

El reto de
la sostenibilidad
en **ferrocarriles**
metropolitanos

Iñigo de la Serna
Vicepresidente de TYPESA



29º Comité Técnico Alamys

Granada, 1 de julio de 2024

Movilidad Urbana Sostenible

Soluciones Energéticas y Ambientales para un metro más eficiente

Contenido

1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Estratégico

El Planeamiento Urbanístico y la Ordenación del Territorio

El Planeamiento Sectorial

El Acuerdo Político y Social

2. La ESTRUCTURACIÓN de los trabajos

El caso del Metro de Estocolmo

3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Ambiental

Sostenibilidad Social

Sostenibilidad Económica

Las Certificaciones

La Digitalización, palanca para la Sostenibilidad

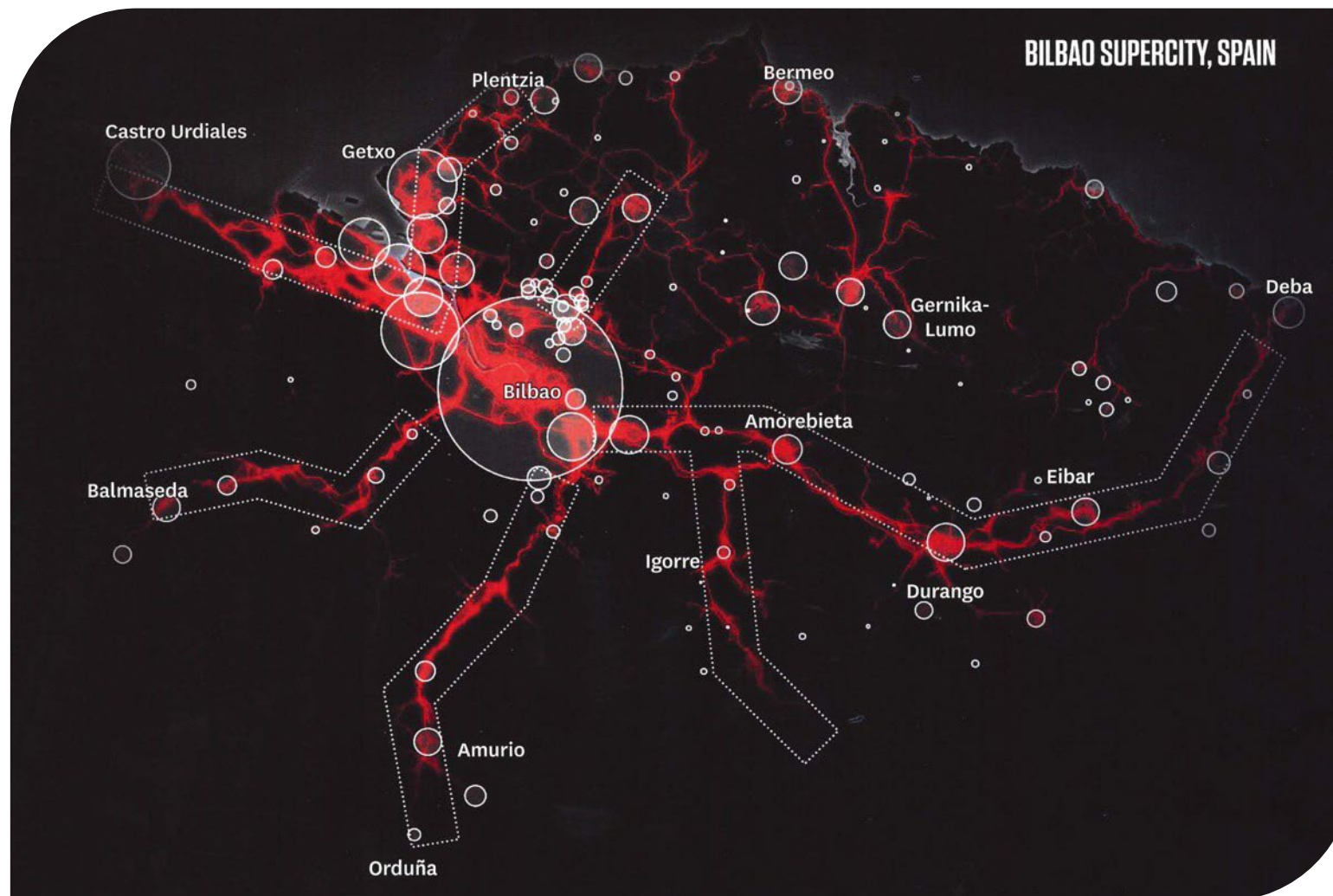
1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Estratégico: **Modelo de Ciudad / Área Metropolitana**



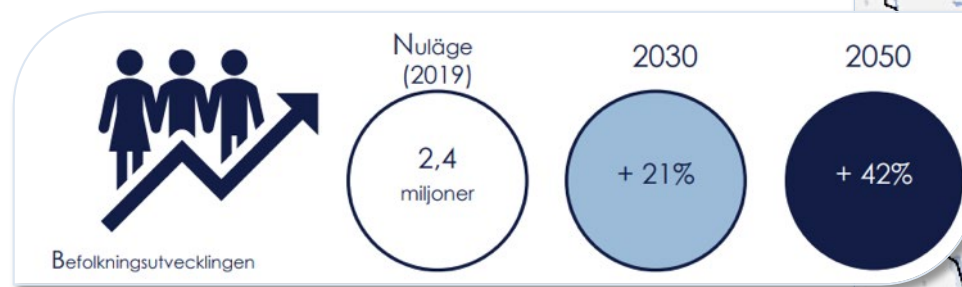
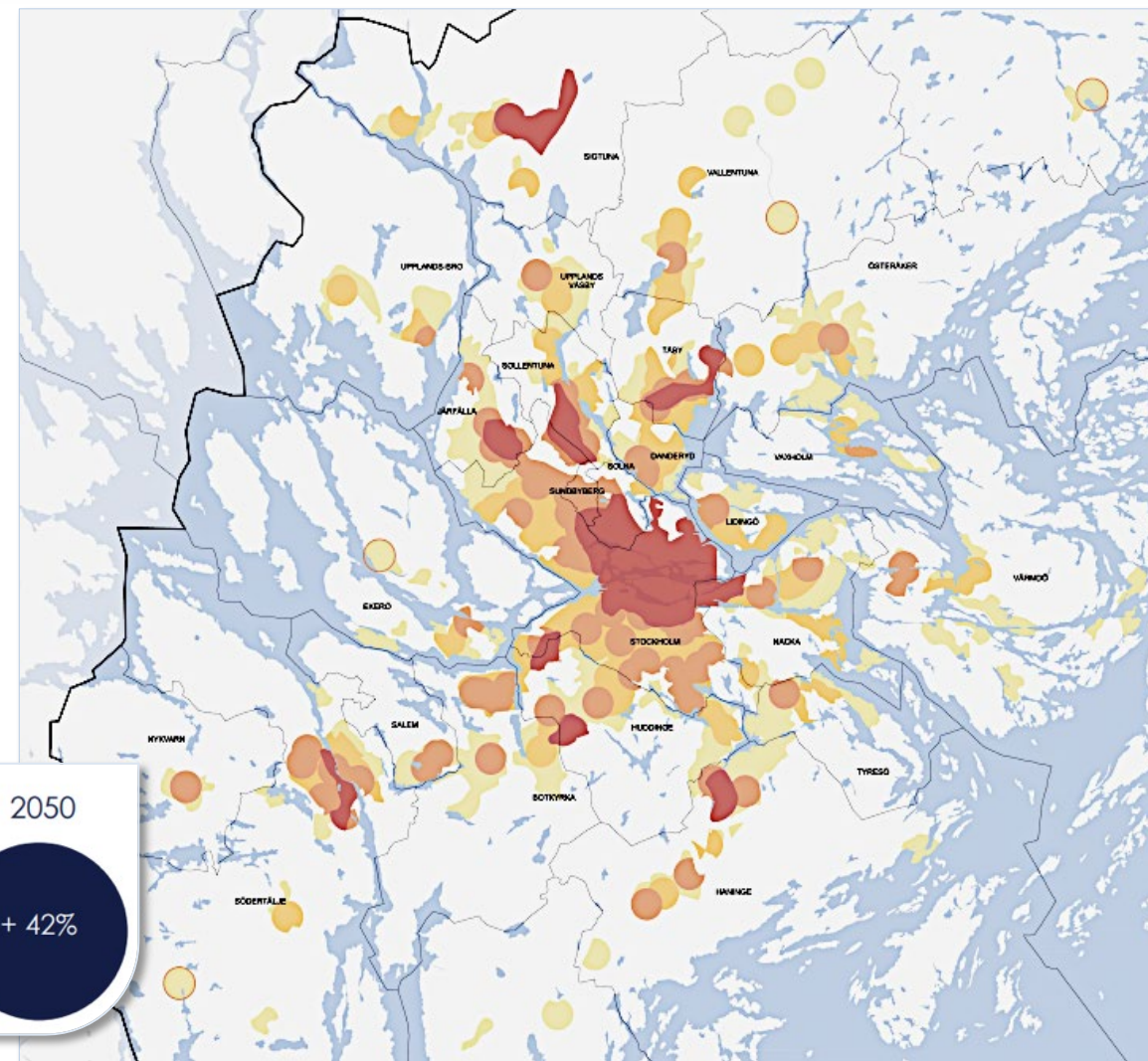
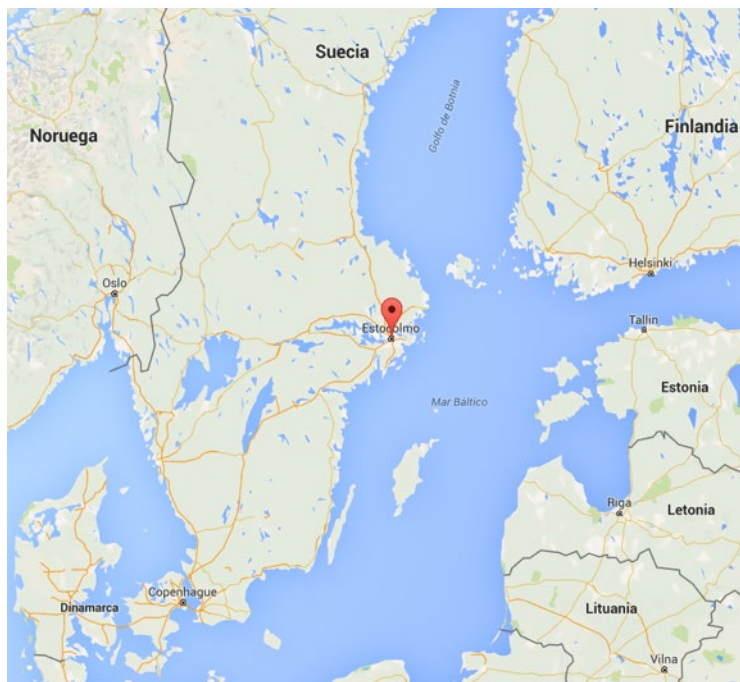
1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Urbanístico y la Ordenación del Territorio



