



Càtedra UNESCO de Sostenibilitat



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA

Instituto Universitario de Investigación en Ciencia y Tecnologías de la
Sostenibilidad

Cátedra UNESCO de Sostenibilidad

Programa de Doctorado
Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo

Propuesta de un marco axiológico para la evaluación de un desarrollo
tecnológico. El proyecto del tren de alta velocidad México-Querétaro.

Autor

Rolando Javier Bernal-Pérez
rolando.j.bernal@gmail.com

Tesis presentada para obtener el título de doctor por la Universidad Politécnica
de Cataluña

Director

Javier Álvarez-del-Castillo

Co-director

José Gilberto Cardoso-Mohedano

Barcelona
Julio 2016



PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO



Curso académico:

Acta de calificación de tesis doctoral

Nombre y apellidos Rolando Javier Bernal Pérez

Programa de doctorado Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo

Unidad estructural responsable del programa Instituto Universitario de Investigación en Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad

Resolución del Tribunal

Reunido el Tribunal designado a tal efecto, el doctorando / la doctoranda expone el tema de la su tesis doctoral titulada: Propuesta de un marco axiológico para la evaluación de un desarrollo tecnológico. El proyecto del tren de alta velocidad México-Querétaro.

Acabada la lectura y después de dar respuesta a las cuestiones formuladas por los miembros titulares del tribunal, éste otorga la calificación:

NO APTO APROBADO NOTABLE SOBRESALIENTE

(Nombre, apellidos y firma)		(Nombre, apellidos y firma)	
Presidente/a		Secretario/a	
(Nombre, apellidos y firma)			
Vocal	Vocal	Vocal	Vocal

_____, _____ de _____ de _____

El resultado del escrutinio de los votos emitidos por los miembros titulares del tribunal, efectuado por la Escuela de Doctorado, a instancia de la Comisión de Doctorado de la UPC, otorga la MENCIÓN CUM LAUDE:

SÍ NO

(Nombre, apellidos y firma)		(Nombre, apellidos y firma)	
Presidente de la Comisión Permanente de la Escuela de Doctorado		Secretario de la Comisión Permanente de la Escuela de Doctorado	

Barcelona a _____ de _____ de _____

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

Resumen

En los últimos dos y medio siglos se ha transformado el modo como vivimos e interactuamos con nuestro entorno, sobre la base de adelantos en la tecnología y la ciencia como sistema de conocer el mundo. Estos cambios implican modos diferentes de interacción social y de evaluar lo que es benéfico; es decir, cambio en los valores personales y sociales. Toda tecnología ha sido desarrollada por una sociedad en un momento histórico; los desarrollos tecnológicos contienen valores sociales, que se transfieren a otras sociedades con la tecnología. Esto puede traer problemas si se trata de sistemas tecnológicos complejos y de amplio alcance, como las redes de comunicaciones y transportes, dado que su funcionamiento puede tener efectos adversos.

Como sociedad casi nunca reflexionamos sobre la tecnología y los desarrollos tecnológicos, por ello, estamos lejos de poder decidir qué tecnología es conveniente para la satisfacción de necesidades de la mayoría de la población, y qué tecnología tiene aparejadas consecuencias indeseables que superan los beneficios que genera. Así, al día de hoy no existe un marco amplio y probado para realizar evaluaciones axiológicas de desarrollos tecnológicos.

Este trabajo nace de la necesidad de evaluar axiológicamente del desarrollo del tren de alta velocidad proyectado entre México y Querétaro. Para dar solución a este problema establezco una herramienta de evaluación cuali-cuanti a la que llamo matriz axiológica. Considero que un sistema técnico puede definirse axiológicamente a partir de seis atributos: escala, intensidad, intencionalidad, participación, inteligibilidad y amigabilidad; éstos operan sobre cuatro aspectos: naturaleza, sociedad, economía y tecnología; a lo largo de tres etapas de desarrollo del sistema: implementación, funcionamiento y fin de ciclo.

Para evaluar el Tren México-Querétaro propongo diferentes escenarios. Considero que el aspecto social depende de los mecanismos de consulta pública a la población indígena, que el aspecto tecnológico depende del nivel de contenido nacional -desarrollo interno o externo-, que el aspecto económico depende del retorno de la inversión (ROI) y del ahorro social, y que el aspecto natural depende de las emisiones de CO₂ que establezco mediante un ROI de

CO₂. Los aspectos económico y natural dependen también de la afluencia. Un escenario considera que el tren será desarrollado con consulta pública y de manera interna -escenario “consultivo-interno”-, otro escenario considera que el tren será desarrollado con decisiones centralizadas y de manera externa -escenario “centralista-externo”-; ambos escenarios fueron evaluados para dos afluencias, 11,200 y 22,700 pasajeros diarios.

El escenario consultivo-interno contiene valores de desarrollo social regional por procesos de consulta pública, aumento de capacidades tecnológicas internas, autonomía decisonal y desarrollo de cadenas productivas; compromete la confiabilidad de la obra. El escenario centralista-externo promueve valores de eficacia y confiabilidad de la obra, pero compromete la viabilidad social al generar despojo de tierras y un pobre desarrollo tecnológico.

El proyecto da un balance positivo de CO₂ contra otros medios de transporte, por lo que es viable ambientalmente. Ningún escenario llega al punto de equilibrio en un plazo de 20 años, por lo que se considera económicamente inviable. Desde el aspecto social, no hay una región indígena reconocida en el trazo del tren, pero hay presencia indígena importante en el municipio de Tepeji del Río, Hidalgo; la población indígena no ha sido históricamente consultada para este tipo de desarrollos, por lo que es necesario establecer mecanismos a tal efecto; una posibilidad es extender el alcance de las Manifestaciones de Impacto Ambiental. El desarrollo tecnológico debe ser considerado como una función trayectoria que depende de la ruta de implementación, y no como una función de estado que depende del simple hecho de tener la tecnología.

Abstract

Based on technology and science developments as a way of knowing the world, our way of life and the way we interact with the environment have been transformed, in the last two and a half centuries. These changes imply different ways of social interaction and of assessing benefits; that is to say, personal and social values have changed. Different technologies have been developed by different societies in different historical moments – technological developments imply social values and these are transferred to other societies at the same time as the new technology is transferred. This can cause issues if the technological systems are complex and far-reaching, like the railroad and transportation networks, because the way they operate can have adverse effects.

As a society, we almost never reflect on technology and technological developments, and that is why we are far from knowing what technology is convenient to satisfy most of the population's needs, and what technology will bring undesirable consequences that will outweigh the potential benefits.

The work herein stems from the need to assess the development of the Mexico City-Queretaro high-speed train project from an axiological point of view. In order to solve this problem I established a qualitative comparative analysis tool, which I call an axiological matrix. I think that a technological system can be defined in an axiological way based on six attributes: scale, intensity, intentionality, participation, intelligibility and friendliness; these work on four matters: nature, society, economy and technology; and through three system development stages: implementation, operation and cycle completion.

In order to assess the Mexico City-Queretaro train I suggest different scenarios. I think the social matter depends on opening consultation mechanisms to the indigenous population; the technological matter depends on the level of national content – internal and external development ; the economic matter depends on the return on investment (ROI) and social savings; and the natural matter depends on CO₂ emissions that I establish through a CO₂ ROI. The natural and economic matters also depend on the number of passenger estimates.

There is a scenario that esteems that the train will be developed through a public consultation and an internal decision – the “consultative-internal” scenario – and there is another scenario that supposes that the train will be developed through centralized and external decisions – the “centralized-external” scenario –; both scenarios were based on two different daily passenger estimates: 11,200 and 22,700.

The consultative-internal scenario contains values of regional social development through public consultation processes, increase of internal technological capabilities, decision autonomy and the development of productive chains; it jeopardizes the project's reliability. The centralized-external scenario promotes effectiveness and reliability values but jeopardizes social feasibility because people will be deprived of their land and there will be no technological advance.

The project envisions a positive CO₂ balance compared to other transportation modes, so it is environmentally feasible but there is no scenario reaching the breakeven point before 20 years, so it is considered economically unfeasible. On the social side, the project does not recognize any indigenous region on the train path, but in fact there is a significant indigenous population in the municipality of Tepeji del Rio, in the state of Hidalgo. Historically, when this kind of projects have been developed, the indigenous population has never been consulted, and this is why consultation mechanisms have to be set; an option is to extend the reach of environmental impact statements. Technological development has to be considered as a path function that depends on the implementation path, and not as a state function that depends solely on possessing the technology.

Agradezco a:

Los directores de tesis, Dr. Javier Álvarez del Castillo y Dr. José Gilberto Cardoso Mohedano, por su tiempo, dedicación, dirección y claridad de ideas.

Cátedra UNESCO en Sostenibilidad de la UPC por el aprendizaje y el uso de instalaciones.

Los doctores Carlos Amador Bedolla del depto. de Física y Química Teórica, Facultad de Química de la UNAM; Martí Boada Juncá del depto. de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la Universitat Autònoma de Barcelona; Ignacio E. Peón Escalante de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco, del Instituto Politécnico Nacional por sus comentarios en el proceso de revisión de la presente.

Facultad de Química (UNAM) por la comisión de superación académica y apoyos institucionales varios, por su apoyo con el uso de sus instalaciones y equipo de cómputo; a los doctores Eduardo Bárzana García, Jorge Manuel Vázquez Ramos, Francisco Barnés de Castro, Enrique R. Bazúa Rueda, Ma. Del Carmen Duran Domínguez, Ma. Del Pilar Ríus de la Pola, Andoni Gárritz Ruiz (†), Francisco Javier Garfias y Ayala, mtros. Raúl Garza Velasco Natalia E. De la Torre Aceves, Ing. Alejandro L. Íñiguez Hernández, todos ellos por el apoyo administrativo, institucional y de tiempo dedicado a este proyecto; al dr. M. Javier Cruz Gómez por el apoyo logístico, al mtro. Luis Avelino Sánchez Graillet por el aporte de ideas y referencias; a la arqlga. Paulina Esparza Torres (FFyL-II Filológicas, UNAM) por el tratamiento de imágenes.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) por su apoyo con el uso de sus instalaciones y equipo de cómputo, a los técnicos Germán Ramírez Reséndiz y Carlos Suárez Gutiérrez por su ayuda en el tratamiento de datos, a Paola Rodríguez Reynaga y Alain Arnaud por edición del lenguaje.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México), Secretaría de Educación Pública (SEP, México), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC, España) por el financiamiento.

Personalmente a todos los amigos que me acompañaron en el proceso. Esta tesis es hija ideológica de tres revoluciones: la española, la mexicana y la interior, a todos los gigantes revolucionarios, en especial al maestro Kosen y la Kosen Sangha.

A mi familia por todo el apoyo que de mil maneras me brindaron: a mis padres, mis hermanos, a Paulina y a Irene.

Abreviaciones y siglas:

ADIF: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias

AEM: Agencia Espacial Mexicana

ALAF: Asociación Latinoamericana de Amigos del Ferrocarril

BRT: Sistema Articulado de Transporte (*Bus Rapid Transit* ó Metrobús)

CAF: Construcciones y Auxiliares de Ferrocarril

CDI: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas

CEFP: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas

CENAM: Centro Nacional de Metrología

CIATEQ: Centro de Tecnología Avanzada de Querétaro

CIDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

CIDETEQ: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.

CIMAV: Centro de Investigación en Materiales Avanzados

Cinvestav: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

CNCF: Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril

COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre

COMEST: Comisión Mundial de Ética en el Conocimiento Científico y las Tecnologías

*(Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies ó
World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology)*

CONAE: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

Concarril: Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril

CTS: Ciencia, Tecnología y Sociedad

D.F.: Distrito Federal

DGIPAT: Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología

DOF: Diario Oficial de la Federación (México)

Edomex: Estado de México

EE.UU.: Estados Unidos de América

EIA: *Energy Information Administration*

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental / *Energy Information Administration* (según el caso)

EMU: Unidades Múltiples a Electricidad

ERA: Estudio de Riesgo Ambiental
ERTMS: *European Rail Traffic Management System*
FES: *Friedrich Ebert Stiftung*
FNI: Fondo Nacional de Infraestructura
FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
FONADIN: Fondo Nacional de Infraestructura
GDF: Gobierno del Distrito Federal
GEI: Gases de Efecto Invernadero
GODF: Gaceta Oficial del Distrito Federal
ICA: Ingenieros Civiles Asociados, S.A. De C.V.
IEO: *International Energy Outlook*
IFEU: *Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg*
IIE: Instituto de Investigaciones Eléctricas
IMCYC: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
IMNC: Instituto Mexicano de Normalización y Certificación
IMP: Instituto Mexicano del Petróleo
IMT: Instituto Mexicano del Transporte
INEGEI: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático (*Intergovernmental Panel for Climate Change*)
IPN: Instituto Politécnico Nacional
ITDP: Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo
ITESM: Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey ó Tec de Monterrey
ITS: sistemas inteligentes de transporte (*Intelligent Transport System*)
IVA: Impuesto al Valor Agregado
LGEEPA: Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
mdp: millones de pesos
mdpa: millones de pesos al año
MEDEC-:México: Estudio para la Disminución de Emisiones de Carbono
MIA-R: Manifestación de Impacto Ambiental, modalidad Regional

MIA: Manifestación de Impacto Ambiental
OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OIT: Organización Internacional del Trabajo
OMC: Organización Mundial de Comercio
ONU / NU: Organización de las Naciones Unidas
PIB: Producto Interno Bruto
PND: Plan Nacional de Desarrollo
PyME: Pequeñas y Medianas Empresas
RLGEEPA: Reglamento a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
ROI: Retorno Sobre la Inversión (*Return On Investment*)
SAR: Sistema Ambiental Regional
SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SE: Secretaría de Economía
SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SNCF: *Société Nationale des Chemins de Fer*
STC: Sistema de Transporte Colectivo
SYSTRA:
TAV: Tren de Alta Velocidad
TIC: Tecnologías de Información y Comunicaciones
TIR: Taza Interna de Retorno
UIC: Unión Internacional de Ferrocarriles (*Union Internationale des Chemins de fer ó
International Union of Railway*)
UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México
UNCATD: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (*United Nations
Conference on Trade and Development*)
USCUSS: Uso de Suelo y Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura
VPN: Valor Presente Neto

Índice

Introducción.....	1
1. Planteamiento de la investigación.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Preguntas de investigación y aspectos metodológicos:.....	3
1.5. Entorno Teórico.....	10
1.5.1. Concepto de sostenibilidad y desarrollo sostenible.....	10
1.5.1.2. Del progreso al desarrollo.....	10
1.5.1.3. De las críticas al desarrollismo al informe Brundtland.....	12
1.5.1.4. El Desarrollo Sostenible, un concepto desde la complejidad.....	15
1.5.1.5. El entorno naturaleza.....	17
1.5.1.6. El entorno sociedad.....	18
1.5.1.7. Desarrollo, sostenibilidad, crecimiento económico y calidad de vida.....	22
1.5.1.8. Un cambio cultural necesario.....	25
1.5.1.9. Desarrollo (socioecológico/humano) sostenible, una función trayectoria.....	28
1.5.2. Axiología y evaluación de la tecnología.....	31
1.5.2.1. Introducción a la evaluación axiológica de la tecnología.....	31
1.5.2.2. Re-pensar la tecnología.....	31
1.5.2.3. Tecnología, Revolución Industrial y sociedad.....	33
1.5.2.4. De la neutralidad valorativa a la evaluación de la tecnología.....	38
1.5.2.5. Evaluación interna.....	40
1.5.2.6. Evaluación externa, mercado e innovación.....	44
1.5.2.7. Evaluación tecnológica y la crítica humanística.....	48
1.5.2.8. Eficacia, eficiencia y riesgo.....	58
1.5.2.9. Transdisciplinariedad y valores.....	61
1.5.2.10. Los valores dominantes y los nuevos valores.....	63
1.5.3. Consideraciones a la perspectiva teórica.....	67
2. Población indígena y territorio como factores de evaluación de desarrollo tecnológico: el Tren México-Querétaro, un planteamiento teórico.....	73
2.1. Introducción.....	73
2.1.1. Evaluación social de la tecnología.....	73
2.1.2. La población indígena y la evaluación de la tecnología.....	77
2.1.3. Antecedentes históricos del tren.....	81
2.2. Metodología.....	86
2.3. Resultados: Propuesta de parámetros de evaluación social.....	86
2.3.1. Población indígena en el trazo del Tren México-Querétaro.....	86
2.4. Análisis de resultados.....	93
2.4.1. Puentes legales.....	93
2.4.2. Análisis regional y municipal.....	94
2.4.3. Evaluación axiológica de acuerdo con los parámetros propuestos.....	98
2.4.3.1. Escenario consultivo.....	98
2.4.3.2. Escenario centralista.....	102

2.4.3.3. Comparación axiológica ente un escenario consultivo y uno centralista.....	104
2.5. Conclusiones particulares al capítulo 2.....	106
3. Evaluación de aspectos económicos sobre la propuesta del Tren México-Querétaro.....	109
3.1. Introducción.....	109
3.2. Metodología.....	113
3.3. Evaluación de parámetros tradicionales: ROI, TIR, punto de equilibrio.....	113
3.3.1. Escenario 1.....	114
3.3.2. Escenario 2.....	116
3.3.3. Escenario 3.....	117
3.3.4. Escenario 4.....	120
3.4. Otros parámetros.....	121
3.4.1. Empleos.....	121
3.4.2. Beneficios indirectos en tiempo por el descongestionamiento de la salida a Querétaro.....	122
3.4.3. Reducción de accidentes.....	122
3.5. Análisis.....	123
3.6. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos.....	126
3.7. Conclusiones particulares al capítulo 3.....	131
4. Análisis de competencias tecnológicas disponibles en México para la construcción de un Tren de Alta Velocidad.....	133
4.1. Introducción.....	133
4.1.1. Adquisición de tecnología o desarrollo tecnológico.....	133
4.1.2. Estudios sectoriales.....	137
4.1.3. El tren como sistema técnico y paquete tecnológico.....	141
4.1.4. Los trenes actualmente en México.....	141
4.2. Metodología.....	143
4.3. Resultados.....	144
4.3.1. Competencias tecnológicas necesarias, el TAV como paquete tecnológico, fases de implementación y operación.....	144
4.3.1.1. Infraestructura.....	144
4.3.1.2. Construcción.....	150
4.3.1.3. Explotación.....	154
4.3.2. Competencias tecnológicas disponibles en México hacia el TAV.....	160
4.3.2.1. Desarrollo del tren suburbano Buenavista-Cuautitlán.....	160
4.3.2.2. Desarrollo de la línea A del STC Metro de la Ciudad de México.....	165
4.3.2.3. Desarrollo de la línea 12 del STC Metro de la Ciudad de México.....	168
4.3.3. Competencias tecnológicas en México por elemento clave del TAV como paquete tecnológico.....	171
4.3.3.1. Infraestructura y construcción.....	171
4.3.3.2. Desarrollo del material rodante y los sistemas de control y comunicaciones.....	173
4.4. Análisis de resultados.....	175
4.4.1. Brecha.....	176
4.4.1.1. Brecha de infraestructura y construcción.....	176
4.4.1.2. Brecha de material rodante y sistemas de control y comunicaciones.....	178
4.4.1.3. Principales universidades y centros de investigación con posibilidades vinculantes.....	181
4.4.2. El desarrollo de capacidades tecnológicas desde una perspectiva axiológica.....	181
4.4.2.1. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos para un desarrollo externo.....	183
4.4.2.2. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos para un desarrollo interno.....	189

4.4.2.3. Comparación axiológica entre un desarrollo interno y uno externo.....	193
4.5. Conclusiones particulares al capítulo 4.....	196
5. Evaluación de impacto de emisiones de CO ₂ como parámetro de análisis al entorno naturaleza del desarrollo del Tren México-Querétaro.....	199
5.1. Introducción.....	199
5.1.1. Afectaciones a la naturaleza.....	200
5.1.2. Contenido de la MIA.....	201
5.1.3. Generalidades sobre Emisiones de CO ₂	208
5.1.4. El Retorno Sobre la Inversión de CO ₂	213
5.1.4.1. Antecedentes al cálculo de CO ₂ para transporte y ROI de CO ₂	214
5.2. Metodología.....	218
5.3. Evaluación de ROI de CO ₂	218
5.3.1. Línea base de emisiones.....	218
5.3.2. La construcción y emisiones iniciales.....	219
5.3.2.1. Edificios.....	220
5.3.2.2. El trazo.....	221
5.3.2.3. Obras de Arte.....	223
5.3.2.4. Electrificación.....	225
5.3.2.5. Material Rodante.....	227
5.3.2.6. Total de emisiones por construcción.....	228
5.3.3. Emisiones en la etapa de operación.....	229
5.3.4. Cálculo de Retorno Sobre la Inversión de CO ₂ del proyecto.....	231
5.3.4.1. Opción 1, supuesto 1, escenario 1.....	232
5.3.4.2. Opción 1, supuesto 1, escenario 2.....	232
5.3.4.3. Opción 1, supuesto 1, escenario 3.....	232
5.3.4.4. Opción 1, supuesto 2, escenario 1.....	233
5.3.4.5. Opción 1, supuesto 2, escenario 2.....	234
5.3.4.6. Opción 1, supuesto 2, escenario 3.....	234
5.3.4.7. Opción 2, supuesto 1, escenario 1.....	235
5.3.4.8. Opción 2, supuesto 1, escenario 2.....	235
5.3.4.9. Opción 2, supuesto 1, escenario 3.....	236
5.3.4.10. Opción 2, supuesto 2, escenario 1.....	237
5.3.4.11. Opción 2, supuesto 2, escenario 2.....	237
5.3.4.12. Opción 2, supuesto 2, escenario 3.....	237
5.4. Análisis.....	238
5.5. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos.....	242
5.6. Conclusiones particulares al capítulo 5.....	245
6. Análisis axiológico integral del desarrollo del Tren México-Querétaro.....	249
6.1. Escenarios axiológicos.....	249
6.1.1. Escenario consultivo-interno, 11,200 pasajeros diarios.....	249
6.1.2. Escenario consultivo-interno, 22,700 pasajeros diarios.....	252
6.1.3. Escenario centralista-externo, 11,200 pasajeros diarios.....	255
6.1.4. Escenario centralista-externo, 22,700 pasajeros diarios.....	258
6.1.5. Comparación entre escenarios.....	261
6.2. Perspectivas axiológicas desde los planteamientos teóricos establecidos en los capítulos 1.5.1 y 1.5.2.....	265
7. Discusión final, conclusiones y perspectivas.....	269

7.1. Discusión final.....	269
7.2. Conclusiones.....	275
7.3. Perspectivas para futuras investigaciones.....	276
Bibliografía.....	279
ANEXO A.....	301

Índice de tablas

Tabla 1.1. Objetivos.....	7
Tabla 1.5.1. Sostenibilidad Fuerte y Débil.....	16
Tabla 2.1. Municipios Considerados en el SAR.....	87
Tabla 2.2. Municipios en el Trazado de Vía e Idiomas Indígenas.....	92
Tabla 2.3. Matriz Axiológica Comparativa Consultivo-Centralista Etapa de Implementación Aspecto Social.....	105
Tabla 3.1. Monto y Origen del Financiamiento del Proyecto.....	115
Tabla 3.2. Cuadro Resumen de Escenarios de Inversión a 20 Años.....	120
Tabla 3.3. Beneficios Indirectos del Tren México-Querétaro.....	123
Tabla 4.1. Características de la Red Ferroviaria de Carga 2012.....	142
Tabla 4.2. Diferencia en las Características Geométricas Entre Líneas Convencionales y de Alta Velocidad.....	145
Tabla 4.3. Diferencias en la Superestructura entre Líneas Convencionales y de Alta Velocidad.....	147
Tabla 4.4. Diferencias en la Infraestructura entre Líneas Convencionales y de Alta Velocidad.....	148
Tabla 4.5. Características de los Bogies de Trenes.....	156
Tabla 4.6. Diferencias entre Sistemas de Electrificación de Líneas Convencionales y de Alta Velocidad.....	159
Tabla 4.7. Matriz Axiológica Comparativa Interno-Externo Etapa de Implementación Aspecto Tecnología.....	193
Tabla 4.8. Matriz Axiológica Comparativa Interno-Externo Etapa de Funcionamiento Aspecto Tecnología.....	194
Tabla 4.9. Matriz Axiológica Comparativa Interno-Externo Etapa de Fin de Ciclo Aspecto Tecnología.....	195
Tabla 5.1. Emisiones de CO ₂ eq por Categoría en el 2010.....	209
Tabla 5.2. Emisiones de CO ₂ eq en la Categoría de Transporte en México.....	210
Tabla 5.3. Pasajeros-km por Modo de Transporte en el 2011.....	211
Tabla 5.4. Pasajeros en Transporte Ferroviario por Clase de Servicio en 2012.....	211
Tabla 5.5. Vehículos y Capacidad por Clase de Servicio de Autobuses en México 2010.....	212
Tabla 5.6. Afluencia Vehicular Diaria Autopista México-Querétaro 2012.....	213
Tabla 5.7. Emisiones por Vehículo en la Autopista México-Querétaro.....	219
Tabla 5.8. Emisiones de CO ₂ por kg de Material.....	219
Tabla 5.9. Edificios y CO ₂	220
Tabla 5.10. Elementos del Trazo y CO ₂	223
Tabla 5.11. Actuaciones en el Trazo del Tren México-Querétaro.....	224
Tabla 5.12. Elementos de la Electrificación y CO ₂	227
Tabla 5.13. Emisiones por Construcción.....	229

Tabla 5.14. Emisiones Estimadas por Pasajero/Trayecto/Medio de Transporte México-Querétaro.....	231
Tabla 5.15. ROI de CO ₂ Bajo la Opción 1 Supuesto 1.....	232
Tabla 5.16. ROI de CO ₂ Bajo la Opción 1 Supuesto 2.....	234
Tabla 5.17. ROI de CO ₂ Bajo la Opción 2 Supuesto 1.....	236
Tabla 5.18. ROI de CO ₂ Bajo la Opción 2 Supuesto 2.....	238
Tabla 6.1. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Consultivo-Interno 11,200 Pasajeros Etapa de Implementación.....	250
Tabla 6.2. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Consultivo-Interno 11,200 Pasajeros Etapa de Funcionamiento.....	251
Tabla 6.3. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Consultivo-Interno 11,200 Pasajeros Etapa Fin de Ciclo.....	252
Tabla 6.4. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Consultivo-Interno 22,700 Pasajeros Etapa de Implementación.....	253
Tabla 6.5. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Consultivo-Interno 22,700 Pasajeros Etapa de Funcionamiento.....	254
Tabla 6.6. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Consultivo-Interno 22,700 Pasajeros Etapa Fin de Ciclo.....	255
Tabla 6.7. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Centralista-Externo 11,200 Pasajeros Etapa de Implementación.....	256
Tabla 6.8. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Centralista-Externo 11,200 Pasajeros Etapa de Funcionamiento.....	257
Tabla 6.9. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Centralista-Externo 11,200 Pasajeros Etapa Fin de Ciclo.....	258
Tabla 6.10. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Centralista-Externo 22,700 Pasajeros Etapa de Implementación.....	259
Tabla 6.11. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Centralista-Externo 22,700 Pasajeros Etapa de Funcionamiento.....	260
Tabla 6.12. Matriz Axiológica Tren México-Querétaro Escenario Centralista-Externo 22,700 Pasajeros Etapa Fin de Ciclo.....	261
Tabla 6.13. Diferencias Cualitativas entre Escenarios Consultivo-Interno y Centralista-Externo en la Etapa de Implementación.....	262
Tabla 6.14. Diferencias Cualitativas entre Escenarios Consultivo-Interno y Centralista-Externo en la Etapa de Funcionamiento.....	264
Tabla A.1. Influencia de la Velocidad en la Calidad de la Vía.....	303
Tabla A.2. Características de los Bogies de Trenes.....	318
Tabla A.3. Diferencias entre Sistemas de Electrificación de Líneas Convencionales y de Alta Velocidad	320

Índice de figuras

Figura 1.5.1. Dimensiones de la Sostenibilidad.....	15
Figura 1.5.2. Población Mundial por Año.....	19
Figura 1.5.3. Satisfacción con la Vida contra PIB Per Cápita.....	20
Figura 1.5.4. Desarrollo y Sostenibilidad.....	24

Figura 1.5.5. La Unidad Tecnológica.....	41
Figura 1.5.6. Boje de Ferrocarril.....	42
Figura 1.5.7. Sistema Talgo.....	42
Figura 1.5.8. Curva Tecnológica.....	43
Figura 1.5.9. Conjunción de Resultados (R) y Objetivos (O).....	59
Figura 1.5.10. Sistema Técnico Eficaz y Eficiente.....	59
Figura 1.5.11. Sistema Eficaz Altamente Ineficiente.....	60
Figura 1.5.12. Pirámide Transdisciplinar.....	62
Figura 1.5.13. Matriz Tridimensional de Evaluación Axiológica Integrada.....	71
Figura 2.1. Tramos Según el Aprovechamiento del Derecho de Vía Actual.....	91
Figura 2.2. Municipios en el Trazo del Tren.....	93
Figura 2.3. Región Mazahua-Otomí.....	95
Figura 2.4. Región Otomí de Hidalgo y Querétaro.....	95
Figura 4.1. Empresas y Productos Aeronáuticos Manufacturados en 2010.....	140
Figura 4.2. Bogie del metro de la Ciudad de México.....	180
Figura 4.3. Bogie en Unión de Coches del Euromed 100-103.....	180
Figura 5.1. Superficies Delimitadas entre el Trazo del Proyecto y el Trazo de la Vía Actual.....	202
Figura 5.2. Retorno de CO2, opción 1, supuesto 1.....	233
Figura 5.3. Retorno de CO2, opción 1, supuesto 2.....	235
Figura 5.4. Retorno de CO2, opción 2, supuesto 1.....	236
Figura 5.5. Retorno de CO2, opción 2, supuesto 2.....	238

Introducción

El presente trabajo surge de una legítima inquietud por tratar de llevar luz a un rincón oscuro del pensamiento: ¿nuestra tecnología y el modo como la desarrollamos nos está realmente haciendo más libres o más esclavos?; ¿es nuestra tecnología motor de un cambio social benéfico para la mayoría de la población?; ¿hay algún modo de saber si un sistema técnico es compatible con los valores presentes en una sociedad en un momento histórico específico?; ¿cómo establecer un justo medio para la evaluación de los desarrollos tecnológicos desde los retos que tenemos como sociedad, como humanidad?; ¿de qué modo pueden contribuir los “planes de desarrollo” y sus principales infraestructuras a una verdadera solución a problemas que tienen profundas raíces sociales, como la desigualdad, la dependencia y la ausencia de caminos para la dignidad?

