

ASPECTOS CLAVE EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FERROCARRILES

Ildefonso de Matías Jiménez



Índice

- Introducción
- Factores a considerar
- Criterios, contenidos y recomendaciones
- Conclusiones
- Costes y rentabilidad
- Publicaciones
- Qué es Ingeotrans

■ **Introducción**

**Características
distintivas de los
Proyectos de
Ferrocarriles**

Alta complejidad

- Por su multidisciplinariedad
- Por su interrelación con el entorno
- Por la necesidad de visionar el futuro dado los largos plazos de la explotación de la infraestructura

Alto nivel de inversiones

La infraestructura

La superestructura

El material rodante

**Los tres
componentes
básicos**

■ **Introducción**

Clasificación de los Proyectos

Por el área en que se desarrollan.

- Urbanos
- Interurbanos
- Regionales
- Nacionales

Por su situación respecto a la cota de superficie.

- Sobre estructura
- A nivel
- Subterráneos

Por el objeto del transporte.

- Viajeros
- Carga
- Mixto

Por la velocidad máxima.

- Hasta 120 Km/hora (Velocidades bajas)
- Hasta 220 km/hora (Velocidad media-alta)
- Hasta 350 km/hora (Alta velocidad)

Por la fuente de energía empleada.

- Combustibles fósiles
- Energías no contaminantes

Por el sistema de tracción del material rodante.

- Cabezas tractoras
- Tracción distribuida

■ Introducción

En la práctica cualquier combinación es posible, incluso dentro del desarrollo de un mismo proyecto, dependiendo del alcance del mismo.

La casuística es muy grande y compleja pero.....

.....El estado actual del conocimiento ha desarrollado tecnologías que hacen factible cualquier proyecto de ferrocarril que se pretenda desarrollar, salvo en circunstancias excepcionales.

La experiencia acumulada es enorme, (el desarrollo de proyectos de Alta Velocidad en las últimas décadas ha contribuido también a ello) lo que permite conocer los principales factores de riesgo y tomar medidas previas de mitigación.

Por tanto los factores técnicos no deben condicionar por si mismos el éxito de los proyectos de ferrocarril.

Existen otros factores que condicionan el desarrollo de las soluciones técnicas y el éxito de los proyectos, tanto en lo referente al tiempo de ejecución como al presupuesto.

- Factores a considerar

Asegurando el éxito del proyecto (I)

FACTORES POLÍTICOS

- Implicación absoluta de quien promovió el proyecto desde el Gobierno en todas las fases del mismo. Liderazgo político.

FACTORES ECONÓMICOS

- Fuentes de financiación seguras. Rapidez y eficiencia para responder a las obligaciones financieras. No solo para la fase de construcción y puesta en marcha; también durante la fase de explotación.

FACTORES DE GESTIÓN

- Simplificación y agilización de los trámites burocráticos y gestiones administrativas; sobre todo las que dependen de la propia Administración (Expropiaciones).
- Evitar situaciones que puedan “judicializar” el proyecto.
- Organización de los equipos para llevar a cabo de forma coordinada y eficiente todas las actividades técnicas de los distintos subproyectos y contratos. Gran conocimiento de los subsistemas y sus interfases.
- Estrategias de licitaciones y contrataciones que faciliten la concurrencia y la participación de empresas locales.

- Factores a considerar

Asegurando el éxito del proyecto (II)

FACTORES TÉCNICOS

- Existencia de un liderazgo técnico con comunicación fluida con el liderazgo político. Ajustes entre las agendas políticas y las agendas técnicas de las etapas del Proyecto.
- Correcta selección de la solución de transporte, mediante análisis multicriterio.
- Material móvil adecuado.
- Correcta selección de los Métodos Constructivos de la infraestructura:
 - Máxima Prioridad para la Seguridad en la Construcción, por encima de los factores de tiempo y coste. Auscultación y monitorización intensa.
 - Estaciones: Simples y Funcionales.
 - Selección de elementos arquitectónicos y Sistemas suficientemente probados y fácilmente mantenibles.
 - Dimensionamiento de Estaciones, Talleres y Cocheras mirando al futuro.