1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Urbanístico y la Ordenación del Territorio



1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Urbanístico y la Ordenación del Territorio - *El caso de la Alta Velocidad en España*

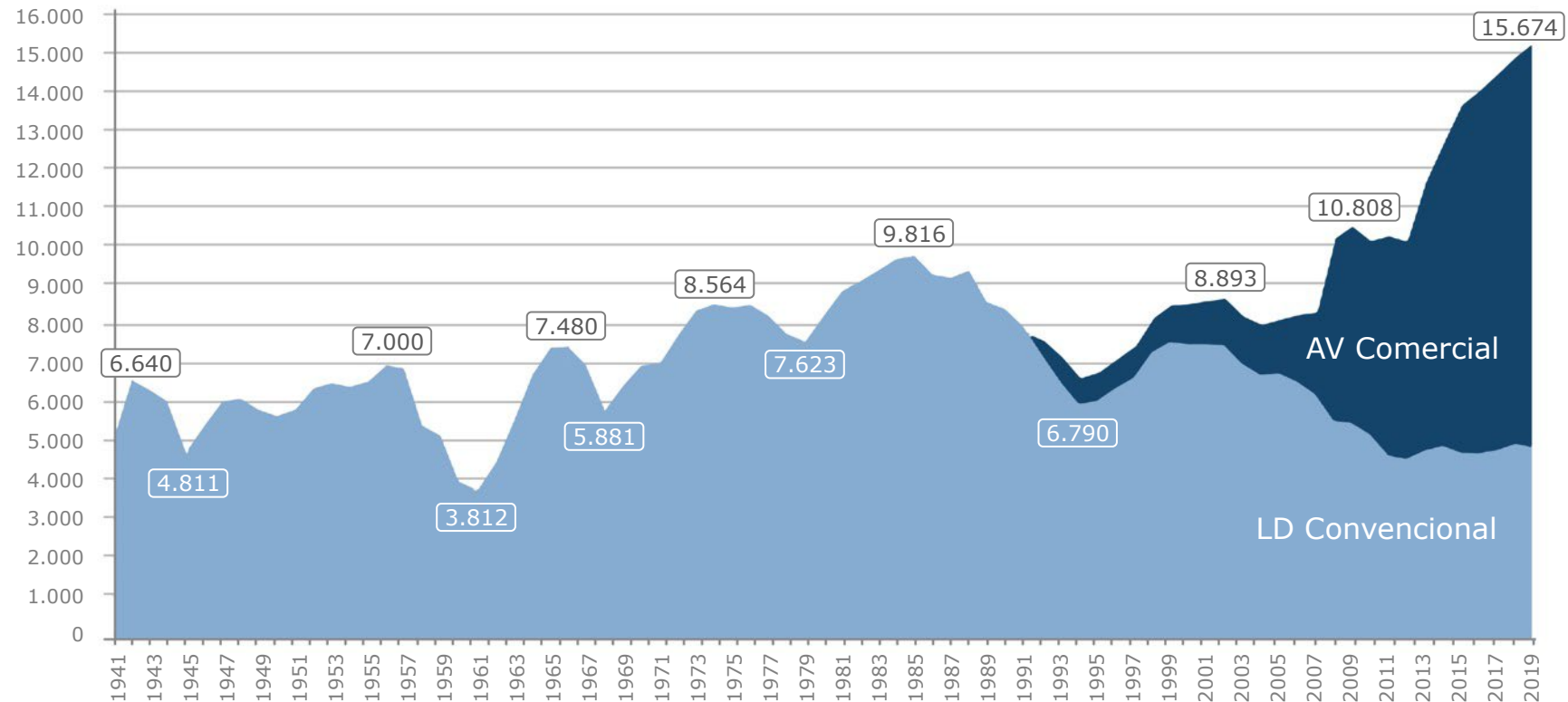


Fuente: ADIF

1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Urbanístico y la Ordenación del Territorio - *El caso de la Alta Velocidad en España*

Evolución del transporte ferroviario de pasajeros (1941 - 2019)



Fuente: RENFE

1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Urbanístico y la Ordenación del Territorio - *El caso de la Alta Velocidad en España*

Passenger transport density in national HSR networks

National network	Year	Network length, maximum speed between 160 and 250 km/h	Network length, maximum speed greater than 250 km/h	Transport	Average density of transport (passengers over complete infrastructure)
		(km)	(km)	(Mpkm)	(Mp)
Spanish AVE	2016	669	2.503	15.059	4.75
France	2015	0	2.043	49.980	24.46
Germany	2016	1.511	994	27.213	10.86
Italy	2012	2.767	653	12.794	3.74
China	2017	12.276	20.305	577.635	17.73
Japan (CJRC)	2017	0	553	54.576	99.02

Fuente: UIC Railway Statistics (2016)

Objetivo de
aumento de pasajeros
de **35%** para el año **2023**
y **66%** para el año **2050**



1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Sectorial: los Planes de Movilidad Sostenible

