nacionales</b>	<b>17</b>
<b>2. Plazos diferenciales para la implementación del MRAE</b>	<b>0</b>
2.1 Estimación de tiempos para la implementación del MRAE	1
2.2 Estimación de plazos diferenciales	8
2.3 Plazos para la implementación del MRAE	10
<b>Conclusiones</b>	<b>13</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>15</b>

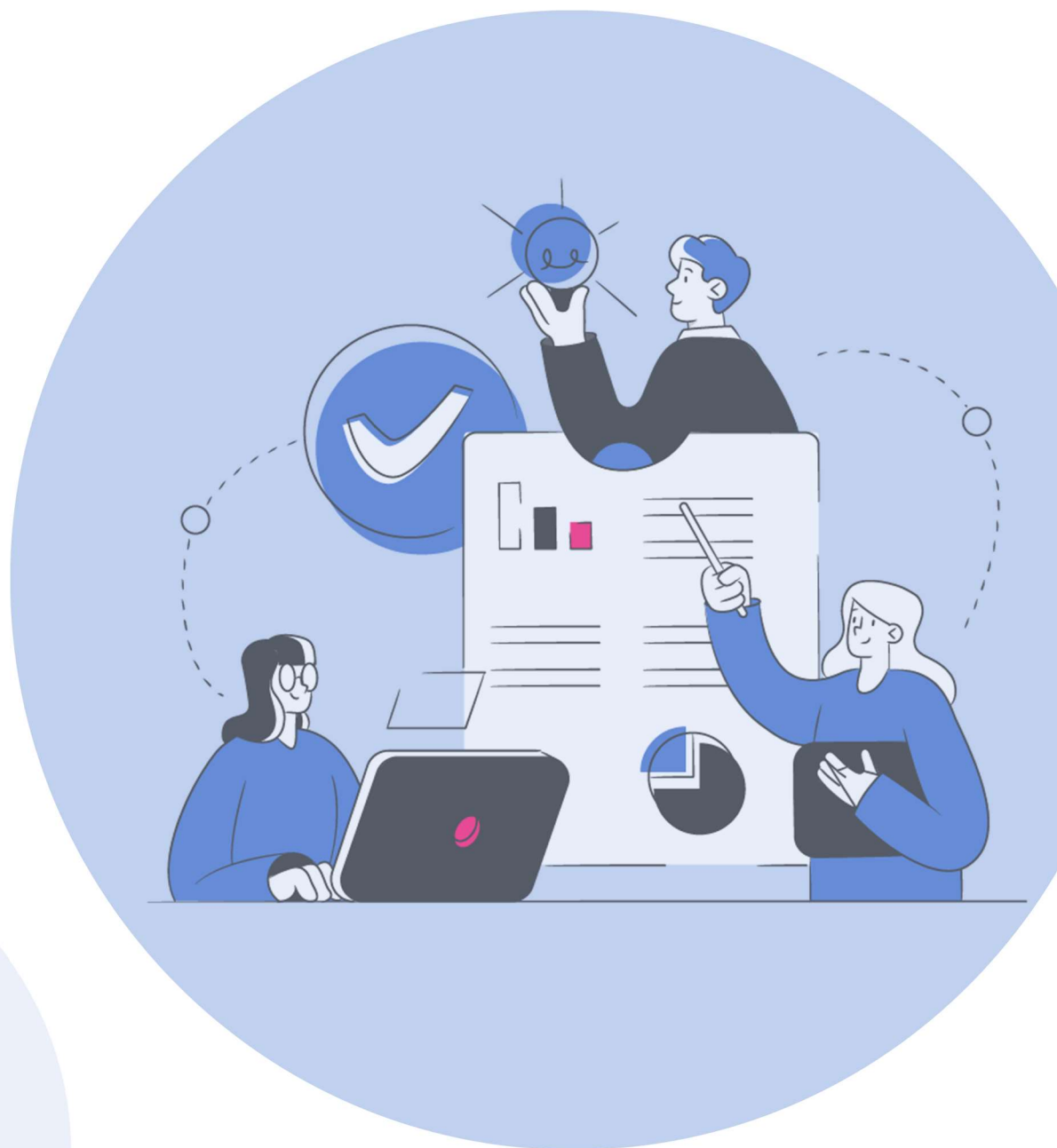
## Listado de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Inteligencia Artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 2. Tipos de algoritmos de machine Learning</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 3. Clustering</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 4. Número óptimo de clusters</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 5. Agrupación de municipios</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 6. Etapa 1 de agrupación de entidades territoriales – grupo par</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 7. Etapa 2 de agrupación de entidades territoriales.</i>	<i>16</i>

## Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Lista de variables</i>	<u>13</u>
<i>Tabla 2. Grupos de entidades territoriales</i>	<u>17</u>
<i>Tabla 3. Grupos de entidades nacionales</i>	<u>18</u>
<i>Tabla 4. Actividades para la implementación del MRAE</i>	<u>4</u>
<i>Tabla 5. Tiempos estimados para la implementación del MRAE</i>	<u>8</u>
<i>Tabla 6. Plazo limite para la implementación del MRAE – entidades nacionales</i>	<u>11</u>
<i>Tabla 7. Plazo limite para la implementación del MRAE – entidades territoriales</i>	<u>12</u>

# Introducción



Con el propósito de establecer plazos para que las entidades públicas nacionales y territoriales implementen el Marco de Referencia de Arquitectura Empresarial – MRAE, se ha desarrollado una metodología que combina métodos cuantitativos y cualitativos para la resolución de dos problemas: el primero, consiste en agrupar a las entidades a partir del análisis de variables de caracterización de los municipios y entidades públicas; y el segundo, consiste en determinar plazos diferenciales para cada grupo a partir del análisis de las actividades necesarias para implementar el MRAE.

Para tal fin, este documento se ha organizado en dos capítulos de la siguiente manera: en el capítulo uno, se explican los aspectos teóricos más importantes de la metodología utilizada para agrupar a las entidades públicas nacionales y territoriales, así como los resultados obtenidos; y en el segundo capítulo, se explica la metodología utilizada para determinar los plazos diferenciales para cada grupo, así como los resultados obtenidos. Adicionalmente, en la parte final del documento se incluyen las principales conclusiones del trabajo y bibliografía de referencia.

# 1. Segmentación de las entidades publicas



Teniendo en cuenta que en las entidades territoriales existe heterogeneidad debido a la naturaleza de su misionalidad y a las características socioeconómicas propias de los municipios en donde se ubican, se diseñó e implementó una metodología para segmentar a las entidades que está basada en el análisis de características socioeconómicas de los municipios y el nivel de implementación del habilitador de Arquitectura por parte de las entidades públicas. En las siguientes subsecciones se explica el análisis implementado en cada caso.

## 1.1 Agrupación de municipios

El propósito de este análisis es encontrar grupos de manera que los municipios de un mismo grupo sean similares entre sí, pero diferentes a los municipios de otros grupos en términos de sus características socioeconómicas. Para tal fin, se han utilizado algoritmos de aprendizaje automático que se ocupan de resolver este tipo de problemas y son conocidos como algoritmos de agrupamiento (clustering). A continuación, se explican los principales aspectos teóricos de este tipo de algoritmos.

### 1.1.1 Algoritmos de agrupación

Antes de explicar en qué consiste un algoritmo de agrupación, se presentarán algunos de los aspectos teóricos más importantes para entenderlos.