- **Criterios, contenidos y recomendaciones**

La definición de los corredores susceptibles de solución ferroviaria

Análisis y estudios para determinar si el ferrocarril es la mejor opción

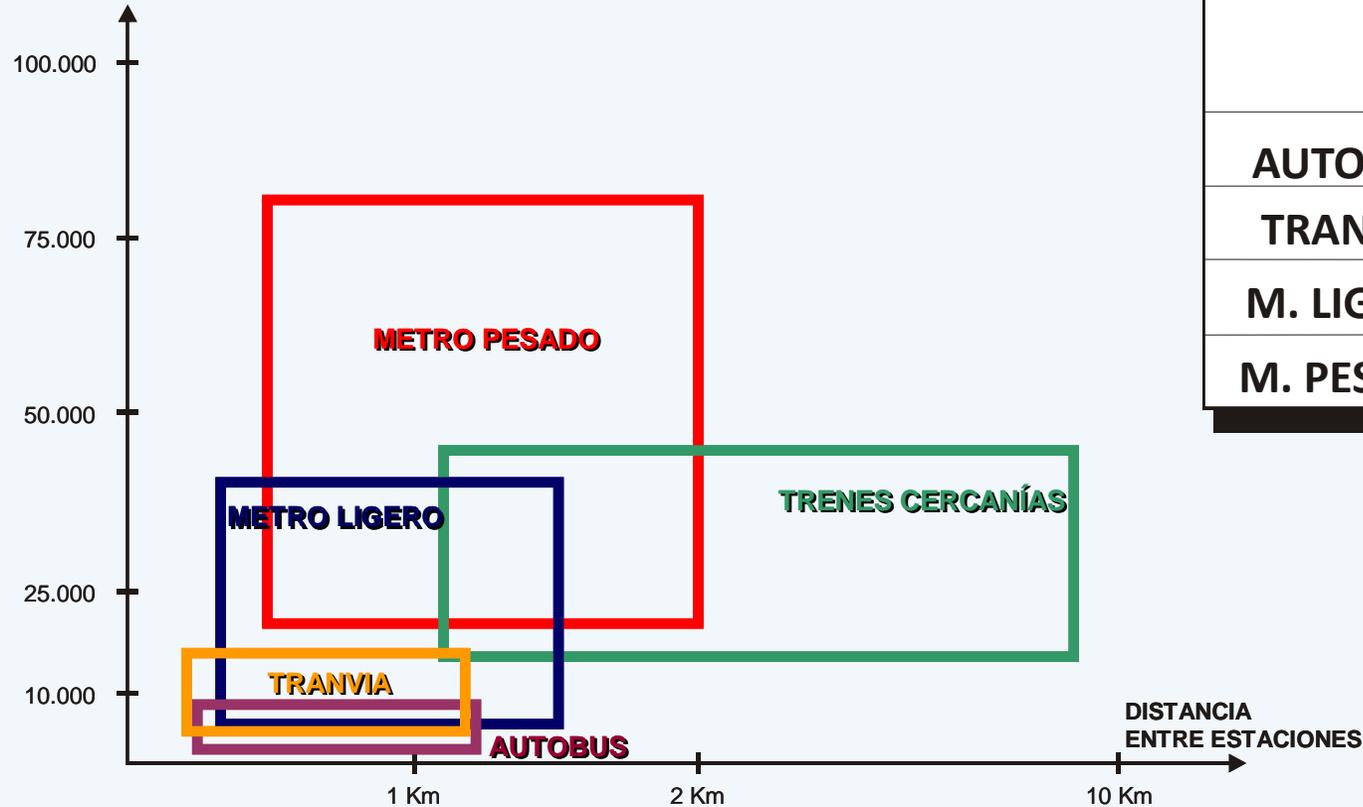
- **Información de partida:**
 - Planificación territorial y de ordenación urbana.
 - Demografía y densidad poblacional.
 - Empleo y situación de los puestos de trabajo.
 - Posición de Centros Educativos, Sanitarios, Comerciales y de Negocios.
 - Evolución futura de todos los datos anteriores. Análisis macroeconómico.
 - Encuestas origen/destino.
 - Encuestas de preferencia modal.
 - Análisis del origen y destino de las mercancías. Tipología de las mismas y zonas industriales y portuarias.
- **Resultados:**
 - Principales nodos de generación y/o atracción de viajes (estaciones e intercambiadores).
 - Definición del trazado que los interconecta.
 - Movilidad en el corredor. Demanda prevista actual y futura. Número de viajeros entre los distintos puntos del corredor a lo largo del día.
 - Toneladas a transportar.

Asignación eficiente del modo ferroviario

■ Criterios, contenidos y recomendaciones

En el caso de que la solución ferroviaria sea la elegida hay que determinar qué solución tecnológica se debe escoger

CAPACIDAD DE TRANSPORTE
(PASAJEROS HORA/SENTIDO)



	CAPACIDAD	D. ENTRE ESTACIONES
AUTOBUS	2.400-8.000	250-1.200
TRANVIA	3.500-15.000	250-1.200
M. LIGERO	6.000-40.000	350-1.500
M. PESADO	20.000-80.000	500-2000

La construcción de modos de transporte convencionales con infraestructura independiente, se justifica económicamente allí donde los volúmenes de demanda se acerca a los 20.000 viajeros por hora y sentido.

- **Criteria, contents and recommendations**

Determinación preliminar del material móvil necesario

Datos básicos



Dimensionamientos

- Demanda en el corredor (actual y futura):
 - Reparto de la demanda a lo largo del día.
 - Número de viajeros en el tramo mas cargado en la hora punta.
 - Mercancías a transportar.
- Material móvil:
 - Fijar el nivel de confort para los viajeros (máx. viajeros/m²).
 - Capacidad de viajeros de cada unidad (m² del recinto de viajeros).
 - Anchos y longitudes del tren para adaptarlos a cada necesidad.
 - - Cabezas tractoras y tipo de vagones para mercancías.
- Dimensionamiento de la infraestructura, sección de ocupación transversal a la vía y longitudes de estación.
- Dimensionamiento de la capacidad de transporte de viajeros de la línea, que depende del nivel de confort, de la capacidad de cada tren y del intervalo entre ellos (sistema de señalización ferroviaria).

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Primeras decisiones sobre la infraestructura civil (I)

Subterránea

- Única solución en tramas urbanas cerradas.
- Costes de inversión altos y muy variables dependiendo de la calidad del terreno.
- Siempre que sea posible, construcción de las estaciones en cut&cover: menos riesgos, mayores espacios.
- Grandes impactos en la ciudad durante la construcción. Plan de Mitigación y de Comunicación.
- Mayores riesgos sobre los costes y plazos de ejecución. Imprevistos geotécnicos
- Mínimo impacto ambiental en explotación (diseños mitigadores de ruidos y vibraciones provenientes de la rodadura y de otras fuentes, como la ventilación).
- ¿Túnel único para vía doble o dos túneles para vía simple?.
- Si el proyecto contempla la construcción de túneles largos, se debe electrificar la línea, sea para tráfico de viajeros, de carga o mixto.

