



NUEVOS DESAFÍOS,  
**MÁS OPORTUNIDADES**  
¡Sé parte de la transición!

## MAPA DE RUTA DEL OPERADOR COLOMBIANO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

### PROPONENTES:

|                 |                                   |                                     |                 |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| <b>NOMBRE:</b>  | Julián Castaño Marín              |                                     |                 |
| <b>EQUIPO:</b>  | Dirección Aseguramiento Operación |                                     |                 |
| <b>CARGO:</b>   | Analista Aseguramiento Operación  |                                     |                 |
| <b>EMPRESA:</b> | XM S.A. E.S.P.                    |                                     |                 |
| <b>PAÍS:</b>    | Colombia                          |                                     |                 |
| <b>CORREO:</b>  | jcastanom@xm.com.co               |                                     |                 |
|                 | <b>AUTOR:</b>                     | <input checked="" type="checkbox"/> | <b>COAUTOR:</b> |

|                 |                                  |                          |                                                     |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>NOMBRE:</b>  | Leidy Dayana Buitrago Beltrán    |                          |                                                     |
| <b>EQUIPO:</b>  | Dirección Coordinación Operación |                          |                                                     |
| <b>CARGO:</b>   | Ingeniera Operación              |                          |                                                     |
| <b>EMPRESA:</b> | XM S.A. E.S.P.                   |                          |                                                     |
| <b>PAÍS:</b>    | Colombia                         |                          |                                                     |
| <b>CORREO:</b>  | ldbuitrago@xm.com.co             |                          |                                                     |
|                 | <b>AUTOR:</b>                    | <input type="checkbox"/> | <b>COAUTOR:</b> <input checked="" type="checkbox"/> |

### RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo que se llevó a cabo para obtener el mapa de ruta que permite al Centro Nacional de Despacho -CND- de Colombia, con un horizonte al año 2028, y como entidad encargada de la planeación, supervisión y control de la operación del Sistema Interconectado Nacional -SIN-, prepararse para la operación futura de este, viabilizando el cumplimiento de los objetivos estratégicos del gobierno nacional de Colombia y de XM S.A. E.S.P. -XM- establecidos para la transición energética, incluyendo los desafíos que imponen las nuevas tecnologías de generación de energía eléctrica, su masificación y los desarrollos tecnológicos que posibilitan su funcionamiento e integración al sistema. El mapa de ruta se estableció para cinco frentes temáticos: suficiencia energética, flexibilidad por potencia, capacidad de transporte, seguridad eléctrica y otros aspectos transversales, dentro de los cuales se incluye tecnología, ciberseguridad, capacitación y estructura de empresa. Y para cada uno de estos frentes, se identificaron las brechas, las acciones a desollar para cerrarlas y los hitos en el tiempo que se alinean a cada una de ellas.

### PALABRAS CLAVES

Mapa de ruta, transición energética, suficiencia energética, flexibilidad por potencia, capacidad de transporte, seguridad eléctrica.

### CATEGORÍA

Fortalecimiento de los negocios actuales.

*isa*

CONEXIONES QUE INSPIRAN



NUEVOS DESAFÍOS,  
**MÁS OPORTUNIDADES**  
¡Sé parte de la transición!

## INTRODUCCIÓN

Se debe considerar que el gobierno nacional, en cabeza del Ministerio de Minas y Energía - MME-, presentó lo que han llamado “la Transición Energética Justa en Colombia” [1], y dentro de los componentes que se consideraron en su diseño se encuentran: el mejoramiento de la eficiencia energética, la expansión del uso de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) para sustituir las fuentes de energía fósil, la electrificación de la matriz energética, el fomento de la industria nacional asociada a las tecnologías de las energías renovables, entre otros.

Considerando lo anterior, se identifican dos aspectos técnicos relevantes con afectación a la operación del SIN: el primero, es que es inminente una sustitución gradual de aquellas fuentes de energía fósil por fuentes de energía renovable, y el segundo, lo anterior exige un proceso de planeación de la operación que vaya en línea con la promoción del uso de recursos sustentables.