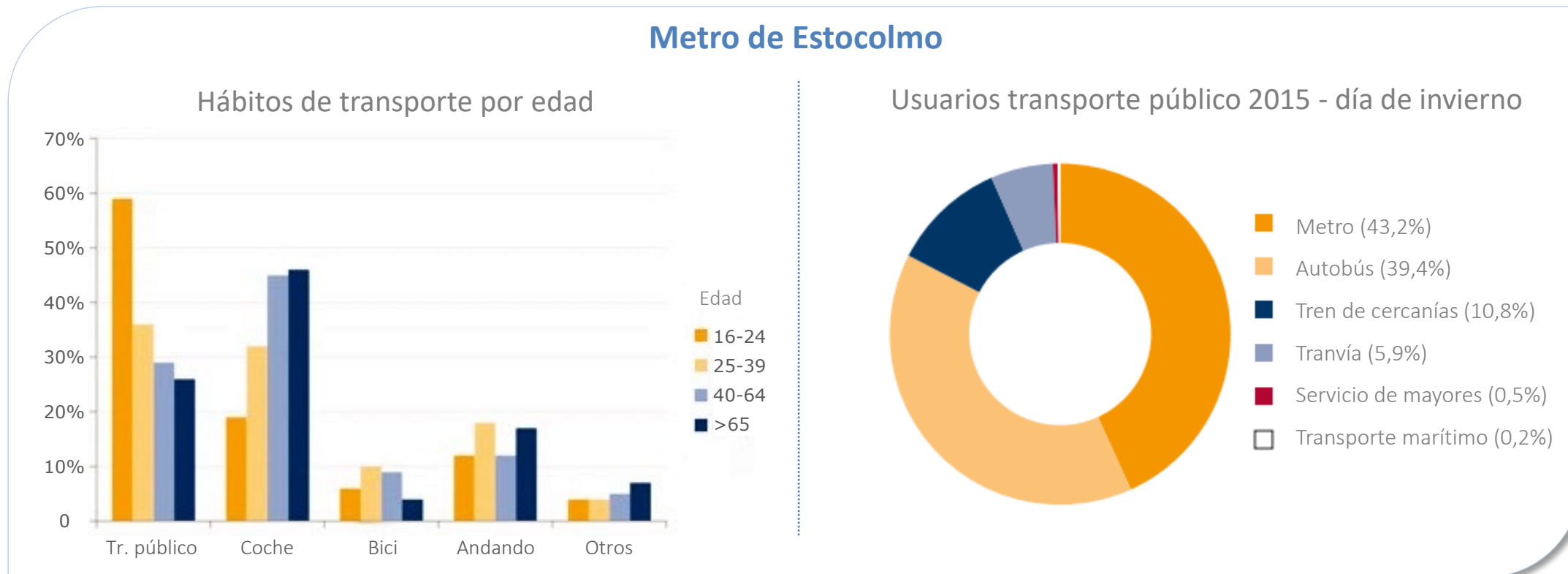
- Necesidad de un Buen Diagnóstico



1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Sectorial: los Planes de Movilidad Sostenible

■ Necesidad de un Buen Diagnóstico



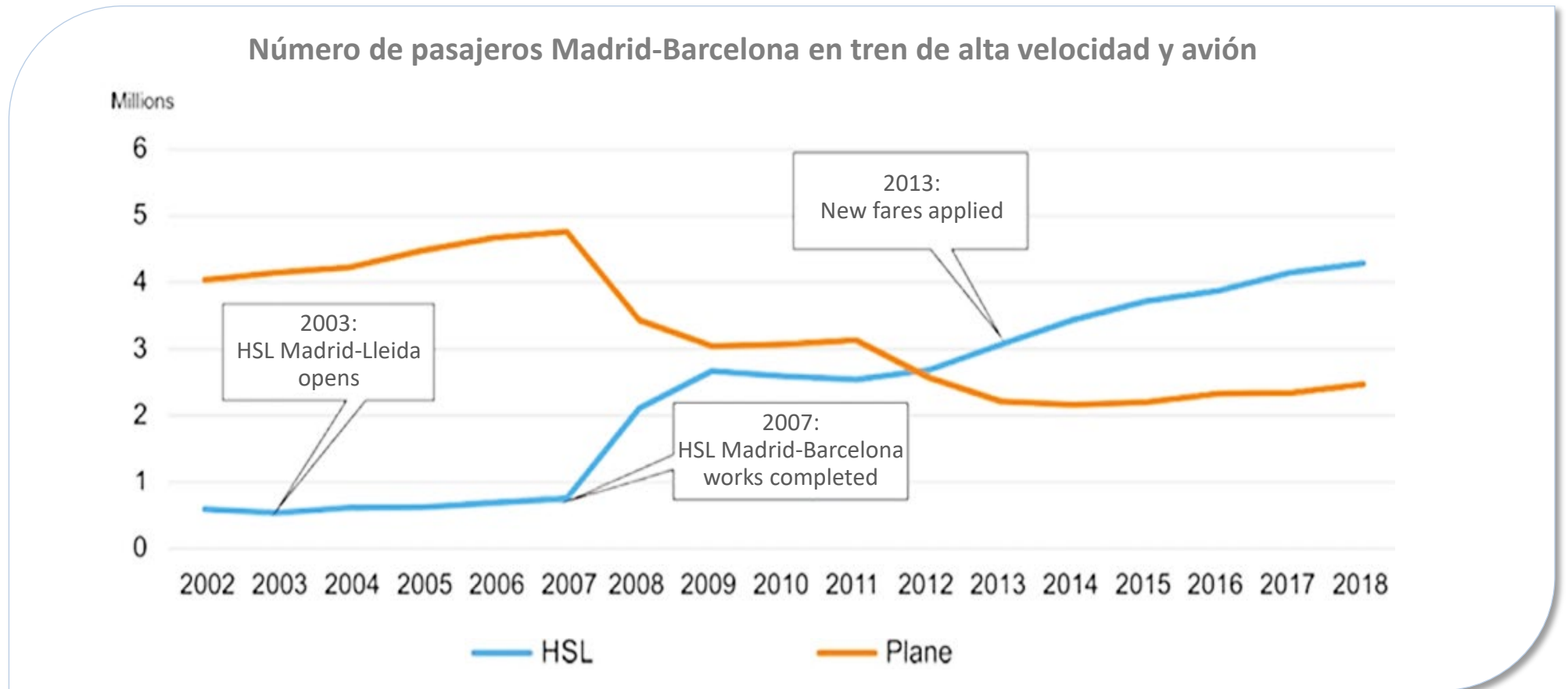
La combinación de una creciente población y un compromiso de incrementar la parte de transporte público en un 5%, **duplica la necesidad de reforzar la red pública.**

Se estima que **la demanda** para la **red de metro** se **incrementará** en un **45%** entre 2015 y 2030, y en un **70%** para el 2050.

1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Sectorial: los Planes de Movilidad Sostenible

- El Impacto de la Multimodalidad



1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Sectorial: los Planes de Movilidad Sostenible

- El Impacto de la Multimodalidad

Shifted transport from other modes of transport to the HSR

LINE SECTION						
	Madrid-Barcelona	Madrid-Zaragoza Zaragoza-Barcelona	Rest of Catalonia corridor	Andalusia corridor	Levante corridor	Northern corridor
From airplane	43%	2.67%	0%	45%	45%	0%
From bus	3.25%	1.33%	0%	2%	2%	5%
From car	16.07%	20%	45%	12%	15%	30%
From train	27.29%	49.33%	45%	26%	30%	35%
New demand	10.39%	26.67%	10%	15%	8%	30%

Fuente: Betancort and Llobet

1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Planeamiento Sectorial: el Planeamiento Ambiental

El caso del Metro de Estocolmo

“Objetivos 2035” tienen su punto de partida en el panorama de necesidades y están formuladas para contribuir a objetivos internacionales, nacionales y regionales. Están formulados para contribuir a los objetivos del Plan de Desarrollo Regional para la región de Estocolmo 2050 y los objetivos globales de la Agenda 2030. De la Agenda 2030, el objetivo 13 "Luchar contra el cambio climático" es particularmente central. El Objetivo 11 "Ciudades y comunidades sostenibles" y especialmente el subobjetivo 11.2 "Hacer que los sistemas de transporte sostenibles estén disponibles para todos" son los objetivos que afectan más estrechamente al desarrollo del transporte público.

El objetivo de la región es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a cero emisiones netas a más tardar en 2045, mientras que el uso de la energía debe ser más eficiente y la producción de energía en la región debe ser completamente renovable.

La región también tiene la ambición de trabajar activamente para que las emisiones del transporte que afectan el clima en la región de Estocolmo sean nulos para el año 2035. Actualmente, el transporte representa aproximadamente la mitad del impacto climático directo en la región.

Regionalt trafikförsörjningsprogram

FÖR STOCKHOLMS LÄN 2035

Region Stockholm, trafikförvaltningen



Figur 4. Målmodell bestående av nio mål med sikte på år 2035, fördelade inom tre teman.