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Primeras decisiones sobre la infraestructura civil (II)

En viaducto

- En ciudades con tramas urbanas consolidadas, aplicarlo sólo cuando dichas tramas son muy abiertas, con grandes espacios entre edificios (30 metros aprox.).
- Construcción con sistemas y medios convencionales.
- Alto grado de prefabricación.
- Bajo riesgo de desviaciones en plazo y costes. Mínimas interferencias con servicios existentes.
- Alto impacto visual; sobre todo en las estaciones. Mitigación con soluciones arquitectónicas integradoras con el entorno urbano. Mitigación de ruidos.
- Ahorros en sistemas (ventilación p.e.).
- Rechazo cultural en algunas ciudades.
- En ciudades, solo aplicable cuando estas son policéntricas o en zonas metropolitanas con grandes espacios libres.
- Obras complementarias para evitar efecto barrera.
- Impactos ambientales inferiores al de otras infraestructuras de transporte lineales (autopistas y autovías)
- En general, gran distancia entre estaciones. Velocidad comercial alta.
- Presenta los costes y plazos de ejecución mas bajos.

A nivel

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Análisis de rentabilidad socioeconómica

Costes de la
construcción, puesta
en marcha y
explotación

Información de
ratios de:

- Inversión en:
 - Estudios y proyectos.
 - Infraestructura.
 - Sistemas electromecánicos.
 - Material móvil.
 - Otros.
- Reinversiones: Ciclos de vida útil de estructuras, sistemas, elementos electromecánicos y trenes. Obsolescencia tecnológica.
- Mantenimiento y Operación: Ratios proporcionales a la dimensión del Sistema (Costes/km de red, Costes/estación, Costes/tren) o de la producción (Costes/tren-km o costes/coche-km).

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Redacción del Proyecto Básico

- Estaciones sobre el parcelario.
- Trazado preliminar sobre parcelario.
- Estudios geotécnicos.
- Morfología de las estaciones.
- Emplazamientos de estaciones que faciliten su construcción. En el caso de solución subterránea, tratar de diseñarlas para construirlas mediante el método cut&cover.
- Mecanización, en todo lo posible, de la excavación de los túneles.
- Situación de las cocheras y talleres.
- Proyecto de trazado.
- Simulaciones dinámicas para determinar tráfico, velocidades y necesidades de energía.
- Dimensionamiento espacial de estaciones. Modelos de simulación de transitabilidad. Líneas de peaje.
- Predimensionamiento estructural.
- Sistemas constructivos.
- Petición de información sobre servicios existentes.
- Cronograma preliminar.
- Presupuesto básico.
- EIA. Matriz de impactos en la construcción y en la explotación.
- Medidas de mitigación.

- **Criterios, contenidos y recomendaciones**

Parámetros de vía condicionantes del trazado

- Radio de curva mínimo.
- Pendiente máxima.
- Radio mínimo de acuerdos verticales.
- Peralte máximo.
- Transición al peralte.
- Aceleración transversal máxima sin compensar.
- Longitud de los aparatos de vía (no situar en curva, ni en transiciones ni en acuerdos).
- Estaciones sin pendiente y en recta.

Además, en subterráneos, fijar cota del nivel de vía que permita el recubrimiento de terreno necesario para una excavación segura del túnel

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Morfologías de estaciones (I)

- Número de vestíbulos en función del grado de accesibilidad que se pretenda dar y de los flujos de demanda.
- Disponer de más de un acceso incrementa la seguridad ante situaciones de emergencia y que hagan necesaria la evacuación de la estación.
- Los puntos de acceso a las plataformas de andén deben estar lo suficientemente equilibrados tanto en cada estación como en el conjunto de la línea, para garantizar una ocupación homogénea de las mismas y una desocupación rápida. Afecta a la ocupación de los trenes (confort) y a los tiempos de parada del tren (velocidad comercial y capacidad).
- Prever los espacios para cuartos técnicos relacionados con comunicaciones, señalización, distribución de energía, etc.
- Definir la línea de ticketing en los vestíbulos y emplazamientos de máquinas expendedoras, previendo posibles aumentos de muebles por incrementos de demanda.
- Cumplir la reglamentación sobre salidas de emergencia.

- **Criterios, contenidos y recomendaciones**

Morfologías de estaciones (II)

Nivel de andenes -
Disposición de
plataformas

- Dos laterales (subida y bajada de los trenes en la misma plataforma para cada dirección de la línea).
- Una central (subida y bajada en una única plataforma para las dos direcciones de la línea).
- Una central y dos laterales (subida para cada dirección por las laterales y bajada común por la central).
- Una lateral. Solo en estaciones con las vías separadas en dos volúmenes diferentes.

La disposición de andenes, dependiendo de la solución que se escoja, con respecto a la alineación de las vías a la entrada y salida de la estación, puede afectar negativamente a la obra civil, al trazado y a la velocidad comercial.

- **Criterios, contenidos y recomendaciones**

Criterios generales de diseño de estaciones

- Mecanización de los movimientos de viajeros en todos los desniveles. Escaleras de subida y bajada en cada tramo. Fraccionar longitudes si son mayores de 15 metros. Escalera fija en todos los tramos. Atención a la protección de los tramos con inicio o final en calle.
- Ascensores. Accesibilidad desde calle hasta andenes. Dimensionar no solo para PMR's.
- Revestimientos antivandálicos fáciles de montar y reponer.
- Luminarias de bajo consumo (tipo LED), larga duración, accesibles y fáciles de mantener.
- Espacios y soportes para la señalética e información al viajero.
- Los espacios para locales comerciales, caso de existir, deben ser tenidos en cuenta e integrados en el diseño desde el principio, dotándolos de las instalaciones y servicios necesarios.