Por lo tanto, la transición energética presenta una serie de desafíos para el operador colombiano, asociados principalmente con el uso de nuevas tecnologías para la integración de la energía solar fotovoltaica, la energía eólica y el almacenamiento de la energía, lo cual se traduce en la inclusión masiva de generación con recursos primarios de alta variabilidad en la operación de tiempo real, así como una participación activa de la demanda en el mercado de energía, y por lo tanto, el operador del SIN se enfrenta a la tarea de integrar estas fuentes intermitentes de manera segura y confiable.

Es así como, dentro de las funciones reguladas del CND y con el fin de identificar aquellas condiciones de operación en un medio y largo plazo, desde el área de planeación de la operación se desarrollaron los estudios de flexibilidad [2] y resiliencia [3] del SIN donde se definieron las combinaciones de carga y de generación futuras, con el fin de identificar si el SIN tiene la habilidad de responder a las diferentes condiciones de cambio en la demanda y la generación en todas las escalas y horizontes de tiempo.

Dichas condiciones operativas buscan cubrir todo el espectro de cambios críticos para los que es necesario estar preparados, por lo tanto, aquellas identificadas en los estudios previamente listados, son una herramienta que han ayudado a guiar los preparativos para la futura operación del sistema de potencia, y por ende la definición del mapa de ruta del operador colombiano que se presenta en este artículo.

El mapa de ruta para la transición energética tiene un diseño por fases, en donde cada fase representa un año y el nivel de madurez en la adopción de los nuevos conocimientos, habilidades, propuestas regulatorias, desarrollos, procesos, aplicaciones, entre otros, requeridos para materializar la operación ideal bajo los nuevos escenarios. Adicionalmente, busca un desarrollo de una visión innovadora y la adopción de los últimos avances tecnológicos como parte de la transformación de procesos, que permitan tener un sistema confiable, seguro, resiliente, y autónomo, así como tener una supervisión intuitiva que permita una respuesta rápida por parte de los operadores en la operación de tiempo real.

*isa*

CONEXIONES QUE INSPIRAN



NUEVOS DESAFÍOS,  
**MÁS OPORTUNIDADES**  
¡Sé parte de la transición!

## 1 ESTUDIO DE FLEXIBILIDAD Y SUS COMPONENTES

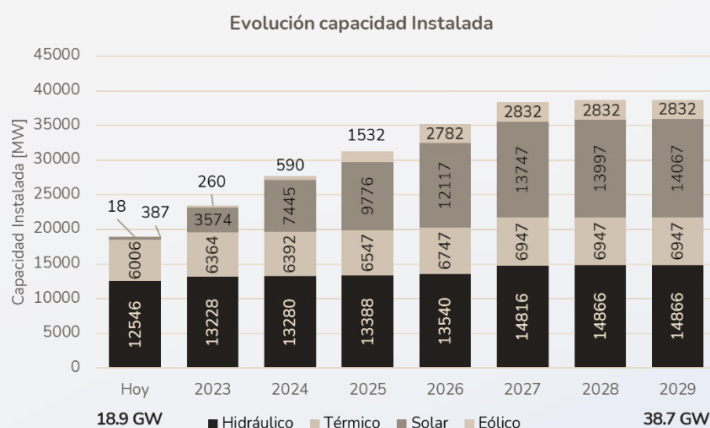
Antes de exponer el detalle de la elaboración del mapa de ruta, es indispensable explicar un poco más lo que contiene el estudio de flexibilidad del SIN, para poder entender lo expuesto más adelante. Decimos que el SIN es flexible si es capaz, de forma económica, confiable y segura, de:

- Contar con la **suficiencia energética** necesaria para integrar las FNCER, garantizando la atención de la demanda y utilizando de forma adecuada la matriz de generación esperada, aprovechando la complementariedad entre los recursos que la componen (hidráulica, solar, eólica, térmica, entre otros).
- Satisfacer los picos de demanda y garantizar la disponibilidad y controlabilidad de las reservas de potencia activa para contrarrestar las desviaciones de generación y demanda, así como las rampas de demanda neta, garantizando el balance carga-generación

en todos los horizontes de tiempo, lo que llamamos **flexibilidad por potencia**.

- Tener la **capacidad de transporte** de forma segura de la potencia producida en los centros de generación hacia los centros de consumo, sin que se generen limitaciones en recursos de generación por limitaciones en la red.
- Garantizar la **seguridad** del sistema para atender la demanda cumplimiento los límites y criterios de calidad para el voltaje y la frecuencia en estado estable y ante contingencias, así como soportando los niveles de inercia y demás fenómenos eléctricos de la operación.