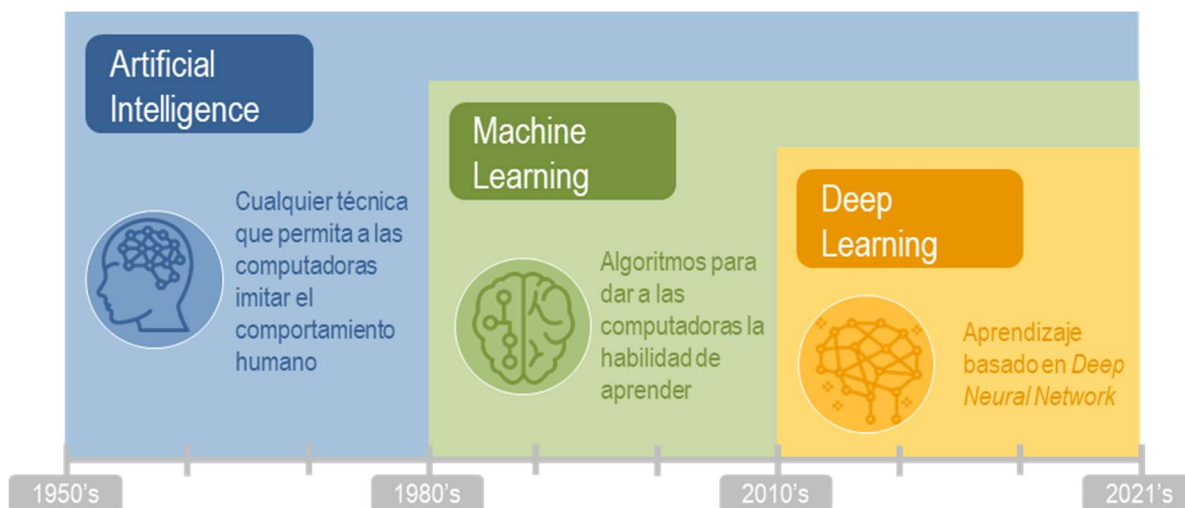


Ilustración 1. Inteligencia Artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico anterior se ilustra la relación jerárquica que existe entre inteligencia artificial - AI (por sus siglas en inglés, *Artificial Intelligence*), aprendizaje automático - ML (por sus siglas en inglés, *Machine*



*Learning*) y aprendizaje profundo - DL (por sus siglas en inglés, *Deep Learning*), así como el momento del tiempo en el que surge cada concepto.

AI es un concepto más amplio que el de ML, se ocupa del uso de las computadoras para imitar las funciones cognitivas de los seres humanos. ML es una rama de AI que se centra en la capacidad de las computadoras para recibir un conjunto de datos y aprender por sí mismas, ajustando los algoritmos a medida que aprenden más sobre la información que están procesando. DL es un subconjunto de ML que se ocupa de modelar abstracciones de alto nivel a través de redes neuronales artificiales con múltiples capas ocultas. Una red neuronal artificial - ANN (por sus siglas en inglés, *Artificial Neural Network*) puede definirse como un modelo computacional de procesamiento de información, inspirado en los principios operativos de la red de neuronas del sistema nervioso biológico. Las redes neuronales biológicas - BNN (por sus siglas en inglés, *Biological Neural Network*) son redes de neuronas interconectadas por sinapsis para llevar a cabo funciones específicas cuando se activan. Así, una ANN también puede definirse como una red de neuronas artificiales inspirada biológicamente y configurada para realizar tareas específicas.

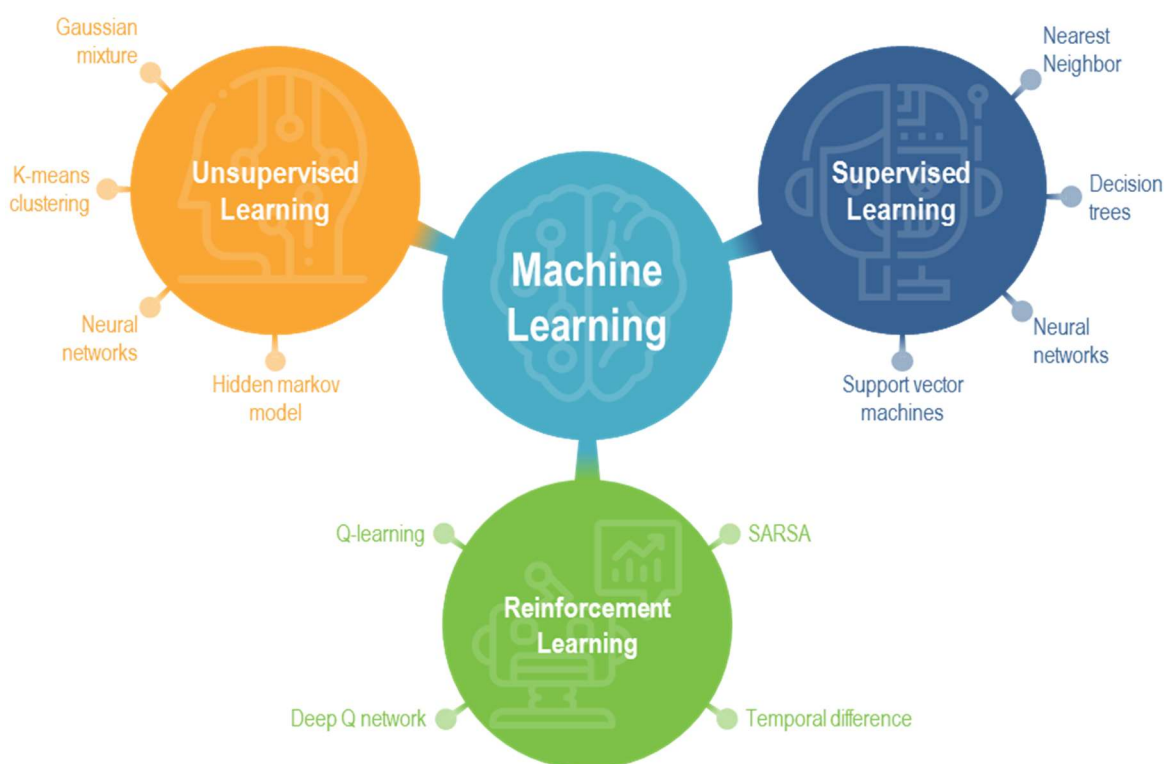


Ilustración 2. Tipos de algoritmos de machine Learning

Fuente: Elaboración Propia

La metodología desarrollada e implementada en este trabajo se basa en técnicas de aprendizaje automático, razón por la cual vale la pena profundizar en su concepto, pero antes de hacerlo es conveniente empezar por otro concepto que es fundamental para ML: algoritmo. Un algoritmo es un conjunto de instrucciones ordenadas que permiten resolver un problema. En el campo del aprendizaje

automático, los algoritmos toman datos y llevan a cabo tareas específicas para entregar respuestas de manera eficiente. Para tal fin, dichos algoritmos requieren ser entrenados para aprender cómo clasificar y procesar información, y su eficiencia y precisión dependen de la calidad del entrenamiento.

Ahora bien, el aprendizaje automático se define como una rama de la inteligencia artificial que se ocupa del diseño y desarrollo de algoritmos para dar a las computadoras la habilidad de aprender de los datos y mejorar con la experiencia. Según el mecanismo de aprendizaje, los algoritmos de ML pueden agruparse en tres categorías: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje por refuerzo. En el gráfico 2 se presentan los tres tipos de algoritmos de ML junto con algunos ejemplos de cada uno.

**Aprendizaje supervisado:** este tipo de algoritmos busca deducir la función que más se ajuste al comportamiento de los datos a partir de una muestra determinada, en donde los valores de entrada y salida son conocidos. Aquí, los humanos actúan como un profesor que alimenta a la computadora con datos de entrenamiento que contienen predictores (datos de entrada) y también las respuestas correctas (datos de salida), a partir de lo cual la computadora debería poder aprender los patrones.

Así, un algoritmo de aprendizaje supervisado busca modelar relaciones y dependencias entre la salida de predicción objetivo y las características de entrada, de manera que se puedan predecir los valores de salida para los nuevos datos de entrada en función de las relaciones que aprendió de los conjuntos de datos anteriores.

**Aprendizaje no supervisado:** este tipo de algoritmos aprende de las observaciones y encuentra patrones y relaciones presentes en un conjunto de datos. A diferencia del aprendizaje supervisado, aquí no hay datos de salida para el entrenamiento ni tampoco un profesor, de hecho la computadora podría ser capaz de enseñar nuevas cosas luego de aprender patrones en los datos.

Este tipo de algoritmos es particularmente útil cuando los humanos no saben qué buscar en los datos. Los algoritmos de aprendizaje no supervisado detectan reglas, extraen patrones y resumen y agrupan los datos para ayudar a obtener información significativa.