- **Criterios, contenidos y recomendaciones**

Criterios generales de diseño de estaciones subterráneas

Situación de andenes lo más somera posible:

- Ahorra tiempo y acorta el recorrido entre calle y andenes.
- Estaciones mas simples y fáciles de «entender y utilizar por los viajeros».
- Mayor seguridad y menor tiempo de evacuación.
- Menos costes en excavación, obra civil, revestimientos arquitectónicos, elementos de transporte vertical y sistemas lineales.

Criterios generales de diseño de estaciones en viaducto

- Importante ejercicio de integración de la estación en el entorno por el volumen que ocupa y el impacto visual consecuente.
- Desarrollar diseños lo mas compactos posibles. Optimizar espacios al mínimo requerido previendo posibles ampliaciones por aumento de demanda.
- Utilizar la estación y sus accesos para eliminar las barreras impuestas por el tráfico en el área de la estación.
- Atención a las cargas que se generan en espacios abiertos por fenómenos meteorológicos sobre los equipos y sistemas de la estación (no sólo sobre la infraestructura civil).

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Sección transversal del trazado

Se determina en
función de:

- Ocupación cinemática de las secciones transversales de los trenes (analizar los casos de vía en recta y en la curva de radio mínimo del trazado).
- Distancia de resguardo superior necesaria.
- Distancia de resguardo inferior para la colocación de la vía.
- Margen de seguridad para admitir las tolerancias geométricas razonables. Prever la ubicación de equipos en las proximidades de la vía.
- Espacios requeridos por condicionamientos de la explotación para situaciones de emergencia.

- **Criteria,
contents and
recommendations**

El proyecto

Tener siempre presente:

- Que se está diseñando una infraestructura inclusiva para ser utilizada por personas y gestionada por personas.
- Que la vida de funcionamiento de la misma se prolongará por decenas de años, cuando no por siglos.
- Que la infraestructura civil ferroviaria es tremendamente rígida para acometer cambios posteriores. Hay que pensar en el futuro y la forma de posibilitar que la infraestructura pueda adaptarse a los cambios que sin duda llegarán.
- Que para competir con otros modos de movilidad privados menos sostenibles (carros fundamentalmente) la solución integrada del proyecto debe ser percibida por los ciudadanos como accesible, segura, rápida, fiable y confortable.

El proyecto

- Criterios, contenidos y recomendaciones

Tener presente siempre en los diseños que la experiencia de viaje de los viajeros debe ser el foco básico de los diseños

Lo que percibe el viajero en cuanto a la calidad de la oferta y el estado emocional que crea en él, desde que se plantea la necesidad de viajar hasta que llega a su destino, es el pilar en que se basa el éxito o el fracaso del objetivo real de los proyectos, que no es otro que mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y hacer sostenible las ciudades.

La componente tecnológica del proyecto

- **Criterios, contenidos y recomendaciones**

Realizar **Diseños**:

- Funcionales.
- Estandarizados.
- Con elementos fácilmente integrables.

Analizar el **Ciclo de vida** de cada elemento:

- Para asegurar, en el Sistema Integrado (Infraestructura, Sistemas Electromecánicos, Material Rodante):

La Fiabilidad

(Reliability)

La Disponibilidad

(Availability)

La Mantenibilidad

(Maintainability)

La Seguridad

(Safety)

RAMS

- **Criteria,
contents and
recommendations**

Desglose del diseño de detalle por proyectos (I)

Infraestructura

- Túneles y estaciones (incluyen la obra civil de pozos para los sistemas de ventilación y de bombeo, y subestaciones eléctricas).
- Talleres.
- Cocheras.
- Puesto de Control Central.
- Otras Edificaciones.
- Y además todas las instalaciones provisionales necesarias durante la construcción, que en algunos casos puede requerir extensiones importantes de terreno (fabricación de elementos prefabricados, pozos para tuneladoras, etc.).

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Desglose del diseño de detalle por proyectos (II)

Superestructura (I)

1. Vía. Este proyecto se incluye a veces en el alcance del de túneles y estaciones, sobre todo si la solución tecnológica es vía en placa (Vía general, secundaria, aparatos de vía, playas de vía en talleres y cocheras). Decidir si la de vía se montará sobre plataforma de hormigón o sobre balasto.
2. Subestaciones. Situación y equipos de transformación y celdas necesarias para la alimentación eléctrica necesaria para la tracción de los trenes y la de los sistemas auxiliares (ventiladores, escaleras y ascensores, iluminación, etc.).
3. Alimentación y distribución de energía (soluciones tecnológicas: catenaria, catenaria rígida, tercer carril).
4. Señalización Ferroviaria. Equipamiento en campo y en trenes. Enclavamientos. ATP, ATO, CBTC, ERTMS, UTO.
5. Radiotelefonía y Comunicaciones.
6. Transporte vertical (escaleras mecánicas y ascensores).

- **Crterios,
contenidos y
recomendaciones**

Desglose del diseño de detalle por proyectos (III)

Superestructura (II)

7. Ventilación y PCI.
8. Climatización.
9. Puertas de andén.
10. Sistema de peaje.
11. Control de estaciones.
12. Equipamiento de Talleres y Cocheras.
13. Señalética.