Desde luego todas estas preguntas están lejos de tener solución única, no pretendo con esta tesis dar cabal respuesta, pues tal empresa sería como la icónica lanza de Don Quijote lanzada al aire, con todo e hidalgo, por los molinos de viento hace 410 años. Más busco explorar cómo sería una relación con el desarrollo tecnológico que no sea irresponsablemente optimista ni tercamente pesimista; en especial al respecto de una infraestructura que es históricamente responsable de cambiar para siempre la faz de la tierra (en sentido literal y figurado) como el ferrocarril; aunque los responsables nunca sean las máquinas, sino los seres humanos.

Si bien esta tesis nace con un espíritu crítico, me anima un matiz plasmado por José Ortega y Gasset (1939):

Es penoso observar a lo largo de la historia la incapacidad de las sociedades humanas para reformarse. Triunfa en ellas o la terquedad conservadora o la irresponsabilidad y ligereza revolucionarias. Muy pocas veces se impone el sentido de la reforma a punto que corrige la tradición sin desarticularla, poniendo al día los instrumentos y las instituciones.

1. Planteamiento de la investigación

1.1. Antecedentes

En México, el Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 (PND; Peña-Nieto, 2012) establece tres proyectos prioritarios de infraestructura ferroviaria: un tren que una las ciudades de México y Toluca, un tren que corra por el eje Mérida-(CANCÚN) y un tren de pasajeros de alta velocidad que una a las ciudades de México y Querétaro. El tren es un sistema técnico de amplia envergadura, cuyo desarrollo tiene implicaciones en los entornos social y natural, por lo que tanto su planificación, como su construcción y operación deben considerar varios aspectos para potenciar los posibles beneficios y prevenir efectos adversos.

1.2. Planteamiento del problema

El desarrollo tecnológico puede ser visto como “ángel” o “demonio”, en su establecimiento ha generado tanto nuevas oportunidades para mejorar la calidad de vida de una parte de la población, como nuevas fuentes de iniquidades y problemas que cada vez son más complejos y globales. No obstante su importancia, en comparación con el casi omnipresente discurso de sus bondades, hay pocos esfuerzos serios por hacer de la tecnología y su desarrollo un objeto de pensamiento y reflexión (Bernal Calderón, 2006).

Si bien a partir de mediados del siglo pasado son varias y diversas las voces que pugnan por ceñir el desarrollo científico y tecnológico a los intereses de una sociedad humanista, en el ámbito de la evaluación de la tecnología no hay, al día de hoy, un marco de referencia amplio, claro y suficiente para establecer una axiología del desarrollo tecnológico. Esto es válido tanto para tecnologías concretas, como para sistemas tecnológicos, y más aún, sistemas tecno-sociales.

El tren es un sistema tecnológico de amplia influencia, cuyo desarrollo no ha estado exento de claroscuros. Ante un posible desarrollo ferroviario en México, surge el problema de cómo establecer un marco valorativo que aporte elementos para que este desarrollo sea de mayor valor para más gente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

OG1. Estructurar un marco de evaluación axiológico para el desarrollo de la línea de tren de alta velocidad México-Querétaro.

1.3.2. Objetivos específicos

- OE1. Identificar aspectos relevantes para la evaluación de cuestiones sociales relativas a la población indígena al respecto del desarrollo de la línea de tren de alta velocidad México-Querétaro, que se puedan resolver con información pública y accesible.
- OE2. Identificar aspectos relevantes para la evaluación de cuestiones económicas no crematísticas al respecto del desarrollo de la línea de tren de alta velocidad México-Querétaro, que se puedan resolver con información pública y accesible.
- OE3. Identificar aspectos relevantes para la evaluación de cuestiones tecnológicas al respecto del desarrollo de la línea de tren de alta velocidad México-Querétaro, que se puedan resolver con información pública.
- OE4. Identificar aspectos relevantes para la evaluación de impactos al entorno natural al respecto del desarrollo de la línea de tren de alta velocidad México-Querétaro, que se puedan resolver con información pública y accesible.
- OE5. Integrar las evaluaciones en un marco axiológico

1.4. Preguntas de investigación y aspectos metodológicos:

Del objetivo general OG1, planteo las siguientes preguntas:

POG1.1. ¿Con información pública, es viable la articulación de un marco axiológico de evaluación para el desarrollo de la línea de tren de alta velocidad México-Querétaro?

POG1.2. ¿Un marco tal puede contener aspectos sociales, económicos, tecnológicos y de impacto al medio natural?

Aspectos metodológicos:

- Hacer una revisión bibliográfica de los principales autores que trabajan el tema de axiología de la tecnología para determinar los elementos que consideran necesarios dentro de la evaluación axiológica del desarrollo tecnológico.
- Identificar los aspectos metodológicamente cubiertos para la evaluación axiológica del desarrollo tecnológico, y aspectos no resueltos.
- Proponer elementos metodológicos para cubrir aspectos no resueltos dentro de la evaluación axiológica del desarrollo tecnológico que deberán ser resueltos en el cumplimiento de los objetivos específicos.
- Definir una batería de accesos a información pública fácilmente accesible

Del objetivo específico OE1 planteo las siguientes preguntas:

POE 1.1. ¿Es viable hacer un análisis de afectación a la población indígena como parte de los factores sociales que se deberían considerar para construir un esquema de evaluación del desarrollo ferroviario en México?

POE 1.2. ¿Los mecanismos de consulta pública contemplados en la normativa para el desarrollo ferroviario (tales como Manifestaciones de Impacto Ambiental y Estudios de Riesgo Ambiental) han redundado en mecanismos de control democrático?

Aspectos metodológicos:

POE 1.3. ¿Estos análisis han formado históricamente parte de la evaluación del desarrollo ferroviario en México?

Aspectos metodológicos:

- Hacer una revisión normativa nacional y de tratados y convenios suscritos por México que establezcan la necesidad de considerar a la población indígena para los desarrollos tecnológicos.
- Identificar los mecanismos a través de los cuales se pueda incluir la participación indígena en los procesos de evaluación del desarrollo de un tren de alta velocidad México-Querétaro.
- Identificar a la población indígena asentada en el trazo de la línea.

- Determinar la necesidad de consulta y los mecanismos que habría que instrumentar para evitar afectaciones indeseables a la población indígena por el desarrollo de un tren de alta velocidad México-Querétaro.
- Hacer un análisis a partir de fuentes bibliográficas para determinar si las consultas a la población indígena fueron consideradas para el desarrollo histórico de las líneas del tren en México.

Del objetivo específico OE2 planteo las siguientes preguntas:

POE 2.1. ¿Con información pública, qué factores económicos se deberían considerar para construir un esquema de evaluación del desarrollo ferroviario en México?

POE 2.2. ¿Estos factores económicos han formado históricamente parte del análisis para la evaluación del desarrollo ferroviario en México?

Aspectos metodológicos:

- Hacer una evaluación de ahorro social que permitiría un tren de alta velocidad México-Querétaro.
- Hacer un análisis de externalidades económicas entre un tren de alta velocidad México-Querétaro y otros medios de transporte.
- Hacer un análisis a partir de fuentes bibliográficas para determinar si las externalidades económicas fueron consideradas para el desarrollo histórico de las líneas del tren en México.

Del objetivo específico OE3 planteo las siguientes preguntas:

POE 3.1. ¿Qué factores tecnológicos se deberían considerar para construir un esquema de evaluación del desarrollo ferroviario en México?

POE 3.2. ¿Estos factores tecnológicos han sido considerados históricamente para el desarrollo ferroviario en México?

Aspectos metodológicos:

- Hacer un planteamiento sobre las posibilidades de desarrollo de la línea de alta velocidad México-Querétaro en cuanto a esquemas llave en mano o desarrollo

tecnológico interno.

- Estructurar un estudio de caso sobre un desarrollo ferroviario llave en mano. Determinar el nivel de contenido nacional y el desarrollo de competencias tecnológicas que este caso generó.
- Estructurar un estudio de caso sobre un desarrollo ferroviario efectuado de manera interna. Determinar el nivel de contenido nacional y el desarrollo de competencias tecnológicas que este caso generó.
- Realizar una analogía entre los casos planteados y las posibilidades que ambos esquemas generarían para el desarrollo tecnológico y la elevación de competencias en la realización del tren de alta velocidad México-Querétaro.
- Para las competencias tecnológicas necesarias en el desarrollo de la línea de tren alta velocidad México-Querétaro, se consideran los factores estructurales, relacionales y humanos en cuanto a:
 - Construcción de las vías: desmontes, aplanado, puentes, túneles, terraplenes, taludes, durmientes, rieles, sistemas de sujeción.
 - Construcción de estaciones.
 - Construcción de obras públicas diversas: puentes, pasos, accesos.
 - Construcción de material rodante: carros y locomotoras con sus partes.
 - Construcción de sistemas de comunicación y control.
 - Establecimiento de procedimientos de operación.

Del objetivo específico OE4 planteo las siguientes preguntas:

POE 4.1 ¿Cuál es el balance neto de CO₂ del proyecto?

POE 4.2. ¿Qué factores naturales se deberían considerar para construir un esquema de evaluación del desarrollo ferroviario en México?

Aspectos metodológicos:

- Determinar una línea base de emisiones de CO₂ que el tránsito de vehículos entre México y Querétaro genera al año.
- Determinar el impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ que generaría el

tren de alta velocidad México-Querétaro.

- Realizar prospectivas comparativas entre diferentes escenarios para calcular el ahorro de emisiones de CO₂ que la línea generaría contra otras tecnologías: Autobuses, vehículos monofamiliares.
- Con base en la información contenida en la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), determinar el costo ambiental que la construcción del tren traería en términos de servicios ecosistémicos (externalidades ambientales): árboles removidos, afectaciones al paisaje, consumo de agua, pérdida de biodiversidad, afectaciones a los ecosistemas.
- Realizar un análisis de costo-beneficio ambiental considerando los factores calculados.
- Explorar la viabilidad de establecer un retorno sobre la inversión (ROI) ambiental.

Del objetivo específico OE5 planteo la siguiente pregunta:

POE 5.1. ¿Cómo integrar las diferentes variables investigadas en un marco axiológico que sea aplicable a otros desarrollos tecnológicos?

Aspectos metodológicos:

- Construir una herramienta de evaluación cuali-cuanti que integre las variables consideradas en el estudio.

Tabla 1.1 Cuadro resumen de las actividades a realizar para dar respuesta a las preguntas que genera cada uno de los objetivos generales y específicos de esta tesis.

Objetivos generales		
Objetivos	Pregunta	Técnicas de investigación
OG1	POG1.1	Revisión bibliográfica de marcos axiológicos para desarrollos tecnológicos. Definir una batería de fuentes de información pública y accesible para la evaluación axiológica
	POG1.2	Identificar los aspectos metodológicamente cubiertos para la evaluación axiológica del desarrollo tecnológico en las dimensiones social, económica, tecnológica y de impacto al medio natural. Proponer elementos metodológicos para aspectos no cubiertos previamente.

Objetivos específicos		
OE1	POE1.1	Identificar a la población indígena asentada en el trazo de la línea. Hacer una revisión normativa nacional y de tratados y convenios suscritos por México que establezcan la necesidad de considerar a la población indígena para los desarrollos tecnológicos. Identificar los mecanismos a través de los cuales se pueda incluir la participación indígena en los procesos de evaluación del desarrollo de un tren de alta velocidad México-Querétaro.
	POE1.2	Determinar la necesidad de consulta y los mecanismos que habría que instrumentar para evitar afectaciones indeseables a la población indígena por el desarrollo de un tren de alta velocidad México-Querétaro.
	POE1.3	Hacer un análisis a partir de fuentes bibliográficas para determinar si las consultas a la población indígena fueron consideradas para el desarrollo histórico de las líneas del tren en México.
OE2	POE2.1	Hacer una evaluación de ahorros sociales que permitiría un tren de alta velocidad México-Querétaro. Hacer un análisis de externalidades económicas entre un tren de alta velocidad México-Querétaro y otros medios de transporte.
	POE2.2	Definir fuentes bibliográficas con información histórica sobre el desarrollo ferroviario en México. Hacer un análisis de consideración de externalidades y ahorros sociales en el desarrollo de las líneas.
OE3.	POE3.1	Hacer un análisis de competencias tecnológicas necesarias para el desarrollo de la línea de tren alta velocidad México-Querétaro, de los factores estructurales, relacionales y humanos, en cuanto a las diferentes partes del paquete tecnológico. Hacer un planteamiento sobre las posibilidades de desarrollo de la línea de alta velocidad México-Querétaro en cuanto a esquemas llave en mano o desarrollo tecnológico interno, mediante una analogía con casos de estudio estructurados para tal efecto.
	POE3.2	Hacer un análisis histórico reciente del desarrollo de estructuras ferroviarias para determinar el nivel de contenido nacional. Se plantea el caso del tren suburbano de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la línea A del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México.
OE4	POE4.1	Determinar una línea base de emisiones de CO2 que el tránsito de vehículos entre México y Querétaro genera al año. Determinar el impacto ambiental en términos de emisiones de CO2 que generaría el tren de alta velocidad México-Querétaro. Realizar prospectivas comparativas entre diferentes escenarios para calcular el ahorro de emisiones de CO2 que la línea generaría contra otras tecnologías: Autobuses, vehículos monofamiliares.

	POE4.2	<p>Determinar el costo ambiental que la construcción del tren traería en términos de servicios ecosistémicos (externalidades ambientales): árboles removidos, afectaciones al paisaje, consumo de agua, pérdida de biodiversidad, afectaciones a los ecosistemas.</p> <p>Realizar un análisis de costo-beneficio ambiental considerando los factores calculados.</p> <p>Explorar la viabilidad de establecer un retorno sobre la inversión (ROI) ambiental.</p>
OE5	POE5.1	<p>Construir una herramienta de evaluación cuali-cuanti, parametrizable, que integre las variables consideradas en el estudio.</p>

1.5. Entorno Teórico

1.5.1. Concepto de sostenibilidad y desarrollo sostenible

En castellano las palabras “sostenible” y “sustentable” pueden ser interpretadas de manera diferente; sin embargo, para fines de este trabajo ambas significan lo mismo. De manera general la palabra sostenible es utilizada en documentos provenientes de España, mientras que la palabra sustentable es utilizada en documentos generados en América Latina; pero, se refieren básicamente al mismo concepto que se puede entender como la traducción de la palabra inglesa *sustainable*, tanto como sustantivo, cuanto como adjetivo calificativo de “desarrollo” (Gallopín, 2006).

1.5.1.2. Del progreso al desarrollo

A partir de las revoluciones científicas y culturales ocurridas en Europa en los siglos XVII y XVIII, surge el ideal del crecimiento económico como la vía para obtener un bienestar general de las naciones y de su población. Según ese ideal, el crecimiento debería estar basado en las vocaciones productivas de cada país y las posibilidades de intercambio con otras naciones (Smith, 1776). En este modelo de desarrollo, se abraza la idea del progreso a través de los conocimientos como un ideal del espíritu humano que le permite mejorar moral y materialmente (Condorcet, 1794).

Wallerstein (1988) indica que bajo ese ideal fundamental transcurrieron el siglo XIX y prácticamente la mitad del XX, modelo que el autor llama “el capitalismo histórico”. En muchas ocasiones, este modelo se basa en una visión eurocentrista, inequitativa, intolerante con la disidencia, en exceso racionalista, dependiente del capital y profundamente inconsciente de posibles límites al crecimiento económico o la actividad productiva (Mumford, 1964; Galeano, 1971; Wallerstein, 1988; Illich, 2006b [1974]; Linares, 2008; Leff, 2010). El

modelo capitalista se impuso en casi todo el globo y ha visto la pugna por el hégemon mundial entre, al menos, tres naciones, Inglaterra, Alemania y Estados Unidos de América (EE.UU.) (Wallerstein, 1988).

Bajo esos conceptos ideológicos, la modernidad occidental se desarrolló en Europa y Estados Unidos principalmente. Según la creencia de la época Moderna, un continuo aumento cuantitativo y cualitativo en la producción económica, la tecnología, la cultura entendida como la adquisición de conocimientos bajo la guía de la razón, y las instituciones sociales era, no sólo posible, sino deseable y una propensión natural del género humano en un camino evolutivo, el cual debía ser guiado por los pueblos más avanzados, y transferido a los demás pueblos menos avanzados (Rostow, 1960).

Al término de la Segunda Guerra, EE.UU. surgió como la potencia hegemónica a nivel mundial. Como bloque opositor estaba la Unión Soviética con su área de influencia. EE.UU. tenía una enorme capacidad industrial instalada que necesitaba de un mercado al cual vender sus productos, por lo que decidió impulsar como un ideal el llamado “desarrollo”; es decir, perseguir, como meta nacional y de sus habitantes, el ideal de una prosperidad basada en el consumo de una gran cantidad de bienes. De esta manera EE.UU. instauró el consumismo como modo de satisfacción de las necesidades humanas, pasando de largo de la “felicidad” como ideal (Wallerstein, 2000).

En 1949 en su discurso de toma de posesión, Harry Truman, presidente en turno de EE.UU., planteó el modo de vida norteamericano basado en la hiperproducción y la economía de consumo como el paradigma de una vida deseable para todos los habitantes del mundo. Ese discurso puso las bases del desarrollo con criterios económicos y estableció una uniformidad sobre lo que los diversos pueblos del mundo debían entender como bienestar deseable, con una lógica eminentemente material, y sobre la vía para alcanzar ese bienestar.

El discurso de Truman marcó el rumbo ideológico, posteriormente llamado “desarrollismo”, que se hubo de oponer al comunismo del bloque soviético y su zona de influencia. Este marco ideológico tiene antecedentes en las obras de Adam Smith y Condorcet como

derivado de los frutos de la ciencia y la tecnología, y en las tesis de Max Weber sobre la ética protestante y el espíritu del capitalismo (Weber, 1991 [1905]). Hereda así el carácter eurocentrista, inequitativo, intolerante, racionalista, capitalista e indolente con los límites materiales. Este marco ideológico implica un crecimiento sostenido y permanente de las actividades económica e industrial de los países “desarrollados”, y la obligación de los “subdesarrollados” a alcanzar niveles crecientes en estas actividades.

EE.UU. logró impulsar una serie de acciones y teorías tendientes a reforzar la aceptación del desarrollismo por parte de otros países, mediante el control de instrumentos políticos y económicos tales como el Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional, la Asamblea General de la ONU, el Consejo de Seguridad de la ONU, entre otros (Galeano, 1971; Max-Neef, Elizalde, y Hopenhayn, 1998). Los casos más claros de impulso a este modelo son las “ayudas para el desarrollo” y los mecanismos de formación y consolidación de la deuda externa de los países del sur, derivados de la petrolización del dólar durante la década de los 60.

1.5.1.3. De las críticas al desarrollismo al informe Brundtland

Aunque el desarrollismo contó con numerosas críticas desde sus orígenes, la primera que fue ampliamente difundida y que atañe a los efectos indeseables sobre los ecosistemas y la salud de las personas fue la que hiciera Rachel Carson, en 1962, con su libro “Primavera silenciosa” (Carson, 2010 [1962]). Aunque Carson buscó llamar la atención sobre la disposición incontrolada de productos químicos cancerígenos (enfáticamente el DDT) a personas sin la pericia técnica para manejarlos (McIntosh, Friedman, y Berenbaum, 2008), su libro fue tomado como una bandera para criticar el modelo global de producción agroquímica y, en casos extremos, como una contraposición al paradigma tecnoeconómico (Berenbaum, 2008).

Otra crítica al desarrollismo surgió en 1966, con Boulding (1966), quien indica que la tierra es un sistema cerrado cuyos recursos y capacidad de absorción son limitados, debido a esto propone dejar atrás la sociedad de consumo altamente demandante de recursos y generadora de residuos (Boulding, 1966).

Sin embargo la primera corriente que realmente compromete al modelo del desarrollismo surge en el mismo seno de EE.UU.. Como resultado de la investigación que el Club de Roma encarga al Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT por sus siglas en inglés), los investigadores publican el libro “Límites del crecimiento” (Meadows, Meadows, Randers, y Behrens III, 1972); en él exponen que, bajo un escenario tendencial, para solventar el ritmo de producción con los recursos que ofrece el planeta es necesario un crecimiento cero en la actividad económica del mundo industrializado. El estudio previó la crisis del petróleo un año antes de que se manifestara en 1973. El resultado del estudio contradice con suficiente evidencia la posibilidad de un desarrollo ilimitado, entendido como un crecimiento continuo de la actividad industrial y económica material. Desde esta óptica, los límites al crecimiento son físicos y la opción ante un futuro catastrófico es a través de la reducción del crecimiento de la población y la restricción al crecimiento de la economía mundial.

Derivado del trabajo de Meadows (Meadows, Meadows, Randers, y Behrens III, 1972), se realizaron varios esfuerzos por redefinir la visión hacia un desarrollo posible. Una tendencia importante es la que emprendieron diferentes personas desde América Latina al cobijo de la Fundación Bariloche que, a través del planteamiento de una cultura humanista y de principios democráticos, propone el Modelo Mundial Latinoamericano (llamado también Modelo Bariloche). En él, con base en perspectivas normativas, sugieren un desarrollo solidario con decrecimiento en el norte y crecimiento en el sur (Herrera et al., 2004).

El Modelo Bariloche no niega la existencia de límites físicos al desarrollo; sin embargo, enfatiza que los límites operacionales a la humanidad son sociopolíticos y no físicos. Plantea como finalidad del desarrollo la satisfacción de las necesidades básicas de los humanos -nutrición, vivienda, salud, educación-, que son esenciales para la pervivencia completa y

activa de cada cultura; y estructura una sociedad deseable fundamentada en tres pilares: 1) equidad a todas las escalas; 2) no consumismo -entendido como que el consumo no es un fin en sí mismo-, es decir, una producción determinada por las necesidades sociales en lugar de la ganancia, la estructura y crecimiento de la economía están hechas para constituir una sociedad intrínsecamente compatible con el medio ambiente; 3) el reconocimiento de una pluralidad cultural hacia los modos de organización y de gestión de los bienes de producción y de la tierra -más allá de la propiedad-.

En este mismo contexto, en 1983 la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU o NU) estableció una comisión especial encargada de generar un informe sobre la situación del medio ambiente y de la problemática global para establecer estrategias hacia un desarrollo sostenible: la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, encabezada por la doctora noruega Gro Harlem Brundtland, comisión que analizó la situación del mundo en ese momento con la concurrencia de científicos y políticos provenientes de 21 países. En 1987, la NU entregó el informe “Nuestro destino común”, también conocido como “informe Brundtland”, en el que planteó que la sociedad consumista estaba destruyendo el ambiente y dejando a cada vez más gente en la pobreza y la vulnerabilidad.

El informe Brundtland define al desarrollo sostenible como “aquel que satisface las necesidades de la generación actual sin por ello poner en peligro las oportunidades de las generaciones futuras para satisfacer las suyas” (Brundtland et al., 1987). En el informe se establecen las bases para que la protección al medio ambiente se plantee como un reto global, más que nacional o regional; propone que el desarrollo y el ambiente no son cuestiones separadas. Para Brundtland el desarrollo no es sólo un problema de los países no desarrollados, pues la degradación ambiental es consecuencia tanto de la pobreza, como de la industrialización, por lo que las naciones desarrolladas y las que no lo son tienen que buscar un camino diferente para satisfacer sus necesidades.

1.5.1.4. El Desarrollo Sostenible, un concepto desde la complejidad.

El desarrollo sostenible tuvo un salto conceptual en La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en la ciudad de Río de Janeiro en 1992 (conocida como la cumbre de Río, o Río 1992); derivado de los trabajos ahí iniciados, para definir al desarrollo sostenible se planteó la confluencia de al menos tres dimensiones (Peterson, 1997): la económica, la social y la del medio natural (Figura 1.5.1).

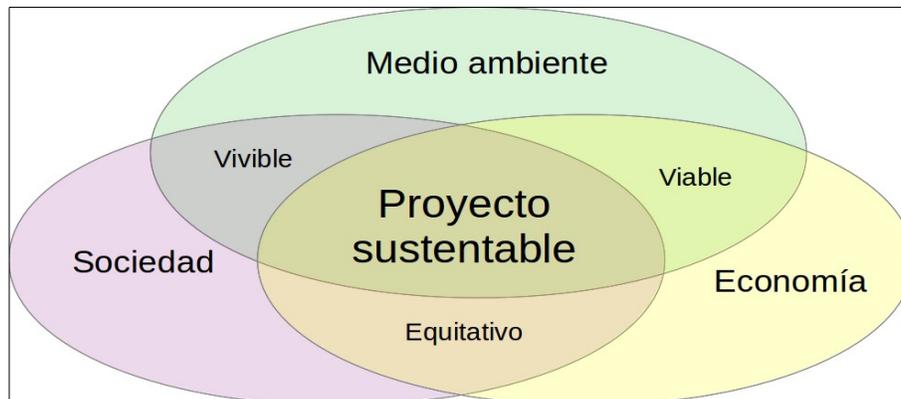


Figura 1.5.1 Dimensiones de la sostenibilidad desde el desarrollo.
Adaptado de Peterson, 1997.

Si bien la economía puede ser vista como un subconjunto de la dimensión social (como lo es la institucional, la política o de gobernanza), el concepto de desarrollo sostenible surge desde una necesidad de reconducir el modelo económico para superar el concepto de progreso de Condorcet; por lo que la dimensión económica se explicita necesariamente dada la génesis del concepto, toda vez que el desarrollo se acuñó en un inicio en el ámbito de lo económico.

La definición de desarrollo sostenible de Brundtland establece la necesidad de una solidaridad intra e intergeneracionales, pues el total de las personas del presente tienen que satisfacer sus necesidades, pero de tal modo que al hacerlo no comprometan los recursos para que las futuras generaciones los satisfagan a su vez. Sin embargo, Brundtland define al desarrollo sostenible de manera un tanto ambigua, pues ¿qué significa “satisfacer las necesidades”? ¿bajo qué modelo, para cuántas personas y durante cuánto tiempo?, ¿qué funciones cumple el entorno natural y el entorno social?, ¿cómo han de resolverse las

discrepancias entre sociedades cuyos modelos de resolver las necesidades estén en conflicto?

De la solución a estas preguntas han surgido dos visiones diferentes de la sostenibilidad, la “fuerte” y la “débil” (Pearce y Atkinson, 1992). Parten de interpretaciones distintas de cómo satisfacer las necesidades, pero sobre todo, de visiones diferentes sobre la naturaleza y su interrelación con los procesos económicos y sociales (tabla 1.5.1).

La “sostenibilidad débil” parte del supuesto de que la naturaleza cumple funciones específicas de proveeduría para la satisfacción de las necesidades humanas, por lo que la naturaleza en sí no es sujeta de sostenibilidad. Esta visión asegura que la naturaleza y sus funciones pueden ser medidas en términos de capital, que el capital natural y el manufacturado por el humano son perfectamente sustituibles y que lo que hay que conservar o hacer crecer es la suma total de capital. Es decir, los ecosistemas son dispensables siempre que el capital manufacturado sustituya las funciones de proveeduría y remediación que aquellos proporcionan. La sostenibilidad de los ecosistemas tiene importancia en la medida que sea necesaria para la sostenibilidad del componente humano, lo que representa una posición antropocéntrica (Gallopín, 2003).

Tabla 1.5.1. Cuadro resumen de sostenibilidad fuerte y débil.

<i>Visión de sostenibilidad</i>	<i>Fuerte</i>	<i>Débil</i>
<i>Sujeto de sostenibilidad</i>	Ecosistema	Personas
<i>Capital natural / manufacturado</i>	No sustituible (inconmensurables)	Sustituibles perfectamente
<i>Objetivo a conservar</i>	Capital natural	Capital total (suma de natural y manufacturado)
<i>Posición radical</i>	Ecología a ultranza (ecofascismo)	Antropocentrismo a ultranza
<i>Se compromete</i>	Desarrollo humano	Entorno natural

Fuente: Desarrollo propio.

La “sostenibilidad fuerte” parte de la premisa que la naturaleza tiene valores inconmensurables con el capital manufacturado por el humano, por lo que no son perfectamente sustituibles. Los recursos naturales no pueden agotarse sin que se produzca

una pérdida irreversible de bienestar social. En su versión extrema, la naturaleza es sujeto de sostenibilidad, aún a costa de comprometer la viabilidad del desarrollo humano.

La sostenibilidad fuerte considera como sujeto de sostenibilidad al sistema socioecológico completo; es decir, considera el sistema como un todo, con la existencia de importantes vinculaciones entre naturaleza y sociedad. Esta visión permite comprender los efectos negativos de un desarrollo (tecnológico, económico, etc.) desde una doble perspectiva: sobre la naturaleza y sobre la sociedad. Esta concepción va en línea con una definición más actual de medio ambiente: “Sistema de factores abióticos, bióticos y socioeconómicos con los que interactúa el hombre en un proceso de adaptación, transformación y utilización de éste [sistema] para satisfacer necesidades en el proceso histórico-social” (Cubasolar, n.d.).

La actividad humana se sustenta sobre los recursos naturales y sobre las dinámicas sociales. Estas dinámicas, a través de su funcionamiento, influyen también en los factores abióticos y bióticos del entorno. De esta manera se crea un sistema en el cual el entorno social y el entorno natural se influyen y re-definen.