En el estudio de flexibilidad se identificó, a partir de la información suministrada por la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME-, la intensión de instalación en Colombia de 16.9 GW de fuentes de energía renovable aproximadamente (14.1 GW solar y 2.8 GW Eólica) para el año 2029, como se muestra en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Evolución capacidad instalada 2023-2029

Fuente: Tomado de [2]

isa

CONEXIONES QUE INSPIRAN



NUEVOS DESAFÍOS,  
**MÁS OPORTUNIDADES**  
¡Sé parte de la transición!

Es así que para los diferentes horizontes de tiempo (2024-2025, 2025-2026 y 2026-2027), se han identificado varios retos que el operador del sistema debe enfrentar para cinco frentes: suficiencia energética, flexibilidad por potencia, capacidad de transporte, seguridad eléctrica y otros aspectos transversales a los anteriores, los cuales se conciben como frentes de trabajo en el mapa de ruta y fue el punto de partida para su diseño.

## 2 MAPA DE RUTA

El mapa de ruta adopta un enfoque holístico, que destaca la importancia de la interdependencia entre los diferentes frentes del estudio de flexibilidad, y en el cual se identifican las brechas y las acciones necesarias para cerrarlas, con el fin de facilitar una transición sistemática y ordenada del SIN en los procesos del CND durante los próximos 6 años.

Este mapa considera la forma de transitar desde la situación actual hasta las condiciones futuras que a la fecha se han identificado, lo que se representa en la Figura 1 a través del concepto de tránsito de un puente. En este se requería de una definición de las condiciones operativas futuras (el lado derecho del puente) y un levantamiento claro del estado conocimiento y los trabajos actuales (el lado izquierdo del puente).

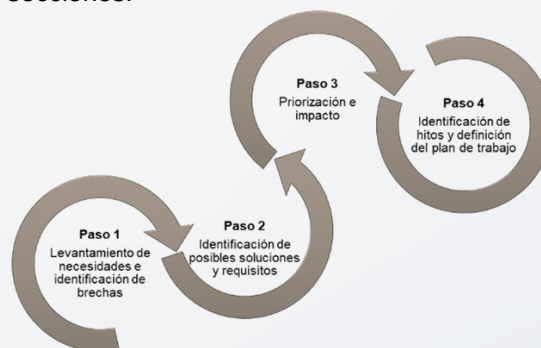


Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Tránsito del mapa de ruta

Para poder transitar el puente, es indispensable la identificación y cierre de las posibles brechas, de todos los procesos y áreas de la empresa posiblemente impactadas (la sección central del puente), sin dejar de cumplir con los requerimientos actuales de las funciones reguladas del operador del sistema. Si no se abordan las posibles brechas, la transición energética podría verse retrasada o limitada.

Con la metodología utilizada y el considerar en el diseño del mapa de ruta primero el estado final objetivo, permite que este vaya más allá de las adaptaciones incrementales, con lo que se puede identificar un conjunto más amplio de acciones y decisiones que respalden mejor una transición holística. En el diseño del mapa de ruta se siguieron los pasos que se muestran en la Figura 2 y que serán explicando en mayor detalle en las siguientes secciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Pasos del diseño del mapa de ruta

### 2.1 LEVANTAMIENTO DE NECESIDADES E IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS

La identificación de brechas para el mapa de ruta implicó realizar el levantamiento de las deficiencias o insuficiencias que existen para