Material Movil

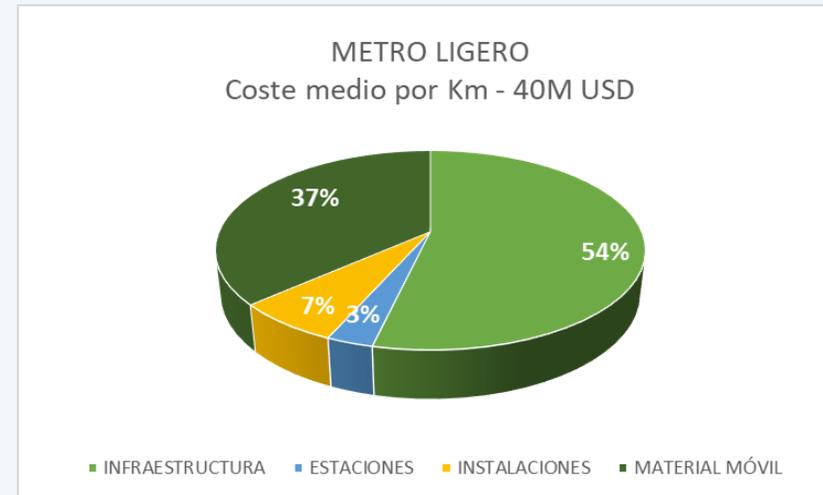
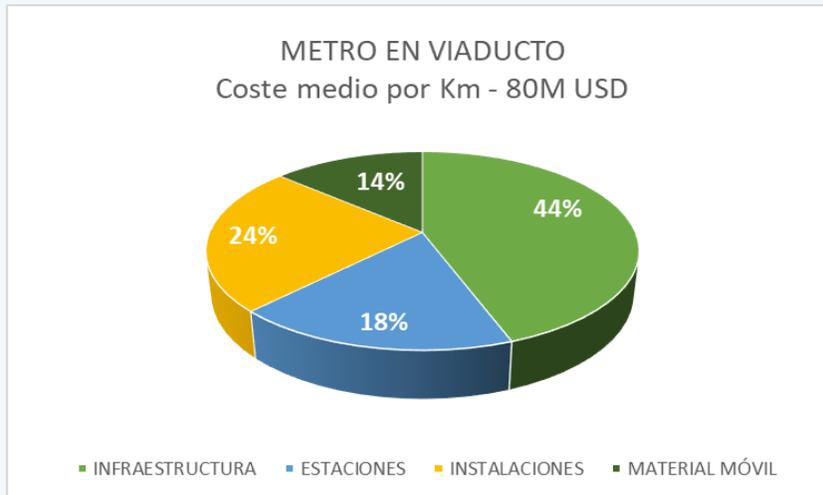
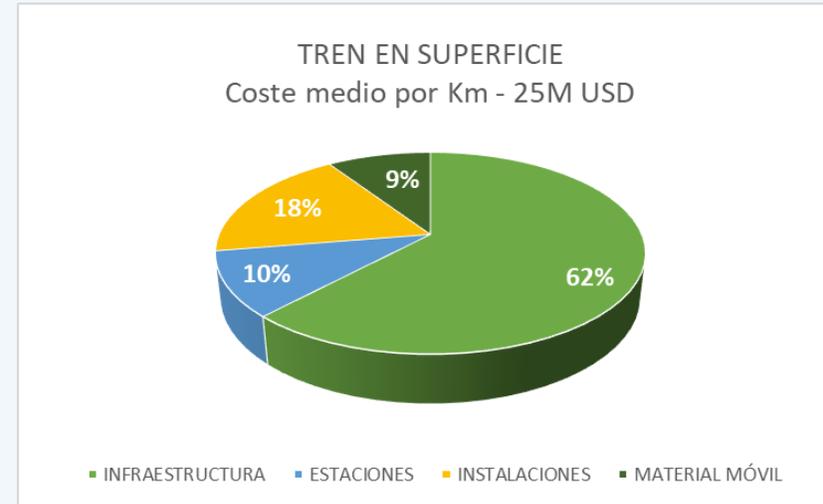
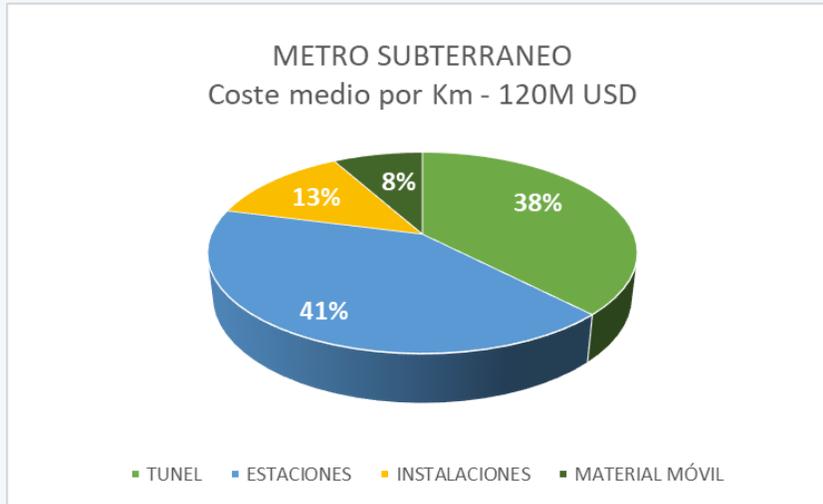
Principales Conclusiones

■ Conclusiones

- La existencia del Líder Político y el Líder Técnico son esenciales para garantizar el éxito del Proyecto.
- Los Criterios de Diseño y de Calidad y Confort del transporte pueden variar mucho entre países.
- La Geotecnia de la zona influye, pero con la tecnología actual no es un factor decisivo, salvo excepciones.
- Los Procesos Constructivos que se aplican no son ajenos al Desarrollo Económico y Social del País.
- El peso relativo del coste del Material Móvil y otras Instalaciones, frente a la Obra Civil, puede sufrir grandes variaciones.
- La existencia de un equipo de personas con experiencia en la explotación que esté presente en el proyecto desde sus primeras fases es fundamental, y su labor no puede ser sustituida, por otro tipo de organizaciones.