**Aprendizaje por refuerzo:** este tipo de algoritmos tiene como propósito utilizar las observaciones recopiladas de la interacción con un entorno determinado para tomar decisiones que maximicen la recompensa o minimicen el riesgo. Aquí, el algoritmo es conocido como el agente y aprende continuamente acciones óptimas del entorno de manera iterativa, siguiendo el método de prueba y error. El agente es recompensado o penalizado con un punto por una respuesta correcta o incorrecta y, sobre la base de los puntos de recompensa logrados, el algoritmo se entrena a sí mismo. Una vez entrenado, el algoritmo está listo para predecir los nuevos datos que se le presentan.

Los algoritmos de aprendizaje supervisado se utilizan principalmente para resolver problemas de clasificación y regresión, los algoritmos de aprendizaje no supervisado para resolver problemas de agrupación y asociación, y los algoritmos de aprendizaje por refuerzo para resolver problemas de clasificación. A continuación, se describe brevemente en qué consiste cada uno de estos problemas:

**Clasificación:** aquí el objetivo es identificar a qué categoría pertenece una nueva observación, basándose en el entrenamiento con datos pasados. Un ejemplo de un problema de clasificación es la diferenciación entre correos electrónicos no deseados y los que no lo son.

**Regresión:** el objetivo de este análisis es predecir un valor para un conjunto de valores de entrada, basándose en el entrenamiento con datos pasados. Un ejemplo de un problema de regresión es la predicción del incremento del salario para los próximos años.

**Asociación:** el objetivo de este análisis es identificar patrones de asociación entre diferentes variables. Un ejemplo de un problema de asociación es qué tipo de servicios adicionales puede MinTIC ofrecer a una determinada entidad pública, basándose en los servicios que ha demandado en el pasado o en los demandados por entidades públicas con necesidades similares.

**Agrupación:** aquí el objetivo es organizar un conjunto de observaciones en subconjuntos conocidos como clusters. A la luz de algún conjunto de parámetros, las observaciones dentro de cada cluster son similares entre sí, pero diferentes a las que pertenecen a otros clusters. Un ejemplo de un problema de agrupación es cómo organizar a las entidades públicas del país en grupos de entidades similares.

Para agrupar a los municipios se utilizó un algoritmo de clustering que, de acuerdo con lo descrito previamente, puede definirse como una técnica de aprendizaje no supervisado de machine learning para la agrupación de individuos a partir de su similitud (distancia) respecto de un conjunto de características (variables) pre-definidas.

Su objetivo es entonces, encontrar grupos de tal manera que los individuos de un mismo grupo (cluster) sean similares entre sí y diferentes de los individuos de otros grupos, tal y como se ilustra en el siguiente gráfico:

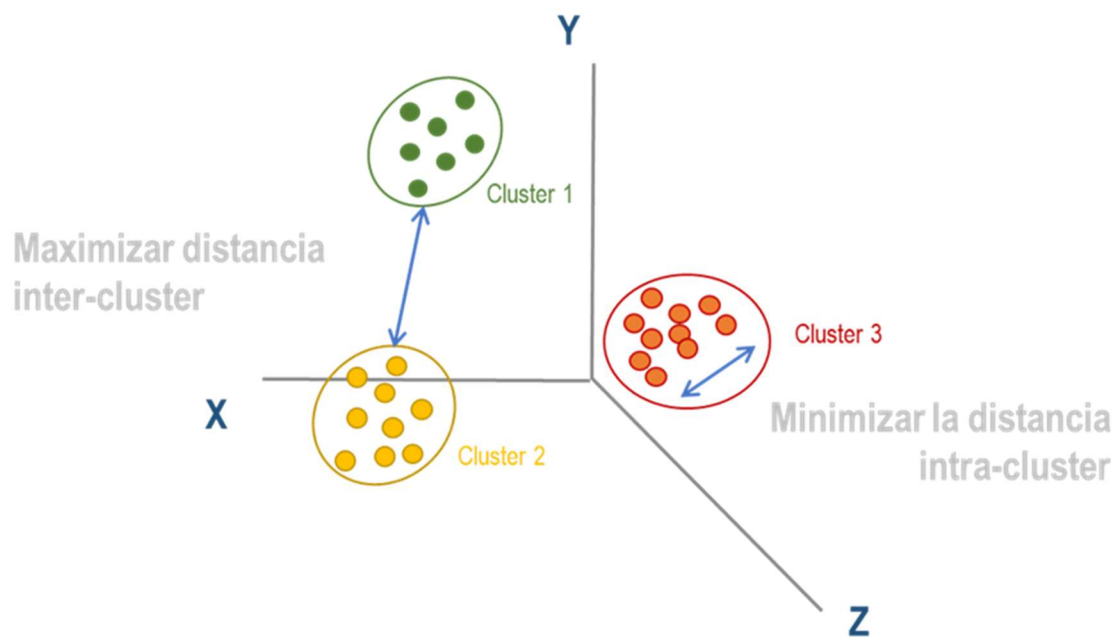


Ilustración 3. Clustering

### 1.1.2 Implementación

Para segmentar a los municipios se utilizó el algoritmo k-medias, el cual permite dividir una población en K clusters o grupos a partir de la minimización de la variación total dentro de cada uno. La variación total se define dentro de cada grupo como la suma de los cuadrados de las distancias euclidianas entre cada elemento del grupo y el centroide K correspondiente, de la siguiente manera:

$$V_{C_K} = \sum_{i=1}^m (x_i^k - \mu_k)^2 \quad (1.1)$$

Donde:

$V_{C_K}$ , es la variación total del cluster  $C_K$ .

$x_i^k$ , es el elemento  $i$  que pertenece al cluster  $k$

$m$ , es el número total de elementos que pertenecen al cluster  $k$

$\mu_k$ , representa el valor promedio de los  $m$  elementos que conforman el cluster  $k$

Así, cada observación de la población objetivo se va asignando a un cluster, minimizando iterativamente la suma de cuadrados.

Para implementar esta técnica se siguen los siguientes pasos:

- Especificar el número inicial de grupos ( $k$ ) para iniciar el algoritmo,
- Escoger aleatoriamente  $k$  elementos que van a representar los centroides para la primera iteración,
- Asignar cada observación al grupo cuyo centroide sea más cercano (de acuerdo con la distancia euclidiana),
- Recalcular para cada grupo el valor de su centroide, que corresponde al valor promedio del cluster,
- Minimizar iterativamente la suma de cuadrados de cada cluster, y repetir el proceso asignando nuevamente cada elemento de la población al centroide más cercano y recalculando el valor del centroide, hasta que la variación del centroide sea mínima o se cumpla la condición de salida establecida.

### Variables y fuentes de datos

En la siguiente tabla se presentan las variables utilizadas para caracterizar a los 1,101 municipios de Colombia, así como la entidad pública fuente de datos:

Variable	Fuente
Número de habitantes (población)	DANE
Valor de ingresos municipales	DNP
Porcentaje de hogares con acceso a internet	MinTIC

Puntaje en índice de desempeño institucional	Función Pública
Número de habitantes por km <sup>2</sup> (densidad poblacional)	DANE
Puntaje en índice de desempeño fiscal	DNP

Tabla 1. Lista de variables

Fuente: Elaboración Propia

A partir de estas variables, se implementó un algoritmo para determinar el número óptimo de grupos (clusters) para segmentar a los municipios, tal y como se explica a continuación.