1.5.1.5. El entorno naturaleza

Desde el punto de vista de los ecosistemas hacia la sostenibilidad, se pueden considerar los servicios ambientales que entregan al sistema socioecológico (Hails et al., 2008):

- Servicios de soporte, tales como ciclo de nutrientes, formación de suelos y producción primaria
- Servicios de aprovisionamiento, tales como la producción de alimento, agua dulce, materiales o combustible
- Servicios de regulación, incluyendo la regulación climática y de inundaciones, purificación de agua, polinización y control de plagas
- Servicios culturales, incluyendo los estéticos, espirituales educativos y de recreación

El cumplimiento de estos servicios ambientales depende del buen funcionamiento de los ecosistemas sanos. En última instancia, estas funciones se sustentan en organismos vivos

que interactúan en los ecosistemas. La simple biodiversidad no garantiza el buen funcionamiento de los ecosistemas, sino que es necesaria la abundancia de ciertas especies críticas para la estabilidad del hábitat. La disminución de especies críticas a escala local, compromete los servicios ambientales, aunque estas especies no estén amenazadas a nivel global (Hails et al., 2008).

Derivado de las actividades humanas, las afectaciones a los ecosistemas y su consecuente pérdida de salud derivan en cinco problemas fundamentales (Hails et al., 2008):

- Pérdida, fragmentación o cambio de hábitat
- Sobreexplotación de especies, especialmente por pesca, cacería, o por aserraderos
- Contaminación, particularmente en sistemas acuáticos
- Diseminación de especies o genes invasivos
- Cambio climático

Estos efectos no son aislados y su conjunción provoca sinergias que pueden derivar en problemas mayores. La pérdida de biodiversidad contribuye a problemas tan serios como la inseguridad alimentaria y energética, la vulnerabilidad ante desastres naturales, el desabasto y pérdida en la calidad del agua, el empobrecimiento de la salud y la erosión a la herencia cultural (Leff, 2010).

1.5.1.6. El entorno sociedad

Dentro del sistema de factores que Cubasolar define para el medio ambiente, el vector que controla los cambios es el aspecto social, pues es la actividad humana la principal responsable de las presiones sobre ecosistemas sanos y de prácticas sociales lesivas.

Por el lado social y su impacto en el entorno natural, hay que considerar la capacidad de carga de cada hábitat, y del mundo en general, con respecto a los seres humanos. De acuerdo con una concepción maltusiana de la naturaleza, todo hábitat puede albergar a un número máximo de individuos de una especie de manera indefinida. Cuando una población

excede la capacidad de carga de su medio, el sustrato (recursos básicos) sobre el que vive esta población empieza a escasear, por lo que al poco tiempo la población decae.

El problema con los seres humanos es que para determinar la capacidad de carga de un hábitat se deben considerar los patrones de comportamiento de las sociedades. En 1972, Ehrlich y Holdren (1971) propusieron una identidad que relaciona el impacto que los humanos generamos al ambiente (I), con la cantidad de personas (P), la cantidad de bienes per cápita (es decir, el consumo, “Affluence”) (A), y el impacto por unidad de producción o consumo total, factor asociado a la tecnología necesaria para producir los bienes (T). De esta manera, el impacto que una población genera sobre el ambiente y, por ende, la determinación de la capacidad de carga del mismo, dependerá tanto del número de personas, como de sus hábitos y cultura.

$$I=P*A*T$$

La población mundial ha experimentado una marcada aceleración en su crecimiento desde el siglo XVII (Figura 2). A su vez, la demanda de bienes y servicios que vienen aparejados a un modelo de desarrollo particular (el modelo de mercado y de consumo), ha aumentado la presión que las actividades humanas imponen al entorno natural.

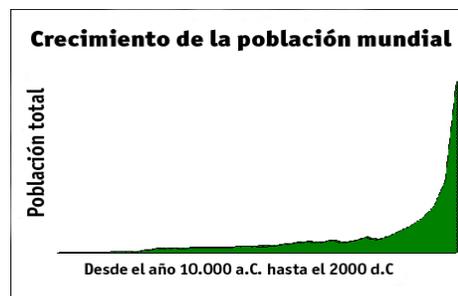


Figura 1.5.2. Población mundial por año.
Fuente: Wikipedia (2005).

Assadourian (2010) indica que conforme aumenta el consumo, aumenta la demanda de bienes provenientes de la naturaleza. Más combustibles fósiles, más minerales y metales son extraídos de la tierra, más árboles son cortados, más tierra ha sido labrada para producir alimento (frecuentemente para ganado, en tanto que las personas con alto ingreso tienden a

comer más carne, o para biocombustibles). Por ejemplo, entre 1950 y 2005, la producción de metales aumentó en seis veces; la de petróleo, en ocho; la de gas natural, en 14. Un total de 60,000 millones de toneladas de recursos son extraídas anualmente.

Según el modelo de consumo y la valorización del “estilo de vida” (lyfestyle), mayores niveles de ingreso darían a los habitantes de las naciones acceso a mejoras materiales que facilitarían la vida, lo que trae consigo mayor satisfacción (es decir, la posibilidad de acceder a más satisfactores). Sin embargo, parece no ser así. Si bien a niveles muy bajos de ingreso (inferiores a 14 USD equivalente al día) la satisfacción parece estar comprometida, arriba de este nivel, la satisfacción depende de otras variables diferentes al ingreso y al consumo asociado de bienes materiales (Vemuri y Costanza, 2006; Figura 3).

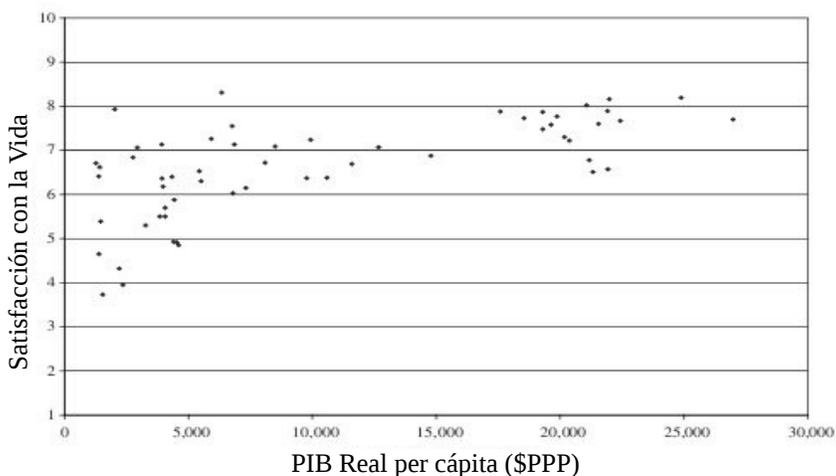


Figura 1.5.3. Satisfacción con la vida contra PIB per cápita.
Fuente: (Vemuri y Costanza, 2006).

Aproximadamente 7% de la población (los 500 millones de habitantes más ricos del planeta) son responsables por el 50% de las emisiones de bióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.), mientras que 3,000 millones de personas (~44% de la población) son responsables de sólo el 6% (Assadourian, 2010). Tales desequilibrios entre personas con diferente ingreso, entre zonas urbanas y rurales genera problemas sociales fuertes, como la inseguridad o la migración, lo que puede provocar frustración y violencia por parte de aquellos a los que se les hace creer que el modelo de consumo es factible.

Las soluciones técnicas (tecnológicas) a los problemas ambientales y de desigualdad son necesarias; sin embargo, una sustitución tecnológica por sí sola no va a resolver estos problemas que tienen profundas raíces sociales y culturales. Assadourian (2010) indica que para producir suficiente energía a fin de reemplazar lo que proviene de combustibles fósiles, se tendrían que construir 200 m² de celdas fotovoltaicas por segundo, más 100 m² de termosolares por segundo, más 24 turbinas eólicas de 3 MWatt por hora, sin parar durante los próximos 25 años; lo que requeriría enormes cantidades de recursos.

Aunque existe ya una gama de tecnologías disponibles que permiten reducir, en el corto y mediano plazo, el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente -tecnologías más eficientes, o que en su ciclo de vida (obtención de materia prima, producción, utilización y disposición final y de residuos, con los transportes implicados) tienen un impacto negativo sobre los ecosistemas menor que el de otras tecnologías-, una verdadera solución al problema del impacto debe basarse en la contención de la explosión demográfica, en un cambio cultural, de equidad, de patrones de consumo y del modo como entendemos y satisfacemos las necesidades humanas (Assadourian, 2010); (Ehrlich y Holdren, 1971) (Cendra y Stahel, 2006).

Herrera y colaboradores (2004) indican que no existe una única solución a nivel mundial para algún problema, pues los recursos locales y las realidades sociales de cada región son diferentes, y las soluciones que son funcionales en ciertas sociedades, al extrapolar su adopción a escalas mayores, generan impactos negativos impensados y suprimen la capacidad que otras sociedades tienen para encontrar sus propias mejores soluciones. Por ello, se puede definir responsabilidad diferenciada y compartida. De ahí que cada país, cada sociedad e incluso cada región debe asumir el compromiso de buscar soluciones locales para un problema global. Ello debe hacerse de tal forma que, en la solución planteada por una región, no se comprometan los recursos propios de otra región diferente (Max-Neef, Elizalde, y Hopenhayn, 1998).

A partir de los resultados arrojados por el estudio de “Los Límites del crecimiento”, se han dado diversos esfuerzos a nivel internacional por coordinar una política que permita seguir

satisfaciendo las necesidades de la población, sin comprometer los recursos naturales. El problema principal es que las bases actuales de la economía están soportadas por un esquema que necesita el crecimiento continuo en la demanda de bienes y servicios para funcionar (Cano, Cendra, y Stahel, 2005). Buscar un crecimiento cero, bajo las condiciones económicas, políticas y sociales actuales, sería equivalente a paralizar una buena parte de la economía y entrar en una recesión sin precedentes; pero postergar las decisiones para entrar en un esquema económico que permita la reducción en la demanda de servicios ambientales traería en un futuro consecuencias mucho mayores que esta recesión (Assadourian, 2010).

1.5.1.7. Desarrollo, sostenibilidad, crecimiento económico y calidad de vida

Desde el debate conceptual, el cambio de la idea de “desarrollo” se ha dado bajo el planteamiento de que la palabra no debería necesariamente querer decir “económico” (Max-Neef et al., 1998), y se han propuesto, de manera paralela, la aparición de conceptos como “sostenible”, “humano” o “socioambiental”(Gallopín, 2003). El reto ha sido volver a situar al ser humano y sus necesidades en el centro del debate, poner a la tecnología, la economía y la ciencia en el lugar que deben tener en una sociedad: la de meros instrumentos al servicio de la humanidad (Max-Neef, 1984).

La idea del bien de la sociedad como visión opositora al desarrollo con base en criterios económicos ha sido un hilo conductor a lo largo del establecimiento del concepto de desarrollo humano. De tal modo, ya en 1974 Iván Illich defendía la visión de una sociedad convivencial que se oponga a la amenaza de una Apocalipsis tecnocrática (Illich, 2006b [1974]).

Numerosos autores que se sitúan bajo la tendencia de pensamiento humanista (Sen, 1979; Cobb y Daly, 1989; Herrera et al., 2004; Gallopín, 2003; Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn, 1998) indican que el crecimiento y desarrollo no son sinónimos, el desarrollo económico no

precisa necesariamente de crecimiento, y el crecimiento económico no trae aparejado necesariamente el desarrollo.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) define Desarrollo Humano (DH), conforme con Amartya Sen, como el proceso de ampliación de las opciones de la gente.

Otra visión del desarrollo humano lo proponen Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn (1998): como “desarrollo a escala humana”. Deja de lado (mas no ignora) el modelo de “desarrollo” basado en criterios económicos, propone una visión fresca del modo como las necesidades son “vivas” por las personas, y del modo como es posible construir un tejido social autogestor de sus propias soluciones. Si bien la visión resulta provocativamente utópica, encierra en sí un respeto hacia las diferentes formas de vida y culturas, y una opción viable que nace del trabajo social profundo. En palabras de los autores (Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn, 1998):

Este trabajo propone, como perspectiva que permita abrir nuevas líneas de acción, un Desarrollo a Escala Humana. Tal desarrollo se concentra y sustenta en la satisfacción de las necesidades humanas fundamentales, en la generación de niveles crecientes de autodependencia y en la articulación orgánica de los seres humanos con la naturaleza y la tecnología, de los procesos globales con los comportamientos locales, de lo personal con lo social, de la planificación con la autonomía y de la sociedad civil con el Estado (p. 30).

Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn (1998): proponen tres postulados:

- a) El desarrollo se refiere a las personas y no a los objetos
- b) Las necesidades humanas son finitas y limitadas, los satisfactores son múltiples y varían de acuerdo con la cultura
- c) Existen pobrezas de diferentes tipos: “De hecho, cualquier necesidad humana fundamental que no es adecuadamente satisfecha revela una pobreza humana” (p. 43)

Con lo anterior los autores indican que el crecimiento económico puede tener sustento en un crecimiento cuantitativo en la demanda de recursos materiales, lo que a la larga conduce a un colapso malthusiano; el crecimiento económico puede también tener sustento en otras

dinámicas que no requieren de un crecimiento en la demanda de recursos materiales, como en crecimientos económicos no materiales; también pueden haber economías de crecimiento cero, e incluso en decrecimiento.

Según Gallopin (2003), existe desarrollo cuando existe un aumento en la calidad de vida de las personas dentro de una sociedad. El autor apunta que a la larga sólo es sostenible un sistema en el que aumenta la calidad de vida, pero no la demanda de recursos materiales. También apunta al hecho de que puede haber un crecimiento económico basado en un aumento en la demanda material, pero sin mejora de la calidad de vida (constante o decreciente), situación que él llama “desarrollo viciado” (Figura 1.5.4); y también puede haber una disminución en la calidad de vida y sin crecimiento económico. Como el resultado de este efecto el autor indica el caso de la “década perdida” en América Latina.

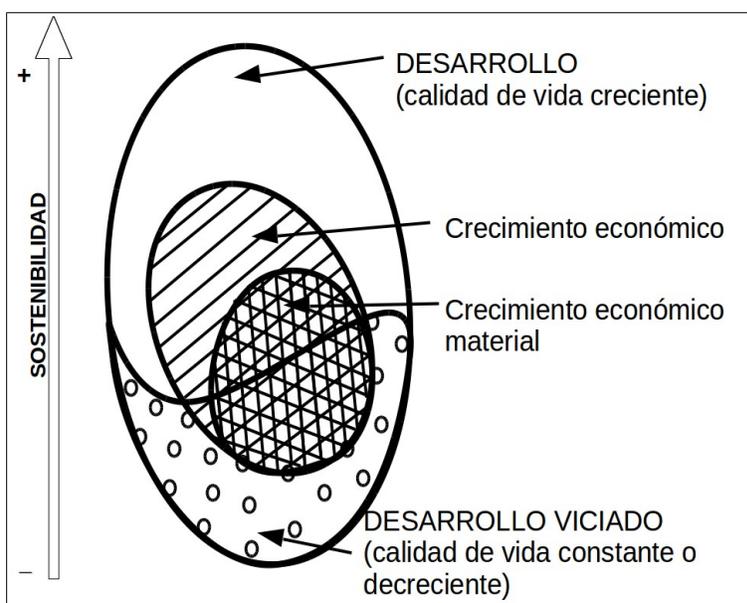


Figura 1.5.4. Desarrollo y sostenibilidad.

Fuente: (Gallopin, 2003).

Diversos autores ((Sen, 1979); (Brundtland et al., 1987); (Max-Neef et al., 1998); (Gallopin, 2003); (Herrera et al., 2004)) coinciden en que la calidad de vida depende de las posibilidades que tengan las personas de satisfacer adecuadamente sus necesidades humanas fundamentales, aunque todavía persisten diferencias en entender cuáles son esas necesidades humanas fundamentales y cómo se satisfacen adecuadamente.

Un antecedente que complementa la visión de Gallopin, es el trabajo de Polanyi, que en 1944 plantea los diferentes modos en que ocurre la economía (Polanyi, 2003 [1944]). Establece que antes de la economía de mercado, en la que la lógica de la ganancia sobre la inversión es el criterio preponderante, existían tres modelos económicos: de reciprocidad, redistribución y autoconsumo; se entiende a modelos productivos que cumplen con funciones económicas y cuyo fundamento se basa en relaciones humanas de mutua ayuda, de repartición de bienes a través de instituciones establecidas (particularmente instituciones sociales), y de producción para ser consumido por la unidad social que los produce (de administración doméstica u oikonomía), que se circunscriben en la economía de “subsistencia”.

El modelo de mercado, de acuerdo con Polanyi (2003 [1944]), es reciente y se fundamenta en el aumento del capital como finalidad principal del proceso económico, lo que lleva a un incremento en la velocidad con la que se recupera el capital y sus réditos, llamado “giro del capital” que es parte de la función crematística del dinero según Aristóteles (n.d.), y necesita de una demanda creciente de recursos para mantener el ciclo bajo aceleración.

Las necesidades humanas se pueden satisfacer con base en diferentes modelos económicos. La economía de mercado tiende a incrementar la demanda de recursos materiales y, por ende, a impactar negativamente en el ambiente. Por otro lado, modelos cuyo sustento está más cercano a las economías de subsistencia tienen mayores posibilidades de crear una demanda estacionaria de recursos materiales (con o sin crecimiento económico), por lo que la satisfacción de las necesidades humanas fundamentales es posible con menor impacto negativo al ambiente.

1.5.1.8. Un cambio cultural necesario

Por el lado del consumo de bienes altamente demandantes de recursos, si bien cada sociedad y región del mundo ha de encontrar sus propias y mejores soluciones, lo primero que se puede proponer es reorientar el marco de valores sobre el cual funciona el actual

sistema. Es conveniente abandonar la idea de que existe un modelo único para satisfacer las necesidades, y sustituirlo por el concepto de múltiples culturas y modos de vivir (Leff, 2010). Esto implica asumir que el modelo de consumo no es universalizable y no es el mejor modo de satisfacer las necesidades para ninguna sociedad por ser el modelo que mayores recursos consume (Cano et al., 2005). Reducir o eliminar el consumo de bienes altamente demandantes de recursos es, más que una opción, una obligación ética hacia el planeta y hacia los que necesitan recursos para satisfacer sus necesidades más vitales (Assadourian, 2010).

Assadourian (2010) propone reorientar el modelo de consumo hacia una escala de valores más “sostenible”. El autor retoma el análisis de Donella Meadows que establece que hay que cambiar los supuestos de que más “cosas” hace a las personas más felices, de que el crecimiento perpetuo es bueno, de que los humanos estamos separados de la naturaleza y de que ésta es un almacén de recursos para ser explotados con fines humanos.

De acuerdo con Assadourian (2010), para oponer un esquema de modelos de desarrollo regionales, las diferentes culturas asumirían que la restauración ecológica debe ser un tema central, que debe ser “natural” encontrar valor y sentido -incluso sentido en la vida- en cuánto una persona ayuda a restaurar el planeta, en contraposición con el actual modelo de desarrollo. La equidad sería otro tema central en los modelos de desarrollo, en tanto que los que más tienen son frecuentemente los que generan los mayores impactos ecológicos, mientras que los que menos bienes materiales tienen, son forzados por la necesidad a asumir comportamientos poco amigables con los ecosistemas, como la deforestación para obtener madera combustible. Una distribución más equitativa de recursos, ayudaría a las sociedades a prevenir impactos ecológicos negativos.

Assadourian (2010) propone tres ejes rectores comunes a todas las culturas:

- Desestimular el consumo de bienes que degradan la calidad de vida (por ejemplo, tabaco, alimento “chatarra”, bienes desechables y casas gigantes que aumentan la dependencia del automóvil y requieren grandes cantidades de recursos para su mantenimiento);

- reemplazar el consumo de bienes privados por bienes públicos, por servicios, o incluso buscar un consumo mínimo o nulo si fuera posible (por ejemplo, incrementando el estímulo a usar transporte público, librerías, jardines y parques públicos);
- los bienes que resulten ser necesarios deberían abandonar en su concepción la sustitución por obsolescencia planificada o por tiempo de vida cortos, es decir, los bienes deberían eliminar desperdicios, ser obtenidos de fuentes (realmente) renovables, ser completamente reciclables o revalorizables al final de su vida útil, deberían de durar un largo periodo de tiempo y ser susceptibles de actualizarse.

Cendra y Stahel (2006) proponen una escala de valores, a través del establecimiento de dimensiones y principios derivados de la identidad I=PAT. Para la parte de consumo (A), proponen el principio de calidad de vida (entendida como la plantean Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn (1998), o desarrollo humano integral) como eje rector de la construcción social de un desarrollo sostenible.

Es decir, oponer a la idea de nivel de vida medido en términos monetarios “lifestyle”, la de un desarrollo personal integral, que (Cendra y Stahel, 2006):

No puede realizarse al margen del de la comunidad, en la medida que la participación es una de las necesidades humanas básicas contempladas por el enfoque (como tampoco puede serlo, evidentemente, el desarrollo de la comunidad al margen del de los individuos que la componen) y de ahí la necesaria articulación entre estas dos dimensiones, la individual con la colectiva (p. 8).

De acuerdo con diversos estudios (Cobb y Daly, 1989; Max-Neef, 1995), el modelo tradicional del crecimiento económico genera una mejora en la calidad de vida sólo hasta cierto punto, conocido como punto umbral, a partir del cuál un crecimiento económico genera un deterioro en la calidad de vida, pues aumenta los costos defensivos y la dependencia material. Por ello, el crecimiento económico debiera estar supeditado a la calidad de vida. En síntesis, hay que revalorizar el ser sobre el tener (Max-Neef, 2007). En un mundo finito, evitar un crecimiento excesivo permite que los recursos escasos sean aprovechados para que otros puedan satisfacer necesidades más básicas. Este principio de equidad debe de ser

tomado en cuenta para disminuir la vulnerabilidad de buena parte de nuestras sociedades y para evitar conflictos que derivan en inseguridad general.

1.5.1.9. Desarrollo (socioecológico/humano) sostenible, una función trayectoria

De acuerdo con lo planteado, desarrollo no es sinónimo de crecimiento. En palabras de (Gallopín, 2003):

Aquí, lo que se sostiene, o debe hacerse sostenible, es el proceso de mejoramiento de la condición humana (o mejor, del sistema socioecológico en el que participan los seres humanos), proceso que no necesariamente requiere del crecimiento indefinido del consumo de energía y materiales.

Vivimos en una época de enormes transformaciones demográficas, tecnológicas y económicas. En un intento por asegurar que los cambios que afectan a la humanidad sean para mejor, la comunidad mundial ha iniciado el proceso de redefinición del progreso. Este intento de redefinir el progreso es lo que se conoce como desarrollo sostenible (p. 22).

Como todo proceso, debe ser considerado como una “función trayectoria”, es decir, un proceso en el tiempo, cuyo resultado depende del camino que se siga.

En termodinámica se puede distinguir dos tipos de funciones: las de estado y las de trayectoria. Las funciones de estado son magnitudes físicas que caracterizan el estado de un sistema en equilibrio, y que son independientes de la forma como el sistema llegó a ese estado; así, si un vaso de agua tiene una temperatura de 50°C, no hace diferencia si el agua tuvo que ser calentada desde 0°C, o si tuvo que ser enfriada desde 100°C, como tampoco hace diferencia el método por el cual fue calentada o enfriada ni el tiempo que esto tardó.

Las funciones trayectoria, por otro lado, son aquellas cuyo valor depende del tipo de transformación que experimenta un sistema desde un estado inicial a otro final, representan procesos en los que las funciones de estado varían; el trabajo, el calor, la entropía generada

o la eficiencia son funciones trayectoria típicas. Las funciones trayectoria no dependen sólo del estado inicial y final de un sistema, sino del camino que se ha seguido; por ejemplo, en una expansión isotérmica, el trabajo entregado por el sistema variará si se efectúa el proceso en una etapa, en dos o en más etapas. Los sistemas económicos pueden ser vistos desde una óptica entrópica; por ende, se han de analizar como funciones trayectoria (Georgescu-Roegen, 1996).

De manera análoga, las funciones a las que se les suele anteponer la palabra “desarrollo” (economía, tecnología, humanidad, ambiente...) pueden ser vistas como funciones de estado, pero el desarrollo (económico, tecnológico, humano, ambiental, socioecológico) debe ser visto como una función trayectoria.

En los informes de desarrollo, las variables suelen ser vistas como funciones de estado (km de vías férreas/ km² de territorio, camas de hospital/mil habitantes, personas con internet/mil habitantes, PIB per cápita, índice GINI, salario real per cápita, % de hombres, expectativa de vida al nacer, muerte materno-infantil por millar de habitantes, tasa de desnutrición, hectáreas de bosque, % de deforestación, individuos de una especie, etc.); las políticas públicas para el acceso a los factores (tecnológicos, económicos, sociales, naturales) suelen basarse en el cumplimiento de metas numéricas, lo que refleja la visión del desarrollo como función de estado y la primacía de la eficacia sobre la eficiencia, de acuerdo con Max-Neef et al. (1998), este tipo de políticas ponen a las cosas como sujetos y a las personas como objetos del desarrollo.

Para los beneficios sociales de una tecnología, de una economía, de lo ambiental y especialmente de lo humano, su desarrollo es una función trayectoria, pues no es lo mismo adquirir una tecnología por la compra del paquete cerrado que incluya sus componentes en la totalidad, que analizar el paquete tecnológico y optar por hacer de manera interna las partes que sean posibles. Incluso en la adquisición de una tecnología, la transferencia de ésta puede ser vista como una función trayectoria, en tanto que habría que centrar el análisis sobre los procesos de transferencia, más allá que sobre los componentes del paquete adquirido (Villavicencio Carbajal y Arvanitis, 1994).

En este tenor, no es lo mismo un aumento en el PIB por un incremento en la actividad armamentista, que un desarrollo económico basado en procesos de autarquía, redistribución o reciprocidad en una sociedad que tiende a lo equitativo. No es lo mismo un aumento en la expectativa de vida al nacer por la proliferación de métodos de alargar la vida artificialmente (sin juicios de valor sobre las prácticas médicas en general), que por mejores prácticas sociales en sanidad, nutrición y procura de personas adultas mayores por parte de sus familiares, por poner algunos ejemplos.

En palabras de Gallopin (2004): “los límites operacionales a la humanidad eran sociopolíticos y no físicos” (14).

No hay un punto final al desarrollo sostenible, no hay un estado al cual se pueda llegar y a partir del cual se diga que se ha alcanzado la sostenibilidad, pues las necesidades humanas nunca están (por definición) total y permanentemente satisfechas; pero hay que buscar las vías para “vivir las necesidades” de manera sostenible, como un proceso histórico-social, es decir, un proceso en el tiempo.

1.5.2. Axiología y evaluación de la tecnología

1.5.2.1. Introducción a la evaluación axiológica de la tecnología

En el presente capítulo analizo el trabajo de diversos autores sobre valores implicados en los sistemas técnicos. Tomo como referencia autores críticos con el desarrollo tecnológico pues son los que han intentado explicitar atributos axiológicos aplicables al desarrollo tecnológico. El capítulo sirve como sustento para proponer un marco axiológico de evaluación de un proyecto tecnológico, propuesta que trabajo en el capítulo de metodología.

El tema aquí abordado es complejo, pues la concepción de tecnología no goza de un consenso general, y a la fecha no hay un trabajo que estructure suficientemente un marco axiológico para la evaluación del desarrollo tecnológico. Por ello propongo nueve apartados que conforman en su conjunto un campo conceptual sobre la tecnología y su evaluación: 1) Re-pensar la tecnología, 2) Tecnología, Revolución Industrial y sociedad, 3) De la neutralidad valorativa a la evaluación de la tecnología, 4) Evaluación interna, 5) Evaluación externa, mercado e innovación, 6) Evaluación tecnológica y la crítica humanística, 7) Eficiencia, eficacia y riesgo, 8) Transdisciplinariedad y valores y, 9) Los valores dominantes y los nuevos valores.

1.5.2.2. Re-pensar la tecnología

Al abordar el tema de los valores implicados en los sistemas técnicos, resulta evidente la carencia de marcos de evaluación que gocen de amplitud y generalidad. Si bien abunda literatura sobre ética y actividad técnica (especialmente tecnocientífica)¹, en materia de axiología tecnológica el tema es muy diferente. Al hacer una búsqueda de literatura en bases de datos científicas (Scopus y ScienceDirect), aparecen un par de decenas de artículos, la mayoría referentes a tecnologías de información y comunicaciones (TICs) o a biotecnología y

¹ Un buen texto introductorio desde la óptica de “Ciencia, Tecnología y Sociedad” (CTS) es el de Iáñez Pareja y Sánchez Carzola (1998).

medicina; pero casi ninguna referencia a marcos generales de evaluación axiológica de la tecnología, con la sola y meritoria excepción del trabajo de Javier Echeverría (2003).

Es posible, como apuntan Jonás (1984), Ellul (2003), Quintanilla (2005), G. Bernal (2006) y Linares (2008), que al estar tan inmersos en un mundo tecnificado hemos perdido socialmente la capacidad de pensar la tecnología de manera objetiva, es decir, como un objeto de pensamiento; más aún, que hemos internalizado los valores implícitos en el desarrollo tecnológico a tal grado que no paramos ya a pensar que podemos analizarlos y cuestionarlos (Linares 2008). Los hemos aceptado tácitamente, olvidando que estos valores son realmente recientes en la historia de la humanidad, y que fueron impulsados, e incluso impuestos con violencia, por intereses particulares (Ordóñez, 2003; Mumford, 1998 [1934]; J. Bernal, 1939; Polanyi, 2003 [1944]; Winner, 1986; Wallerstein, 1988).

Re-pensar la tecnología se ha vuelto un asunto de importancia (G. Bernal, 2006), toda vez que la potencia de transformación que tenemos como humanidad a través de la técnica puede llegar a lo que Iván Illich (2006b [1974]) llama una “Apocalipsis tecno-ambiental”. A esta potencia históricamente nueva debe corresponder, como apunta Hans Jonas (1984), una nueva exigencia ética.

La tecnología no tiene una definición universalmente aceptada; sin embargo, desde su raíz etimológica puede entenderse como el estudio de la “tecne”, es decir: “arte, técnica u oficio; en suma, destreza” (definición de Wikipedia). Desde un punto de vista instrumental, el cual tomo como base para este trabajo, es la conjunción de conocimientos organizados, de diferentes tipos (científico, empírico, social, técnico) que pueden provenir de diferentes orígenes y fuentes de información (descubrimientos, invenciones, libros, manuales, patentes, tradiciones, transmisión oral, enseñanza empírica, etc.), con la disponibilidad de capital, recursos naturales y trabajo para lograr un efecto deseado (Cassaigne Hernández, 2002).