Costes de diseño y construcción de proyectos de FFCC

■ Costes y rentabilidad



NOTA: Los costes totales y el % de descomposición en actividades pueden sufrir variaciones de un proyecto a otro.

La rentabilidad socioeconómica de los ferrocarriles urbanos

Costes y rentabilidad

Los aspectos sociales

Ahorro de los costes como consecuencia de:

- Reducción de tiempo de desplazamiento.
- Baja accidentabilidad.
- Cohesión social.

Los aspectos económicos

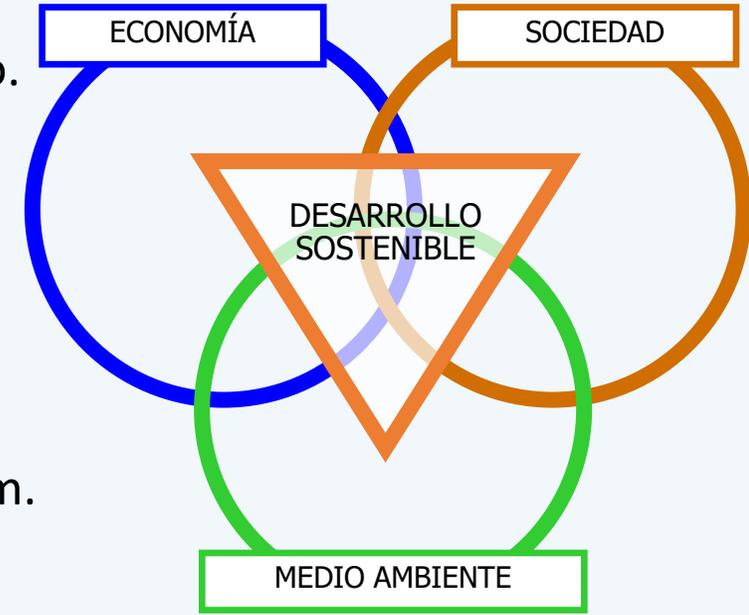
Coste económico limitado debido a:

- Eficiencia en la producción de Coches-Km.
- Bajos costes por Viajero-Km.

Los aspectos medioambientales

Costes medioambientales bajos por:

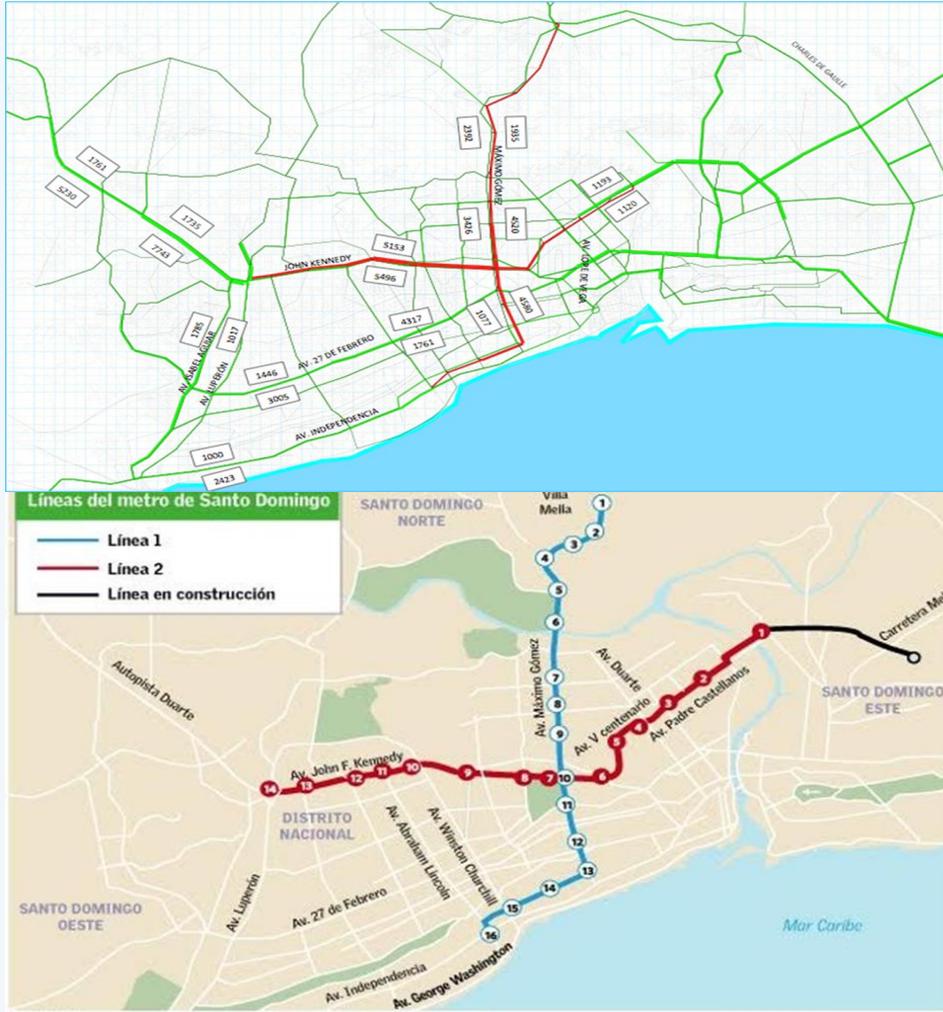
- Ruido y vibraciones.
- Emisiones locales y GEI's.
- Impactos paisajísticos.