### **Número óptimo de clusters**

Tener una noción del número de clusters que mejor se adapta al conjunto de datos siempre será de gran relevancia para un análisis de este tipo. No existe un método exacto para determinar el número ideal de clusters en los cuales se debe dividir la población, sin embargo, se pueden emplear algunas técnicas que darán una idea de un número particular. En este caso particular, se utilizó el Índice de Dunn que es una métrica para evaluar algoritmos de clustering a partir de un conjunto de datos y que está definido por:

$$DI_K = \min_{1 \leq i \leq K} \left\{ \min_{1 \leq j \leq K, j \neq i} \left\{ \frac{\delta(X_i, X_j)}{\max_{1 \leq k \leq K} \Delta(X_k)} \right\} \right\} \quad (1.2)$$

Donde,

$DI_K$ : Índice de Dunn para  $K$  clusters

$\delta(X_i, X_j)$ : distancia intercluster entre el cluster  $X_i$  y el cluster  $X_j$

$\Delta(X_k)$ : distancia intracluster del cluster  $X_k$

*Un valor alto de este índice significa que la agrupación es óptima y viceversa. Por tanto, el objetivo es maximizar el valor del índice de Dunn, de esta forma se garantiza que la distancia entre clusters sea lo más grande posible y la separación dentro de cada cluster sea lo más pequeña posible.*

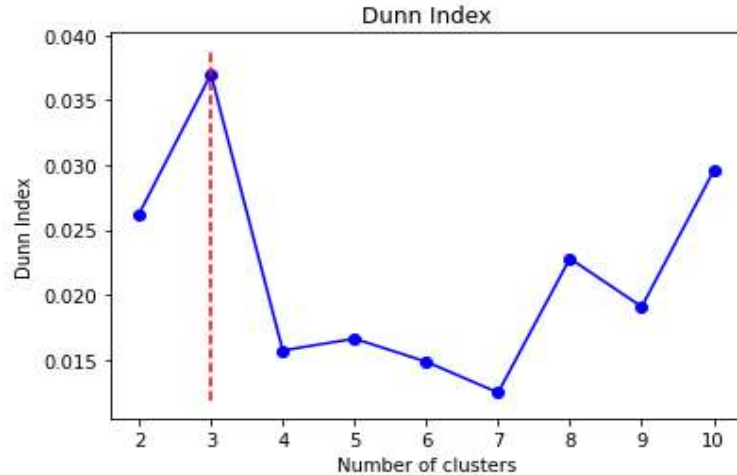


Ilustración 4. Número óptimo de clusters

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico anterior, se ilustra el valor del índice de Dunn para diferentes valores de k. Como se puede observar, el valor de k que maximiza el valor del índice de Dunn es 3 y, por tanto, el número óptimo de grupos para segmentar a los 1,101 municipios de Colombia es 3.

### Resultados

A partir del conjunto de datos de caracterización de municipios, se implementó un algoritmo k-medias con 3 centroides cuyos resultados se resumen en el siguiente gráfico:

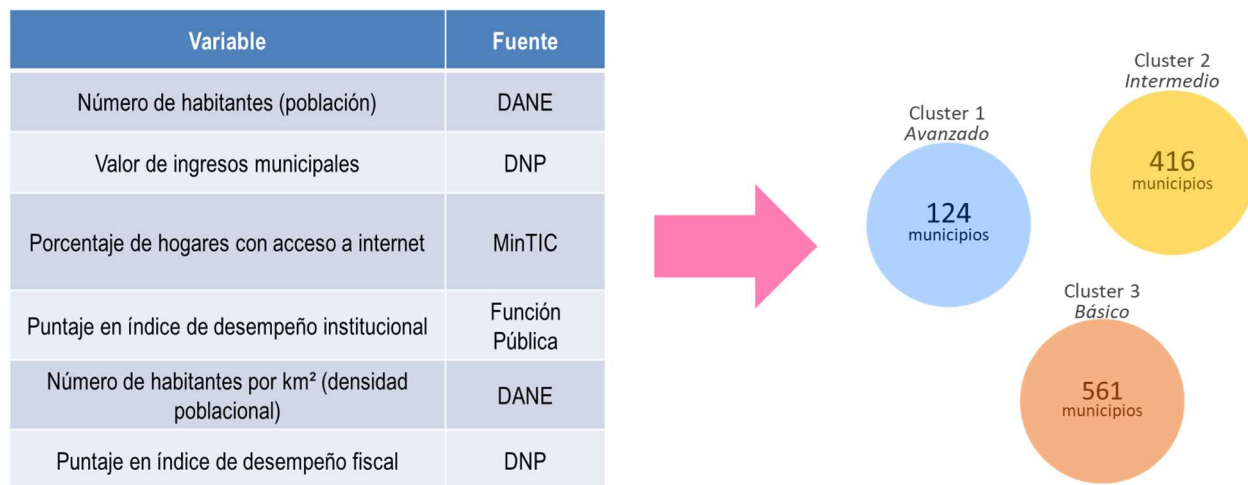


Ilustración 5. Agrupación de municipios

Fuente: Elaboración Propia

El clúster 1 está compuesto por 124 municipios, y corresponde al cluster más avanzado en términos de las variables utilizadas para la segmentación (tamaño de la población, ingresos municipales, acceso a internet, densidad poblacional, índice de desempeño institucional e índice de desempeño fiscal). El

cluster 2 (nivel intermedio) está compuesto por 416 municipios y el cluster 3 por 561 municipios, y corresponde al cluster con condiciones más básicas en términos de las variables analizadas.

## 1.2 Agrupación de entidades territoriales

La agrupación de entidades territoriales se desarrolló en dos etapas: en la primera, se utilizó la agrupación de municipios obtenida en la sección anterior junto con la naturaleza jurídica de las entidades; y en la segunda, se analizó el nivel de implementación del habilitador de Arquitectura para cada uno de los grupos de entidades obtenidos en la primera fase. A continuación, se explica el procedimiento implementado en cada una de las dos etapas.

### 1.2.1 Etapa uno

Teniendo en cuenta que la misionalidad de las entidades públicas determina el tipo de trámites y servicios que ofrecen a los ciudadanos, en esta primera etapa se hizo una agrupación de las entidades a partir de su naturaleza jurídica considerando el contexto en el que operan, es decir, la agrupación de los municipios derivada en la sección anterior.

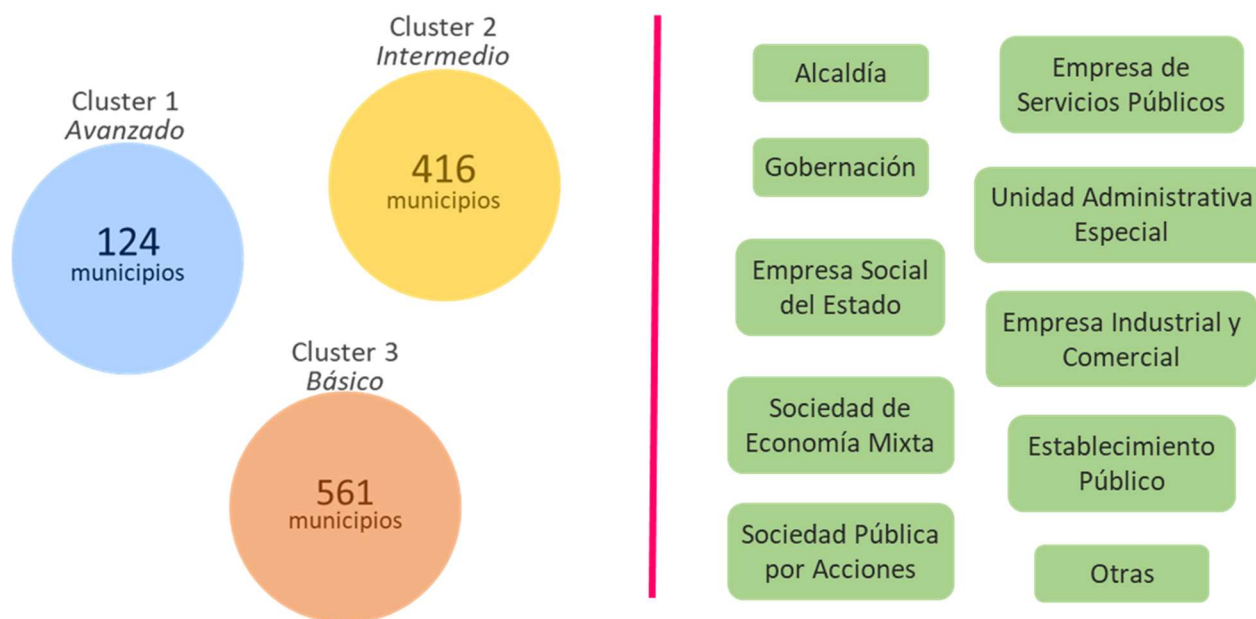


Ilustración 6. Etapa 1 de agrupación de entidades territoriales – grupo par

Fuente: Elaboración Propia

Esta misma agrupación es utilizada en la Medición del Desempeño Institucional que se desarrolla en el marco del Modelo Integrado de Planeación y Gestión, y es conocida como clasificación grupo par. Por lo anterior, y teniendo en cuenta que la Política de Gobierno Digital hace parte del Modelo Integrado de Planeación y Gestión, esta primera etapa de agrupación es equivalente a la clasificación grupo par.