1.5.2.3. Tecnología, Revolución Industrial y sociedad

Si bien la tecnología ha acompañado las transformaciones del ser humano, sobre todo su adaptación del y al medio ambiente y su proceso hoy llamado civilizatorio, a partir de la Revolución Industrial cobra una relevancia total en la forma de organización social y la vida humana. De acuerdo con Quintanilla (2005) lo que hoy entendemos por tecnología y el papel que ésta desempeña en la sociedad es radicalmente diferente de lo que se entendía en épocas anteriores.

Para este cambio radical del entendimiento sobre la tecnología, la Revolución Industrial contó con dos aspectos totalmente nuevos en la historia de la humanidad: la disponibilidad de fuentes de energía intensivas, como el carbón o el petróleo, para la producción y el movimiento de carga -en suma, para el trabajo mecánico a través de la máquina de vapor-, y la concurrencia del capital como el factor determinante de la capacidad productiva (Polanyi, 2003 [1944]).

En la Revolución Industrial la potencia tecnológica, entendida como la capacidad de transformar el medio, cobró niveles insospechados gracias a la utilización de las fuentes de energía intensivas como carbón y petróleo. A la par, la conjunción de capitales permitió que el desarrollo tecnológico funcionara como una fuerte palanca económica. Con el establecimiento de la economía de mercado como el modelo económico (y en muchos sentidos, social) dominante, los fines que ha perseguido la tecnología desde entonces han sido fundamentalmente el aumento de ganancias sobre el capital invertido (Cano et al., 2005).

A la par, un tercer elemento había sido introducido, uno que cambiaría la visión del mundo desde sus fundamentos, el reloj mecánico que revolucionó la concepción del tiempo. De acuerdo con Mumford (1998 [1934]):

El reloj, no la máquina de vapor es la máquina- clave de la moderna edad industrial. (...) Aquí, en el origen mismo de la técnica moderna, apareció proféticamente la máquina automática precisa

que, sólo después de siglos de ulteriores esfuerzos, iba también a probar la perfección de esta técnica en todos los sectores de la actividad industrial (p. 31).

De 1726 a 1737 John Harrison desarrolló un reloj de una gran precisión para su época, que sólo se retrasaba un segundo al mes. El uso de este reloj en la navegación fue el factor clave de la hegemonía británica en los mares y marcó el inicio de una nueva cartografía y relación geográfica con el entorno. La adopción del cronómetro marino al sistema de transporte terrestre representó un salto cualitativo:

La ruptura decisiva se dio en 1784 cuando, en menos de doce meses, se introdujo en toda Inglaterra una red unificada de transporte público, basada en el cronometraje estricto: el sistema de las diligencias de correo. Fue fundado por John Palmer, miembro del parlamento por Bath. Su carruaje salía de Bristol a las cuatro, viajaba toda la noche a velocidad habitual de 16 km/h y llegaba – rigurosamente a tiempo – a la General Post Office, en la calle Lombard de Londres a las ocho de la mañana siguiente. (Whitrow, 1990).

En el naciente entorno industrial, la iluminación artificial hizo una mancuerna con el reloj de la fábrica para alterar la percepción del tiempo en las jornadas de trabajo. El tiempo orgánico con el cual los trabajadores se levantaban con el sol y se acostaban con la oscuridad fue suplantado por un tiempo artificial en el que el sol no es más el rector del tiempo, el ser humano moderno se “emancipa” así del orden de la naturaleza para la realización de sus labores (Thompson, 1967).

Esta nueva relación con el tiempo se conjugó con la posibilidad de aumentar el capital por medio de inversiones. Quien invertía el capital en negocios de rápida recuperación podía volver a invertirlo, con lo que el giro del capital se estableció como un factor determinante en los medios de producción (Polanyi, 2003 [1944]). La nueva “lógica de producción” provocó la separación del capital y el trabajo, y derivó en (Quintanilla-Fisac, 2005): “el sometimiento consiguiente de todo el proceso productivo al principio de maximización del beneficio en un mercado competitivo” (p. 23).

Esto aceleró el ritmo del cambio tecnológico y pronto también su extensión, que abarcó cada vez mayores ámbitos del quehacer humano, hasta generalizar la incidencia de las

innovaciones técnicas en toda la organización social. Según Quintanilla (2005), en las sociedades industrialmente avanzadas, “no existe ya nada natural”, pues en la vida cotidiana de los individuos, los artefactos rodean la totalidad de los entornos “el paisaje es producto de diseños urbanísticos y hasta los parques naturales se conservan gracias a costosos procesos de intervención tecnológica en los que cooperan biólogos e ingenieros” (p. 25).

En tanto el reloj permitió escindir la concepción temporal de los ciclos naturales y la nueva fuerza motriz permitió superar los límites orgánicos del movimiento que imponía la disponibilidad de fuentes de energía tradicionales (viento, agua, músculos), se estableció una nueva era en la que la máquina, y no el ser humano, tomaba un lugar central dentro de las estructuras de organización (Mumford, 1998 [1934]). Se extendió una concepción lineal del tiempo en contra de una circular o cíclica, propia de los fenómenos naturales y una visión geográfica (cartográfica o lineal) del espacio en contraposición a una orgánica correspondiente con el paisaje (Schilvelbusch, 1986). Esta visión lineal del tiempo es muy propia del cristianismo, en el que el tiempo empezó con la creación y terminará en el apocalipsis; sin embargo, a nivel vivencial, el tiempo circular y no lineal regía la vida de las personas (Mumford, 1998 [1934]).

Otro aspecto que contribuyó a estructurar una visión lineal del tiempo es la idea de que los procesos en el universo tienen una dirección determinada y sucesiva, idea que está en el corazón de las leyes de la termodinámica que surgen también a raíz de la Revolución Industrial. Para algunos autores como Prigogine, el tiempo tiene hasta cuatro maneras de entenderse, todas ellas con una concepción lineal (Durán, et al, 2008): a) el tiempo considerado como una línea; b) el tiempo como equivalente a la dinámica de los sistemas físicos; c) el operador-tiempo; d) el tiempo como creador.

Con las tecnologías anteriores al ferrocarril, los espacios se correspondían con los lugares. Es decir, el espacio era vivido íntimamente como el medio natural para la confluencia de cuerpos, y las relaciones entre las personas y entre éstas y su medio se establecían orgánicamente. El ser humano estaba imbuido en su medio, dependía de éste para su subsistencia. Las vistas de los lugares, las posibilidades de convivencia con el medio natural,

la dimensión estética formaban parte naturalmente del espacio. A esto se le puede definir como “paisaje”: “En el paisaje siempre llegamos de un lugar a otro; cada locación está determinada únicamente por su relación con los lugares vecinos circunscritos en el radio de visibilidad” (Strauss, 1963, p. 319). Las regiones se sucedían unas a otras y sus habitantes entablaban una relación de vecindad.

Esta relación con el espacio, a la par que con el tiempo, también cambió radicalmente con las posibilidades que ofrecieron las nuevas tecnologías durante la Revolución Industrial:

Siendo el espacio un “hecho” de la naturaleza, la conquista y organización racional del espacio se volvió parte integrante del proyecto modernizador. La diferencia, esta vez, era que el espacio y el tiempo tenían que ser organizados, no para reflejar la gloria de Dios, sino para celebrar y facilitar la liberación del “Hombre” como individuo libre y activo (Harvey, 1998).

Esta ruptura de los límites orgánicos trajo como consecuencias una cierta relación alienada entre el humano y el medio natural, y la ruptura del contínuum del espacio (Schilvelbusch, 1986). La lógica de la máquina se impuso debido a una diferencia de potencial enorme entre la energía disponible a través del cultivo de piensos para animales de tiro, y la gran cantidad de energía potencial almacenada desde los helechos del periodo carbonífero.

El desarrollo del ferrocarril, lejos de un simple artilugio técnico, representa, tal vez como ningún otro proceso, la manifestación de una cosmovisión particular en la que las relaciones del ser humano con su medio cambian disruptivamente. De acuerdo con el pensamiento liberal y reformista de la época:

Si la máquina de vapor es el instrumento más poderoso de que dispone hoy el hombre para alterar la faz del mundo físico, al mismo tiempo obra como una poderosa palanca moral para el avance de la gran causa de la civilización (Huskisson, 1824, cit en Derry y Williams, 1980, p 451).

Esta “alteración de la faz del mundo físico” ocurre de manera tan literal que hay autores que sugieren que, con la Revolución Industrial, empezó una nueva era geológica, el Antropoceno, pues hay un cambio identificable en los estratos geológicos, una variación en el clima medio,

y un cambio súbito (para términos geológicos) en la composición y diversidad de especies, tanto animales como vegetales (Lewis y Maslin, 2015; Steffen, Crutzen, y McNeill, 2007).

Dichos cambios implican consecuencias que han sido acusadas desde el origen mismo de la utilización de fuentes de energía intensivas. Ya al inicio de la era del ferrocarril, algunos adelantados, como Girard, advertían sobre un debate que dos siglos más tarde cobra otra dimensión como el origen de impactos no reversibles sobre la naturaleza:

El uso de máquinas de vapor como fuerza motriz de los ferrocarriles, es aún una gran pregunta abierta en la Inglaterra de hoy. Aunque uno quiera estar de acuerdo con los partidarios de esta solución en tanto que las locomotoras serían más económicas que el uso de caballos, es necesario señalar que el combustible, de cuyo consumo dependen estas máquinas para la producción de su fuerza motriz, tiene que ser extraído cada día de depósitos naturales, cuyas vastas reservas, sin embargo, no son inagotables (...) El uso de los caballos no está sujeto a riesgos similares; los caballos de tiro son capaces de obtener su alimento de productos de la tierra, que la naturaleza renueva cada año y los seguirá produciendo en mayor abundancia, conforme avance la agricultura (Girard, 1827).

Esta discusión sobre la viabilidad futura de las fuentes de energéticos plantea las bases de un debate más actual, en tanto marca el parteaguas entre dos modos de concebir y vivir la técnica, pues había los que defendían al desarrollo ferroviario, precisamente con argumentos de eficiencia técnica respecto al consumo de recursos naturales, pero en forma de alimento disponible. Tomas Gray, un gran impulsor de los ferrocarriles, planteaba en 1822 que:

La demanda exorbitante de transporte de bienes y personas por vagones y carros a nivel público, es causada principalmente, si no es que en su totalidad, por el enorme gasto del inventario de caballos, la renovación continua del inventario, y los intolerables gastos de manutención (Gray, 1822).

Si se considera que un caballo consumía ocho veces más recursos que una persona promedio y el inventario de caballos en Gran Bretaña era de alrededor de un millón, el gasto es muy significativo, pues la isla contaba con poco más de 12 millones de personas.

1.5.2.4. De la neutralidad valorativa a la evaluación de la tecnología

Desde la Revolución Industrial el impacto del desarrollo tecnológico sobre los entornos naturaleza y sociedad ha ido en aumento. La tecnología industrial evolucionó durante el siglo XX de manera cada vez más estrecha con el desarrollo del conocimiento científico (Ordóñez, 2003).

La ciencia y la razón a partir del Siglo de las Luces prevalecieron como verdades incuestionables y portadoras del progreso de la humanidad, en contraposición a los valores eclesiásticos, en especial de la iglesia católica, y las monarquías absolutas (Basalla, 1991). Los valores tradicionales de la religión católica fueron puestos en crisis, por lo que el nuevo credo racional y científico tomó el centro ideológico desde el cual se impulsaron las ideas reformistas, fundamentalmente de génesis protestante. Se gestó una dicotomía entre el pensamiento científico y el religioso, asociándose al primero una connotación positiva de progreso, y al segundo una connotación de atraso, conservadurismo o de carácter retrógrado. La ciencia y la tecnología se percibieron como siempre positivas y en pro de la humanidad; a ello se le llama visión heredada de la ciencia.

Esta visión heredada sobre la ciencia y la razón se fundamenta en cinco rasgos (Iáñez-Pareja y Sánchez-Cazorla, 1998): a) la ciencia es el modo de conocimiento que describe la realidad del mundo -es acumulativa y progresiva-; b) es nítidamente separable de otras formas de conocimiento -como residuos metafísicos o veleidades poéticas que, en tanto no se ciñen al rigor del método científico, han sido vistas como formas menos valiosas de conocimiento-; c) las teorías científicas tienen estructura deductiva y pueden distinguirse de los datos de observación; d) la ciencia es unitaria, todas sus ramas pueden ser reducidas a la física; e) la ciencia es neutra y está libre de valores. Esta visión sobre la *neutralidad valorativa* de la ciencia y de la tecnología aportó al desarrollo tecnológico una impronta de legitimidad y valor intrínseco hasta bien entrado el siglo XX².

² Legitimidad que todavía sigue vigente. Aunque a nivel epistémico la neutralidad valorativa fue superada a partir de los planteamientos de Karl Popper y puesta en jaque a partir de Kuhn en los años 60, a nivel social y aplicativo la visión sobre la ciencia y la tecnología es aún muy positivista (Quintanilla-Fisiac, 2005).

El desarrollo tecnológico tenía para el ser humano moderno una asociación con el progreso condorcetiano que permitiría la mejora del género humano (Nisbet, 1986), aquellos que se oponían al desarrollo científico y tecnológico eran tachados de retrógradas, primitivos, incultos, faltos de iluminación, de entendimiento y en muchos casos estigmatizados por motivos raciales, pues se decía que la raza blanca era más proclive a la tecnología, en detrimento de las otras (Wallerstein, 1988).

La ciencia y la tecnología, en esa concepción, son sólo medios para obtener fines determinados, los científicos y tecnólogos aportan conocimiento y medios, pero son ajenos a los problemas éticos que surgen ante la elección de los fines para los que se aplica el conocimiento, decisiones que típicamente recaen en los políticos, empresarios y militares (Olivé, 2011; Bunge, 2002).

Con el lanzamiento de las bombas atómicas en 1945 se levanta el velo optimista sobre el desarrollo tecnológico, empieza una necesidad de control y crítica por una parte de la sociedad al respecto de qué desarrollo tecnológico es necesario y para qué fines (García-Fernández, 2003).

Ante ello, se profundizó la división entre ciencia pura y ciencia aplicada o tecnología, la primera busca el conocer y estaría a salvo del enjuiciamiento moral (creencia que se pone a prueba con las visiones sociológicas de la ciencia), mientras que la segunda busca el hacer y podría hacerse acreedora de juicios en función de su buena o mala aplicación (Bunge, 2002). En este sentido, Agazzi (1996) propone que: “la técnica resulta ser un *producto social* en una medida mayor que la ciencia”.

John Desmond Bernal (1939) propone una visión social de la función de la ciencia, en la que plantea que ésta ha tenido una influencia decisiva en el desarrollo de la sociedad industrial, pero a la vez ha sido igualmente influenciada por la sociedad. Merton (1942) busca dar una estructura normativa de la ciencia; a partir de su trabajo se ha reconocido cada vez con mayor énfasis que la ciencia y la tecnología se construyen por sistemas de acciones

intencionales, pues los agentes que las realizan persiguen fines determinados en función de intereses específicos.

La ciencia y la tecnología se analizan como acciones sociales, con lógicas de funcionamiento propio, pero que comparten el dilema ético durante su creación. En palabras de Olivé (2011): “Los sistemas técnicos pueden ser condenables o loables, según los fines que se pretendan lograr mediante su aplicación, los resultados que de hecho produzcan, y el tratamiento que den a las personas como agentes morales” (p.46).

A partir de entonces han aparecido, de manera sistemática, diferentes visiones sobre la función social de la tecnología y cómo se puede evaluarla. Una revisión medianamente completa del tema excede los fines de este trabajo; sin embargo, pondré algunas referencias de la evaluación de la tecnología, en particular de los autores más representativos que asignan funciones axiológicas al desarrollo tecnológico.

1.5.2.5. Evaluación interna

De acuerdo con Linares (2008), Quintanilla (2005) y Brocano (1995), la tecnología tiene dos aspectos desde los cuales se puede evaluarla: 1) los criterios ontológicos concernientes a la “eficiencia”, que es la dimensión interna de la tecnología o “el nivel de control de la realidad” que la tecnología permite (Quintanilla-Fisac, 2005); 2) los aspectos externos a la tecnología, como su interacción con el entorno social o natural que determinan tanto la utilidad como la deseabilidad de la tecnología.

La evaluación interna se fundamenta en factores inherentes a la propia tecnología, por lo que no incluye ni aspectos relacionados con el mercado, económicos, financieros ni relacionales con el medio circundante (natural o social). En cuanto a los factores internos con que se puede evaluar a una tecnología, frecuentemente se toma como entidad a la unidad tecnológica formada por la conjunción de tres aspectos (Cassaigne Hernández, 2002): i) artefacto -“hardware”, parte dura o material, relacionada con el capital estructural-, ii) método -“software”, algoritmo o procedimiento, relacionado con el capital relacional- y iii) habilidades

-lo concerniente a los requerimientos de las personas que interactúan con el artefacto y que aplican el método para obtener un efecto deseado, relacionadas con el capital humano- (Figura 1.5.5).

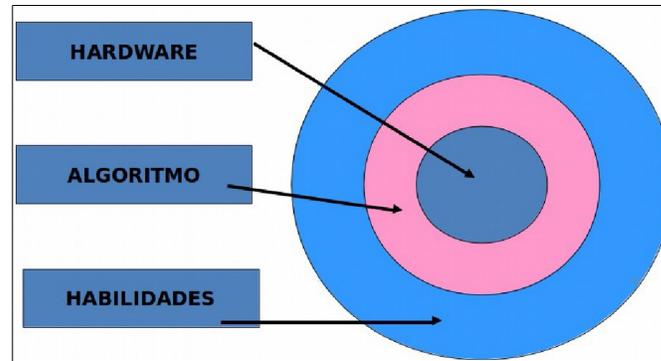


Figura 1.5.5. La unidad tecnológica.
Fuente: Cassaigne Hernández (2002).

La función de la unidad tecnológica puede ser: procesar, transportar o almacenar; materia, energía o información. Las personas integradas a la unidad tecnológica, más que simples usuarios de un sistema diseñado de manera externa, son generadores de nuevo conocimiento y, de hecho, factores clave en la integración, reproducción y ampliación de la plataforma tecnológica (ver capítulo 4). De acuerdo con la integración de las personas se tendrá un sistema técnico con mayor o menor participación social.

El desempeño de una unidad tecnológica puede medirse por diferentes parámetros que serán determinados en función de la finalidad que se persiga, pero también por especificaciones clave en la consecución de objetivos. En algunas unidades la eficiencia térmica o material suele ser un parámetro evaluable. Otros parámetros de evaluación de la unidad tecnológica pueden ser la precisión, el alcance, la calidad, la confiabilidad, la densidad, la capacidad, la velocidad, etcétera.

Por ejemplo, para el caso de un tren, se puede medir la eficiencia térmica de la máquina como la cantidad de energía necesaria para desarrollar cierto trabajo (mover la carga y al ferrocarril en sí de un lugar a otro), pero también la velocidad con la que mueve la carga, la confiabilidad como el porcentaje de carga entregada en tiempo y forma, el alcance medido

como la extensión de territorio accesible con el tren, el principio de funcionamiento: si es eléctrico, a diesel, combustóleo o carbón.

En cuanto a la estructura, la tecnología puede ser evaluada por parámetros como la forma, la configuración o la complejidad. En muchos casos la estructura determina el desempeño, por lo que suele ser un parámetro de funcionalidad importante. Por ejemplo, un sistema de rodaduras convencional funciona por dos bojes (o bogies) que son pares de ejes colocados en carretones giratorios, uno en cada extremo de un carro (Figura 1.5.6); un sistema Talgo, por otro lado, une los pares de rodantes consecutivos por medio de barras triangulares (Figura 1.5.7) que balancean mecánicamente la perpendicular de los ejes al raíl al entrar a una curva, lo que dota de estabilidad al tren; este sistema confiere características particulares que se desprenden de la configuración.

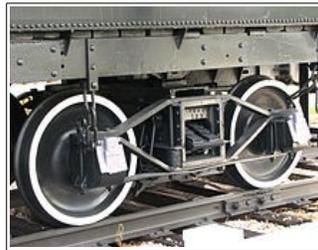


Figura 1.5.6. Boje de ferrocarril.
Fuente: Henkelmann (2007).

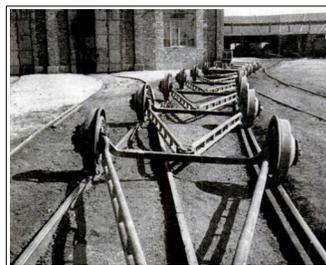


Figura 1.5.7. Sistema Talgo.
Fuente: LIFE (1949).

En cuanto a la complejidad, se puede definir la tecnología por sus materiales, partes, componentes, unidad estructural, sistema y suprasistema. Esta dimensión de evaluación es relevante tanto para los parámetros internos, como los externos. En muchas ocasiones las tecnologías se suelen evaluar aisladamente, lo que supone ignorar el desempeño de un sistema global. Para el tema de evaluación tecnológica, la decisión de la extensión desde la

cual se puede considerar la unidad tecnológica es arbitraria y depende de supuestos previos muchas veces no explicitados.

Otro parámetro de evaluación interno tiene que ver con la edad o vigencia de la tecnología (Figura 1.5.8). Si bien este parámetro estará siempre en función de otras opciones tecnológicas disponibles y factores externos correspondientes al mercado, se fundamenta en características internas de las tecnologías. Una tecnología puede estar en una de cuatro fases (Pérez, 1992): ser emergente si aún no supera la fase del desarrollo tecnológico, tanto sus variables de funcionamiento interno como su interacción con el entorno están en exploración y aún no son determinadas del todo, por lo que su posibilidad de aplicación es incipiente.

La fase de tecnología creciente (o en expansión) se da cuando las aplicaciones tecnológicas se determinan, su viabilidad de mercado o de aplicación se vuelve factible y empieza la etapa de comercialización (Pérez, 2001). Durante esta etapa hay pocos competidores y el valor de cambio de la tecnología es elevado, suele encontrar aplicaciones de nicho que requieren de tecnologías con un fuerte potencial tecnológico. En esta etapa se establece un monopolio u oligopolio con barreras de entrada altas, se definen los parámetros básicos de diseño que regirán al desarrollo tecnológico ulterior.

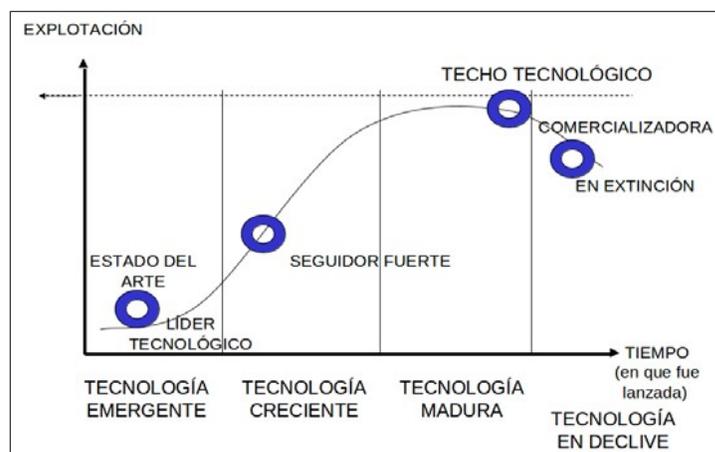


Figura 1.5.8. Curva tecnológica.
Fuente: Adaptado de Pérez (2001).

Con frecuencia, cuando el proceso de producción de una tecnología se estandariza, aparecen nuevos competidores y las aplicaciones se multiplican, el costo de producción baja, por lo que esa tecnología se vuelve una mercadería (commodity). El factor que determina la posibilidad de acceder a cuotas de mercado es el de establecer economías de escala, por ende, bajos precios. Esta etapa se suele llamar de tecnología madura (Pérez, 2001).

Por último, una tecnología se convierte en obsoleta (en extinción o en declive) cuando aparecen nuevas opciones tecnológicas que la desplazan (Pérez, 2001). En la economía de mercado esto ocurre tanto por la pérdida de potencia tecnológica relativa, como por otros factores externos como un cambio de formato de tecnologías asociadas que, con frecuencia, son planificados para convertir artificialmente en obsoleta una tecnología en lo que se llama obsolescencia planificada. Lo artificial de la obsolescencia quiere decir que muchas veces se desecha una tecnología con un potencial competitivo y vigente simplemente para obligar a las personas a comprar un nuevo producto que, en muchas ocasiones, tiene un menor tiempo de vida útil.

La evaluación interna, de acuerdo con los parámetros planteados, asume una posición valorativa afín a la visión heredada de la ciencia y la tecnología, pues la potencia técnica es relevante para preferir una tecnología sobre otra. La potencia técnica como valor, la defino como intensidad tecnológica para los fines de este trabajo.

1.5.2.6. Evaluación externa, mercado e innovación

La evaluación externa de la tecnología ha estado tradicionalmente dominada por una visión crematística centrada en el aumento del capital financiero³, es decir (Aristóteles, n.d.): “La ciencia de adquirir [que] tiene principalmente por objeto el dinero” (p. 16). La mayoría de la evaluación externa ha sido enfocada al mejor modo de introducir una tecnología (típicamente una innovación) en un mercado. Así, la interacción de los efectos técnicos con su entorno se

³ Aristóteles, en la introducción a su obra *Política*, distingue la crematística (“arte de la adquisición”) de oikonomía (“economía doméstica o administración de la casa”). Para un análisis de sus implicaciones en el mundo actual, ver (Cano, Cendra, y Stahel, 2005).

considera “socialmente deseable” si tiene aceptación en el mercado que, de acuerdo con el credo liberal, es la máxima autoridad social (Cano, et al, 2005).

El concepto de innovación ha cobrado una relevancia creciente, pues a través de la innovación las empresas ofrecen bienes escasos con mayor valor de cambio en un mercado de acuerdo con la ley de oferta y demanda. Existen varias definiciones del término innovación, sin embargo, hoy es ampliamente aceptado que la innovación no se limita a funciones de investigación y desarrollo. Desde una visión clásica es una función dirigida a generar productos, servicios o métodos para mejorar las opciones de competir en un mercado.

La norma mexicana NMX-GT-001-IMNC-2007 (IMNC, 2007) define innovación como: “El proceso dirigido a un mercado bajo un enfoque de negocio que detecta oportunidades y capacidades organizacionales para generar productos, procesos y servicios, novedosos aceptados por los consumidores”. El manual de Oslo, por su parte, la define como la implementación de nuevos o significativamente mejorados productos (o servicios), procesos y estrategias de organización y mercadotecnia empresarial (OCDE, 2005).

La innovación es diferente a sólo las actividades de investigación y desarrollo (I +D) en tanto implica la utilización del capital intelectual de una organización con el fin de generar valor en un mercado específico. La innovación puede derivarse de actividades de I+D o de otras actividades diferentes como experiencia, heurística o adquisición de tecnología; en todo caso, es una función que conjunta lo técnicamente posible, lo económicamente rentable y lo financieramente viable para satisfacer las demandas de un mercado.

De acuerdo con Christensen (1997), la actividad innovadora, es decir aquella que conduce o que tiene por objeto la introducción de una innovación, puede derivar en un cambio importante que abra una nueva línea de negocios (innovación radical), a un salto tecnológico que repercuta en toda una área industrial (innovación disruptiva), o cambios progresivos y en apariencia menores (innovación incremental) que ocurren en continuo, que van encaminados a generar un cambio en líneas previamente establecidas.

Schumpeter (1934) propone que los tipos de innovación se pueden dividir en cinco:

- i) introducción de nuevos bienes o de bienes de nueva calidad,
- ii) introducción de un nuevo método productivo,
- iii) la apertura de un nuevo mercado,
- iv) conquista de nuevas fuentes de oferta de materias primas o bienes de media-manufactura y,
- v) establecimiento de una nueva organización en una determinada industria.

Por su parte el Manual de Oslo en la tercera edición diferencia cuatro tipos de innovación de acuerdo con su aplicación (OCDE, 2005):

- i) de producto, con introducción al mercado de un nuevo o significativamente mejorado bien o servicio, ya sea en relación con sus características o con el uso al que se destina;
- ii) de proceso, que se refiere a la puesta en marcha de un nuevo o significativamente mejorado proceso de producción o de distribución, lo que implica cambios en técnicas, materiales y programas informáticos;
- iii) en mercadotecnia, mediante la aplicación de nuevos métodos de comercialización que implique cambios importantes en el diseño, envasado, posicionamiento, promoción o tarificación de un bien o servicio;
- iv) organizacional, que es la introducción de un nuevo método en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de una empresa.

Ambas clasificaciones presentan la innovación como un tema íntegro que puede ser implementado por todos los trabajadores, quienes están siempre expuestos a situaciones donde la necesidad de cambio es evidente (Villavicencio, 2000). El análisis y proposición de ideas para la mejora es responsabilidad de todo el personal de la empresa y los sitúa como actores potenciales en la innovación.

La vertiente crematística de la evaluación tecnológica ha dado lugar a buena parte de los modelos de innovación, en tanto se busca ganar posiciones en el mercado que al final se

traducen en mayores rendimientos sobre la inversión que los que ofrecen (u ofrecerán) los competidores (Porter, 1987).

Hamel (2006) establece que la innovación organizacional (o en gestión, *management innovation*) es la más importante, pues permite a las empresas generar las ventajas competitivas sostenibles de más largo plazo. Las innovaciones organizacionales disruptivas han sido el factor clave de las ventajas competitivas, por lo menos durante el siglo pasado. Este tipo de innovaciones tienen dos características que las hacen particularmente relevantes: son difíciles de detectar tempranamente y difíciles de replicar en tanto que se basan en el capital humano, por lo que son socialmente compartidas al interior de las organizaciones.