isa

CONEXIONES QUE INSPIRAN



## NUEVOS DESAFÍOS, MÁS OPORTUNIDADES ¡Sé parte de la transición!

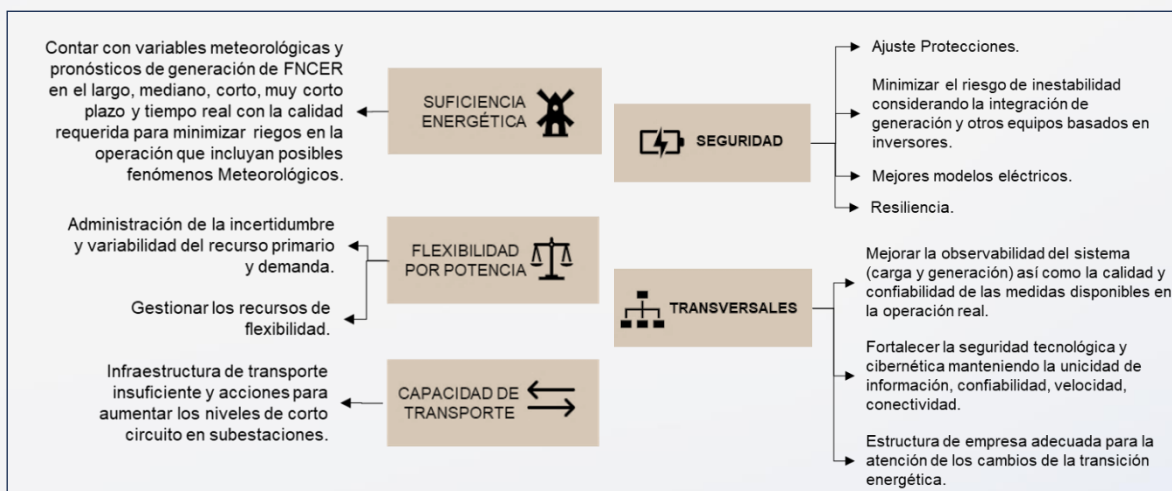
cada horizonte de tiempo analizado para las diferentes áreas del CND (planeación, programación, aseguramiento y coordinación de la operación) y por cada componente del estudio de flexibilidad.

Esta fase se realizó en varias sesiones con más de 40 personas empleando la metodología para innovación y desarrollo de capacidades creativas y de soluciones de problemas desarrollada por WakeUpBrain [6], la cual incluyó actividades que a través del juego permitieron converger a las brechas para la transición energética descritas en la Figura 3. Se realizaron varios carruseles de ideas, en el ámbito de personas y procesos tanto en el corto, mediano y largo plazo.

Lo que se encontró en esta etapa es que era

muy importante diferenciar lo que es una brecha hacia el futuro, de una necesidad de los procesos del día a día. Para el primer caso, se trata de un requerimiento para llegar del estado actual a un estado deseado futuro, y es el que al final haría parte del mapa de ruta, mientras que el segundo caso, se trata de oportunidades de mejora de las actividades rutinarias para mantener el funcionamiento normal que tiene un impacto en su rendimiento.

Como se muestra a continuación, el mapa de ruta del operador colombiano ha identificado 11 grandes brechas en las cuales se deben trabajar para estar preparados para la operación en los horizontes cubiertos por el estudio de flexibilidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Frentes de trabajo del mapa de ruta y brechas generales identificadas

## 2.2 IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES SOLUCIONES Y REQUISITOS

Para cada una de las brechas previamente

describas, y utilizando la misma metodología del paso anterior, se realizó el levantamiento de todas las acciones específicas para cerrar



## NUEVOS DESAFÍOS, MÁS OPORTUNIDADES ¡Sé parte de la transición!

estas brechas, distinguiendo para cada una el año en el cual se debía cumplir. Un ejemplo de este paso se presenta en la Figura 4, en la cual se muestran las acciones identificadas en la brecha *“Contar con variables meteorológicas y pronósticos de generación de FERN en el largo, mediano, corto, muy corto plazo y tiempo real con la calidad requerida para minimizar riegos en la operación que incluyan posibles fenómenos Meteorológicos”* definida para la componente de **suficiencia energética**:



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. Acciones de la brecha de la componente suficiencia energética**

### 2.3 PRIORIZACIÓN E IMPACTO

La priorización de brechas en el mapa de ruta

fue un proceso en el cual estas se clasificaron según urgencia e impacto. Este paso se ejecutó utilizando puntuación de respuestas cerradas, en una escala de 1 a 5, que se aplicaron al grupo de expertos de cada una de las áreas del CND, en donde 5 correspondía a una urgencia e impacto mayor. Con los resultados obtenidos y posterior socialización y discusión con el grupo de trabajo se identificaron aquellas brechas que se trabajarían primero en el tiempo, y se validó que fuera coherente con el nivel de penetración del FNCER en el SIN.