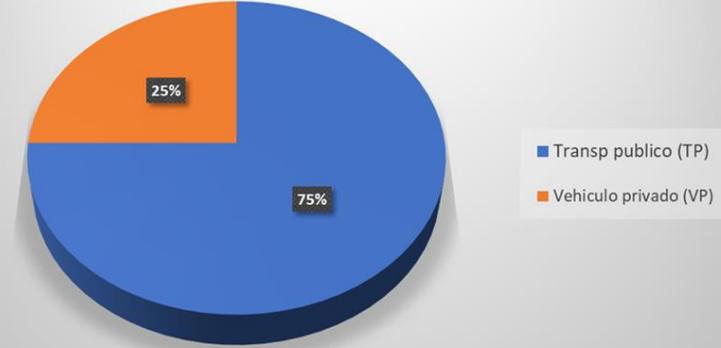
EL TRIPLE BALANCE
Costes Sociales + Costes Económicos +
Costes Medioambientales

El triple balance del metro de Santo Domingo. Resultados hasta 2017

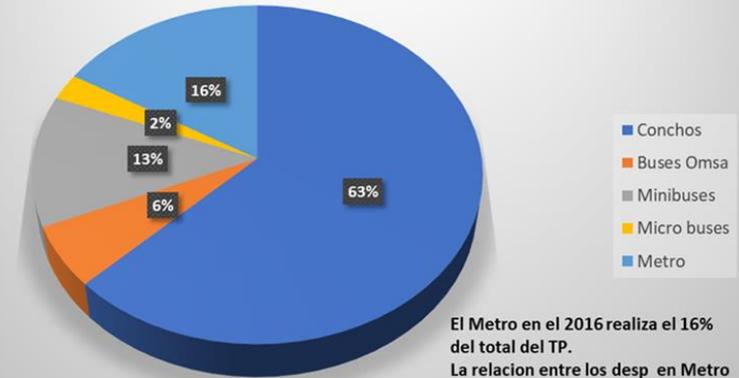
Costes y rentabilidad



Distribución de los desplazamientos mecanizados en el Distrito Nacional



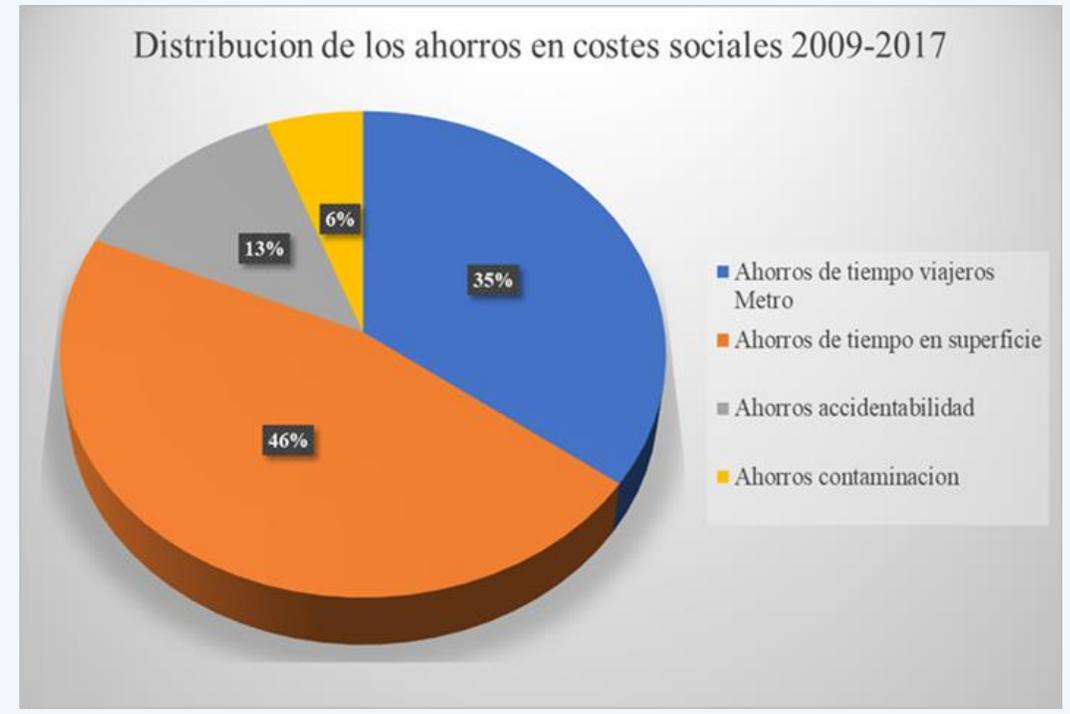
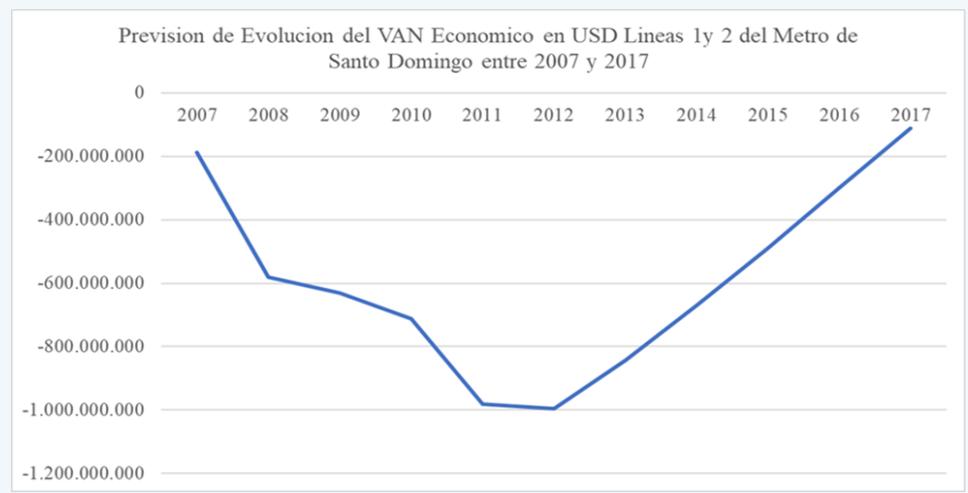
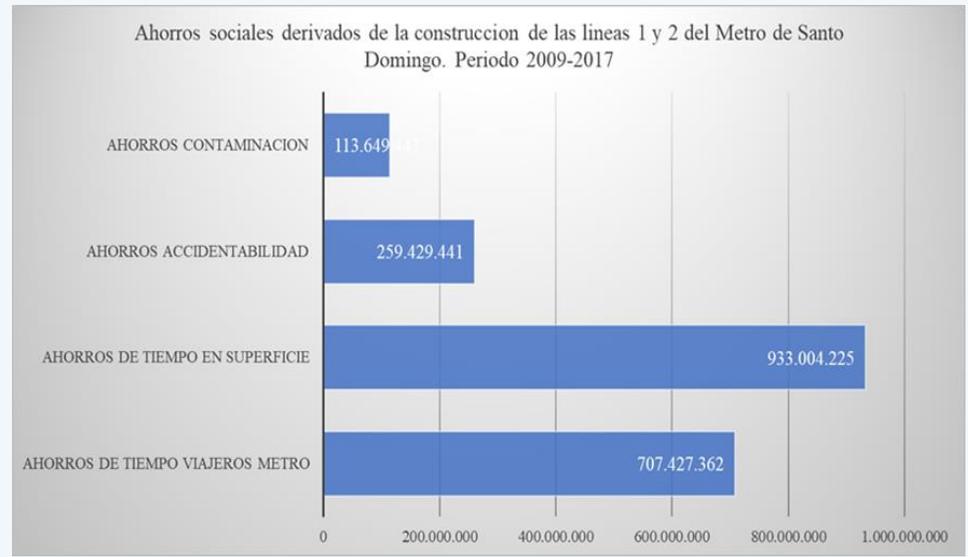
Distribucion total del TP en el DN contando modos en superficie y en Metro