Recientemente se ha ampliado la visión sobre la innovación. Hay autores que plantean que las innovaciones no sólo pueden estar enfocadas a la conquista de cuotas de mercado. De acuerdo con Echeverría (2009), hace falta una visión evolucionista del concepto. El autor afirma que el conocimiento socialmente distribuido es clave para la pujanza y el bienestar de una sociedad, pues aumenta la calidad de vida. Las innovaciones no sólo van a la conquista de un mercado, sino también de manera directa a aspectos sociales y culturales; Echeverría (2009) llama a esto innovación social.

Con las nuevas teorías y técnicas de gestión de la información, las sociedades industriales están cambiando hacia sociedades basadas en conocimientos e innovación, estos factores se generan dentro de las organizaciones, pero también fuera de ellas, en lo que Chesbourg (2003) llama Innovación Abierta (*Open Innovation*).

La innovación está ligada al aumento de potencia tecnológica, por ende, incide en la intensidad tecnológica. Para innovar las empresas, gobiernos y en general entes sociales requieren de inversiones de capital y tiempo cada vez mayores, esto representa un aumento en el alcance, por lo que implica un incremento en las escalas geográfica, financiera, material, social y de recursos naturales.

1.5.2.7. Evaluación tecnológica y la crítica humanística

La filosofía de la tecnología ha heredado en su discusión dos visiones sobre la filosofía de la ciencia: la tradición analítica, y la crítica humanística (Iáñez-Pareja y Sánchez-Cazorla, 1998). La tradición analítica sostiene que la técnica es moralmente neutra, pero puede ser mal utilizada por intereses ajenos a la racionalidad que actúa en el desarrollo tecnológico. A esta posición, con frecuencia llamada “visión ingenua”, le han seguido diferentes puntos de vista desde los cuales se propone que, si bien la ciencia es moralmente neutra, su aplicación, y por ende la tecnología que de ella se desprende, obedece a valores preconcebidos, por lo que no lo es (Bunge, 2002); también una visión que sostiene que tanto la ciencia como la tecnología obedecen a sistemas intencionados de acciones, por lo que no son éticamente neutras (Olivé, 2011).

La dicotomía entre la tradición analítica y la crítica humanística plantea una discrepancia axiológica, pues la segunda atribuye al desarrollo tecnológico una intencionalidad, mientras que la primera no lo hace. Sin embargo, la intencionalidad puede ser un atributo axiológico caracterizable para cualquier tecnología, en tanto la tradición analítica acepta que la aplicación de una innovación tecnológica no está libre de revisiones éticas.

Ortega-y-Gasset (1939) plantea un tema que sigue siendo toral en las consideraciones sobre los desarrollos técnicos al establecer que: “El concepto de necesidades humanas es el más importante para aclarar lo que es la técnica” (p. 9). Establece una primera reflexión sobre la utilidad de la técnica para un concepto de “bienestar” que es socialmente construido. El autor establece que el ser humano utiliza la técnica para adaptar el medio a sus necesidades, contrario a lo que ocurre en los demás animales; este “ir contra natura”, termina en la época moderna por alienar al humano, quien acaba carente de sentido, pues para el hombre moderno “sólo es necesario lo superfluo”, de donde “La técnica es la producción de lo superfluo (...) Hombre, técnica y bienestar son, en última instancia, sinónimos” (p. 10). El autor señala también la relevancia del soporte que el conocimiento científico da a la técnica moderna.

John D. Bernal (1939) hace una crítica aguda sobre los fines a los que ha servido (y de los que se ha servido) el desarrollo científico y, tácitamente, su contraparte tecnológica. El autor destaca que buena parte de la ciencia y la técnica de los siglos XIX y XX han sido establecidas para apoyar una expansión imperial, en inicio británica con la fundación de *Imperial College* y el *Imperial Institute*, pero pronto también en Alemania y Estados Unidos (EE.UU.)⁴. Destaca también el papel que la ciencia y la tecnología han tenido en tiempos de guerra; refiere que las “artes de guerra” han demandado de la ciencia más que otros propósitos pacíficos, pues las demandas de soluciones emanadas de la ciencia durante las guerras son más urgentes que durante los tiempos de paz, debido a la importancia militar crítica que tienen los nuevos artefactos (*devices*) producidos por la ciencia. En particular, con respecto a la I Guerra Mundial, J. Bernal (1939) establece que:

La colaboración de los científicos en la última Guerra, sin embargo, fue más allá de todo lo que había ocurrido con anterioridad. No era una cuestión de la aplicación, por un pequeño número de técnicos e inventores, de principios científicos bien conocidos, sino la movilización total de científicos en cada país, con el sólo propósito de incrementar, durante la misma Guerra, el poder destructivo de armas modernas y desarrollar métodos de protección contra avances similares del bando contrario (p. 30).

Karl Polanyi (2003 [1944]) advierte el problema que la Revolución Industrial y sus efectos produjo en la incipiente clase proletaria, al establecer que el sistema fabril mecanizado, dependiente de la energía fósil, se había convertido en un “molino satánico” que engullía seres humanos y excretaba productos para el mercado. De acuerdo con el autor, la producción mecánica en una sociedad comercial supone la transformación de la naturaleza y de los seres humanos en mercancías (o falsas mercaderías, como lo llama Polanyi), lo que provoca una evidente dislocación en las relaciones humanas, y amenaza con aniquilar el hábitat natural.

Ante las perspectivas planteadas por Ortega-y-Gasset, John D. Bernal y Polanyi, además de la intencionalidad, se puede asociar a la tecnología un atributo axiológico de amigabilidad.

4 Tanto Hobsbawm (2007) como Wallerstein (2011) tratan en profundidad el tema.

Desde la filosofía humanista se intenta hacer una crítica cultural de la tecnología, principalmente de aquella surgida a raíz de la Revolución Industrial, por lo que se ha generado una necesidad de evaluación de la tecnología desde un enfoque social. Uno de los antecedentes más influyentes es la obra de Lewis Mumford (1998 [1934]), en su libro "Técnica y civilización", publicado por primera vez en 1934, explora la influencia que el desarrollo de la técnica ha tenido en la configuración social de la civilización moderna.

Mumford (1964) lleva la crítica del desarrollo de sistemas técnicos hacia una visión en la que, por un lado propone la existencia de técnicas autoritarias y, por el otro, de técnicas democráticas. Según el autor, el sistema técnico actualmente preponderante es fuertemente autoritario, pues requiere de una estructura central que planifica, controla y ejecuta la técnica con finalidades alienadas del entorno social. La técnica es así un efecto ajeno al control social. El conocimiento y evaluación de esta técnica recae en especialistas expertos en sus áreas de conocimiento que obedecen a la lógica privada del secreto y el máximo beneficio, pero ignorantes del entorno social.

Mumford (1964) establece también la existencia de técnicas democráticas que son compartidas por la mayoría de las personas, inteligibles para el ciudadano promedio y socialmente basada, que se refieren a los métodos de producción de pequeña escala, fundamentados en habilidades humanas y energía animal, con el empleo de máquinas, pero bajo la dirección y control humano de pequeños grupos organizados, cuyos miembros se conocen y cooperan. Estas técnicas tienen un horizonte de muy larga duración⁵, con amplia difusión y adaptabilidad debido a sus modestas necesidades materiales y técnicas, aunque su horizonte de superación técnica es limitado.

Enrique Linares (2008) destaca que la tecnología contemporánea tiene poco que ver con la técnica antigua, pues la primera tiene unos amplios alcances medioambientales y un acelerado desarrollo. Esta extensión universal y global de la tecnología contemporánea la ha llevado a "superar sus propios límites", sus alcances y consecuencias se extienden remotamente en el espacio y en el tiempo en el que los productos tecnológicos no se

5 El concepto de "larga duración" se entiende en términos braudelianos (Braudel, 1958).

producen para un ámbito local con fines preestablecidos, sino para un mercado global con fines abiertos (Linares, 2008, p. 407); en síntesis:

[La tecnología] ha dejado de ser un mero instrumento para convertirse en entorno determinante de medios y fines. El mundo tecnológico del que depende ahora la humanidad entera se ha convertido en una mediación universal y en el horizonte de las relaciones cognoscitivas y pragmáticas entre el ser humano y la naturaleza; es, pues, un sistema-mundo que domina la vida social, una matriz cognitiva y pragmática a partir de la cual nos relacionamos con todo (p. 365).

Gramsci (1986), Mumford (1964) e Illich (2006b [1974]) apuntan que las tecnologías autoritarias (o no convivenciales desde las palabras del segundo autor) han tenido tal desarrollo y penetración, que han superado un umbral crítico, y amenazan con inhibir las posibilidades de desarrollo y socialización de tecnologías democráticas o convivenciales. Illich (2006b [1974]) establece la idea de un monopolio radical, es decir, la influencia de un sistema tecnológico es tal que se convierte en un modelo único de satisfacción de alguna necesidad o por lo menos supera, a nivel mundial, en más de un 50% su aplicación como satisfactor de cierta necesidad en concreto. Dicho autor estudia y critica sistemas tecnológicos que establecen las bases de la convivencia social y la satisfacción de necesidades fundamentales: la salud, la educación, el transporte, entre otros.

Gramsci (1986), Mumford (1964), Illich (2006b [1974]) y Linares (2008) plantean tácitamente dos atributos axiológicos a la tecnología: participación e inteligibilidad. Ambos atributos son caracterizables y suficientemente diferenciados, pues la participación puede asociarse al carácter autoritario o democrático de la tecnología, mientras que la inteligibilidad se refiere a la posibilidad de interactuar, asimilar y entender un sistema técnico, sea democrático o autoritario.

El problema de la escala adecuada de un desarrollo tecnológico y social ha sido también abordado por Leopold Kohr (1978 [1957]), Schumacher (1973) y Max-Neef (1993). Estos autores coinciden en una visión de umbral con respecto al tamaño de los sistemas tecnológicos y sociales. Cada uno plantea que las tecnologías socialmente basadas tienen un horizonte de expansión acotado al ámbito local; pasando este punto, la tecnología en

cuestión se vuelve intrusiva de otros sistemas sociales, por ende, desarticulante de la base social, por lo que acaba por suprimir la capacidad de satisfacer adecuadamente necesidades para las que fue creada y se instrumenta como una palanca de imposición de una cultura sobre otra; la tecnología intrusiva se transforma así en una fuente de miseria.

Desde un enfoque de construcción social de la tecnología, un sistema tecnológico se establece como tal no tanto en virtud de su potencia técnica, sino por interacción de diferentes grupos relevantes, quienes le atribuyen significados interpretativos diversos de acuerdo con sus valores e intereses, con una gran flexibilidad interpretativa (Bloor, 1976; Bijker, Huges y Pinch, 1987). Otro aspecto es la percepción del problema y la solución que el sistema tecnológico pretende abordar, que depende de la interpretación de cada grupo social implicado; cuando más de un grupo social interactúa en el planteamiento del problema y las posibles soluciones, las percepciones de los grupos frecuentemente entran en conflicto. Las discrepancias entre grupos terminan por configurar un sistema tecnológico relativamente estable, con acuerdos tácitos, mediante mecanismos de clausura o cierre que en ocasiones incluyen la imposición de uno o varios grupos de interés sobre otros. Las tecnologías no son definitivas, sino estables en contextos sociotécnicos dinámicos. Así, la tecnología exitosa no es la única posible, sino la que se establece en virtud del medio social bajo la cual es desarrollada.

Hay autores que proponen un programa político alrededor de la evaluación social de la tecnología. En tanto uno de los grupos de influencia es precisamente el académico, plantean que los científicos y tecnólogos tienen una responsabilidad social sobre la tecnología y sus efectos. Langdon Winner (1986) establece que muchos artefactos y sistemas técnicos han sido desarrollados con una visión política determinada; un ejemplo claro de esto es el análisis que hace el autor sobre una parte de la arquitectura Art Decó de Nueva York, que fue establecida con fines políticos; otro análisis es sobre los puentes de la avenida Long Island, diseñados por Robert Moses, que fueron construidos con el expreso fin de impedir el tránsito de los autobuses de pasajeros, en tanto las playas a las que conducen estos caminos debían ser reservadas para la clase dominante (típicamente sajones blancos y

protestantes o *WASP* por sus siglas en inglés), la única que tenía automóvil cuando los puentes fueron construidos.

Winner (1986) apunta también al hecho de que, dada la extensión y potencia del sistema tecnológico contemporáneo, los individuos terminan por adaptarse a entornos cambiantes e inestables en las megalópolis, esta adaptación a causa de riesgos y dificultades sociales no es opcional ni libre, sino una “adaptación inversa” en la que el ser humano no adecua el medio a través de la técnica (como señala Ortega-y-Gasset, 1939), sino que termina por adaptarse a un medio cambiado por acción de la técnica.

Algunos autores latinoamericanos que a continuación retomo han planteado que la tecnología tiene tras de sí un imperativo ético en su desarrollo; detrás de un artefacto que trata de resolver un problema hay un modelo específico desde el cual se entiende el problema y la posible solución (Bijker y Pinch, 1987).

Para el caso de América Latina, en el periodo de tiempo entre 1950 y 1970 surgió una corriente de pensamiento conocida como la Escuela Latinoamericana de Pensamiento en Ciencia y Tecnología, cuya principal finalidad era superar el “ofertismo”⁶.

La Escuela buscaba principalmente el desarrollo tecnológico para crear una “autonomía decisonal tecnológica propia”. La Escuela planteó en su momento el germen de lo que hoy son los procesos de gestión de la tecnología. Entre otros adelantos teóricos, Sábado y Botana (1968) establecen el “triángulo de relaciones entre gobierno, ciencia-tecnología y estructura productiva”, unos 30 años antes de la triple hélice de Etzkowitz (2000). Esta escuela de pensamiento dio diversos resultados en los países en los que tuvo cabida; para el caso de México consolidó un desarrollo tecnológico alrededor del petróleo, que llevó a la fundación del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) en 1965.

La apropiación social de la tecnología es un factor presente en algunos estudios. Sábado y Botana (1968) plantean que, para los países de América Latina, es necesario impulsar

⁶ Ofertismo entendido como “la creación de una infraestructura, programas o instituciones, que generan una oferta de conocimientos que no responde a una demanda específica” (Martínez Vidal y Marí, 2002)

modelos nacionales para el desarrollo tecnológico que satisfagan necesidades locales. Los autores hacen una crítica al modelo de producción científica “ofertista”, caracterizado por una investigación que persigue bonos académicos y que, ni produce conocimiento socialmente accesible, ni tiende a solucionar problemas nacionales concretos, pues no fomenta la aplicación del conocimiento en el ámbito nacional. Los autores establecen que para promover nuevas relaciones de igualdad entre naciones y regiones es necesario que América Latina tome un papel activo de protagonista y cambie su papel pasivo de espectador al respecto del desarrollo científico y tecnológico. Los autores plantean la necesidad de realizar cambios pertinentes a nivel político, económico y social, no sólo para la sustitución de importaciones (en boga por esos años), sino para trazar un desarrollo tecnológico independiente.

Sábato y Botana (1968) destacan que, como producto social, para hacer investigación es necesaria una infraestructura científico-tecnológica con elementos articulados e interrelacionados: a) sistema educativo, b) infraestructura (laboratorios, institutos, centros, plantas-piloto), c) sistema institucional de gestión de la investigación (planificación, promoción, coordinación y estímulo), d) mecanismos jurídico-administrativos que reglan el funcionamiento de instituciones y actividades, e) recursos económicos y financieros. Apuntan además al hecho de que la sola producción científica no basta para el desarrollo, es necesario transferir a la realidad los resultados de la investigación, es decir, innovar.

Sábato y Botana asumen la autonomía como un valor; sin embargo, axiológicamente la autonomía está siempre en función de otros atributos como participación y escala. Estos atributos están también presentes en la aplicabilidad del desarrollo tecnológico en el ámbito local, que es un requisito para la autonomía.

Galeano (1971) refiere problemas sociales que inciden en el desarrollo tecnológico; en particular la asimetría en la potencia tecnológica entre los países del “norte industrializado” y los del “sur subdesarrollado”, que ha generado inequidad y dependencia. El autor señala los factores que han sido institucionalizados en América Latina y que promueven mantener un pobre desarrollo industrial, tanto en el ámbito de gobierno como en las estructuras

financieras y mercantiles. Con respecto a la tecnología, Galeano (1971) destaca diferentes intentos por generar un desarrollo propio con potencia competitiva en diversos países como México, Paraguay, Cuba, Brasil, que a la postre no funcionaron debido a presiones políticas y económicas externas, incluso a través de guerras; acusa la indolente complicidad de empresarios y gobiernos locales que mantienen la dependencia tecnológica. El autor resume al atraso tecnológico bajo la frase: “La Diosa Tecnología no habla español”.

De acuerdo con Olivé (2007), el proyecto nacional de cada país debe de ser construido con la participación de todos los grupos culturales presentes, desde una conciencia social de diversidad. Para ello es necesario construir mecanismos adecuados de participación democrática de la ciudadanía en la toma de decisiones. Según el autor, México enfrenta dos problemas a los que hay que prestar especial atención:

- i) Una “inercia de autoritarismo” que, para el caso de las decisiones científicas y tecnológicas, tiene una doble componente, la de una visión lineal del desarrollo científico y tecnológico sostenido por una comunidad científica tradicional, y el intento por imponer un modelo de promoción de los sistemas de innovación marcado por una ausencia de debate y participación de los sectores sociales involucrados.
- ii) Las profundas injusticias que vive la sociedad mexicana: los desarrollos tecnológicos de gran envergadura han sido fundamentalmente realizados para satisfacer las demandas de una élite política y económica y han dejado de lado las necesidades más sentidas de la mayoría de la población, lo que aumenta la brecha social.

El factor multicultural en México tiene un matiz particular por la exclusión de las posibilidades de desarrollo tecnológico socialmente basado de la que los pueblos indígenas han sido objeto. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011) casi 6.7 millones de personas de 5 años y más hablan al menos una lengua indígena (es decir, un 6% de la población total); de acuerdo con la Presidencia de la República (2014) la población indígena es el 10% de la población total, más de 11 millones. Con el aumento de la población urbana, que actualmente constituye el 76.8%, las áreas rurales han perdido visibilidad y relevancia, aunque actualmente el Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 (Peña Nieto, 2013) establece que es prioritaria la atención de las necesidades del campo (Objetivo 4.10).

De acuerdo con Leff (2010), la atención a la naturaleza plural de la sociedad mexicana es un asunto fundamental para tener un desarrollo científico, tecnológico y económico deseable y sustentable. El autor señala que ignorar la diversidad cultural ha llevado con frecuencia al atropello de derechos fundamentales en la construcción de un modelo tecnocientífico. Para evitar estos atropellos es necesaria la construcción de una ciudadanía científicamente culta, que sea capaz de participar en el diseño, construcción y evaluación del modelo científico y tecnológico. Leff (2010) realza el hecho de que, como la ciencia y la tecnología están inmersas en la sociedad, su construcción y evaluación no es sólo asunto de expertos, sino de toda la sociedad, lo que implica reconocer la compleja formación de otredades y sus cosmovisiones implicadas (López Austin, 2014).

Según Ordóñez (2003), el impulso de un modelo tecnológico concreto ha actuado como una palanca de homogeneización cultural, pues al ser junto con la ciencia una actividad social y un producto humano que influye y es influido por el contexto social se convirtió en la cultura hegemónica que, si no se analiza ética e históricamente, no sólo es hegemónica sino excluyente, monopolista y dictatorial (Ordóñez, 2003). El proceso de transferencia cultural de conocimiento, en particular del tecnológico, ha sido una herramienta de dominación que actúa bajo la forma de sustitución cultural, seduce debido a la enorme potencia operativa que tiene, pero oculta posibles efectos adversos al presentarse como “éticamente neutra” sin serlo. Según Quintanilla (2005): “Las técnicas aparecen y se desarrollan en un determinado ámbito cultural y contribuyen, a su vez, a configurar la cultura de la sociedad” (p. 27).

La participación social analizada por Galeano, Olivé, Leff, Ordóñez y Quintanilla se puede articular con la integración de una tecnología de manera armónica con una sociedad y su medio ambiente, atributo axiológico caracterizable en una tecnología que puede definirse como amigabilidad.

Para Olivé (2011), la ciencia, la tecnología y sus efectos pueden ser condenables o loables dependiendo de los fines que persigan. En la tecnología contemporánea, y en particular para lo que se ha llamado tecnociencia (Echeverría, 2003), la racionalidad dominante que

encausa sus fines es la eficacia operativa desde un enfoque pragmático-instrumental, es decir, la producción y utilización de artefactos disponibles para transformar el mundo (Linares, 2008); al buscar la máxima disponibilidad de artefactos, la tecnociencia emplaza tanto a la naturaleza como a los individuos como objetos de disposición⁷.

De acuerdo con Linares (2008), la eficacia como racionalidad se manifiesta desde un “imperativo tecnológico”, es decir “hágase todo lo que sea tecnológicamente posible”, pues su realización está justificada por los fines y beneficios pragmáticos inmediatos, independientemente de los riesgos inherentes. El desarrollo tecnológico, en este estado casi automático, no cruza por un proceso de “razón humana” que decida sobre la velocidad o dirección de la ejecución, sino que cada realización implica la necesidad imperativa de dar un siguiente paso, en una escalada que parece no tener límites naturales ni sociales. Esta lógica de funcionamiento aumenta no sólo la complejidad material, sino la imprevisibilidad de los efectos ambientales y sociales, lo que da lugar a conflictos de valores entre diversos agentes y a disputas políticas, sociales, jurídicas, económicas, culturales, religiosas, éticas.

Olivé (2011) plantea que la ciencia y la tecnología son construidas por *sistemas de acciones intencionales*, es decir, por agentes que deliberadamente buscan ciertos fines, con intereses determinados, bajo sus propias creencias, conocimientos, valores y normas. Los efectos de un sistema técnico en concreto pueden ser evaluados moralmente por los daños que produzcan a una persona, un grupo de personas o a la naturaleza; serían moralmente aceptables si se cumple con cinco condiciones individualmente necesarias y conjuntamente suficientes (pp. 46, 47):

- a) Que los fines que se persiguen sean moralmente aceptables para quienes operan el sistema y para quienes serán afectados por su operación y por sus consecuencias.

Olivé asume tácitamente como deseables atributos axiológicos de participación e inteligibilidad. Al hablar de “moralmente aceptables”, supone un atributo axiológico de amigabilidad, en este caso amigabilidad social.

⁷ Linares coincide con Polanyi en la visión sobre la instrumentalización de la naturaleza y de los seres humanos en el contexto de las relaciones de producción, el uno desde la tecnociencia, y el otro desde el análisis de la economía de mercado.

- b) Que esté bien fundada la creencia, para quienes operarán el sistema técnico y para quienes serán afectados por su operación y por sus consecuencias, de que los medios que se usarán son adecuados para obtener los fines que se buscan.
- c) Que los medios que se emplearán sean aceptables moralmente para quienes operarán el sistema y para quienes serán afectados por la operación del sistema y por sus consecuencias.
- d) Que no haya ninguna opción viable que permita obtener los mismos fines sin producir daños equivalentes.
- e) Que los fines sean deseables para quienes operarán el sistema y para quienes sufrirán las consecuencias, aunque se produzcan esos daños.

El problema, señala Olivé (2012), estriba en que en estas condiciones se asumen dos supuestos que rara vez se cumplen, que todos los daños que producirá el sistema técnico son previsibles y, que hay algún criterio compartido por quienes operarán el sistema y por quienes serán afectados por su operación para decidir cuándo los medios son aceptables y cuándo el fin es deseable. La evaluación de la tecnología vista de este modo atañe tanto a expertos como a legos, pues casi todas las tecnologías con potencial interesante de transformación del medio (es decir, con suficiente potencia técnica) tendrán impactos adversos posibles en la sociedad o sociedades y en el entorno natural.

1.5.2.8. Eficacia, eficiencia y riesgo

Los sistemas técnicos están encaminados a cumplir con ciertas funciones determinadas por agentes intencionales; al actuar, cubren en algún grado los fines para los que fueron desarrollados. Actualmente los sistemas técnicos pueden ser muy complejos, por lo que ni todos los objetivos (O) que se plantean en su funcionamiento son cubiertos a cabalidad, ni todos los resultados (R) que se obtienen corresponden con los objetivos (Olivé, 2000). Con frecuencia se obtienen una serie de resultados que, o no se consideraban al momento de ser planteados los objetivos, o no se podían prever pues los sistemas tienen propiedades impredecibles a través del análisis de sus partes, es decir, propiedades emergentes, lo que le da a los sistemas técnicos un alto grado de incertidumbre (Figura 1.5.9).

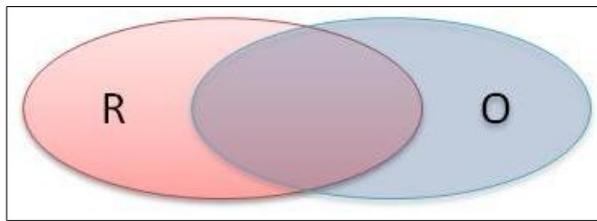


Figura 1.5.9. Conjunción de resultados (R) y objetivos (O).

Fuente: Olivé (2000).

De acuerdo con Olivé (2000), un sistema técnico (A) será eficaz (F) en la medida en que los resultados (R) cumplen el conjunto de objetivos o fines (O) que pretenden obtener los agentes que lo diseñan y operan; es decir, si O está incluido en R:

$$F(A)=|O \cap R|/|O|$$

El sistema (A) será eficiente (E) según el grado de ajuste entre los fines deseados y los resultados obtenidos cuando ha operado el sistema:

$$E(A)=|O \cap R|/|OUR|$$

Un sistema puede ser eficaz y eficiente en la medida en que todos los fines para los que fue diseñado se cumplen con su operación, y todos los resultados corresponden con los objetivos, es decir, no hay ningún resultado ajeno a los objetivos (Figura 1.5.10).

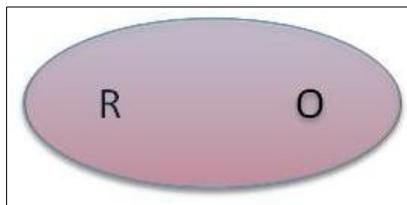


Figura 1.5.10. Sistema técnico eficaz y eficiente.

Fuente: Olivé (2000).

Regularmente hay muchos resultados no buscados intencionalmente. El imperativo tecnológico suele empujar a la búsqueda de la máxima eficacia, mientras que la eficiencia es percibida como un objetivo secundario; los resultados no deseados, mientras que no impacten la consecución de los objetivos, se consideran como externalidades, aunque haya muchas consecuencias no previstas que pueden ser muy costosas en términos económicos

u otros aspectos valiosos para quienes evalúan el sistema, ya sea quienes lo operan o los que serán afectados por su operación (Olivé, 2000). Ello puede generar sistemas muy ineficientes, aunque tengan una eficacia total (Figura 1.5.11).

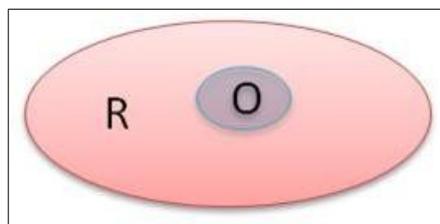


Figura 1.5.11. Sistema eficaz, altamente ineficiente.

Fuente: Olivé (2000).

Dentro de los resultados no buscados puede haber la probabilidad de que ocurra un evento que dañe la integridad de individuos, sociedades o el entorno natural, es decir, nocivo; a esta probabilidad acotada en un tiempo y bajo circunstancias específicas se le conoce como Riesgo (Jones, 1992).

De acuerdo con Ulrich Beck (1998), la extensión del sistema tecnológico y la imposibilidad de determinar a priori todos los efectos de la implementación de tecnologías de largo alcance han terminado por configurar una “sociedad de riesgo”, en la que ya no aspiramos a tener seguridad, sino a controlar el riesgo (tecnológico, financiero, social...). La sociedad pasa así, según el autor, de un sistema axiológico de la sociedad desigual, a un sistema axiológico de la sociedad insegura. En otras palabras, lo que se distribuye desigualmente entre los estratos de las sociedades no son sólo ya los beneficios, sino los riesgos. Si bien esto ha sido así en diversas épocas y sociedades, en la actualidad la gravedad del riesgo surgido de las “externalidades” es tal, que se ha vuelto un factor determinante de las posibilidades de sobrevivir, como lo constatan los ya millones de “migrantes ambientales” (Jiménez y Suescún, 2011).

Ante esta problemática, dado que algunos impactos posibles pueden traer consecuencias planetarias, se ha impulsado desde diversas organizaciones el llamado “principio de precaución”, que establece que se tomen medidas preventivas cuando existan bases razonables para creer que una tecnología (o la liberación de materia o energía) puede

resultar peligroso para animales, para humanos o para el ecosistema en general, aunque no se cuente con pruebas contundentes para creer que existen relaciones causales entre la tecnología (o la materia o energía) y los daños (COMEST, 2005). Este principio de precaución ha gozado cada vez de mayor consenso, incluso en organismos ocupados en incrementar el flujo económico como la Organización Mundial de Comercio (OMC, 2014)⁸.

Cuando se trata de innovaciones tecnológicas, los gobiernos y empresas suelen establecer condiciones más exigentes que otros actores de la sociedad civil para considerar las bases razonables para creer que estas innovaciones son o pueden ser responsables de efectos negativos (Olivé, 2011), por lo que las confrontaciones de intereses hacen que sea muy difícil llegar a acuerdos sobre lo que es una “base razonable”. Ante esta situación, se puede hablar de “racionalidades diferentes”, lo que implica diferentes enfoques en la consideración de los medios y los fines ante una evaluación. También puede haber “intereses encontrados”, pues ante los mismos hechos (la introducción de una innovación, por ejemplo), diferentes intereses llevarán a decisiones diversas.

La incertidumbre que una tecnología o un sistema tecnológico plantea puede asociarse axiológicamente con una falta de inteligibilidad. Del análisis que hacen Olivé y Beck, conforme aumentan la escala e intensidad tecnológica, aumenta a la par la incertidumbre, disminuye la inteligibilidad y las posibilidades de participación. El principio precautorio se puede fundamentar en atributos axiológicos de participación, inteligibilidad y amigabilidad.