OBJETIVOS 2035

- Viajes sostenibles
- Región accesible
- Sistema de transporte público responsable

1. La importancia de la PLANIFICACIÓN

El Acuerdo Político y Social

El Acuerdo de Estocolmo

- La iniciativa para ampliar la capacidad del metro se remonta, principalmente, a las negociaciones entre el gobierno sueco, la autoridad de la región de Estocolmo y cuatro municipalidades. Dichas negociaciones culminaron con la firma de un acuerdo en enero de 2014 para ampliar la red.
- Los cuatro municipios se han comprometido a desarrollar un total de 78.000 viviendas nuevas en las cercanías del sistema de metro.
- El 1 de marzo de 2014, se creó una organización administrativa específica llamada Administración para la Expansión del Metro = FUT encargada del desarrollo del sistema metropolitano en todo el proceso, desde la planificación y el diseño, hasta la implantación.



2. La ESTRUCTURACIÓN de los trabajos

El caso del Metro de Estocolmo

Red actual del Metro

- 110 km
- 100 estaciones
- Tramo central en su límite de servicio, cuello de botella para incrementar el tráfico.



2. La ESTRUCTURACIÓN de los trabajos

El caso del Metro de Estocolmo

- La prolongación de la Línea Azul hacia el sur y sureste crea una nueva conexión entre norte y sur.

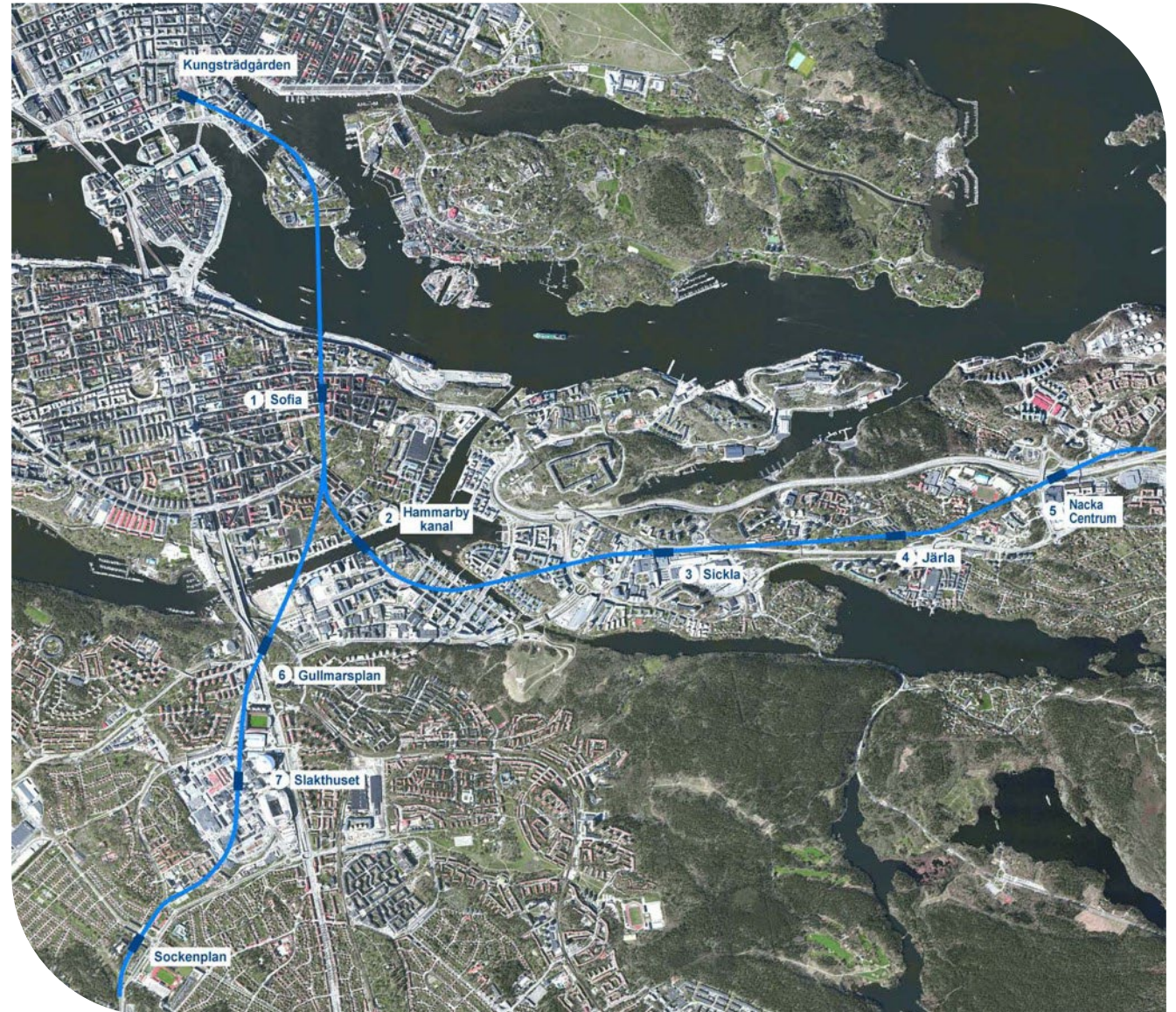


2. La ESTRUCTURACIÓN de los trabajos

El caso del Metro de Estocolmo

Proyecto de la ampliación

- 11 km de línea subterránea
- 7 estaciones
- Inicio de las obras: 2020
- Puesta en servicio: 2030



2. La ESTRUCTURACIÓN de los trabajos

El caso del Metro de Estocolmo

Actuación	Ppto Mill €
BARKABY	325
ARENASTADEN	435
NACKA-GULLMARSPLAN	1.350
COCHERAS-MATERIAL MOVIL	670
TOTAL	2.780



2. La ESTRUCTURACIÓN de los trabajos

El caso del Metro de Estocolmo

Estructuración Ingeniería

Fase 1 (2014-2017):

- Estudios de viabilidad
- Estudio de impacto ambiental
- Documentos para tramitación administrativa (Informaciones Públicas, Planeamiento urbanístico, Expropiaciones,...)
- Anteproyecto. Estructuración para la futura licitación de las obras (lotes, tramos)

Fase 2 (2018-2030):

- Pliegos de concurso de obra
- Proyecto de detalle constructivo
- Asistencia técnica a la propiedad durante la ejecución de la obra

<https://www.youtube.com/watch?v=KLi-Odt6VXg>



3. La SOSTENIBILIDAD

El reto de
la sostenibilidad
en ferrocarriles
metropolitanos

Ambiental



Social



Económica



3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Ambiental



La **necesidad** del **acercamiento holístico** al problema.

Environmental impact balance for the AVE network (four corridors)

Spanish HSR Network	Global Warming	CED	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	NMVOC
	kt.CO ₂ eq.y ⁻¹	TJ.y ⁻¹	t.y ⁻¹	t.y ⁻¹	t.y ⁻¹	t.y ⁻¹
Infrastructure Construction & Maintenance	196.69	2535.83	285.02	452.22	705.31	114.96
Operation (4.17 million passengers)	354.82	9271.65	365.68	1654.25	1112.56	68.24
Shifted transport in other modes	1161.63	18838.51	562.48	2088.87	4696.56	809.87
Net Impact	-610.13	-7031.03	88.22	17.60	-2878.69	626.67
Years required for compensation						
Four corridors (4.17 million passengers)	15	16	87	62	12	9

Fuente: Andoni Kortazar, Gorka Bueno, David Hoyos (2021)



3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Ambiental

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo

■ Huella de Carbono

El objetivo climático en el Metro de Estocolmo es lograr una reducción de dióxido de carbono equivalente de al menos un 25% durante la implementación de la expansión, a partir de un valor base calculado y luego a lo largo de las fases de diseño y construcción.

Las obras finalizadas hasta el momento han registrado un ahorro de 6.000 toneladas de CO₂ – un 30% de ahorro.



3. La SOSTENIBILIDAD



Sostenibilidad Ambiental

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo

■ Afección a ecosistemas acuáticos

En Suecia, las restricciones de infiltraciones son muy estrictas tanto para la fase de obra como para la fase de operación de la infraestructura. Un tribunal ambiental fija un “Water Budget” en una fase inicial del proyecto y para la extensión del metro de la línea azul estos requisitos han sido para tramos largos el doble de restrictivos que en proyectos cercanos.