El Metro en el 2016 realiza el 16% del total del TP.
La relacion entre los desp en Metro y en superficie es del 20%

Ahorros de costes sociales del Metro de Santo Domingo. Periodo 2009 – 2017

Costes y rentabilidad



Fuente: UASD TFG Ariana Ibelka Diaz

Conclusiones sobre la rentabilidad socio-económica del Metro de Santo Domingo

■ Costes y rentabilidad

- Se ha realizado un análisis “in media res” para calcular el VAN del proyecto incluyendo variables económicas, sociales y medioambientales.
- Se han utilizado metodologías reconocidas internacionalmente para monetarizar las variables que no tienen precio de mercado.
- Se ha incluido el “factor incertidumbre” en el análisis para obtener distintos valores del VAN y su probabilidad de ocurrencia.
- En el escenario considerado, se han tomado siempre situaciones conservadoras.
- Los resultados muestran que después del año 2017 el VAN pasará a tomar valores positivos y que por tanto se habrá producido el retorno total de la inversión de las Líneas 1 y 2.

Fuente: UASD TFG Ariana Ibelka Diaz

Publicaciones

Coenradd Esveld	Modern Railway Track . 2001.
Andrés López Pita.	Infraestructuras Ferroviarias. 2006.
Manuel Melis Maynar y Javier González Fdez.	Ferrocarriles Metropolitanos. 2004.
Andrés López Pita.	Explotación de líneas de ferrocarril. 2004.
INFRAS	External cost of transport. 2004.
CE Delft	Handbook on estimation of external costs in the transport Sector. 2008.
Eduardo Contreras	Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica. 2004.
CEDEX	Evaluación económica de proyectos de transporte. 2010.

Qué es INGEOTRANS S.L

INGEOTRANS Soluciones Integrales de Transporte S.L. fue creada en el año 2012 para poner en valor la experiencia acumulada en la Gestión, Construcción y Explotación de líneas ferroviarias por profesionales que, durante años, desarrollaron su trabajo en diferentes puestos de responsabilidad en Metro de Madrid, incluyendo la Alta Dirección.

La participación de este equipo de personas en los Proyectos ferroviarios para afrontar el reto del crecimiento de la Red desde 1995 hasta 2011 en 200 kms, además de la transformación necesaria en la Gestión de la Organización para llevarlo a cabo, así como su intervención en diferentes proyectos internacionales, fundamentalmente en Latinoamérica, les aportó un nivel de conocimientos muy elevado.

Con esta base, INGEOTRANS S.L ha desarrollado y está desarrollando Proyectos y proporcionando Asesorías Técnicas en el Diseño, Construcción, Explotación (Operación y Mantenimiento) y Gestión de nuevas redes y líneas de transporte en diferentes zonas del mundo, fundamentalmente en Latinoamérica y especialmente en el área del Caribe.

Mas información puede obtenerse en www.ingeotrans.com

Gracias por su Atención

Ildefonso de Matías Jiménez
E-mail: ildefonso.dematias@ingetrans.com
www.ingetrans.com