1.5.2.9. Transdisciplinariedad y valores

El “imperativo tecnológico” ocurre al permitir que cada disciplina funcione dentro de su propia lógica interna; así, los ingenieros realizan desarrollos accesibles técnicamente, los empresarios impulsan innovaciones que tienen viabilidad de mercado, pero rara vez ocurre un proceso de reflexión que trascienda la visión disciplinar en sentido horizontal. De acuerdo con Max-Neef (2004) las disciplinas funcionan agregando un cúmulo de conocimientos de

⁸ La OMC (2014) establece que: “Es un concepto que respalda la adopción de medidas protectoras antes de contar con una prueba científica completa de un riesgo; es decir, no se debe posponer una medida por el simple hecho de que no se disponga de una información científica completa”.

nivel empírico (primer nivel) alrededor de un campo del conocimiento más o menos homogéneo que determina el nivel pragmático (segundo nivel); sin embargo, hay otros dos niveles que raramente entran en juego correspondientes al normativo, que incluye la planificación, políticas, diseño de sistemas sociales, diseño ambiental, entre otros factores, y al nivel axiológico⁹, que incluye la ética, moral, teología, filosofía, entre otros. Se puede definir así una jerarquía piramidal en la que el propósito de cada nivel está dado por el nivel inmediatamente superior (Figura 1.5.12).

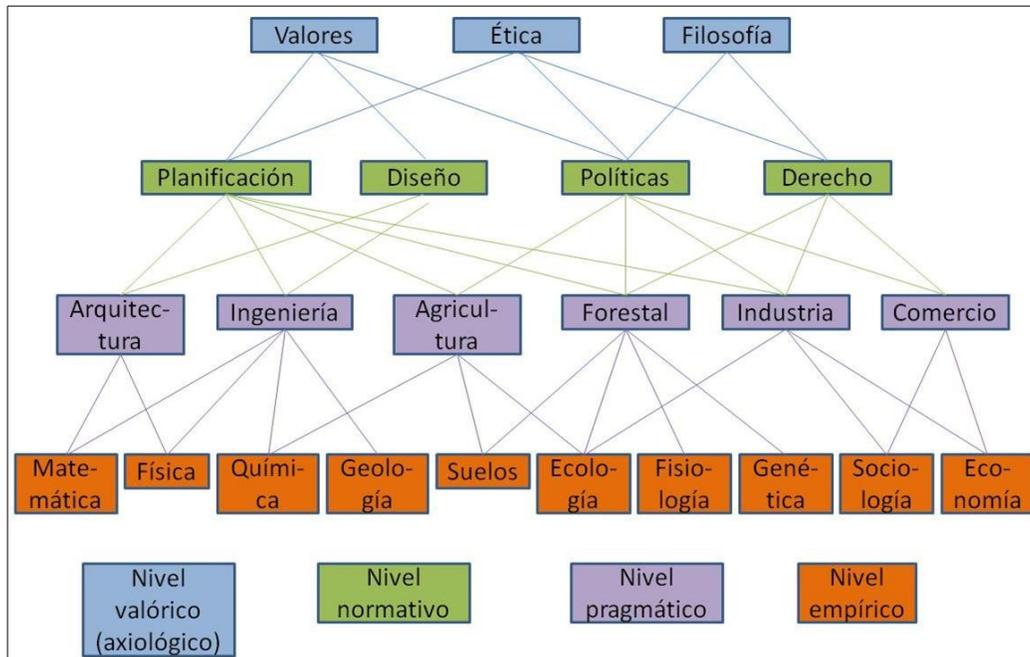


Figura 1.5.12. Pirámide Transdisciplinar.

Fuente: Adaptado de Max-Neef (2004).

El nivel empírico corresponde a lo que existe; el nivel pragmático, a lo que somos capaces de hacer; el normativo, a lo que queremos hacer; el axiológico, a lo que debemos hacer o a cómo hacer lo que queremos hacer. De acuerdo con Max-Neef (2004), las relaciones verticales posibles entre los niveles definen una acción transdisciplinar. Las sociedades democráticas resuelven el nivel de lo normativo por medio de la participación social (por la vía de votaciones u otras), las autocráticas lo resuelven por la decisión cupular de unos cuantos. En particular para las actividades que implican un impacto ambiental, hay leyes que tienden a garantizar la participación social. El nivel axiológico apunta a lo global, considera

⁹ Max-Neef lo llama "nivel valórico", optaré por el término "axiológico" para conservar la congruencia semántica.

las generaciones futuras, al planeta en su conjunto, a una economía en la que las personas y el ambiente importan; busca respuestas éticas.

El autor apunta el hecho de que al incrementar el credo en torno a la eficiencia del mercado (y el imperativo tecnológico), quedan de lado o excluidas consideraciones y planteamientos axiológicos, éticos y políticos. Desde otro punto de vista, cualquiera que sea el tipo de desarrollo tecnológico implica en su actuar una escala axiológica, implícita o explícita; la mayoría de las veces dicha escala está dictada por la tendencia actual que surge de una sociedad postindustrial y capitalista. El problema, como señala Max-Neef (2004), es que: “En la medida en que no se definan explícitamente los principios éticos y los valores que deben conformar una sociedad orientada hacia el bien común, no pueden diseñarse políticas coherentes con el desafío” (p. 9).

1.5.2.10. Los valores dominantes y los nuevos valores

De acuerdo con Echeverría (2000), los valores que están en el núcleo básico de la visión sobre la tecnología son los pragmáticos, técnicos epistémicos, económicos e incluso militares; mientras que otros ámbitos axiológicos como los éticos, sociales, políticos o ecológicos están todavía en la periferia de la actividad tecnocientífica y su evaluación; son vistos como externos a la racionalidad técnico-pragmática. En palabras de Quintanilla (2005, p. 27): “Hay en concreto dos tipos de valores culturales demandados por la tecnología actual; por una parte, el conocimiento científico, por otra, determinado tipo de valores morales de carácter racional”.

La Revolución Industrial instrumentó las bases operativas del mundo técnico posterior que, más que una evolución, se vivió en buena parte del mundo como un proceso traumático de imposición (Polanyi 2003 [1944]; Wallerstein, 1988).

Las principales características de este mundo tecnificado son (J. Bernal 1939; Polanyi, 2003 [1944]; Mumford, 1964; Schilvelbusch, 1986; Beck, 1998; Wallerstein, 1988; Linares, 2008):

- i) expansión territorial;

- ii) visión geográfica (cartográfica) del espacio;
- iii) extensión universal y global;
- iv) control y aprovechamiento sobre la naturaleza;
- v) concepción lineal del tiempo (de hecho, acelerada);
- vi) preponderancia de la matematización y racionalización del espacio y el tiempo mediante la técnica;
- vii) predominancia de criterios crematísticos en la toma de decisiones;
- viii) aut crecimiento tecnológico progresivo y expansivo (imperativo tecnológico como racionalidad dominante);
- ix) necesidades crecientes de recursos energéticos;
- x) artificialización general;
- xi) complejidad creciente;
- xii) sistematización en interconexiones complejas y encadenamiento progresivo;
- xiii) autonomía relativa;
- xiv) control centralizado;
- xv) imprevisibilidad de efectos y riesgo generalizado con dispersión (disolución) de responsabilidades;
- xvi) interrelación conflictiva en la distribución mundial de bienes y males (inequidad e imposibilidad de compensar por daños);
- xvii) explosividad social;
- xviii) militarización.

Según Linares (2008), los valores que dominan la evaluación convencional de los desarrollos tecnocientíficos son los intrínsecos de la racionalidad pragmático-instrumental, priva una racionalidad de costo-beneficio con visión a maximizar en lo inmediato (corto plazo) los resultados económicos a través del aumento en la eficiencia, que en este caso se refiere a la adecuación de medios a fines y objetivos previstos. De acuerdo con ese autor (Linares, 2008):

Es claro que en la evaluación de las innovaciones tecnológicas, los valores intrínsecos de la racionalidad tecnocientífica deben orientar la mejora de las realizaciones técnicas: eficacia -eficiencia, utilidad social, factibilidad, fiabilidad, disponibilidad, compatibilidad, rentabilidad,

manejo y mantenimiento seguro, principalmente. Aunque estos valores están perfectamente integrados en los fines y acciones de los agentes tecnocientíficos individuales y colectivos, no siempre conducen las decisiones finales sobre el desarrollo y la innovación tecnocientífica. Cada vez más, las decisiones tecnocientíficas están dominadas por las valoraciones inmediatistas en el plano económico, político y militar, cuyos costos sociales y ambientales pueden llegar a ser desastrosos (p. 414).

Como lo señalan diversos autores (Echeverría, 2000; Leff, 2000; Max-Neef, 2004; Quintanilla, 2005; G. Bernal, 2006; Linares, 2008; Queraltó, 2008; Assadourian, 2009) los retos a los que actualmente nos enfrentamos como humanidad requieren que esos valores éticos, actualmente “periféricos”, incidan en la práctica tecnocientífica para regular los efectos ambientales y sociales de mayor riesgo durante el desarrollo tecnocientífico. Enfáticamente todos los autores señalados destacan la importancia de la participación democrática en los procesos de evaluación social del desarrollo tecnocientífico. Al respecto, Enrique Leff (2000) señala que:

Desde el sentido más profundo de la existencia de los pueblos se reconfiguran las identidades étnicas y los intereses sociales; se legitiman derechos humanos que movilizan cambios históricos, orientados por los valores de la autonomía, la diversidad cultural, la pluralidad política y la democracia participativa (p.7).

Según Linares (2008), la finalidad de una evaluación social de las consecuencias y riesgos de las acciones tecnocientíficas no significa “proponer un control social completo de la tecnología, o proclamar una simple condena moral del poder tecnológico, pues sería tan inútil, en la metáfora que utiliza Ulrich Beck, como intentar ponerle frenos de bicicleta a un avión supersónico” (p. 414). Más que proponer la exclusividad de los valores éticos para la evaluación tecnocientífica, éstos deben orientar y limitar la racionalidad pragmática en el desarrollo tecnológico, a través de nuevas formas e instituciones sociales de regulación.

La evaluación tecnológica desde una perspectiva ética requiere modificar la jerarquía de valores actuales y buscar un mínimo de valores éticos que hagan de cualquier tecnología un *bien* potencial para la mayoría (Linares, 2008). Así, los efectos peligrosos reales y potenciales de las tecnologías con mayor potencia (o eficacia-eficiencia en el sentido de

Linares) deben ser evaluados socialmente para controlar la “expansión acelerada del *poder tecnológico* y de su influjo en el todo social” (Linares, 2008. p. 415). El autor propone un conjunto de cuatro principios éticos universales que buscan superar el “vacío ético” que existe respecto del desarrollo tecnocientífico: responsabilidad, justicia, precaución y autonomía.

Para una evaluación ética deben intervenir en igualdad de circunstancias diversos agentes sociales, por ende es una evaluación plural y democrática (Leff, 2000; Linares 2008; Olivé, 2011). El hecho de que cada vez haya más controversias sociales sobre el desarrollo tecnológico, indica la necesidad de una perspectiva ética y un *nuevo contrato social* para el mundo tecnológico, que comienza a configurarse, aunque todavía sea externa y ajena al desarrollo de la tecnología y la tecnociencia (Linares 2008).

Los autores analizados que plantean una crítica humanística al desarrollo tecnológico no explicitan marcos axiológicos caracterizables; sin embargo, en su conjunto se pueden identificar al menos seis atributos axiológicos caracterizables para una tecnología: escala, intensidad, intencionalidad, participación, inteligibilidad y amigabilidad. Estos atributos son también aplicables desde la tradición analítica; pues aunque esta visión propone que la tecnología es moralmente neutra, su aplicación a fines específicos es analizable desde una perspectiva axiológica.

1.5.3. Consideraciones a la perspectiva teórica

Al evaluar los desarrollos tecnológicos, se suelen tomar en cuenta tres parámetros: que sea técnicamente factible, económicamente rentable y financieramente viable (Cassaigne, 2002); como quedó establecido en el capítulo 1.5.2, hay otros parámetros que tradicionalmente han quedado excluidos. En la intención de mejorar los instrumentos para evaluar, hacen falta propuestas integrales que consideren las tecnologías y los sistemas tecnológicos desde una perspectiva sistémica y axiológica.

Algunos autores establecen que al momento de evaluar, los actores sociales consideran racionalidades diferentes que los llevan a tener intereses encontrados (Olivé, 2011; Leff, 2010). Desde la óptica del presente trabajo, detrás de las “racionalidades diferentes” o los “intereses encontrados” se esconden marcos axiológicos diferentes que implican escalas de valores diferentes. Ante el dilema ético de la tecnología (Olivé, 2011), la simple consideración de “racionalidad” resulta insuficiente; es necesario analizar los desarrollos tecnológicos desde una perspectiva ética. Empero, si no existen *algoritmos de racionalidad* para la evaluación de la tecnología¹⁰, menos aun hay un consenso en cuanto a la escala de valores desde la que se desarrolla y evalúa un sistema técnico.

Resulta necesario proponer y validar un instrumento para explicitar los valores tácitos contenidos en un desarrollo tecnológico. Para ello hay que articular ejes axiológicos hacia una evaluación de la tecnología. Echeverría (2000) propone hasta 12 diferentes sistemas de valores atribuibles a una tecnología; sin embargo, dichos atributos no son ni comunes a todas las tecnologías, ni sistematizables en un esquema aplicativo.

En el presente trabajo propongo una matriz de evaluación cuali-cuanti, como instrumento para evaluar desarrollos tecnológicos como sistemas complejos.

Para construir una matriz de evaluación axiológica considero necesario explicitar los valores

¹⁰ Es decir: “Conjunto de reglas que puedan seguirse automáticamente para las decisiones en relación con los fines, cuando el sistema técnico en cuestión se analiza en el contexto amplio de la sociedad y el medio ambiente que serán afectados por su aplicación” (Olivé, 2011, p. 51).

que están detrás del “desarrollo sostenible”, concepto planteado en el capítulo 1.5.1, y los atributos axiológicos que están detrás del análisis que hacen los autores considerados en el capítulo 1.5.2.

Los valores implicados en un sistema técnico, desde las dimensiones del desarrollo sostenible (discutidas en el capítulo 1.5.1), deben considerar al menos cuatro aspectos ontológicos: Social, Natural, Económico y Tecnológico.

El aspecto social responde a cómo el sistema técnico es desarrollado y se inserta en el seno de una sociedad en particular, a las diferentes afectaciones que puede causar, a la vulnerabilidad de esta sociedad, a su resiliencia y a los mecanismos de acomodación o de adaptación ante posibles efectos adversos. También a los aspectos sociales que el sistema potenciará y que pueden mejorar las condiciones de vida de la sociedad en cuanto a su organización interna y a su interacción con otras sociedades.

El aspecto natural implica los factores abióticos y bióticos que interactúan con el sistema técnico. Considera al total de las afectaciones a lo largo de todo el ciclo de vida tecnológico: origen de los materiales para establecer la tecnología; afectaciones para su elaboración, tanto en requisitos de materia prima, cuanto en el territorio en el que se desarrollará el sistema técnico; requerimientos materiales y desechos producidos durante su utilización; fin de ciclo de vida, utilización o disposición de materiales una vez que el sistema técnico deje de funcionar; y la afectación que ello provocará al medio natural.

El aspecto económico debe considerar las implicaciones en la calidad de vida de aquellos que desarrollan el sistema técnico, y de aquellos que se verán afectados por su implementación y operación, sea de manera positiva o negativa (Olivé, 2011). Se debe considerar una función económica ampliada (Cendra y Stahel, 2006), como producción y distribución de los beneficios y perjuicios generados con el sistema técnico, entendidos como la posibilidad de satisfacer las necesidades de los seres humanos (Max-Neef, 1998; Gallopin, 2003) y la ampliación o disminución de las capacidades de las personas (Sen, 1979; Gallopin, 2003).

El aspecto tecnológico debe considerar las variables internas propias del sistema. En tanto lo que se busca es un modo de explicitar los marcos axiológicos implícitos en una tecnología en particular, esta función debe evaluar el aumento en las capacidades tecnológicas entendidas como posibilidades de hacer (Villavicencio, 2005; ver capítulo 4), particularmente en la sociedad en la que operará el sistema técnico.

Estos aspectos deberán tamizarse por atributos axiológicos caracterizables. Los autores considerados en el capítulo 1.5.2 establecen tácitamente al menos seis atributos:

- Escala: se refiere al tamaño o alcance, por ejemplo, la cobertura geográfica, el número de personas, si es un sistema técnico global o local, la cantidad de bienes o servicios que puede proveer, etcétera.
- Intensidad: es la demanda de recursos por unidad tecnológica, por ejemplo de mano de obra, energética, de recursos naturales, de capital, de artefactos manufacturados, la intensidad tecnológica se relaciona con la potencia de transformación del medio que ofrece una tecnología, con innovaciones radicales, etcétera.
- Intencionalidad: se refiere a los fines que persigue en sí el sistema técnico, si busca explícitamente algún fin político-social, económico, tecnológico, de entorno natural.
- Participación: se refiere a la posibilidad de constituir internamente, en el seno de una sociedad específica, el sistema técnico, por ejemplo la gobernabilidad, redistribución, acceso, capacidad de autofinanciamiento o necesidad de apoyo externo, políticamente autoritaria o democrática, generación de empleos directos e indirectos, etcétera.
- Inteligibilidad: se refiere a la posibilidad de interactuar con la tecnología, de entenderla, en suma, de asimilar o acomodar al sistema técnico dentro del ambiente en el que se implementa, por ejemplo, ecoforma, integración con el ambiente natural, integración a las prácticas sociales, asunto de expertos o de legos, capacidad de comprender la tecnología, de asimilación y modificación de las variables tecnológicas, forma parte o no de las prácticas económicas en uso, etcétera.
- Amigabilidad: se refiere a si el sistema técnico aumenta o disminuye los impactos negativos a funciones propias de los cuatro aspectos ontológicos considerados, por ejemplo reducción de impacto natural, respeto (no afectación) a prácticas

tradicionales, respeto (no inhibición) de otras necesidades humanas, prácticas económicas con base social, tecnología accesible socialmente, etcétera.

Estos atributos, establecidos como una matriz y vistos de manera sistémica como un conjunto de factores que interactúan para tener un resultado final, deben de analizarse a lo largo de tres etapas típicas en el desarrollo de un sistema técnico: durante la implementación, durante el funcionamiento y durante el fin de su vida útil. En cada etapa el sistema dará resultados que cumplan con objetivos planificados, pero también otros resultados que se encuentren fuera de los objetivos establecidos, por lo que podrán establecerse eficacias y eficiencias operativas (Olivé, 2011).

Para evaluar un sistema técnico, debe considerarse éste como una función trayectoria y no como una función de estado (ver capítulo 1.5.1), por lo que se podrán evaluar diferentes estrategias de implementación, operación y disposición final de los elementos del sistema.

Para tener elementos de evaluación axiológica sobre un sistema técnico, se puede construir una matriz tridimensional (Ver figura 1.5.13). En el eje x (columnas) están las variables ontológicas (aspectos): Naturaleza, Sociedad, Economía, Tecnología; en el eje y (filas) están las variables axiológicas (atributos): Escala, Intensidad, Intencionalidad, Participación, Inteligibilidad, Amigabilidad; en el eje z (series) están las tres etapas de desarrollo: Implementación, Funcionamiento, Fin de ciclo.

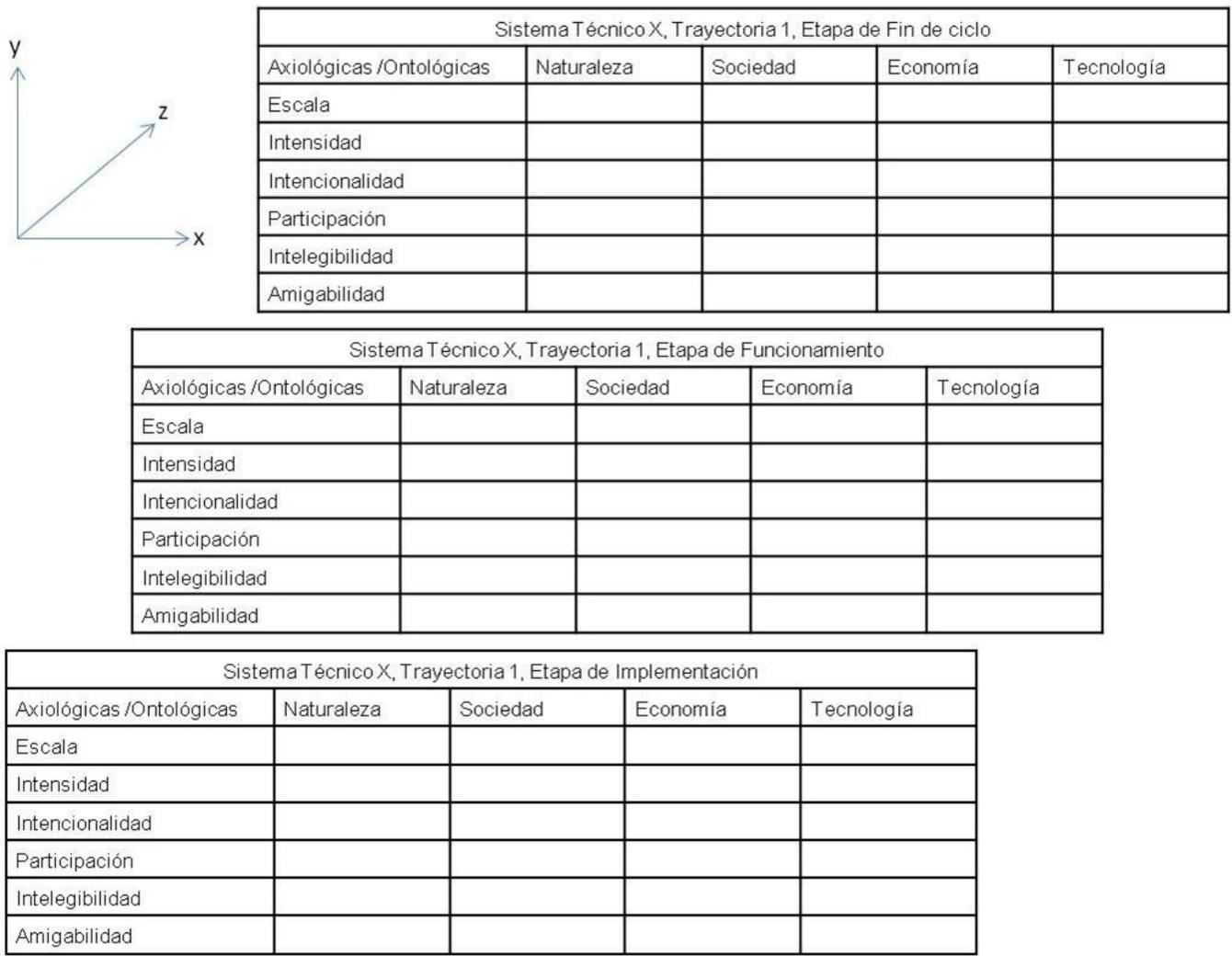


Figura 1.5.13. Matriz tridimensional de evaluación axiológica integrada.
Fuente: Elaboración propia.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

2. Población indígena y territorio como factores de evaluación de desarrollo tecnológico: el Tren México-Querétaro, un planteamiento teórico.

2.1. Introducción

El tren es un sistema tecnológico que impacta el modo de vida de las personas de manera directa. Si bien su establecimiento puede traer condiciones de desarrollo favorables para una región, también puede provocar impactos negativos, tanto en el entorno natural, como en la base social en toda su región de influencia. Hay grupos sociales cuyas características los hacen más vulnerables a los efectos de los desarrollos de sistemas tecnológicos, tradicionalmente los pueblos indígenas han sido un claro ejemplo.

Para reducir los impactos negativos de los desarrollos tecnológicos, en el último medio siglo se ha impulsado a nivel mundial procedimientos de evaluación social de la tecnología, que se reflejan en diversos instrumentos como convenciones, leyes, reglamentos y normas, tanto a nivel internacional, como nacional, regional y local. En particular los pueblos indígenas han ganado un espacio legal propio hacia la preservación de su entorno social. Si bien estos procedimientos representan un valioso avance, todavía queda mucho trabajo por establecer vínculos entre diversos instrumentos, hacia un marco normativo amplio y sistémico. El presente trabajo analiza algunos de estos vínculos al respecto del desarrollo de la línea de tren México-Querétaro cuya construcción actualmente se discute en México.

2.1.1. Evaluación social de la tecnología

La evaluación social de los grandes desarrollos tecnológicos ha ganado relevancia conforme han surgido diversas evidencias de los riesgos asociados. Siempre han existido voces críticas ante las nuevas tecnologías, tradicionalmente se han asociado esas voces con personas contrarias a la tecnología; sin embargo, a raíz del desarrollo de la bomba atómica se volvió evidente la necesidad de regulación social al desarrollo tecnológico; de acuerdo con

láñez y Sánchez (1998): “Hay que introducir el nivel de objetivos éticos y sociales en la justificación de las tecnologías, lo que permite defender la creación de mecanismos democráticos de participación pública en la evaluación y política de la ciencia y la tecnología” (láñez Pareja y Sánchez Cazorla, 1998).

Con el tiempo han surgido diversos instrumentos a nivel nacional e internacional que tienden a aumentar la injerencia social sobre las propuestas tecnológicas.

En México, de manera general la evaluación de la población -y en particular la indígena- a los desarrollos tecnológicos está sujeta a la regulación que el gobierno dicta por medio de las leyes y normas que se desprenden de la constitución, y a convenios y tratados internacionales. Para el caso del tren, no hay una ley concreta que regule la participación de la población en el proceso de evaluación.

Dos documentos internacionales signados por México son el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 1989) y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas (NU, 2008). Ambos documentos tienen equivalencia legal con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Constitución, 1917), por lo que son de enorme relevancia para el tema.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2014) junto con sus reglamentos son el instrumento en donde se establece cómo evaluar los impactos adversos que puede ocasionar un desarrollo tecnológico; sin embargo, el énfasis de este instrumento se centra en los impactos ambientales, por lo que no es propiamente una herramienta de regulación social.

Las manifestaciones de impacto ambiental (MIAs) son documentos que los que promueven (promoventes) un desarrollo tecnológico presentan ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que es la parte del gobierno encargada de vigilar un desarrollo armónico con el medio ambiente, y de garantizar la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Dichas manifestaciones tienen

sustento en la LGEEPA y en sus reglamentos, y son instrumentos de evaluación de impacto ambiental (EIA)

La definición de “Ambiente” ha sido un tema relevante en los debates sobre la interacción de los seres humanos con el entorno natural; al respecto, la LGEEPA en su artículo 3, fracción I, lo define como: “El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados” (LGEEPA, 2014). Define a su vez “Ecosistema” como: “La unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados” (Ibidem).

Se desprende que el “ambiente”, en los términos definidos por la LGEEPA, se refiere más al entorno natural, que a la conjunción de entornos natural y social. Por ello, las MIAs han sido instrumentadas como una herramienta de evaluación de impacto sobre el entorno natural, aunque integren elementos de opinión y participación social.

Como resultado del concepto de “sustentabilidad” difundido a partir de la cumbre de Río +20, se ha asumido que un proyecto sustentable se da en la intersección de tres factores necesarios (Peterson, 1997): el aprovechamiento razonable de los recursos naturales, la aceptación y beneficio social y la factibilidad económica (Ver capítulo 1.5.1).

De acuerdo con la SEMARNAT (2008), “la herramienta de EIA puede coadyuvar a determinar el mejor escenario para un proyecto, al ofrecer el dictamen de viabilidad de uno de los tres componentes de ese concepto, el ambiental” (p. 4). Así, en la conceptualización que le asigna la LGEEPA, la MIA regional (MIA-R) que corresponde al tipo de proyectos como el aquí estudiado es una forma de evaluación ambiental estratégica que permite prever los impactos acumulativos y sinérgicos a nivel regional.

Se ha asumido que las MIAs contienen los mecanismos necesarios de evaluación social de la tecnología para garantizar la participación ciudadana; sin embargo, estos instrumentos han servido más como un compendio técnico de los aspectos que las compañías u organismos

consideran para promover un desarrollo tecnológico con especial énfasis en las posibles afecciones al entorno natural, y no tanto como un documento de consenso social.

El consenso social o las manifestaciones en contra de una tecnología o sus posibles efectos adversos a la sociedad se suele dar en una etapa inmediata posterior a la presentación de la MIA; de acuerdo con el artículo 40 del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (RLGEEPAMEIA, 2012):

La Secretaría [SEMARNAT], a solicitud de cualquier persona de la comunidad de que se trate, podrá llevar a cabo una consulta pública, respecto de proyectos sometidos a su consideración a través de manifestaciones de impacto ambiental.

La solicitud a que se refiere al párrafo anterior deberá presentarse por escrito dentro del plazo de diez días contados a partir de la publicación de los listados de las manifestaciones de impacto ambiental. En ella se hará mención de:

- a) La obra o actividad de que se trate;
- b) Las razones que motivan la petición;
- c) El nombre o razón social y domicilio del solicitante, y
- v) La demás información que el particular desee agregar.

Durante el periodo de consulta pública las personas físicas o morales pueden plantear a la SEMARNAT las dudas fundadas que tengan sobre posibles efectos adversos del desarrollo tecnológico. La Secretaría evalúa los argumentos, y dictamina con apego a las leyes y normas disponibles.

Este mecanismo de evaluación ha tenido deficiencias, particularmente en lo que concierne a las opiniones y consideraciones que se deben de tener con diferentes actores sociales, como las personas indígenas (Olivé, 2007). De manera general, sigue una lógica constructivista que tiende a perpetuar relaciones asimétricas de poder, se centra en la “participación pública” de la “evaluación de riesgos”, y no en un “control democrático” sobre la tecnología (Webster, 1991; Shrader-Frechette, 1991).