Para limitar las infiltraciones, la práctica habitual es la de inyectar una masa de cemento o un material de inyección químico para crear una zona impermeabilizada delante del avance de los túneles.

Se hacen mediciones continuas y si el resultado es insuficiente, es necesario recurrir a otra ronda costosa de inyecciones “post grouting”.

Las inyecciones de este tipo constituyen una de las actividades de mayor impacto económico y de tiempo para la excavación de túneles.



3. La SOSTENIBILIDAD









Sostenibilidad Ambiental

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo

■ Uso de productos sostenibles

- Aplicaciones de criterios BVB: Byggvarubedömningen (evaluación de bienes de construcción). Es una base nacional de datos de productos evaluados ambientalmente, que permite la selección y documentación de productos respetuosos con el medio ambiente en proyectos de construcción.
- La evaluación se califica en tres niveles:

	Innehåll	Totalt
- Recomendado		
- Aceptado		
- Evitado		

- El proyectista registra en fase de diseño los productos necesarios y comprueba que haya al menos dos o más productos (de diferentes proveedores) que cumplan la función prevista y los requisitos medioambientales según BVB.



3. La SOSTENIBILIDAD



Sostenibilidad Ambiental

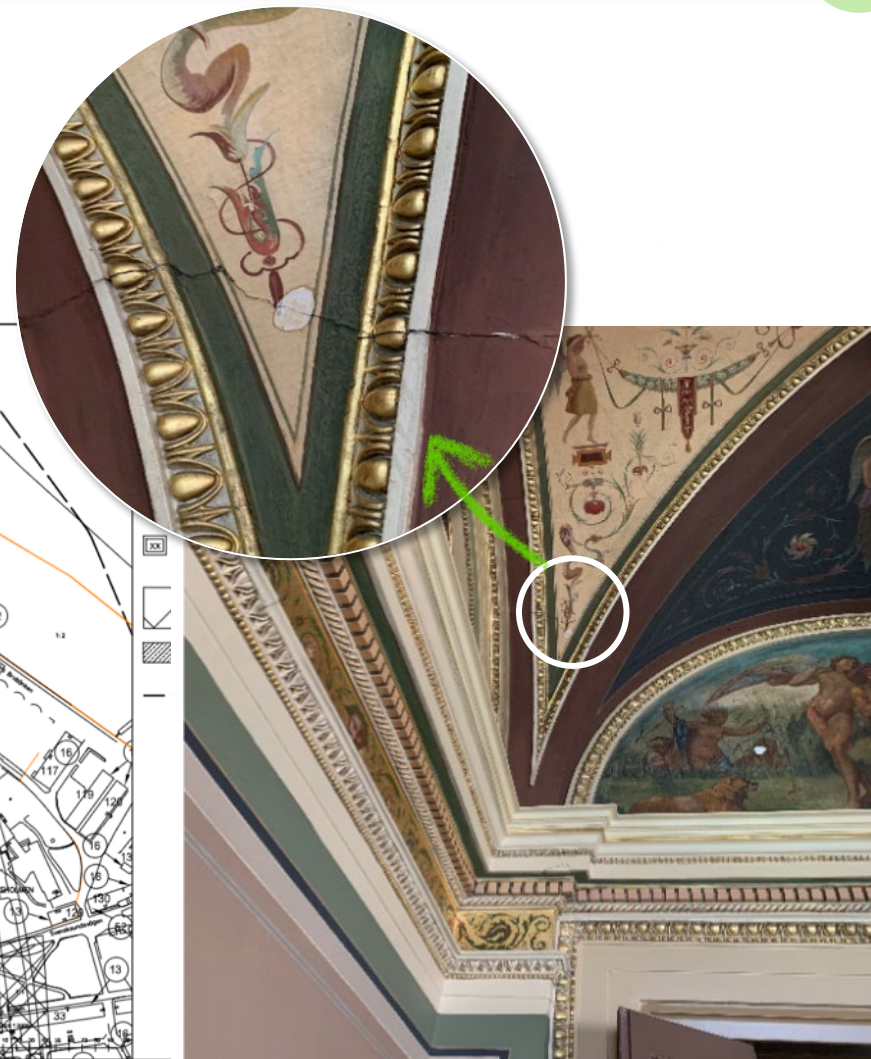
Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo

■ Ruido, vibraciones y emisiones

Para cada tramo de obra se han estudiado las condiciones geológicas y la existencia de edificios con un uso o valor singular, fijándose limitaciones de vibraciones y ruido en fase de obra.

Al pasar los túneles por debajo del centro de la ciudad, con palacios del siglo XVII y edificios emblemáticos como el Museo Nacional, se han realizado estudios específicos de cada uno de estos edificios con un valor histórico-cultural.

Durante las obras, se han hecho seguimientos y las acertadas medidas de mitigación han evitado daños en estas construcciones.