Adicionalmente, para cada una de las acciones que se levantaron en el paso anterior, y para cada una de las brechas, se determinó el impacto y el estado actual de estas en diferentes dimensiones, a saber: a nivel regulatorio, metodológico, si existía o no conocimiento en el CND sobre el tema, si se contaba con herramientas para la ejecución de nuevos procesos y si actualmente se tenía la forma de medir su impacto. Lo anterior permitió tomar decisiones informadas para la definición de hitos para cada acción, que abarcaron propuestas de modificaciones regulatorias, fortalecimiento del conocimiento y las habilidades del personal en cierto campo, optimización de procesos, entre otros.

### 2.4 IDENTIFICACIÓN DE HITOS Y DEFINICIÓN DEL PLAN DE TRABAJO

La definición de hitos en el tiempo para cada una de las acciones en el mapa de ruta implicó identificar eventos clave y fechas límite. Estos hitos sirven como puntos de referencia para medir el progreso y asegurar que el mapa de ruta avance de acuerdo con el cronograma establecido.

Partiendo de lo presentado en la sección 2.3., en la Figura 5 se presenta el ejemplo de la



## NUEVOS DESAFÍOS, MÁS OPORTUNIDADES ¡Sé parte de la transición!

definición de hitos para la acción 2 “*Revisar y realizar reingeniería de pronósticos de generación (datos - modelos)*”:

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2023      | <b>Hito 1.</b> Estabilización de aplicativo de pronósticos de generación.<br><b>Hito 2.</b> Propuesta de seguimiento a calidad de los pronósticos de potencia.                                                                                                                                                                                                                      |
| 2024      | <b>Hito 1.</b> Implementar seguimiento a calidad de los pronósticos de potencia.<br><b>Hito 2.</b> Definir métricas de evaluación de calidad en los pronósticos meteorológicos.<br><b>Hito 3.</b> Documento con la identificación de fenómenos meteorológicos que pueden impactar la seguridad y confiabilidad de la operación.                                                     |
| 2025      | <b>Hito 1.</b> Implementar seguimiento a calidad de los pronósticos meteorológicos.<br><b>Hito 2.</b> Propuesta de articulación institucional para la medición y pronóstico de variables meteorológicas requeridas para los análisis eléctricos y energéticos de XM y los agentes del sector.<br><b>Hito 3.</b> Propuesta de acuerdo CNO para la gestión de alarmas meteorológicas. |
| 2026      | <b>Hito 1.</b> Implementar seguimiento a calidad de los pronósticos meteorológicos.<br><b>Hito 2.</b> Propuesta de articulación institucional para la medición y pronóstico de variables meteorológicas requeridas para los análisis eléctricos y energéticos de XM y los agentes del sector.<br><b>Hito 3.</b> Propuesta de acuerdo CNO para la gestión de alarmas meteorológicas. |
| 2027-2028 | <b>Hito 1.</b> Seguimiento a calidad de los pronósticos meteorológicos y de potencia.<br><b>Hito 2.</b> Seguimiento y gestión de avances institucionales en cuanto a mejoramiento de los pronósticos meteorológicos.                                                                                                                                                                |

Fuente: Elaboración propia

**Figura 5. Hitos asociados a la brecha de la componente suficiencia energética**

Cada hito está claramente definido, tiene asignada un área responsable y para cada año en curso, se tiene identificado si se cumple a través de un proyecto matriculado en la oficina de proyectos de la empresa, si se trabaja directamente con la dedicación del personal de los procesos o si se cuenta con ayudas de agencias internacionales, como G-PST (por sus siglas en inglés: The Global Power System Transformation Consortium), quien ha sido aliado para el desarrollo de varias actividades que permiten el cierre de

hitos. Este enfoque estructurado y detallado es fundamental para la gestión efectiva de proyectos y estrategias, garantizando que los recursos y las estrategias estén alineados con los objetivos del mapa de ruta.

### 3 ESQUEMA DE SEGUIMIENTO

Se definió un esquema de seguimiento ágil para el mapa de ruta buscando establecer un marco de trabajo para supervisar y adaptar de manera flexible su progreso. Se realizan reuniones periódicas de revisión y planificación para ajustar la estrategia según sea necesario y se establecieron indicadores clave de rendimiento (KPI), a saber: plan de acción para determinación cierre de brechas propias para estar preparados transición (% cierre de brechas del plan de acción definido) y meta de cumplimiento de propuestas regulatorias.