### 1.2.2 Etapa dos

A partir de la agrupación de entidades derivada de la primera etapa, se llevó a cabo un análisis descriptivo del nivel de implementación del habilitador de Arquitectura para cada grupo. En la siguiente gráfica se ilustran las variables objeto de análisis:

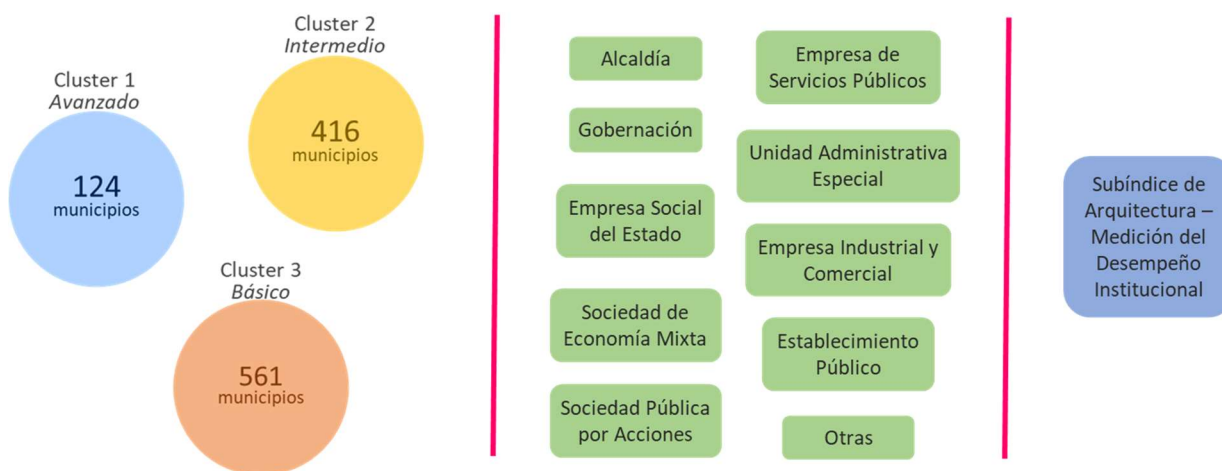


Ilustración 7. Etapa 2 de agrupación de entidades territoriales.

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado de este análisis, se obtuvieron los siguientes cinco grupos de entidades:

Grupo	Entidades (según naturaleza jurídica)	Número de entidades	Puntaje promedio subíndice de Arquitectura
1	Distrito Capital, Instituciones Universitarias, Avanzado - Alcaldía, Gobernaciones	250	77.9



2	Áreas Metropolitanas, Avanzado - Establecimiento Público - Departamental, Avanzado - Empresa Social Del Estado - Departamental, Avanzado - Sociedad De Economía Mixta, Otras Descentralizadas Departamentales, Intermedio - Empresa Social Del Estado - Departamental, Avanzado - Empresa Social Del Estado, Avanzado - Empresa Industrial Y Comercial Del Estado	418	63.1
3	Unidades Administrativas Especiales, Institución Prestadora De Servicios De Salud, Intermedio - Alcaldía, Avanzado - Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Oficial, Básico - Alcaldía, Avanzado - Establecimiento Público	1573	56.3
4	Otras Descentralizadas Municipales, Básico - Empresa Social Del Estado - Departamental, Básico - Empresa Industrial Y Comercial Del Estado, Básico - Empresa Social Del Estado, Intermedio - Empresa Social Del Estado	657	51.4
5	Intermedio - Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Oficial, Básico - Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Oficial, Intermedio - Establecimiento Público, Asociación de Municipios, Básico - Establecimiento Público	530	40.5

Tabla 2. Grupos de entidades territoriales

Fuente: Elaboración Propia

Los grupos fueron determinados en función de las variables de caracterización de municipios y entidades previamente descritas, de manera tal que el grupo 1 corresponde a las entidades con mayor capacidad (índice de desempeño institucional, ingresos municipales, acceso a internet), y nivel de implementación del habilitador de Arquitectura.

### 1.3 Agrupación de entidades nacionales

Para la agrupación de entidades nacionales se hizo un análisis del nivel de implementación del habilitador de Arquitectura a nivel de naturaleza jurídica. Como resultado, se obtuvieron los siguientes tres grupos de entidades:

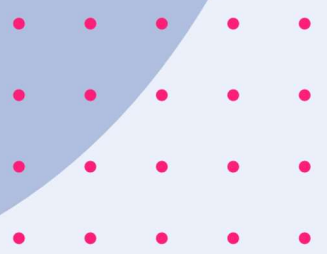
Grupo	Entidades (según naturaleza jurídica)	Número de entidades	Promedio del número de trámites
1	Unidad Administrativa Especial sin Personería Jurídica, Especial, Ministerio	37	87.8

<b>2</b>	Agencia Estatal de Naturaleza Especial, Superintendencia con Personería Jurídica, Unidad Administrativa Especial con Personería Jurídica	44	85.2
<b>3</b>	Establecimiento Público, Sociedad de Economía Mixta, Departamento Administrativo, Empresa Industrial y Comercial del Estado, Empresa Social del Estado, Instituto Científico y Tecnológico, Sociedad Pública por Acciones, Entidad Descentralizada Indirecta	98	81.0

*Tabla 3. Grupos de entidades nacionales*

Fuente: Elaboración Propia

## 2. Plazos diferenciales para la implementación del MRAE



A partir de la segmentación implementada en la sección anterior, se diseñó e implementó una metodología que permite asignar a cada grupo de entidades plazos diferenciales para la implementación del MRAE. En las siguientes subsecciones se explican los detalles metodológicos y los resultados obtenidos.

## 2.1 Estimación de tiempos para la implementación del MRAE

Con el propósito de estimar el tiempo que toma implementar el MRAE se llevó a cabo un ejercicio para determinar las actividades necesarias para lograrlo. Para tal fin, se conformó un equipo de expertos en la materia cuyos miembros hacen parte del equipo de la Dirección de Gobierno Digital de MinTIC, y cuyo trabajo permitió identificar las siguientes fases y actividades requeridas para la implementación del MRAE:

Modelo	Proceso / Dominio	Lineamiento
Modelo de Arquitectura Empresarial MAE	Proceso de Arquitectura Empresarial	Evaluación del nivel de madurez
		Planeación de los ejercicios de AE
		Gobierno y capacidad de Arquitectura Empresarial
		Visión de la arquitectura
		Definición de la Arquitectura Empresarial
		Matriz de interesados de la AE
		Hoja de ruta de la Arquitectura Empresarial
		Repositorio AE
	Arquitectura institucional	Estimación financiera y modelo de planeación Institucional
		Modelo capacidades institucionales
		Modelo operativo institucional
		Modelo de servicios institucionales
	Arquitectura de Información	Flujos de información
		Arquitectura de Información
		Intercambio de Información entre entidades del Estado
		Modelo de Información Institucional
	Arquitectura de sistemas de información	Arquitecturas de referencia para soluciones de la entidad
		Arquitecturas de solución de sistemas de información
		Caracterización de los sistemas de información
	Arquitectura de Tecnología	Catálogo de elementos de infraestructura
Plataforma de interoperabilidad del estado		
Continuidad y disponibilidad de los Elementos de infraestructura		
Arquitecturas de referencia tecnológica de la Entidad		