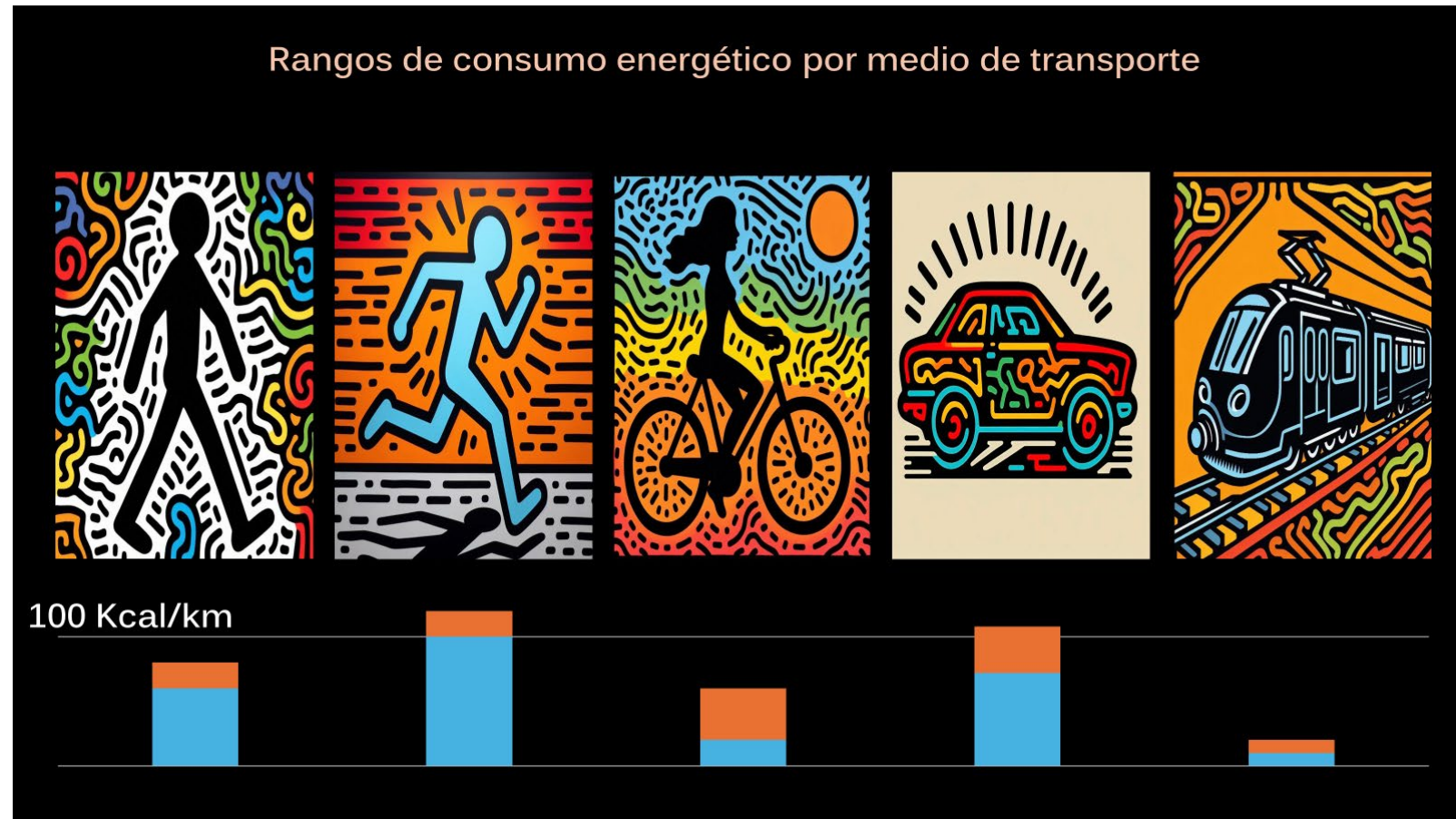


3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Ambiental

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo

- La eficiencia energética



3. La SOSTENIBILIDAD



Sostenibilidad Social

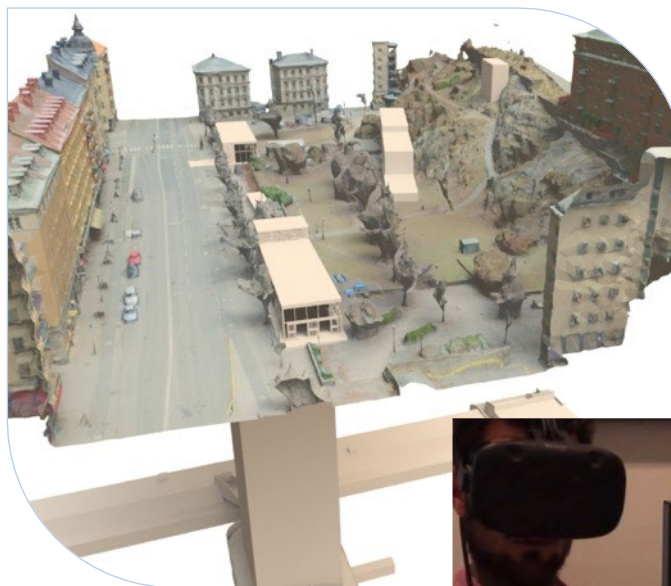
Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo

■ La participación ciudadana

El proyecto del metro levanta un enorme interés público y político para lo cual se han llevado a cabo varios procesos de consulta pública.

Diferentes aspectos, como la experiencia de seguridad del viajero, la inclusión y la participación de los artistas, han sido importantes a lo largo del diseño, y las acciones de participación de las partes interesadas incluyeron reuniones con niños y vecinos.

En el animado y céntrico Södermalm, el impacto una nueva entrada principal dentro de un área de parque público era una cuestión delicada para los vecinos. TYP SA desarrolló una experiencia de realidad virtual en 3D que muestra el nuevo diseño sugerido de los alrededores de la estación, lo cual fue importante para la comunicación con las partes interesadas: aumentar el interés, la comprensión y la aceptación del proyecto.





3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Social

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo

■ Principios de diseño de las estaciones

- Atractivo al usuario
- Durabilidad
- Accesibilidad
- Sostenibilidad
- Seguridad



*El diseño debe brindar al viajero
una experiencia espacial y artística,
donde la tecnología debe estar integrada.*

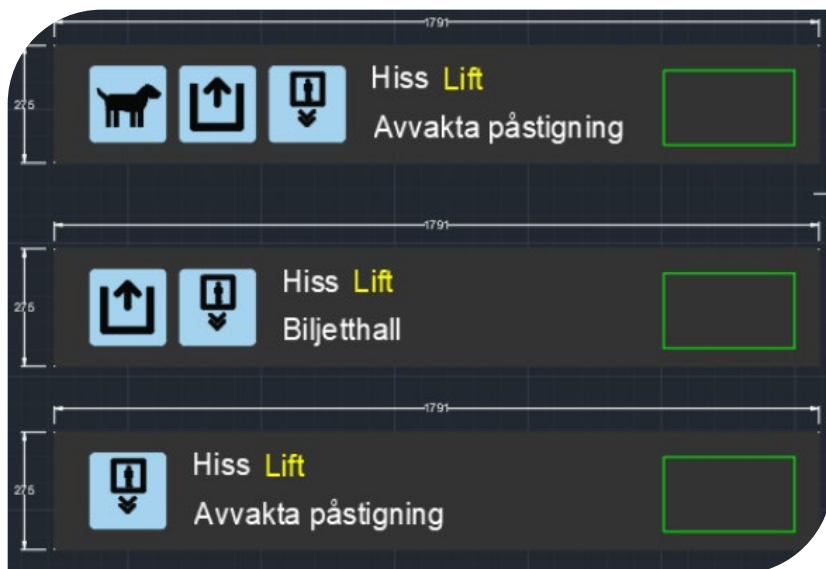
3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Social

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo - *La accesibilidad*

■ Accesibilidad en las estaciones

- Equipo de trabajo integrado por representantes de ciudadanos con diferentes capacidades, el cliente y los especialistas de accesibilidad del proyecto.
- Sesiones específicas con cada subgrupo para poder atender adecuadamente a sus necesidades.
- Sesiones específicas para cada estación con especial dedicación a las estaciones profundas. Desarrollo de medidas específicas: pictogramas, señalética, selección de colores y texturas de materiales, plan de evacuación en caso de emergencia,...



3. La SOSTENIBILIDAD



Sostenibilidad Social

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo - *La accesibilidad*

■ Accesibilidad en las estaciones: niños y jóvenes

- Estudio del impacto en niños y jóvenes del proyecto durante fase de construcción y operación.
- Participación de 8 centros escolares, +200 alumnos.
- Conclusiones del estudio en cuanto a los puntos que más preocupan a niños y jóvenes del nuevo metro:
 - Limpieza
 - Seguridad, especialmente relativa a la ubicación del acceso
 - Colorido
 - Claridad de información:
 - ✓ Uso de pictogramas
 - ✓ Uso de lenguaje sencillo



3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Económica



Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo - *Optimización*

- La administración parte de una ambición visual espaciosa en la “Estación Tipo”.
- Los exigentes requisitos de seguridad y medioambiente y la realidad económica conlleva la necesidad de realizar una optimización del diseño en la fase conceptual avanzado.
- Consultor y Administración, en un trabajo conjunto de Value Engineering, se logró un **ahorro de >15%** sobre el coste previsto.

Espacio andén *previo* optimización



Espacio andén *optimizado*



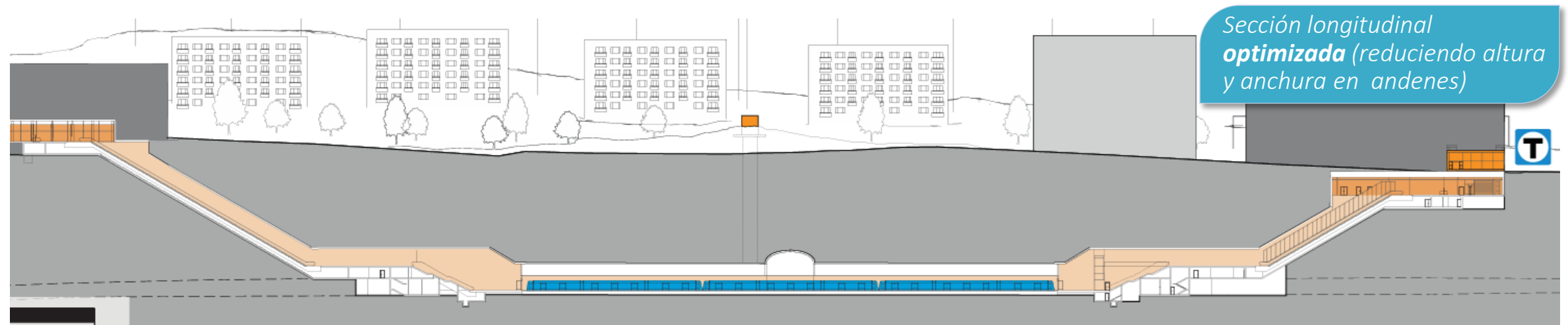
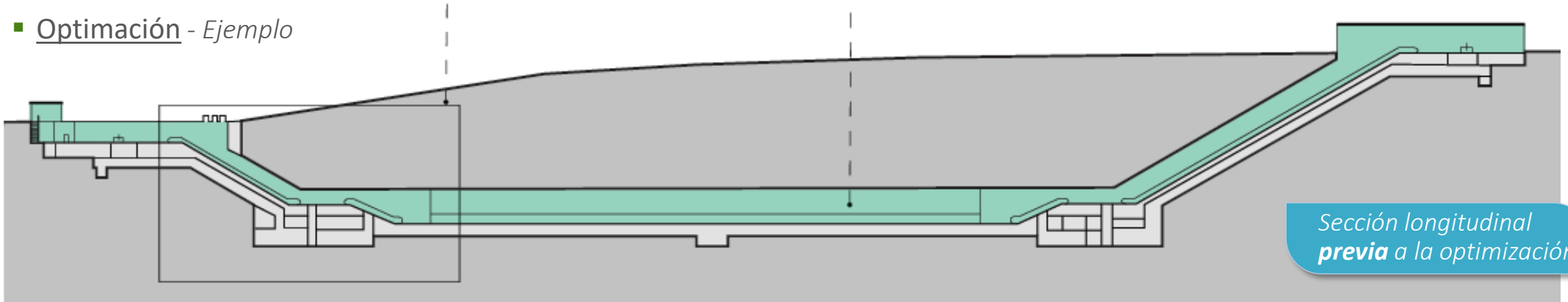
3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad **Económica**



Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo - **Optimización**

■ Optimación - Ejemplo





3. La SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad Económica

Algunos ejemplos del Metro de Estocolmo - *Optimización*

■ Medidas de optimación

- Se reubican la mayor parte de espacios técnicos en el túnel de servicio y no en las estaciones.
- La compensación de sobrepresiones se solventa mediante túneles transversales entre los túneles de vía.
- El aire exterior para la ventilación del andén se toma a través de túneles de trabajo y túneles de servicio.
- La conducción de instalaciones bajo las escaleras mecánicas se desplaza a un lateral de las mismas.
- En cuatro estaciones se reduce el ancho del andén.
- Se anula el espacio para conducción de instalaciones bajo andén.
- Se reduce la altura del espacio de andén en todas las estaciones.

Espacio andén **previo** optimización



Espacio andén **optimizado**

3. La SOSTENIBILIDAD

Las Certificaciones

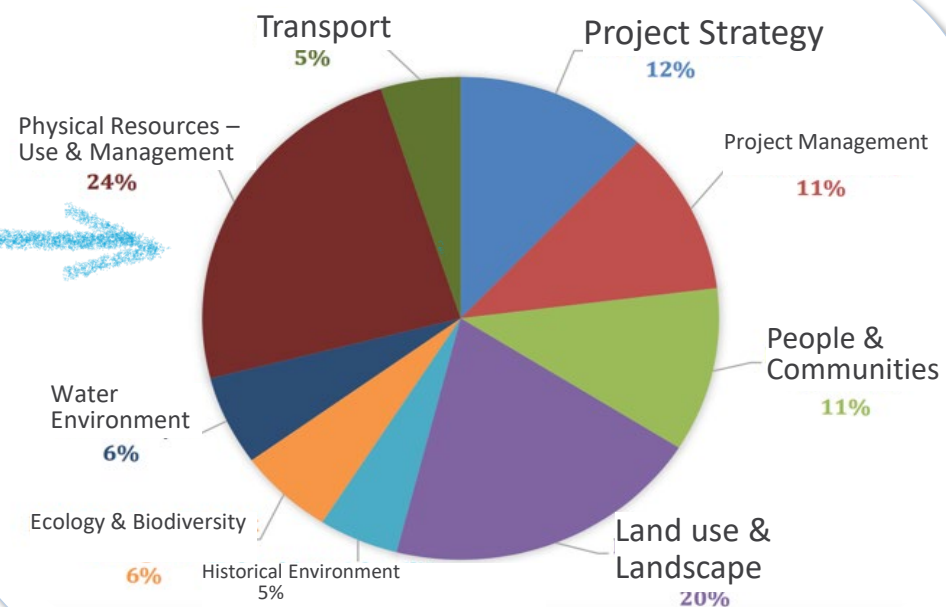
CEEQUAL

CEEQUAL es una herramienta de certificación en proyectos de ingeniería civil que se utiliza como herramienta para trabajar sistemáticamente con cuestiones de sostenibilidad y medir el desempeño de la sostenibilidad de principio a fin.

CEEQUAL permite comparar proyectos a nivel internacional con otros proyectos que han utilizado la misma certificación.

Ejemplo Capítulo 8- Recursos físicos

- Durabilidad y bajo mantenimiento
- Mantenimiento planificado a largo plazo
- ¿Posibilidad de deconstrucción?
- Consumo de energía
- Consumo de agua durante la construcción y durante la operación



3. La SOSTENIBILIDAD

Las Certificaciones

CEEQUAL

Uno de los objetivos generales para la Administración (FUT) es que la sostenibilidad debe ser parte integral de la ampliación del nuevo metro y se aplica la certificación CEEQUAL a tanto la administración como al proyecto.

Se ha fijado el objetivo en un nivel mínimo de Muy Bueno (60%) en CEEQUAL, un resultado superado con creces en los trabajos finalizados y verificados hasta ahora. Para los 6 túneles de trabajo actualmente en funcionamiento, todos han alcanzado el nivel de Excelente.

Este es el resultado de una buena cooperación entre todas las partes.

- *Skönviksvägen – Excellent! (82,1%)*
- *Londonviadukten – Excellent! (83,3%)*
- *Sundstabacken – Excellent! (80,2%)*
- *Värmdövägen Excellent! (83,2%)*
- *Järla Östra Excellent! (82,5%)*
- *Hammarby fabriksväg. Excellent! (80%)*

CEEQUAL Version 5 – Whole Team Award: Excellent

Version 5, 2021 | Sweden

Assessed by:

Michaela Caballero Rosenholm, Erica Vestlund, Region Stockholm

Verified by:

John Logan, Mudatoco

Client:

Extended Metro Administration, Region Stockholm

Designers:

Sweco, TYP SA

Constructor:

Implenia Sverige AB

3. La SOSTENIBILIDAD

La Digitalización, palanca para la Sostenibilidad

Ejemplo del Metro de Estocolmo

El proyecto del metro de Estocolmo está realizándose extensivamente en un ambiente digitalizado, siendo el principal proyecto de infraestructura en túnel del país en su uso de diseño virtual.

El concepto VDC – Diseño y Construcción Virtual se incorporó ya en la planificación de los trabajos, lo cual fue innovador y llevó al proyecto a ser finalista en el prestigioso Bently “Be Inspired awards” en Londres en 2016.