2.1.2. La población indígena y la evaluación de la tecnología

En un país culturalmente diverso, la evaluación de desarrollos tecnológicos debe contemplar aspectos particulares de cada grupo al cual puede afectar (Olivé, 2007). En México se cuenta con instrumentos legales que protegen a los pueblos indígenas; sin embargo, la mayoría de las veces opera en ellos una lógica paternalista y limitada hacia el pleno reconocimiento de los derechos indígenas, pues reflejan la decisión que el gobierno ha mantenido en considerar los pueblos indígenas como “sujeto de especial protección”, dada su situación vulnerable a diferentes eventos [i.e. artículo 71 de la Ley General del Cambio Climático: (LGCC, 2012)], y no como “sujeto de derecho”, como lo plantea el referente histórico de los Acuerdos de San Andrés Larráinzar (1996).

Cabe señalar que en materia de evaluación y desarrollo, las empresas como personas morales son sujeto de derecho, estatus que se ha negado repetidamente a los pueblos, en particular a los indígenas, lo que ha mantenido una situación de inequidad en la gestión de recursos y en la evaluación de desarrollos tecnológicos.

El artículo 2° de la Constitución establece las garantías de las que gozan los pueblos indígenas, independientemente de aquellas comunes al resto de la población mexicana. La Federación, los estados y municipios tienen una obligación particular con los pueblos indígenas. En materia de planificación de las actividades del gobierno, la fracción IX de este artículo establece que las autoridades federales, estatales y municipales se obligan a “consultar a los pueblos indígenas en la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo y de los estatales y municipales y, en su caso, incorporar las recomendaciones y propuestas que realicen” (Constitución, 1917).

Sin embargo, el mismo artículo contiene una incongruencia fundamental, en tanto promueve la autonomía de los pueblos indígenas, reconoce el derecho que tienen para preservar sus usos y costumbres, sus formas de organización y de “libre determinación para decidir sus formas internas de convivencia y organización social, económica, política y cultural”; pero a la vez establece que el Estado tiene la obligación de “abatir las carencias y rezagos que afectan

a los pueblos y comunidades indígenas” a través del impulso de obras de infraestructura en materia de educación, transporte, salud, economía, inversión pública y privada entre otros rubros. Sin detrimento de la atención a las necesidades que la población necesita, la visión de satisfactores propuestos se ciñe a una idea preconcebida de “progreso”, que acaso no ha considerado el derecho que tienen los pueblos a decidir el modo como pretenden cubrir sus necesidades.

Al respecto, el Convenio 169 de la OIT en el artículo 7, fracción 1 establece que (OIT, 1989):

Los pueblos interesados deberán tener el derecho de decidir sus propias prioridades en la que atañe al proceso de desarrollo, en la medida en que éste afecte a sus vidas, creencias, instituciones y bienestar espiritual y a las tierras que ocupan o utilizan de alguna manera, y de controlar, en la medida de lo posible, su propio desarrollo económico, social y cultural. Además, dichos pueblos deberán participar en la formulación, aplicación y evaluación de los planes y programas de desarrollo nacional y regional susceptibles de afectarles directamente.

En tanto el Convenio fue elevado a “rango constitucional”, la discrepancia entre el Convenio 169 de la OIT y la Constitución debe decantarse por la “mejor legislación”. El Convenio 169, aunque perfectible (Durand Alcántara, 1994), refleja de mejor manera las aspiraciones de la población para un pleno reconocimiento del derecho que tienen los pueblos indígenas sobre la libre autodeterminación de su proceso de desarrollo (González Oropeza, 2005). El Convenio 169 de la OIT y la Constitución son instrumentos complementarios y deben ser entendidos como parte del sistema normativo que garantiza los derechos comunales y personales.

Al confrontar ambos textos, se puede aseverar que la Constitución tiene un germen etnocentrista, es decir (Ordóñez Cifuentes, 2011): “La tendencia a considerar los patrones de conducta de la propia sociedad como los únicos correctos y los de otras sociedades como extraños e impropios, creyendo que la propia cultura es la única importante y válida” (77).

El artículo 15 de la LGEEPA contiene los principios que rigen las actividades del poder Ejecutivo en materia de protección al ambiente; en particular hay tres fracciones que retomo para el análisis (LGEEPA, 2014):

I.- Los ecosistemas son patrimonio común de la sociedad y de su equilibrio dependen la vida y las posibilidades productivas del país;

XII.- Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. Las autoridades en los términos de esta y otras leyes, tomarán las medidas para garantizar ese derecho

XIII.- Garantizar el derecho de las comunidades, incluyendo a los pueblos indígenas, a la protección, preservación, uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la salvaguarda y uso de la biodiversidad, de acuerdo a lo que determine la presente Ley y otros ordenamientos aplicables

La última fracción resulta concordante con el Convenio 169 de la OIT, artículo 7, fracción 4, que estipula que (OIT, 1989):

Los gobiernos deberán tomar medidas, en cooperación con los pueblos interesados, para proteger y preservar el medio ambiente de los territorios que habitan.

En cuanto al desarrollo ferroviario, el artículo 28 de la LGEEPA, en conjunto con su reglamento en materia de evaluación del impacto ambiental, establecen que para la realización de una obra o actividad ferroviaria se necesita la autorización de la SEMARNAT que, de acuerdo con el artículo 30, requiere de la presentación de una manifestación de impacto ambiental.

La LGEEPA en los artículos 157 y 158 considera a los pueblos indígenas, entre otros actores, para que manifiesten sus opiniones y propuestas, convocados en el ámbito del Sistema Nacional de Planeación Democrática hacia la planeación, ejecución, evaluación y vigilancia de la política ambiental y de recursos naturales.

De un primer análisis se desprende que los pueblos indígenas deben ser consultados en dos etapas: para el establecimiento de las políticas generales en materia de gestión de los

recursos naturales, lo que en inicio establece el mecanismo para cumplir con los derechos consagrados en el artículo 15 de la LGEEPA –y en parte con la fracción IX del artículo 2 constitucional-; y como el reto de la población, para manifestarse sobre los desarrollos tecnológicos que deben cumplir con el requisito de presentación de una MIA.

El Convenio 169 de la OIT sobre pueblos tribales e indígenas en países independientes, signado por México en el año 1990, establece en su artículo 4 que se deberá salvaguardar a personas, instituciones, bienes, trabajo, cultura y medio ambiente de los pueblos; las medidas especiales “no deberán ser contrarias a los deseos expresados libremente por los pueblos interesados”.

En particular para las actividades de desarrollo el artículo 7 del Convenio (además de lo establecido en la fracción 1 ya mencionada) en la fracción 3 asienta que (OIT, 1989):

3. Los gobiernos deberán velar por que, siempre que haya lugar, se efectúen estudios, en cooperación con los pueblos interesados, a fin de evaluar la incidencia social, espiritual y cultural y sobre el medio ambiente que las actividades de desarrollo previstas puedan tener sobre esos pueblos. Los resultados de estos estudios deberán ser considerados como criterios fundamentales para la ejecución de las actividades mencionadas.

Aunque el texto deja lugar a ambigüedades al establecer la premisa “siempre que haya lugar”, se debe asumir que, en los casos de desarrollo que requieren de una MIA, hay lugar a un estudio.

La Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas es concordante con esta visión amplia de protección al derecho de consulta, pues en su artículo 32 establece que (NU, 2008):

1. Los pueblos indígenas tienen derecho a determinar y elaborar las prioridades y estrategias para el desarrollo o la utilización de sus tierras o territorios y otros recursos.
2. Los Estados celebrarán consultas y cooperarán de buena fe con los pueblos indígenas interesados por conducto de sus propias instituciones representativas a fin de obtener su consentimiento libre e informado antes de aprobar cualquier proyecto que afecte a sus tierras o

territorios y otros recursos, particularmente en relación con el desarrollo, la utilización o la explotación de recursos minerales, hídricos o de otro tipo.

2.1.3. Antecedentes históricos del tren

De acuerdo con Mumford (1998 [1934]), el proceso de desarrollo del tren en el siglo XIX permitió el florecimiento del capitalismo y la economía de mercado en los países en los que fue introducido.

El desarrollo del tren, particularmente en Inglaterra del siglo XIX, representó la concreción en la práctica de un modelo mecanicista del universo, en el que la máquina es concebida como un ideal surgido del intelecto humano, en ella se refleja el dominio sobre la salvaje naturaleza, y la emancipación de los medios orgánicos para la movilidad (Ellul, 2003). Esta lógica requirió de la modificación del terreno y de los hábitos, rutinas y costumbres de las personas de la época. En palabras de Lwis Mumford (Mumford, 1998 [1934]): “Hacia 1852 el ferrocarril había alcanzado las Indias Orientales: en 1872 el Japón y en 1876 China. A todas las partes donde llegó llevo consigo los métodos y las ideas de esta civilización minera.” (p.183)

Si bien la locomotora de vapor produjo una movilidad e interdependencia mundiales jamás conocidas, modificó radicalmente el concepto de espacio, y más aún, la relación que las personas tenían con su entorno natural. Como lo apunta Schilvelbusch (1986), el ferrocarril estableció una nueva vivencialidad en una geografía, por un lado expandida al acceder a lugares otrora inaccesibles, y por otro lado reducida al alienar a las personas del medio natural y al aniquilar vastos espacios comprendidos entre los puntos de partida y de llegada de los trenes (pp. 37-38).

Mumford (1998 [1934]) apunta que las personas salieron del interior del país, y tendieron a amontonarse en las grandes ciudades terminales, en los empalmes ferroviarios y las ciudades portuarias (p. 182).

Para el caso de México, durante el Porfiriato (1876 a 1910) se dio un aumento relevante de la población en las capitales de los Estados, particularmente en las que contaban con vías férreas: Chihuahua, Hermosillo, Aguascalientes, Guadalajara, Colima, Cuernavaca y Mérida; y en ciudades de la zona Norte y en Veracruz, en lugares que coinciden con la extensión de los ramales ferroviarios (González Navarro, 1973, pp. 21–22)

El desarrollo más importante de vías férreas en México se dio durante el Porfiriato, de 1880 a 1898 el país pasó de tener (700) km de vías, a más de 19,000. En aquella época no había la percepción de necesidad de evaluación social del desarrollo tecnológico. Lejos de haber un consenso social, el tren fue establecido, en muchos aspectos, por imposición y aprovechamiento instituido de condiciones de indefensión social (Coatsworth, 1974).

Durante el desarrollo ferroviario sucedió el despojo generalizado de las tierras comunales por medio de la aplicación extendida del llamado “deslinde de baldíos”, toda la tierra que careciera de un dueño particular era susceptible de ser reclamada a precio de dádiva (Calderón, 1973).

Los baldíos se referían sobre todo a los enormes territorios que los españoles no pudieron repartir de toda la tierra que descubrieron. En su mayoría carecían de asentamientos indígenas definitivos; sin embargo, según Calderón la aplicación de esta idea de terrenos baldíos (Calderón, 1973): “lesionaba los intereses de muchos indios propietarios *de facto*” (pp. 61- 62).

Aparejada con esa política de baldíos, actuaba un empeño en desamortizar los bienes comunales indígenas. Por un lado, estaba el interés de evitar declarar como baldíos los territorios ocupados por los indígenas, por otro, el interés del (o los) gobierno en recibir rentas sobre la tierra que de facto laboraban, y dar título de propiedad personal a cada indígena sobre una porción de terreno. Sin embargo, tales usos y costumbres estaban muy alejados de las prácticas entre la población indígena, que no podía concebir que la tierra tuviera un dueño particular, ni mucho menos buscar querellas por poseer a título personal lo que pertenecía, desde siempre, a la comunidad.

En síntesis, era el interés del gobierno por acabar con las tierras comunales, y el interés de los indígenas (o por lo menos su costumbre) en mantenerlas. Los indígenas se opusieron decididamente a la desamortización, según el gobierno debido a ignorancia, apatía, deseo de no dar cabida a los blancos o intrigas de los tinterillos. Martín González, el gobernador de Oaxaca, opinaba que (MOax 98, 1899): “los indios se oponían al reparto de sus tierras debido a su falta de individualismo” (p.8). Según Maqueo Castellanos (Castellanos, 1909): “Lo primero que debía intentarse era el desarrollo del espíritu individual entre los indios a fin de que desapareciera 'el socialismo imperfecto y absurdo' de las propiedades comunales” (p. 93).

El derecho que los indígenas tenían para defender sus tierras, incluso por la vía legal, llegó a ser condenado por la prensa, y en muchos casos fue objeto de represiones por parte de las autoridades locales (José María Vigil y La Libertad 14 noviembre 1878, en González Navarro, 1973, p.208):

No se podía dar la razón a los indios por su carácter obcecado y sus mezquinos intereses (.). Temíase que el odio del indio al blanco, es decir, del salvaje al civilizado, como lo mostraba el caso yucateco, llevara a una catástrofe, ya que el indio no podía comprender que se debía obedecer la justicia no por justa, sino por enérgica.

Según el análisis de Coatsworth, ocurrió un proceso simultáneo de integración y marginación, mientras el tren hizo de la tenencia de la tierra un negocio rentable, propició el despojo de las comunidades a manos de grandes terratenientes. Coatsworth analiza una serie de 55 conflictos agrarios ocurridos entre 1877 y 1884, durante la primera y principal etapa de expansión ferroviaria; encuentra un vínculo estrecho entre la construcción ferroviaria y la apropiación, en su mayor parte ilegal, de tierras indígenas (Coatsworth, 1974).

Sería equivocado atribuir estos procesos de expropiación, privatización y mercantilización de la tierra a la expansión ferroviaria de manera exclusiva, pues de hecho, provenían de épocas anteriores; sin embargo, fue esta base técnica la que hizo factible que estos procesos ocurrieran a una mayor escala, de hecho generalizada, pues el desarrollo ferroviario provocó

que estas expropiaciones resultaran económicamente interesantes, al crear la base técnica para establecer una economía que rompiera con los límites autárquicos de una economía de subsistencia de carácter local.

En esa época el latifundismo cobraba un nuevo sentido (Riguzzi, 1996). Antes de la llegada del tren, una enorme extensión de tierra en manos de un sólo dueño tenía una importancia operativa muy relativa, pues no había medios reales de explotación comercial de la producción agrícola, al resultar incosteable sacar el excedente fuera de la región de origen (pp. 52).

Con la llegada del tren, esto cambia radicalmente. Una nueva economía de escala se impone, con la consabida necesidad de abaratar los costos, esto incluye, la mano de obra y lo necesario para la manutención de los trabajadores, en muchos casos convertidos en esclavos de facto (Calderón, 1973, pp. 57-59).

La tierra, pues, deja de ser el origen de la identidad de los pueblos, sus frutos pasan de ser la base del sustento de la comunidad, y ambos, tierra y frutos, se convierten en una mercadería de la que hay que maximizar sus rendimientos. Para las comunidades tradicionales, posteriormente despojadas de sus tierras, lo mismo daba si la producción o sus excedentes iban a la comarca de junto, a un empalme ferroviario, una gran urbe o al extranjero. Cualquier lugar fuera de la comunidad era, de hecho, extranjero, y tan inaccesible un lugar como el otro. Lo importante para la comunidad, es el despojo de sus tierras, de sus usos y costumbres, y en síntesis, del primer elemento de identidad.

Más aún, no debe escapar el hecho de que la lógica de mercado entró al agro mexicano sepultando una convivencialidad anterior que, si bien imperfecta, mantenía la autarquía como el modelo funcional de una población autocontenida, rica en producciones artesanales; la agricultura latifundista terminó por disolver muchas comunidades, depauperando a la población (Rosenzweig, 1994, pp. 315 –316). Conforme avanzó el Porfiriato, la penetración de esta dinámica de mercado fue alcanzando lugares cada vez más distantes; en tanto que

las vías férreas cubrían nuevos puntos, las regiones empezaron a sufrir una dislocación de la estructura social sobre la que habían funcionado, a la vez causa y efecto de un cambio en la tenencia de la tierra.

Empezó una dinámica de dependencia de lugares lejanos. Un problema en el mercado, digamos de Nueva York, podía desatar (y de hecho desataba) la miseria en varias partes del mercado exportador; si acaso tardío, el caso del henequén en Yucatán, no deja de ser emblemático por su decadencia ocurrida a partir de 1918 (Canto Sáenz, 2001).

Al respecto de la desarticulación social de las comunidades, Coatsworth apunta que (Coatsworth, 1976):

Los ferrocarriles transformaron a México. Ya que su impacto económico directo sobre la tasa y la estructura del crecimiento económico fue considerable, tuvieron consecuencias políticas, sociales e institucionales proporcionales en magnitud. Ligaron el futuro del país, a pesar de los impulsos democráticos de su gran revolución, a los procesos contradictorios del moderno subdesarrollo capitalista dependiente (p. 94).

La no consideración oficial de la evaluación social al desarrollo ferroviario y las dinámicas asociadas de imposición y abuso sobre el uso de la tierra de la época fueron factores que influyeron en la rebelión campesina del socialismo agrario en Sierra Gorda con Miguel Negrete (1877-1881), en el levantamiento de Tamazunchales (1879-1882) y en la rebelión de Catarino Erasmo Garza Rodríguez (1891-1892), que sucedieron durante el Porfiriato en la zona de influencia del trazado de la vía México-Querétaro (Coatsworth, 1976).

De acuerdo con lo planteado, el desarrollo histórico del tren en México no ha tomado en cuenta las necesidades de los pueblos indígenas; por el contrario, ha funcionado como un factor desarticulante de la base social indígena en diversos momentos y lugares de la geografía nacional. Por ello, para el futuro desarrollo del tren en México hace falta una

mejora regulatoria para prevenir y mitigar posibles efectos adversos sobre la población indígena.

2.2. Metodología

Para este capítulo planteo una revisión de la población indígena en el trazado del tren con datos geográficos obtenidos de fuentes oficiales. Posteriormente hago una integración de datos para determinar, a nivel territorial de municipios y localidades, el porcentaje de población indígena y poblados con más de 5,000 indígenas. Con base en estos datos y lo planteado en el entorno teórico, realizo un análisis de posibles afectaciones y estrategias de consulta. Por último, realizo una evaluación axiológica para el aspecto social, con base en los seis atributos axiológicos establecidos en el capítulo 1.

2.3. Resultados: Propuesta de parámetros de evaluación social

Como se desprende de la misma normativa, los pueblos indígenas tienen derecho a ser consultados sobre temas ligados a sus territorios y sobre desarrollos que afecten, tanto a sus personas, como a sus territorios, usos y costumbres. El problema que se puede abordar, al margen del reconocimiento pleno de los acuerdos de San Andrés, es sobre cómo hacer efectivos los derechos contenidos en el Convenio 169 de la OIT y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas.

Hay dos propuestas viables para dar pleno derecho a las personas indígenas: revisión de la población indígena en el área de influencia del Tren México-Querétaro, y reconocer el carácter vinculante de las leyes.

2.3.1. Población indígena en el trazo del Tren México-Querétaro

Respecto a la revisión de la población indígena en el área de influencia del Tren México-Querétaro, una unidad de análisis a nivel de estadísticas de población es el municipio. El

Sistema Ambiental Regional (SAR) enmarca los municipios que pueden verse afectados por el desarrollo ferroviario en un entorno amplio. De acuerdo con la MIA (SCT, 2014b), el Tren México-Querétaro puede influir en las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal, 39 municipios del Estado de México (Edomex. La MIA marca 38, omite “Cuautitlán Izcalli”, municipio por el que de hecho pasa la vía, se asume como una errata involuntaria), 18 municipios de Hidalgo y nueve municipios de Querétaro, todos ellos con población indígena, aunque en diferentes proporciones (Tabla 2.1):

Tabla 2.1. Municipios considerados en el SAR.

Estado	Municipio / Delegación	Población total	Población indígena	Grado de marginación
D.F.	Álvaro obregón	727,034	19,922	Muy bajo
D.F.	Azcapotzalco	414,711	7,467	Muy bajo
D.F.	Benito Juárez	385,439	7,457	Muy bajo
D.F.	Coyoacán	620,416	18,132	Muy bajo
D.F.	Cuauhtémoc	531,831	18,500	Muy bajo
D.F.	Cuajimalpa de Morelos	186,391	4,568	Muy bajo
D.F.	Gustavo A. Madero	1,185,772	36,214	Muy bajo
D.F.	Iztacalco	384,326	8,788	Muy bajo
D.F.	Iztapalapa	1,815,786	79,826	Muy bajo
D.F.	Magdalena Contreras	239,086	6,825	Muy bajo
D.F.	Miguel Hidalgo	372,889	7,843	Muy bajo
D.F.	Milpalta	130,582	11,448	Bajo
D.F.	Tlahuac	360,265	12,974	Muy bajo
D.F.	Tlalpan	650,567	25,847	Muy bajo
D.F.	Venustiano Carranza	430,978	10,532	Muy bajo
D.F.	Xochimilco	415,007	23,795	Muy bajo
Hidalgo	Ajacuba	17,055	217	Bajo
Hidalgo	Atitalaquia	26,904	346	Muy bajo
Hidalgo	Atotonilco de Tula	31,078	559	Bajo
Hidalgo	Chapantongo	12,271	117	Medio

Estado	Municipio / Delegación	Población total	Población indígena	Grado de marginación
Hidalgo	Chilcuautla	17,436	11,779	Medio
Hidalgo	Francisco I Madero	33,901	2,469	Bajo
Hidalgo	Huichapan	44,253	1,242	Medio
Hidalgo	Mixquiahuala de Juárez	42,834	2,207	Bajo
Hidalgo	Nopala de Villagrán	15,666	107	Medio
Hidalgo	Progreso de Obregón	22,217	1,516	Bajo
Hidalgo	San Agustín Tlaxiaca	32,057	716	Bajo
Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	80,612	5,797	Bajo
Hidalgo	Tepetitlán	9,940	506	Medio
Hidalgo	Tetepango	11,112	105	Bajo
Hidalgo	Tezontepec de Aldama	48,025	983	Medio
Hidalgo	Tlahuelilpan	17,153	404	Bajo
Hidalgo	Tlaxcoapan	26,758	362	Bajo
Hidalgo	Tula de Allende	103,919	1,473	Muy bajo
México	Acolman	136,558	4,957	Muy bajo
México	Aculco	44,823	7,367	Medio
México	Apaxco	27,521	202	Bajo
México	Atenco	56,243	2,443	Bajo
México	Atizapán de Zaragoza	489,937	18,665	Muy bajo
México	Coacalco	278,064	4,504	Muy bajo
México	Cocotitlán	12,142	263	Muy bajo
México	Coyotepec	39,030	1,751	Bajo
México	Cuautitlán	140,059	2,946	Muy bajo
México	Chalco	310,130	16,472	Bajo
México	Chicoloapan	175,053	5,482	Muy bajo
México	Chimalhuacán	614,453	58,724	Bajo
México	Ecatepec de Morelos	1,656,107	68,618	Muy bajo

Estado	Municipio / Delegación	Población total	Población indígena	Grado de marginación
México	Huehuetoca	100,023	4,425	Muy bajo
México	Hueyoxtlá	39,864	349	Bajo
México	Huixquilucan	242,167	9,664	Muy bajo
México	Ixtapaluca	467,361	22,501	Muy bajo
México	Jaltenco	26,328	524	Muy bajo
México	Jilotepec	83,755	1,004	Medio
México	Melchor de Ocampo	50,240	2,382	Muy bajo
México	Naucalpan de Juárez	833,779	53,751	Muy bajo
México	Nezahualcóyotl	1,110,565	37,217	Muy bajo
México	Nextlalpan	34,374	1,430	Bajo
México	Nicolás Romero	366,602	19,010	Muy bajo
México	La Paz	253,845	19,778	Bajo
México	Polotitlán	13,002	84	Medio
México	Soyaniquilpan	11,798	75	Medio
México	Tecámac	364,579	11,061	Muy bajo
México	Temamatla	11,206	529	Bajo
México	Teoloyucan	63,115	1,023	Muy bajo
México	Tepetzotlán	88,559	2,469	Muy bajo
México	Texcoco	235,151	11,885	Muy bajo
México	Tezoyuca	35,199	2,122	Bajo
México	Tlalnepantla	664,225	23,508	Muy bajo
México	Tultepec	91,808	3,203	Muy bajo
México	Tultitlán	524,074	15,005	Muy bajo
México	Villa del Carbón	44,881	2,442	Medio
México	Zumpango	159,647	4,024	Muy bajo
México	Cuautitlán Izcalli	511,675	9,327	Muy bajo
Querétaro	Amealco de Bonfil	62,197	23,556	Alto
Querétaro	Colón	58,171	293	Medio

Estado	Municipio / Delegación	Población total	Población indígena	Grado de marginación
Querétaro	Corregidora	143,073	1,436	Muy bajo
Querétaro	Huimilpan	35,554	132	Medio
Querétaro	El Marqués	116,458	779	Bajo
Querétaro	Pedro Escobedo	63,966	510	Bajo
Querétaro	Querétaro	801,940	10,784	Muy bajo
Querétaro	San Juan del Río	241,699	3,483	Muy bajo
Querétaro	Tequisquiapan	63,413	584	Bajo

Fuente: Elaboración propia con datos de SCT (2014) y de CDI (2012).

Para el estado de Hidalgo, el total de los municipios del SAR corresponden al Valle del Mezquital. La MIA Señala que (SCT, 2014b):

El Valle del Mezquital hasta los años 70' fue socialmente conocido como una de las principales zonas de migrantes hacia Estados Unidos, esta región históricamente es habitada por tres etnias diferentes, una hñahñu [otomí] –mayoritaria–, la nahoa y los chichimecas.

Se dice que el alto registro de migración de la zona tiende a revertirse desde el año 2001, ya que su auge se ha centrado en las actividades agrícolas que reciben la cuenca de agua residual del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México. De esta manera los habitantes rurales en esta región reciben los beneficios del riego, pero evidentemente están expuestos a problemas de salud por la contaminación del agua que se riega en el área, considerando el origen del líquido (pp. 514-515).

Si bien el SAR es un buen parámetro de referencia, se puede hacer un análisis más acotado si se considera a los municipios por los cuales cruzará la vía del Tren México-Querétaro de acuerdo con su proyección actual.

La vía del Tren México-Querétaro aprovecha en su mayoría la infraestructura de un tren suburbano que une a la estación de Buenavista (D.F.) con Cuautitlán Izcalli (Edomex), y el derecho de vía de un tren de carga que actualmente opera conocido como “Línea Juárez-Morelos”, aunque la vía será toda nueva debido a las características técnicas que el proyecto requiere.

El Tren México-Querétaro, al ser proyectado como de alta velocidad, propone intervenciones particulares en los tramos de Tula y San Juan del Río sobre el trayecto del tren de carga, pues éste en ocasiones corre por rutas con curvas cuyo radio es inferior al conveniente para un tren de alta velocidad. En la figura 1 se muestra una confrontación entre el derecho de vía del actual tren de carga y la proyección de la línea de alta velocidad para pasajeros.



Figura 2.1. Tramos según el aprovechamiento del derecho de vía actual (en negro).
Fuente: (SCT, 2014b).

De acuerdo con el trazado, el Tren México-Querétaro atravesará dos delegaciones políticas del D.F., diez municipios del Edomex, cinco de Hidalgo y cinco de Querétaro (Tabla 2.1, Figura 2.2). En su conjunto contienen una población de 4,623,078 personas, de la que 109,017 son indígenas.

Según la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI, 2009), en la región se asientan personas emparentadas etnolingüísticamente con tres idiomas originarios: otomí, náhuatl y mazahua (tabla 2.2).

Tabla 2.2. Municipios en el trazado de vía e idiomas indígenas.

Estado	Municipio	Idioma
D.F.	Azcapotzalco	Náhuatl y Otomí
D.F.	Cuauhtémoc	Náhuatl y Otomí
Hidalgo	Atotonilco de Tula	Otomí y Náhuatl
Hidalgo	Chapantongo	Otomí y Náhuatl
Hidalgo	Nopala de Villagrán	Otomí y Náhuatl
Hidalgo	Tepeji del Río	Otomí y Náhuatl
Hidalgo	Tula de Allende	Otomí y Náhuatl
Edomex	Coyotepec	Náhuatl y Otomí
Edomex	Cuautitlán	Náhuatl y Otomí
Edomex	Cuautitlán Izcalli	Náhuatl y Otomí
Edomex	Huehuetoca	Náhuatl y Zapoteco*
Edomex	Jilotepec	Náhuatl y Otomí
Edomex	Polotitlán	Otomí y Mazahua
Edomex	Soyaniquilpan de Juárez	Otomí y Mazahua
Edomex	Teoloyucan	Náhuatl y Otomí
Edomex	Tlalnepantla de Baz	Náhuatl y Otomí
Edomex	Tultitlán	Náhuatl y Otomí
Querétaro	Colón	Otomí y Náhuatl
Querétaro	El Marqués	Otomí y Náhuatl
Querétaro	San Juan del Río	Otomí y Náhuatl
Querétaro	Pedro Escobedo	Otomí y Náhuatl
Querétaro	Querétaro	Otomí y Náhuatl

*El Zapoteco es un idioma originario de Oaxaca; su registro en la zona se debe a migración y no a un idioma originario.