Es importante tener presente que el mapa de ruta es dinámico, dado que lo allí definido depende de los escenarios operativos que desde los escenarios de planeación de la operación se vayan visualizando, de los cambios tecnológicos, las modificaciones a la normatividad vigente expedida por el ente regulador y el gobierno, entre otros. Por lo tanto, este enfoque ágil permite una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta a los cambios y facilita una toma de decisiones más informada para alcanzar los objetivos del mapa de ruta de manera eficaz y eficiente.

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los períodos futuros requerirán nuevos enfoques para gestionar el funcionamiento seguro, confiable y económico del sistema eléctrico. Si se cumplen todas las condiciones, el SIN estará muy avanzado en su preparación para operar en todos los



## NUEVOS DESAFÍOS, MÁS OPORTUNIDADES ¡Sé parte de la transición!

escenarios futuros plausibles previstos.

El mapa de ruta del operador del SIN para la transición energética proporciona una guía estratégica hacia un sistema eléctrico más sostenible y resiliente, y las acciones propuestas permiten cumplir con los objetivos ambientales y regulatorios establecidos a nivel nacional e internacional para dicha transición, incluyendo las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y los objetivos de alcanzar alta participación de renovables en la matriz eléctrica.

No obstante al trabajo que se ha realizado a nivel de la operación del SIN, y si bien en el mapa de ruta se tienen identificadas necesidades en el ámbito tecnológico y de nuevos incentivos económicos de mercado, es necesario alinearlas con el área de tecnología, los procesos del Mercado de Energía Mayorista y de Talento Organizacional de la empresa, de tal manera que se tenga claramente identificados por todos los implicados los puntos de convergencia entre cada una de las áreas, y así poder tener mayor certeza del cumplimiento de los hitos definidos para el operador del sistema.

### 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Diálogo social para definir la hoja de ruta de la transición energética justa en Colombia. [online]. Noviembre 2022 [citado Octubre de 2023]: <https://www.minenergia.gov.co/documentos/9497/HojaRutaTransicionEnergeticaJustaColombia.pdf>
- [2] XM, Estudio de Flexibilidad. [online]. Diciembre 2022 [citado Octubre de 2023]. <https://informeannual.xm.com.co/14-flexibilidad/index.html>
- [3] XM, Estudio de Resiliencia. [online]. Diciembre 2022 [citado Octubre de 2023]. <https://informeannual.xm.com.co/14-resiliencia/index.html>
- [4] TENNET, Control Room of the Future R&D Roadmap. Países Bajos. 2021.
- [5] GLOBAL PST CONSORTIUM, Plan para el Centro de Control del Futuro de Perú. . Perú. 2022.
- [6] WAKEUPBRAIN. Bienvenido a WakeUpBrain. [online]. Junio 2023 [citado Octubre 2023]. <https://academy.wakeupbrain.com/>

### HOJA DE VIDA DE LOS AUTORES

Julián Castaño Marín

Ingeniero Electrónico – Universidad Pontificia Bolivariana. 2009. Medellín, Antioquia, Colombia.  
Ingeniero Electricista – Universidad Pontificia Bolivariana. 2012. Medellín, Antioquia, Colombia.  
Magíster en Ingeniería - Universidad Pontificia Bolivariana. 2018. Medellín, Antioquia, Colombia.  
MBA, Westfield Business School. En estudio. Florida. Estados Unidos.  
Cargo actual: Analista Aseguramiento Operación. Dirección Aseguramiento de la Operación. XM S.A. E.S.P-Colombia.

Leidy Dayana Buitrago Beltrán

Ingeniera Electricista - Universidad Nacional de Colombia. 2005. Bogotá D.C., Colombia.  
MSc en Ingeniería Eléctrica - Universidad Nacional de Colombia. 2007. Bogotá D.C., Colombia.  
Especialista en Economía - Universidad de los Andes. 2014. Bogotá D.C., Colombia.  
Master en Lean Project Management, Escuela Internacional de Gerencia. 2021. Granada, España.  
MBA, Westfield Business School. 2021. Florida. Estados Unidos.  
Cargo actual: Ingeniera Operación. Dirección Coordinación de la Operación. XM S.A. E.S.P-Colombia.

*isa*

CONEXIONES QUE INSPIRAN