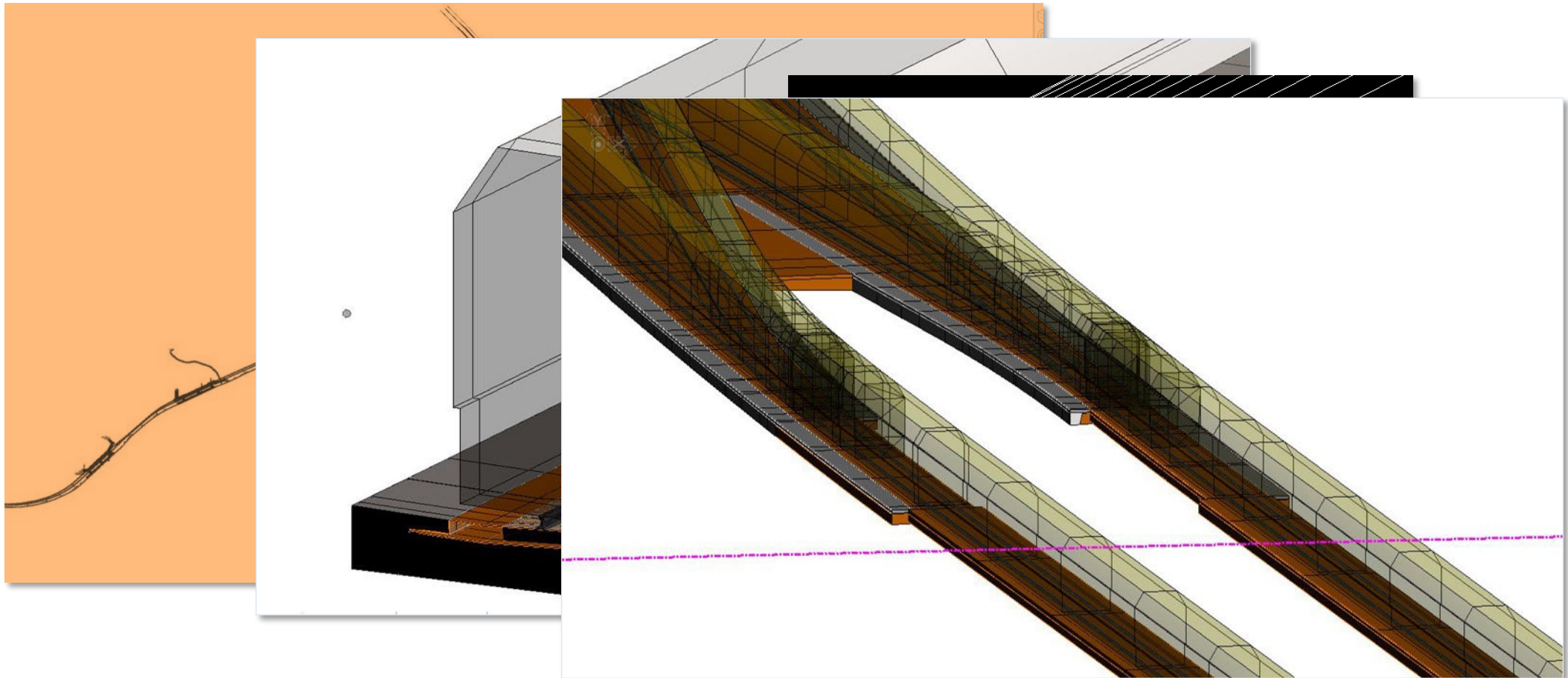


3. La SOSTENIBILIDAD

La Digitalización, palanca para la Sostenibilidad

Ejemplo del Metro de Estocolmo

- Diseño paramétrico para trazado de vía

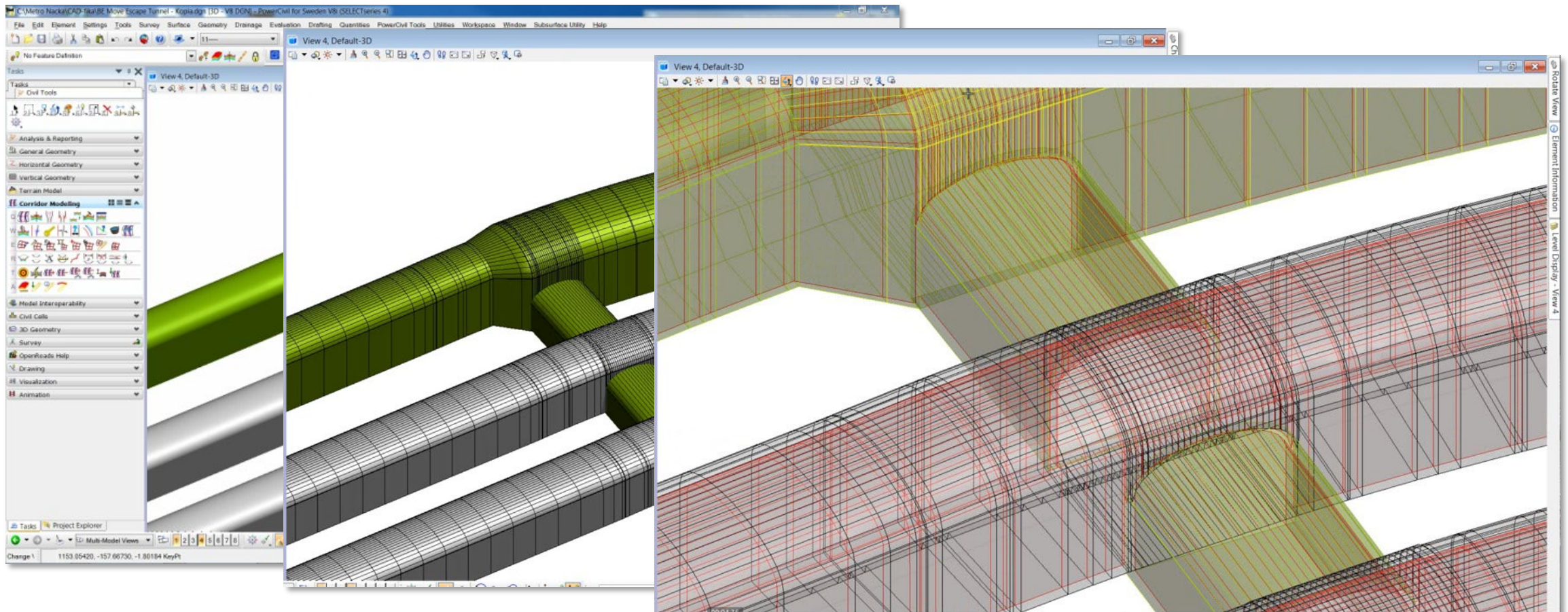


3. La SOSTENIBILIDAD

La Digitalización, palanca para la Sostenibilidad

Ejemplo del Metro de Estocolmo

- Automatización de geometrías de túneles e interfaces

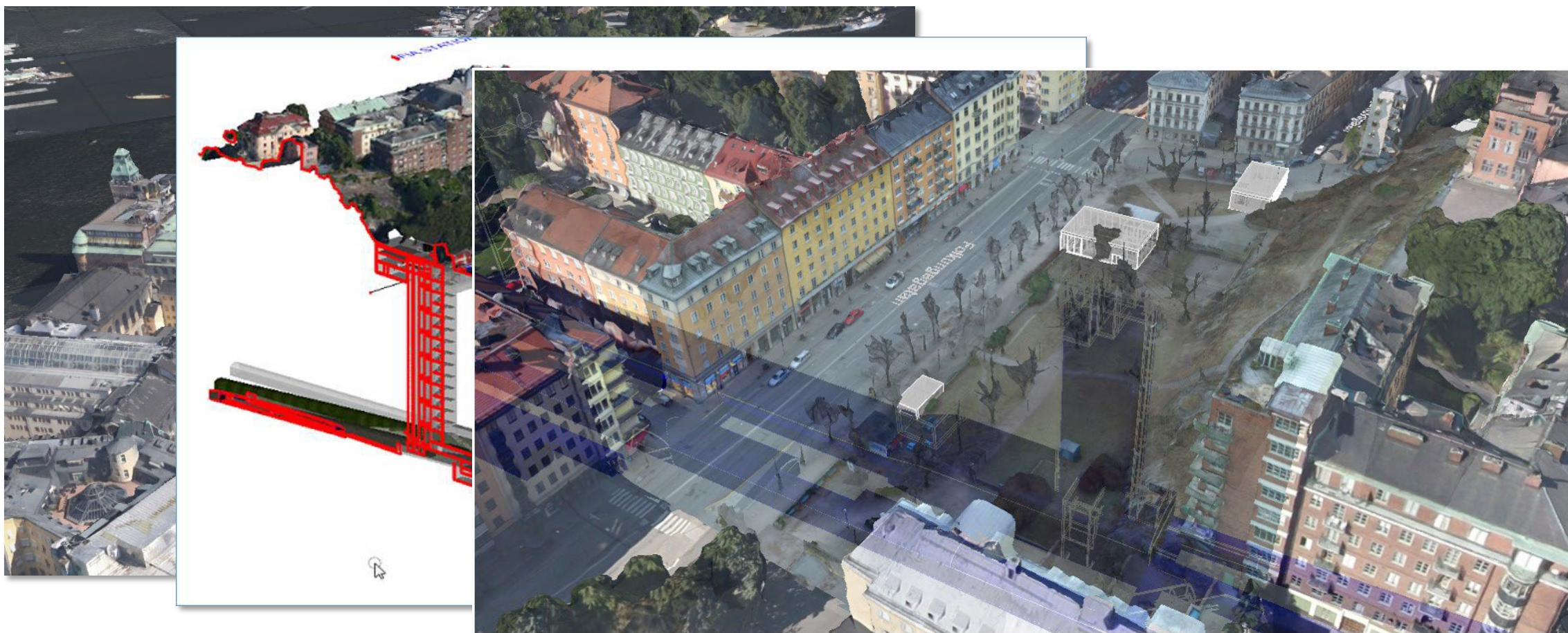


3. La SOSTENIBILIDAD

La Digitalización, palanca para la Sostenibilidad

Ejemplo del Metro de Estocolmo

- Modelando la realidad – “From built to BIM”



3. La SOSTENIBILIDAD



ProjectWise



Power Apps
App development



Power Automate
Process Automation



NavisWorks



Bluebeam
sessions



Power BI
Business Analytics

El reto de
la sostenibilidad
en **ferrocarriles**
metropolitanos

Íñigo de la Serna
Granada, 1 de julio de 2024



Muchas gracias por su atención