	<b>Arquitectura de seguridad</b>	Catálogo de servicios de seguridad de la información y ciberseguridad
		Análisis de impacto del negocio Arquitectura de seguridad Ciberseguridad
	<b>Proceso Uso y apropiación de la práctica de AE</b>	Estrategia de Uso y apropiación. Implementación de la Estrategia de Uso y Apropiación
<b>Modelo de Gestión y Gobierno TI</b> <b>MGGTI</b>	<b>Estrategia TI</b>	Entendimiento Estratégico de TI
		Documentación de la Estrategia de TI
		Gestión de los proyectos con componentes de TI
		Gestión del presupuesto de TI
		Catálogo de servicios de TI
		Evaluación de la gestión de la estrategia de TI
		Tablero de indicadores de TI
		Investigación e innovación en TI
		Diseño impulsado con el usuario
	<b>Gobierno TI</b>	Esquema de gobierno de TI
		Gestión de las no conformidades
		Proceso de gestión de TI
		Gestión de cambios
		Capacidades y recursos de TI
		Capacidades y Optimización de recursos de TI
		Evaluación del desempeño de la gestión de TI
		Mejoramiento de los procesos
		Gestión de Proveedores de TI
	Políticas de TI	
	<b>Gestión de Información</b>	Gobierno de datos
		Gestión de la calidad de los datos
		Gestión de documentos electrónicos
		Marco de Referencia Geoespacial
		Publicación de los servicios de intercambio de información
		Acuerdos de intercambio de información
		Uso del código postal colombiano
		Explotación de datos
	<b>Gestión de Sistemas de Información</b>	Metodología para el desarrollo de sistemas de información
		Catálogo de Sistemas de Información
		Guía de estilo y usabilidad
		Ambientes independientes en el ciclo de vida de los sistemas de información
		Análisis de requerimientos de los sistemas de información
		Integración, entrega y despliegue continuo durante el ciclo de vida de los sistemas de información

		Plan de pruebas durante el ciclo de vida de los sistemas de información
		Manual del usuario, técnico y de operación de los sistemas de información
		Plan de mantenimiento de los sistemas de información
		Servicios de mantenimiento de sistemas de información con terceras partes
		Plan de calidad de los sistemas de información
		Requerimientos no funcionales o atributos de calidad de los sistemas de Información
		Accesibilidad
		Arquitectura de Software
	<b>Gestión de Servicios de TI</b>	Catálogo de servicios de Tecnología
		Gestión de los servicios de TI
		Acceso a servicios en la Nube
		Continuidad y disponibilidad de los Servicios de TI
		Alta disponibilidad de los Servicios de TI
		Capacidad de los Servicios tecnológicos
		Acuerdos de Nivel de Servicios
		Soporte a los servicios de TI
		Planes de mantenimiento
		Monitoreo de la infraestructura de TI
		Respaldo y recuperación de los Servicios tecnológicos
		Disposición de residuos tecnológicos
		Gestión de Problemas de TI
		Gestión de Cambios de TI
	Implementación del protocolo de internet versión 6 (IPv6)	
	<b>Gestión de la seguridad</b>	Modelo de Seguridad y Privacidad de la Información
		Gestión de riesgos de seguridad
		Gestión de controles de seguridad
		Monitoreo de seguridad
	<b>Uso y Apropiación de TI</b>	Estrategia de Uso y Apropiación de TI
		Gestión del cambio
		Plan de Formación
		Evaluación del nivel de adopción de TI
	<b>Contexto Estratégico</b>	Cumplimiento normativo
		Banco de proyectos
		Generación de valor público
		Oficina de Proyectos
		Selección de metodología
		Liderazgo de Proyectos de TI
	<b>Planeación</b>	Plan de Gestión del Proyecto
		Definición de requerimientos

	<b>Ejecución y Control</b>	Generación de entregables
		Medición del desempeño
		Gestión de riesgos
		Involucramiento de interesados
	<b>Cierre y Operación</b>	Lecciones Aprendidas
		Cierre contractual
Evaluación de fines propuestos		

Tabla 4. Actividades para la implementación del MRAE

Fuente: Elaboración Propia

Luego, cada miembro del equipo hizo un ejercicio de estimación del tiempo que toma realizar cada una de las actividades antes descritas, a partir de su conocimiento y experiencia en esta materia. Este ejercicio se hizo considerando dos escenarios: uno optimista y otro pesimista. En las siguientes dos tablas se resumen los resultados obtenidos para la implementación del MRAE:

Modelo	Proceso / Dominio	Lineamiento	Peso del Lineamiento	Tiempo estimado (horas)	
				Optimista	Pesimista
<b>Modelo de Arquitectura Empresarial MAE</b>	<b>Proceso de Arquitectura Empresarial</b>	Evaluación del nivel de madurez	0,93%	27	48
		Planeación de los ejercicios de AE	1,10%	31	57.6
		Gobierno y capacidad de Arquitectura Empresarial	1,31%	36	69.2
		Visión de la arquitectura	0,59%	14	33.2
		Definición de la Arquitectura Empresarial	15,96%	368	910
		Matriz de interesados de la AE	0,46%	12	25
		Hoja de ruta de la Arquitectura Empresarial	0,85%	22	46
		Repositorio AE	0,44%	8	27
	<b>Arquitectura institucional</b>	Modelo financiero y de planeación Institucional	0,74%	20	39.4
		Modelo capacidades institucionales	0,59%	15	32.4
		Modelo operativo institucional	0,72%	18	39
		Modelo de servicios institucionales	0,61%	16	32.2
	<b>Arquitectura de Información</b>	Flujos de información	0,72%	18	39.4
		Arquitectura de Información	0,72%	18	39.4
		Intercambio de Información entre entidades del Estado	1,03%	19	63.6
		Modelo de Información Institucional	0,72%	19	38.6
	<b>Arquitectura de sistemas de información</b>	Arquitecturas de referencia de la entidad	0,79%	21	42.2
		Arquitecturas de solución de sistemas de información	0,98%	27	51

Modelo	Proceso / Dominio	Lineamiento	Peso del Lineamiento	Tiempo estimado (horas)		
				Optimista	Pesimista	
		Caracterización de los sistemas de información	0,80%	20	43.4	
	<b>Arquitectura de Tecnología</b>	Catálogo de elementos de infraestructura	0,82%	21	44.6	
		Plataforma de interoperabilidad del estado	0,68%	17	37.4	
		Continuidad y disponibilidad de los Elementos de infraestructura	0,67%	18	36	
		Arquitecturas de referencia de la entidad de la arquitectura tecnológica	0,51%	15	26	
	<b>Arquitectura de seguridad</b>	Catálogo de servicios de seguridad de la información y ciberseguridad	0,71%	19	38	
		Análisis de impacto del negocio	0,78%	16	46.8	
		Análisis de riesgos	0,67%	14	40	
		Ciberseguridad	0,79%	20	44	
	<b>Proceso Uso y apropiación de la práctica de AE</b>	Estrategia de Uso y apropiación.	0,93%	22	52.6	
		Implementación de la Estrategia de Uso y Apropiación	1,90%	50	101.44	
	<b>Modelo de Gestión y Gobierno TI MGGTI</b>	<b>Estrategia TI</b>	Entendimiento Estratégico de TI	0,65%	16	36.4
			Documentación de la Estrategia de TI en el PETI	1,34%	33	74.4
Políticas de TI			2,54%	29	174.8	
Gestión de los proyectos con componentes de TI			0,65%	16	36.4	
Gestión del presupuesto de TI			0,55%	13	31.6	
Catálogo de servicios de TI			0,55%	14	30.4	
Evaluación de la gestión de la estrategia de TI			0,46%	12	25.2	
Tablero de indicadores de TI			0,71%	16	40.4	
Investigación e innovación en TI			0,63%	16	34	
Diseño impulsado con el usuario			0,61%	16	32.4	
Instrumentos de Planeación Institucional con componentes de TI			0,51%	12	28.4	
<b>Gobierno TI</b>		Esquema de gobierno de TI	0,96%	24	52.6	
		Gestión de las no conformidades	0,46%	12	24.4	
		Macroproceso de gestión de TI	0,98%	28	50.8	
		Gestión de cambios	0,43%	12	22	
		Capacidades y recursos de TI	0,54%	14	29.2	
		Capacidades y Optimización de recursos de TI	0,62%	16	34.4	



Modelo	Proceso / Dominio	Lineamiento	Peso del Lineamiento	Tiempo estimado (horas)		
				Optimista	Pesimista	
		Evaluación del desempeño de la gestión de TI	0,45%	11	24.8	
		Mejoramiento de los procesos	0,77%	19	42.8	
		Gestión de Proveedores de TI	0,42%	11	22.8	
	<b>Gestión de Información</b>	Gobierno de la información	0,80%	21	43	
		Gestión de la calidad de los datos	0,57%	15	30.2	
		Gestión de documentos electrónicos	0,50%	12	27.6	
		Marco de Referencia Geoespacial	0,59%	15	32.4	
		Publicación de los servicios de intercambio de información	0,75%	17	42.6	
		Acuerdos de intercambio de información	0,86%	21	47.4	
		Uso del código postal colombiano	0,36%	10	19.4	
		Explotación de datos	0,65%	14	38.4	
		<b>Gestión de Sistemas de Información</b>	Metodología para el desarrollo de sistemas de información	0,73%	20	38.4
			Catálogo de Sistemas de Información	0,68%	17	37.2
	Guía de estilo y usabilidad		0,63%	15	35.2	
	Ambientes independientes en el ciclo de vida de los sistemas de información		0,50%	14	26.4	
	Análisis de requerimientos de los sistemas de información		0,65%	16	35.6	
	Integración continua durante el ciclo de vida de los sistemas de información		0,77%	20	41.2	
	Entrega continua durante el ciclo de vida de los sistemas de información		0,59%	17	30.8	
	Despliegue continuo durante el ciclo de vida de los sistemas de información		0,64%	17	34.8	
	Plan de pruebas durante el ciclo de vida de los sistemas de información		0,63%	16	34.8	
	Manual del usuario, técnico y de operación de los sistemas de información		0,42%	12	22	

Modelo	Proceso / Dominio	Lineamiento	Peso del Lineamiento	Tiempo estimado (horas)	
				Optimista	Pesimista
		Estrategia de mantenimiento de los sistemas de información	0,42%	12	22
		Servicios de mantenimiento de sistemas de información con terceras partes	0,46%	12	25.2
		Plan de calidad de los sistemas de información	0,35%	8	19.8
		Requerimientos no funcionales y atributos calidad de los sistemas de Información	0,44%	12	23.6
		Accesibilidad	0,32%	8	17.4
		Arquitectura de Software	0,64%	13	38.4
	<b>Gestión de Servicios de TI</b>	Catálogo de servicios de Tecnología	0,46%	11	26
		Gestión de los servicios de TI	0,69%	16	38.8
		Acceso a servicios en la Nube	0,56%	12	33.2
		Continuidad y disponibilidad de los Servicios de TI	0,64%	17	34
		Alta disponibilidad de los Servicios de TI	2,65%	33	179.2
		Capacidad de los Servicios tecnológicos	0,69%	18	37.2
		Acuerdos de Nivel de Servicios	0,65%	18	33.4
		Soporte a los servicios de TI	1,14%	26	64.6
		Planes de mantenimiento	1,17%	27	66.8
		Control de consumo de los recursos compartidos por Servicios tecnológicos	0,55%	15	29.2
		Gestión preventiva de los Servicios tecnológicos	0,63%	16	34
		Respaldo y recuperación de los Servicios tecnológicos	0,63%	15	35.6
		Análisis de riesgos	0,71%	17	39.6
		Seguridad informática	0,70%	15	40.8
		Disposición de residuos tecnológicos	0,47%	13	24.8
		Gestión de Problemas de TI	0,59%	13	34.4
		Gestión de Cambios de TI	0,49%	12	28
	Implementación del protocolo de internet versión 6 (IPv6)	5,85%	54	414.4	
	<b>Uso y Apropiación de TI</b>	Estrategia de Uso y Apropiación de TI	0,75%	18	41.4
		Esquema de incentivos	0,52%	14	27.6

Modelo	Proceso / Dominio	Lineamiento	Peso del Lineamiento	Tiempo estimado (horas)	
				Optimista	Pesimista
		Plan de Formación	0,98%	15	64
		Evaluación del nivel de adopción de TI	0,72%	17	40.2
		Plan de capacitación y entrenamiento para los sistemas de información	1,00%	17	63.2
<b>Modelo de Gestión de Proyectos TI MGPTI</b>	<b>Contexto Estratégico</b>	Cumplimiento normativo	0,60%	14	34.4
		Banco de proyectos	0,47%	12	26
		Generación de valor público	0,40%	11	21.2
		Oficina de Proyectos	1,14%	22	69.2
		Selección de metodología	0,51%	13	28
		Liderazgo de Proyectos de TI	0,34%	10	17.2
	<b>Planeación</b>	Plan de Gestión del Proyecto	0,72%	18	39.6
		Definición de requerimientos	0,72%	12	46
	<b>Ejecución y Control</b>	Generación de entregables	0,66%	12	40.8
		Medición del desempeño	0,50%	12	28.8
		Gestión de riesgos	0,59%	12	34.8
		Involucramiento de interesados	0,47%	8	30.2
	<b>Cierre y Operación</b>	Lecciones Aprendidas	0,30%	7	17
		Cierre contractual	1,54%	34	89
		Evaluación de fines propuestos	0,47%	11	26.6
<b>Tiempo total en horas</b>			100%	2271	5734
<b>Tiempo total en meses<sup>1</sup></b>				27	67

Tabla 5. Tiempos estimados para la implementación del MRAE

Fuente: Elaboración Propia

Así, bajo las condiciones actuales, el tiempo estimado para implementar el MRAE es de 27 meses para un escenario optimista y 67 meses para un escenario pesimista.

## 2.2 Estimación de plazos diferenciales

A partir de los tiempos estimados para implementar el MRAE en los dos escenarios analizados (pesimista y optimista), se diseñó e implementó un método de estimación de plazos diferenciales que asigna el menor tiempo estimado (según escenario optimista) al grupo de entidades de mayor

<sup>1</sup> Para obtener el tiempo estimado en meses, se consideraron meses de 22 días y días de ocho horas, con dedicación del 50%.

capacidad, y el mayor tiempo estimado (según escenario pesimista) al grupo de entidades de menor. Así mismo, el método considera el aprendizaje y evolución tecnológica a través del tiempo.

Así, el plazo para cada grupo de entidades  $T_g$  está dado por las siguientes ecuaciones:

$$S_g = \frac{1}{N_g K} \sum_{n=1}^{N_g} \sum_{k=1}^K \left( \frac{V_{n,k} - V_{kmin}}{V_{kmax} - V_{kmin}} \right) \quad (2.1)$$

$$t_g = \left( 1 - \frac{S_g - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \right) (t_h - t_l) + t_l \quad (2.2)$$

$$t_g = P_g (r_g + 1)^{P_g} \quad (2.3)$$

$$T_g = \begin{cases} \lfloor P_g \rfloor, & \text{si } P_g - \lfloor P_g \rfloor < 0.5 \\ \lceil P_g \rceil, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.4)$$

Donde,

$T_g$ , plazo en meses para las entidades del grupo  $g$

$P_g$ , plazo en meses (sin redondeo) para las entidades del grupo  $g$

$r_g$ , factor que representa la tasa de aprendizaje y la evolución tecnológica a través del tiempo del grupo  $g$

$t_g$ , tiempo en meses de implementación del MRAE para las entidades del grupo  $g$

$t_h$ , tiempo en meses de implementación del MRAE para un escenario pesimista

$t_l$ , tiempo en meses de implementación del MRAE para un escenario optimista

$S_g$ , índice sintético para las entidades que pertenecen al grupo  $g$

$S_{min}$ , valor más bajo del índice sintético

$S_{max}$ , valor más alto del índice sintético

$N_g$ , número de entidades que pertenecen al grupo  $g$

$K$ , número de variables de caracterización de entidades

$V_{n,k}$ , valor de la variable  $k$  para la entidad  $n$

$V_{kmin}$ , valor más bajo de la variable  $k$

$V_{kmax}$ , valor más alto de la variable  $k$

Nótese de la ecuación 2.3 que no hay una solución analítica para  $P_g$ , razón por la cual es necesario resolverla a través de métodos numéricos. Para tal fin, se calculó la derivada implícita de  $P_g$  con respecto a  $t_g$  de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt_g} [t_g = P_g(r_g + 1)^{P_g}] \\ 1 = (r_g + 1)^{P_g} \ln(r_g + 1) P_g \frac{dP_g}{dt_g} + (r_g + 1)^{P_g} \frac{dP_g}{dt_g} \\ \frac{dP_g}{dt_g} = \frac{1}{(r_g + 1)^{P_g} (\ln(r_g + 1) P_g + 1)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Para resolver la ecuación diferencial 2.5 se utilizó el método de Runge-Kutta de cuarto orden -RK4, definido así:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6} h (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (2.6)$$

Con condición inicial:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y), \quad y(x_0) = y_0$$

Donde,

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2h\right)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3h)$$

$$h = \frac{x - x_0}{n}$$

$n$  = número de iteraciones

A continuación, se presentan los plazos diferenciales obtenidos a través de esta metodología, los cuales fueron sometidos a un ejercicio de verificación por parte del equipo de expertos de la Dirección de Gobierno Digital, con el propósito de validar su coherencia.

### 2.3 Plazos para la implementación del MRAE

Los plazos se contarán a partir de la expedición de la resolución que adopta la versión 3 del MRAE. A continuación, se presentan los plazos diferenciales de cada grupo de entidades para implementar el MRAE:

Grupo de entidades (según naturaleza jurídica)	Bloque 1: 40% de lineamientos	Bloque 1+2: 70% de lineamientos	Bloque 1+2+3: 100% de lineamientos
Departamentos Administrativos, Ministerios, Empresas Industriales y Comerciales del Estado, Sociedades de Economía Mixta, Institutos Científicos y Tecnológicos	10 meses	17 meses	23 meses
Unidades Administrativas Especiales, Superintendencias, Agencias Estatales de Naturaleza Especial, Establecimientos Públicos, Empresas de Servicios Públicos	11 meses	18 meses	25 meses
Empresas Sociales del Estado, Entidades de Naturaleza Jurídica Especial, Otras Entidades de la Rama Ejecutiva	12 meses	20 meses	27 meses

Tabla 6. Plazo límite para la implementación del MRAE – entidades nacionales

Fuente: Elaboración Propia

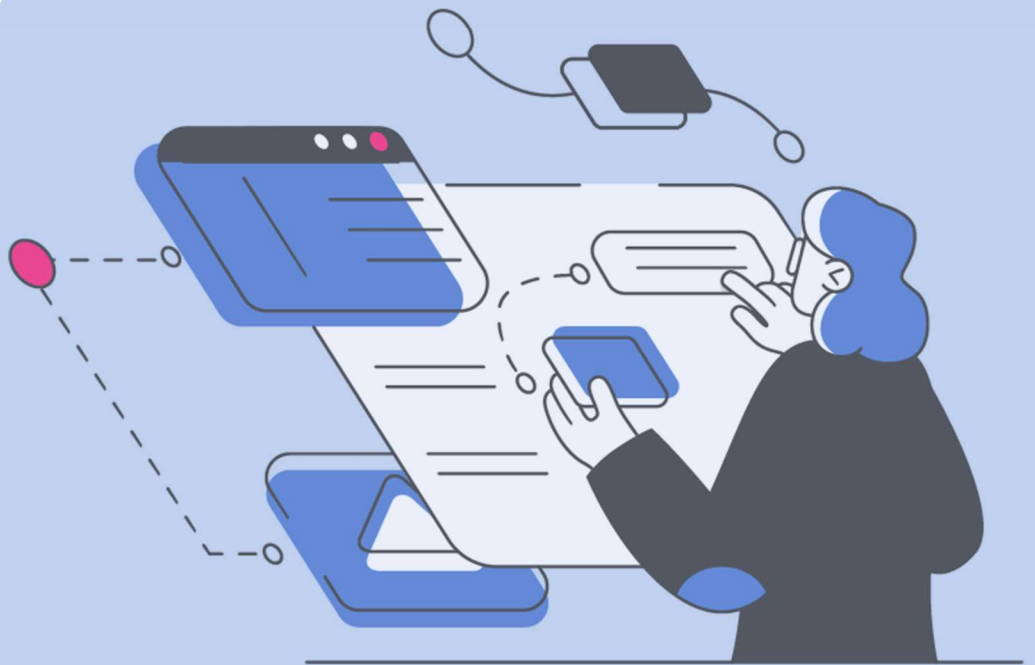
Grupo de entidades (según naturaleza jurídica)	Bloque 1: 40% de lineamientos	Bloque 1+2: 70% de lineamientos	Bloque 1+2+3: 100% de lineamientos
Distrito Capital, Instituciones Universitarias, Avanzado - Alcaldía, Gobernaciones	13 meses	21 meses	29 meses
Áreas Metropolitanas, Avanzado - Establecimiento Público - Departamental, Avanzado - Empresa Social Del Estado - Departamental, Avanzado - Sociedad De Economía Mixta, Otras Descentralizadas Departamentales, Intermedio - Empresa Social Del Estado - Departamental, Avanzado - Empresa Social Del Estado, Avanzado - Empresa Industrial Y Comercial Del Estado	17 meses	28 meses	36 meses
Unidades Administrativas Especiales, Institución Prestadora De Servicios De Salud, Intermedio - Alcaldía, Avanzado - Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Oficial, Básico - Alcaldía, Avanzado - Establecimiento Público	19 meses	30 meses	40 meses
Otras Descentralizadas Municipales, Básico - Empresa Social Del Estado - Departamental, Básico - Empresa Industrial Y Comercial Del Estado, Básico - Empresa Social Del Estado, Intermedio - Empresa Social Del Estado	20 meses	32 meses	42 meses

Grupo de entidades (según naturaleza jurídica)	Bloque 1: 40% de lineamientos	Bloque 1+2: 70% de lineamientos	Bloque 1+2+3: 100% de lineamientos
Intermedio - Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Oficial, Básico - Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Oficial, Intermedio - Establecimiento Público, Asociación de Municipios, Básico - Establecimiento Público	23 meses	36 meses	47 meses

*Tabla 7. Plazo límite para la implementación del MRAE – entidades territoriales*

Fuente: Elaboración Propia

# Conclusiones





- Establecer plazos diferenciales para que las entidades implementen el MRAE implica resolver dos problemas: el primero, consiste en agrupar a las entidades a partir de sus características; y el segundo, consiste en determinar plazos diferenciales para cada grupo de entidades.
- La agrupación de entidades se basó en el análisis de las características socioeconómicas de los municipios, desempeño institucional de las entidades, y el nivel de implementación del MRAE. Como resultado, las entidades nacionales se clasificaron en 3 grupos y las entidades territoriales se organizaron en 5 grupos.
- La definición de plazos para cada grupo de entidades se basó en el análisis de las actividades requeridas para implementar el MRAE en dos escenarios: uno optimista y otro pesimista.
- La metodología desarrollada permite asignar plazos diferenciales a cada grupo de entidades en función de su nivel de implementación del habilitador de Arquitectura y de las características socioeconómicas de los municipios en donde operan.
- La implementación del MRAE se llevará a cabo de manera gradual en 3 bloques de trámites del 40%, 30% y 30%.

# Referencias bibliográficas



- Wu, J, (2012). *Advances in K-means Clustering: A Data Mining Thinking*. Beijing: Springer.
- Nasraoui, O, Ben N'Cir., C-E. (2010). *Unsupervised and Semi-Supervised Learning: Techniques, Toolboxes and Applications*. Suiza: Springer.
- Kassambara, A. (2017). *Practical Guide To Cluster Analysis in R: Unsupervised Machine Learning*. Edition 1. STHDA.
- Kiusalaas, J. (2005). *Numerical Methods in Engineering with Python*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sruthika, P. and Tahunisha, N. *Handbook on evolution of analytics to big data analytics*.
- SCIKIT-LEARN. (2018). *Machine Learning in Python*. Recuperado de <https://scikit-learn.org/stable/>
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2020). *Documento Metodológico Operación Estadística Medición del Desempeño Institucional*. Segunda Versión. Recuperado de [https://www.funcionpublica.gov.co/web/mipg/medicion\\_desempeno](https://www.funcionpublica.gov.co/web/mipg/medicion_desempeno)