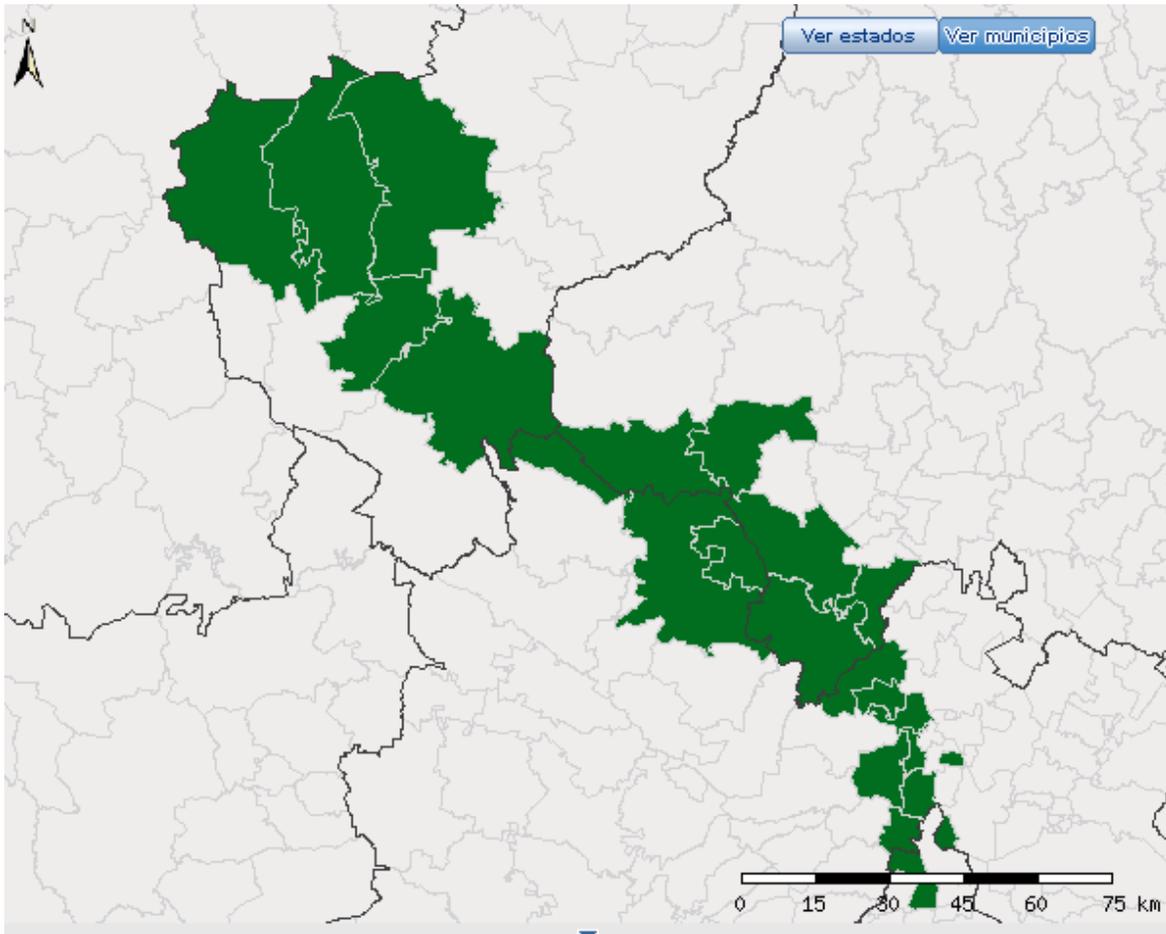


Figura 2.2. Municipios en el trazo del tren.
 Fuente: adaptado de (INEGI, n.d.).

2.4. Análisis de resultados

2.4.1. Puentes legales

Respecto a reconocer el carácter vinculante de las leyes, el principal problema es cómo instrumentar el reconocimiento de los convenios internacionales signados.

De acuerdo con la base legal establecida en la Constitución, la LGEEPA, el Convenio OIT 169 y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas, los pueblos indígenas deben ser considerados desde la fase de estudios previos para el establecimiento de los criterios de diseño y las bases operativas del proyecto, y durante la ejecución del mismo.

Una posibilidad es incluir, en cooperación, a la población indígena durante el desarrollo de la MIA pues es el instrumento legal con que cuenta el Estado para regular las afectaciones que puede ocasionar un proyecto de desarrollo. Es decir que no sólo tienen derecho a opinar en caso de que haya lugar a una consulta pública derivada de la MIA, sino que deben ser considerados, en cooperación, para la realización de la MIA; los criterios que se establezcan a través de estos mecanismos deben ser fundamentales para el proyecto de desarrollo.

Esta propuesta se fundamenta en una visión más amplia del concepto de “ambiente”, en la cual se reconozca el carácter dual del término, en tanto entorno natural y entorno social. El ambiente sería equiparado a una definición de “medio ambiente” que contempla ambos aspectos: “Sistema de factores abióticos, bióticos y socioeconómicos con los que interactúa el hombre en un proceso de adaptación, transformación y utilización de éste [sistema] para satisfacer necesidades en el proceso histórico-social” (Cubasolar, n.d.).

Una posible desventaja de incluir la participación social más amplia en el desarrollo de la MIA es que la SEMARNAT asumiría funciones de evaluación social de impactos al desarrollo de proyectos, que serían ajenos a su competencia y más propios de otras entidades como la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

2.4.2. Análisis regional y municipal

El trazo de las vías del Tren México-Querétaro no cruza directamente sobre una región indígena; sin embargo, pasa justo entre la región Mazahua-Otomí en los estados de México y Querétaro (Figura 2.3) y la región Otomí de Hidalgo y Querétaro (Figura 2.4)

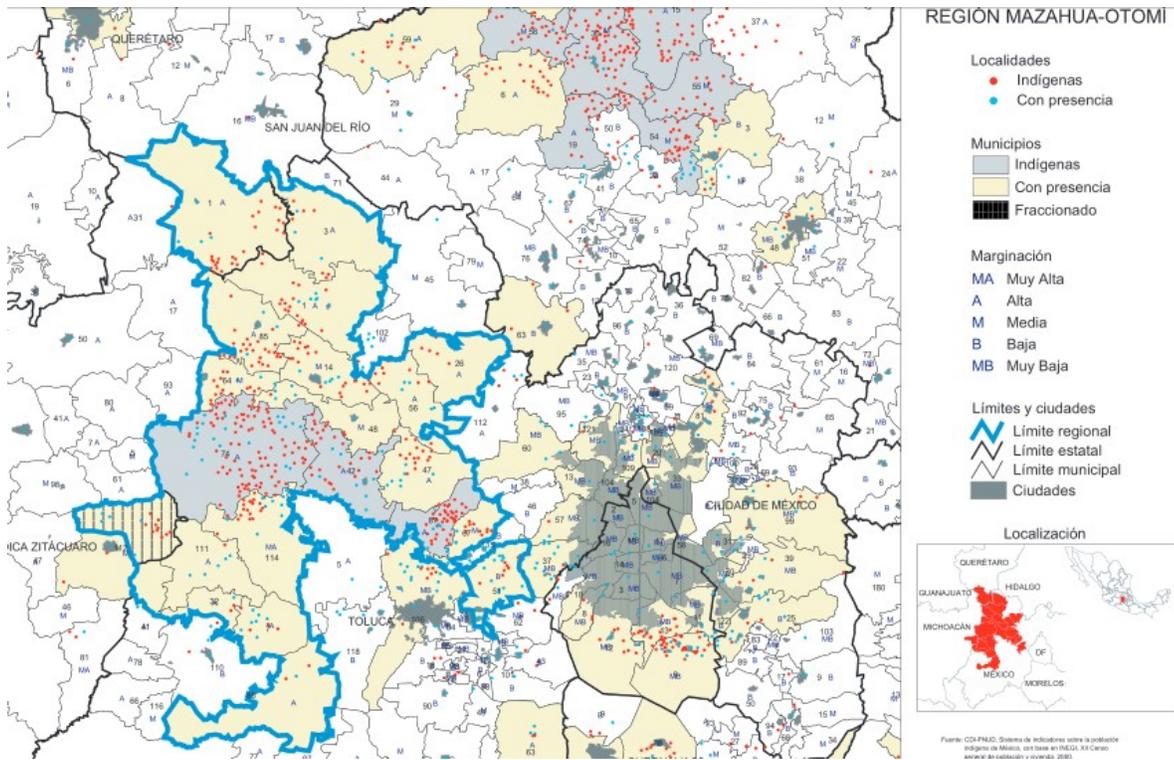


Figura 2.3. Región Mazahua-Otomí.
 Fuente: Adaptado de (CDI, 2009).

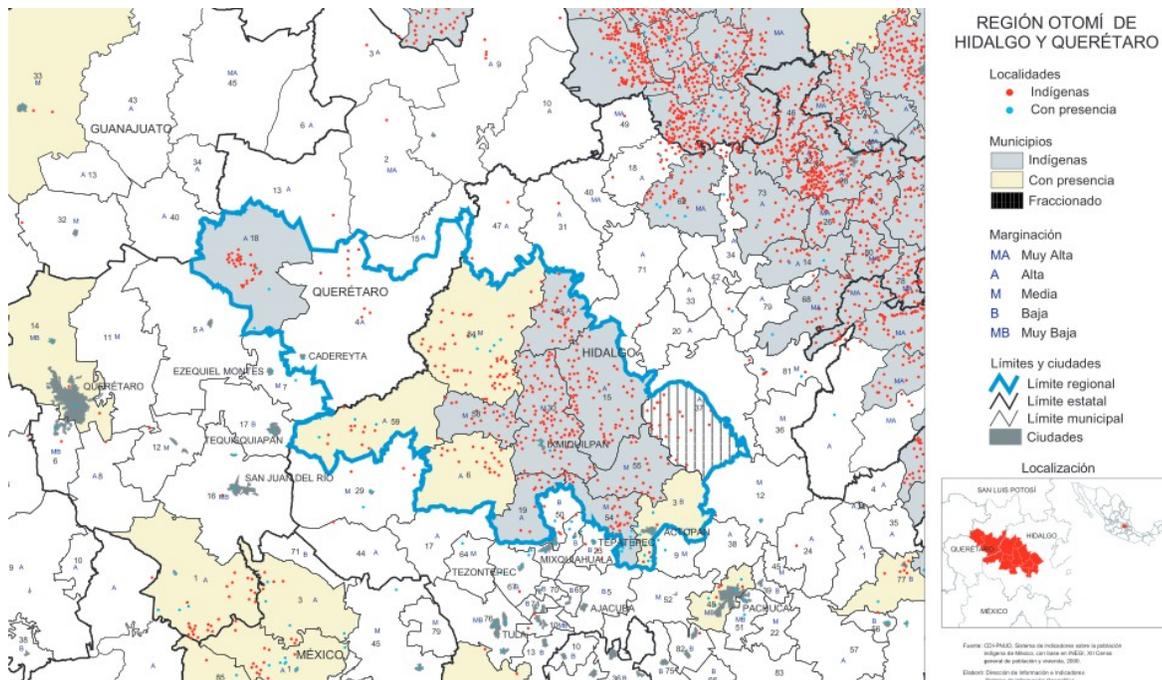


Figura 2.4. Región Otomí de Hidalgo y Querétaro.
 Fuente: Adaptado de (CDI, 2009).

Un parámetro relevante para las políticas públicas con respecto a la población indígena es el porcentaje de ésta en las localidades. De manera general hay tres rangos: poblados con menos de 40% de población indígena, entre 40% y 69% y de 70% y más.

En el trazado de las líneas no hay municipios con más de 40% de población indígena; sin embargo, en Tepeji del Río hay una localidad, San Ildefonso, con más de 70%; de 4,423 personas, 4,309 son indígenas (97.42%). En ese mismo municipio hay otras cuatro localidades con más de 40%. Si bien el promedio de la población indígena en el municipio es de 7.19% (el más alto de los municipios en el trazado del tren) y el grado de marginación es bajo, tiene zonas muy heterogéneas. Por ejemplo, hay una zona urbana con una importante actividad industrial en la localidad de Tepeji de Ocampo, en donde viven 34.151 habitantes, sólo 665 de ellos son indígenas.

Otro parámetro frecuentemente usado es considerar a poblados que tengan más de 5,000 indígenas; sin embargo, para el caso de los municipios por los que cruza el tren, los poblados que cumplen con esta característica corresponden a las manchas urbanas de la Ciudad de México y Querétaro, por lo que no se consideran como poblados indígenas, pues en ningún caso superan el 4% de la población en el municipio.

La MIA señala que el proyecto del Tren México-Querétaro representa un eje alternativo de movilidad para la población queretana, con un mayor impacto hacia la zona urbana, metropolitana y conurbada del Estado; sin embargo, se esperan inconformidades en la parte rural (SCT, 2014b):

En esta región de Querétaro también hay presencia de núcleos agrarios con el régimen de tenencia de la tierra ejidal, comunal o pequeña propiedad, por lo que se espera que existan inconformidades de los núcleos agrarios intervenidos por la compra de terrenos para el paso del ferrocarril, o en otros casos por la ampliación del derecho de vía actual (p. 509)

Para el Edomex, la MIA establece que puede haber conflictos en las zonas dedicadas a actividades agropecuarias debido a la posible presencia de terrenos de propiedad ejidal o comunal.

También estima que, en todo el territorio, el grado de aceptación social dependerá en buena medida de las gestiones que se tengan a través de instancias correspondientes y las negociaciones a las que se llegue con los dueños de los terrenos para la justa remuneración por la compra de terrenos o ampliación de derecho de vía.

Al respecto de la población hidalguense que se asienta en el Valle del Mezquital, la MIA señala que (SCT, 2014b):

Al tratarse de una región con presencia importante en el ramo agropecuario, es predecible la aparición de conflictos al igual que en el Estado de México, por la condición al paso de una vía de comunicación en terrenos con régimen ejidal, comunal o de propiedad privada por distintos núcleos agrarios.

(...) El proyecto del Tren de Pasajeros México Querétaro incluye al estado de Hidalgo que se distingue por tener una fuerte influencia de grupos indígenas, ocupa el octavo lugar en población de este tipo con 505,696 indígenas, este número representa el 23.38% del total de la población del estado (...), con más de 2.3 millones de habitantes (p. 515).

Las condiciones de la población, y en particular la indígena, son muy diferentes a las que existían cuando se desarrolló la primera vía durante el Porfiriato. Posterior a la Revolución, se ha mantenido un régimen de tenencia de la tierra más favorable para los campesinos, los indígenas y la población en general; aunque este régimen ha sufrido varias modificaciones a partir de finales de la década de los 80's que ha comprometido la propiedad ejidal y comunal.

En la actualidad existe la Ley de Expropiación, que señala los términos en los cuales la Nación puede expropiar terrenos (entre otros bienes) para el beneficio general de la población; sin embargo, el valor que se paga por la tierra en los términos de esta Ley suele ser poco competitivo y muy inferior al valor de mercado.

2.4.3. Evaluación axiológica de acuerdo con los parámetros propuestos

Propongo dos escenarios para su confrontación axiológica, por un lado asumo que durante el desarrollo del Tren México-Querétaro se encuentran los mecanismos de consulta pública y de participación social en las decisiones, lo que lleva a un escenario que llamo consultivo. Por otro lado asumo que no se encuentran los mecanismos de consulta, por lo que el gobierno actúa en pos de lograr la infraestructura al margen de los ciudadanos asentados en la zona, particularmente los indígenas, escenario que llamo centralista.

Dado que el proyecto del Tren México-Querétaro no tiene programado salir de funcionamiento, y que el fin de ciclo de un tren, desde el aspecto social, es esporádico y singular, no es factible evaluar la etapa de fin de ciclo desde el aspecto social. Por ello, la matriz de evaluación axiológica para el aspecto social sólo considera las etapas de implementación y funcionamiento (para este caso, operación) del sistema.

2.4.3.1. Escenario consultivo

Implementación

En cuanto a la etapa de implementación para el aspecto social bajo un escenario consultivo se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: Es muy probable que la escala supere el carácter municipal y regional, y sea nacional o incluso internacional, pues los diferentes intereses que confluyen en el establecimiento de un tren de alta velocidad superan a la escala local, entendida ésta como los municipios y las regiones indígenas. Dado este carácter, la propuesta de consideración a la población indígena localizada en los municipios del trazo del Tren México-Querétaro es una opción por dar mayor cabida a la escala local en un desarrollo con posible participación internacional, lo que establece un mecanismo integrador del atributo de escala.

Intensidad: Dado el referente histórico de establecimiento de vías (Calderón, 1994; Coatsworth, 1976), la intensidad social se estima como media. Lo anterior porque, durante el periodo de implementación de la tecnología, suele utilizarse de manera intensiva la mano de obra disponible; sin embargo, dada la calidad de la vía, se requiere de mano de obra especializada (Ver capítulo 4), por lo que es poco probable que se generen empleos especializados para los habitantes de las regiones por tener poco abasto de técnicos especialistas en materia ferroviaria, especialmente entre los indígenas. Es, por otro lado, probable que durante la implementación de la infraestructura se generen algunos empleos poco especializados -como peones encargados del movimiento de material- y empleos indirectos, lo que aumentaría la intensidad social.

Durante los procesos de consulta es esperable que se generen sinergias sociales, aunque sea incipientemente, lo que también aumenta la intensidad social, aunque el proceso de consulta debe ser adecuadamente gestionado para no generar conflictos dentro de las mismas comunidades.

Intencionalidad: No se detecta a priori una intencionalidad social en la implementación de la tecnología, pues no hay intención en cambiar la dinámica de la sociedad, ni algún otro parámetro. Toda vez que el territorio del trazo del Tren México-Querétaro cuenta con derechos de vía previos, la población asentada está familiarizada con este tipo de infraestructura. Por ello, sería inadecuado decir que hay una intencionalidad social desde el ámbito regional para la etapa de implementación del Tren México-Querétaro.

Hay un aspecto que pudiera implicar una intencionalidad, y es el referente al pago de expropiaciones y tenencia de la tierra. Si no hay un pago justo por las posibles expropiaciones en el tendido de vías y liberación del derecho de vía, se podría imputar una intencionalidad de despojo a los habitantes de la región en favor de la compañía que construya y opere la infraestructura (sea pública o privada). Por otro lado, si el pago fuera justo, esta intencionalidad se vería diluida.

Algo similar puede decirse con respecto a las obras de infraestructura, como pasos peatonales y vehiculares a través del tendido, que deben ser tomadas con base en consulta y participación pública, como quedó establecido en este capítulo. De este modo, el escenario consultivo mejora el atributo de intencionalidad del desarrollo, tanto en la remuneración de terrenos, como en la realización de obras de infraestructura.

Es posible que un pago justo no signifique solamente dar más dinero por metro cuadrado, sino entender las necesidades de las personas y proponer mecanismos de satisfacción. Por ejemplo, si los terrenos son utilizados con fines recreativos se podrían hacer espacios de esparcimiento, si son utilizados como espacios de tránsito se podrían mejorar las vialidades, y así sucesivamente. Un punto a tomar en cuenta es que en el establecimiento de estos espacios u obras colaterales es adecuado incluir la participación de las comunidades, los programas sociales que han funcionado más adecuadamente son los que ponen al abasto la materia prima y el conocimiento técnico, pero las obras son llevadas a cabo por personas de la comunidad, lo que además habilita competencias dentro de la población, lo que implica una intencionalidad habilitante.

Participación: Este atributo axiológico es el más sensible a la propuesta de evaluación social establecida en el presente capítulo. Si se encuentran los mecanismos adecuados de participación social, posiblemente vía una extensión de alcance de la MIA, la participación social sería media.

En el entendido de que el Tren México-Querétaro no tiene estaciones intermedias y que no es un proyecto fundamentalmente de construcción social, la participación no se considera como alta por el proyecto en sí; sin embargo, si a través de los mecanismos de consulta se logran construir sinergias como las propuestas en el atributo de intencionalidad para este escenario, la participación social podría ser alta.

Inteligibilidad: Durante la etapa de implementación del sistema, el proceso de consulta requiere de explicaciones y sensibilización de la población, lo que genera una mayor inteligibilidad social; ésta podría ser media. No se estima una inteligibilidad alta dado que los

trenes de alta velocidad son sistemas tecnológico complejos que requieren de pericia técnica para poder interactuar con ellos y asimilarlos a nivel local.

Amigabilidad: De manera análoga con la participación, la amigabilidad del Tren México-Querétaro estará determinada por el grado de consulta a nivel local y la ausencia de daños colaterales importantes, como la expropiación de tierras de manera arbitraria o la disposición de material necesario para el tendido de vías, en detrimento de la población. Si se efectúan las consultas que marcan los acuerdos internacionales signados y se paga de manera justa por el terreno expropiado, la amigabilidad puede ser media, incluso alta, no tanto por la implementación de la tecnología, sino por posibles beneficios colaterales.

Funcionamiento

En cuanto a la etapa de funcionamiento (u operación) para el aspecto social dado un escenario consultivo se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: Para este atributo se puede establecer una contradicción, pues la escala social en la etapa de operación del sistema es nacional o internacional; sin embargo, la escala local queda excluida de la operación del sistema, en especial para el aspecto social. Al respecto, los trenes de alta velocidad tienen una concentración de interacciones relevante al rededor de las estaciones, pero una nula interacción en el espacio intermedio, lo que se conoce como “desarrollo en tubo”.

Intensidad: La intensidad social en la etapa de operación es particularmente baja, pues el Tren México-Querétaro no generaría ningún tipo de efecto que aumente los lazos sociales o la cercanía de las personas, pero tampoco se espera que los disminuya. La cantidad de personas que interactuarán con el sistema será muy baja.

Intencionalidad: A priori no se puede atribuir una intencionalidad específica al Tren México-Querétaro para el aspecto social durante la etapa de operación. Si alguna intencionalidad se puede atribuir es la de un desarrollo en tubo, que no trae beneficios a la población local, y

cuyos perjuicios dependen de la eficiencia del sistema, entendida ésta como la ausencia de efectos no planificados (Olivé, 2011, ver capítulo 1.5.2).

Participación: La participación social durante la etapa de operación será baja, si no, nula. Una vez establecido el sistema, éste formará un desarrollo en tubo, sin empleos ni beneficios sociales a la participación de las personas en la región; aunque tampoco se espera que afecte otras actividades locales que pudieran generar vínculos sociales.

Inteligibilidad: Dado que los trenes de alta velocidad son estructuras fundamentalmente cerradas, con aspectos tecnológicos especializados (capítulo 4), la inteligibilidad social regional durante la etapa de operación se estima como baja, no tanto porque la población desconozca la tecnología o su posible efecto a nivel regional, ciertamente bajo, sino porque las posibilidades de interacción con el propio sistema son también limitadas.

Amigabilidad: Durante la etapa de operación la amigabilidad del sistema dependerá de la eficacia de las barreras anti-ruido. Si las barreras anti-ruido funcionan eficazmente, la amigabilidad social del sistema será neutra; en tanto que si no logran amortiguar el ruido suficientemente, se generará una molestia para la población, lo que hará que el sistema sea poco amigable. Es posible que este atributo axiológico tenga un mejor funcionamiento si se incluye a la población en su planificación, a través de los mecanismos de consulta. No es un tema menor, el ruido es uno de los principales factores de molestia durante la operación de los trenes de alta velocidad.

2.4.3.2. Escenario centralista

Implementación

En cuanto a la etapa de implementación para el aspecto social bajo un escenario centralista se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: Bajo este escenario la escala es nacional e incluso internacional. Al no haber mecanismos de consulta, se establece una dislocación entre la escala local y la nacional-internacional.

Intensidad: Se estima una intensidad social baja a media, dado que, como quedó establecido, es poco probable que se generen empleos para los habitantes de las regiones por donde corre el trazo. El proyecto no es fundamentalmente de base social y, sin mecanismos de consulta, la intensidad social disminuye.

Intencionalidad: De igual manera que para el escenario consultivo, no se detecta a priori una intencionalidad social en la implementación de la tecnología. Con referencia al pago de expropiaciones y tenencia de la tierra, es probable que bajo un escenario centralista éstas se den a precio de catastro, es decir, muy por debajo de su valor comercial y que no haya mecanismos de compensación alternativos, por lo que se podría establecer una intencionalidad de despojo a los habitantes en favor de la compañía que construya el tren.

Participación: Dada la sensibilidad de este atributo axiológico a los mecanismos de consulta, bajo un escenario centralista se estima una participación baja; por ende, contrario a los acuerdos internacionales signados por México en materia de consulta, particularmente a la población indígena.

Inteligibilidad: Durante la etapa de implementación del sistema, la inteligibilidad social del mismo se estima como baja. Lo anterior básicamente por la misma razón que genera una participación limitada, los trenes de alta velocidad son sistemas tecnológico complejos que requieren de pericia técnica para poder interactuar con ellos y asimilarlos a nivel local.

Amigabilidad: Dado un escenario centralista, el desarrollo del Tren México-Querétaro podría ser un desarrollo tecnológico socialmente poco amigable, al generar externalidades que recaerían sobre la población del territorio del trazo, tales como el despojo de tierras, la disposición de recursos naturales de la zona para el tendido de vías y la irrupción de la

misma obra durante su proceso de implementación que representa una condición anormal en la vida cotidiana de las personas en las regiones del trazo.

Funcionamiento

En cuanto a la etapa de funcionamiento (u operación) para el aspecto social dado un escenario centralista se puede establecer que el análisis para los primeros cinco atributos axiológicos (escala, intensidad, intencionalidad, participación e inteligibilidad) queda igual al escenario consultivo, pues el proceso de consulta es, sobre todo, para la etapa de implementación. Una vez establecida la tecnología, su operación sigue un curso preestablecido que en poco varía ante un proceso de consulta. Se asume, en todo caso, que el trazo obedece a factores técnicos y no será modificado por el proceso de consulta, lo que puede modificarse es el modo como será establecido el sistema.

Amigabilidad: Como quedó establecido, durante la etapa de operación la amigabilidad del sistema dependerá de la eficacia de las barreras anti-ruido. Al no haber mecanismos de consulta, las barreras no considerarían cabalmente las necesidades de las personas, por lo que el sistema tendería a ser poco amigable.

2.4.3.3. Comparación axiológica ente un escenario consultivo y uno centralista

Un desarrollo consultivo puede comportar beneficios contra uno centralista, no sólo por el cumplimiento de acuerdos suscritos por México, sino por las opciones de desarrollo que permite a la población presente en las regiones del tendido de vías. En la etapa de implementación se puede establecer una matriz axiológica para ambas opciones y queda conforme se muestra en la tabla 2.3.

Un proceso consultivo tiene ventajas aparejadas evidentes ante uno centralista. Aunque en este ejercicio se consideran beneficios extendidos en el proceso participativo mayores a los que regularmente ocurren, de acuerdo con lo establecido en los acuerdos de los cuales México es signatario, tales beneficios no deberían ser la excepción, sino la norma. Estos beneficios no costarían mucho dinero extra, e incluso los recursos económicos para su

establecimiento podrían ser aportados por el Estado a través de mecanismos y programas actualmente existentes a través de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Lo que compromete, si acaso, es algo de tiempo necesario para generar acuerdos e infraestructura social.

Tabla 2.3. Matriz axiológica comparativa consultivo-centralista, etapa de implementación, aspecto social.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro. Aspecto Social. Etapa Implementación		
	Consultivo	Centralista
Escala	Integración de escalas nacional-internacional y regional	Nacional-Internacional. Dislocación de escala regional
Intensidad	Media. Sinergias sociales incipientes por mecanismo de consulta. Posible escala de intensidad por procesos participativos y de intencionalidad	Baja
Intencionalidad	Desarrollo social regional mediante procesos compensatorios por la pérdida de terrenos en el derecho de vía	Despojo de tierras a habitantes de la región en favor de la compañía constructora de la infraestructura
Participación	Media-alta por procesos de consulta y construcción social de espacios comunes compensatorios	Baja por ausencia de empleos excepto unos cuantos de baja especialización
Inteligibilidad	Media por sensibilización de la comunidad mediante procesos de consulta	Baja debido a que los trenes de alta velocidad son sistemas complejos que requieren pericia técnica para interactuar con ellos
Amigabilidad	Media-alta debido a la construcción social y posibles beneficios colaterales	Baja debido a externalidades como expropiación, uso de recursos naturales y alteraciones en la dinámica social durante la implementación de la infraestructura

Fuente. Elaboración propia

En la etapa de funcionamiento un proceso consultivo ofrece posibles beneficios sobre un centralista en el atributo axiológico de amigabilidad, debido a que las barreras anti-ruido pueden tener un efecto más eficaz si se comprenden las necesidades de la población. El efecto del ruido es uno de los principales inconvenientes operativos de un tren de alta velocidad para las poblaciones aledañas a las vías. Por mejor diseñadas e instaladas que estén las barreras anti-ruido, siempre habrá ruido remanente; sin embargo, con procesos consultivos y participativos la sociedad puede tomar precauciones, colaborar en la mitigación del ruido y llevar los niveles, no sólo a lo permitido por la normativa, sino a algo integrable a la vida cotidiana.

2.5. Conclusiones particulares al capítulo 2

Históricamente en México el desarrollo del tren ha entrado en conflicto con las necesidades, usos y costumbres de los pueblos indígenas; para evitar que esto vuelva a actualizarse es necesario considerar las características de la población indígena asentada en el territorio por el que se proyecte un desarrollo ferroviario.

La vía proyectada para el Tren México-Querétaro corre en su mayoría sobre un territorio con presencia previa de un desarrollo ferroviario, por lo que las afectaciones sociales no son significativas. Las afectaciones sociales principales en los grupos indígenas fueron hechas durante el tendido de la primera vía en la región durante el Porfiriato, periodo en el que, de hecho, hubieron guerras en la región por conflictos ligados a la ocupación del territorio para el tendido de vías y otras actividades relacionadas con el movimiento de carga que el tren permitió.

Para el caso de Tepeji del Río, al tener localidades con presencia indígena mayor al 70%, es conveniente considerar cuidadosamente el trazado de vías en el municipio. En caso de cruzar por alguna localidad indígena, en especial San Ildefonso, puede haber lugar a trabajos sociales de participación indígena como los que plantean el Convenio 169 de la Organización

Internacional del Trabajo y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas.

En el trazado de vías del Tren México-Querétaro no hay regiones indígenas, pero el tren pasará muy cerca de dos, particularmente de la región Mazahua-Otomí, por lo que se recomienda realizar un estudio más extenso sobre las posibles afectaciones a esta región. Es esperable que, al haber un desarrollo ferroviario previo, se haya dado lugar a mecanismos de adaptación que mejoren la resiliencia de la población indígena ante el desarrollo propuesto.

La línea proyectada tiene sólo dos estaciones, las de origen y destino. No es motivo del presente trabajo abordar los efectos que puede tener el desarrollo en tubo dentro de los territorios por los que pasa la vía, pero es recomendable extender un estudio al respecto.

De acuerdo con los parámetros propuestos de porcentaje de población indígena en las localidades y poblados con más de 5,000 indígenas, la vía proyectada para el Tren México-Querétaro tiene un trazo adecuado, pues se consideró afectar lo menos posible a la población en general, y a la indígena en particular.

Para evitar inconformidades sociales, se recomienda dar un pago a precio comercial por los terrenos que haya que expropiar para realizar la obra, en vez de un precio conforme al catastro que suele ser muy inferior al comercial, pues es un punto de posible conflicto identificado en la MIA.

Hace falta una discusión más amplia para encontrar los mecanismos adecuados de consulta pública e inclusión de la población indígena en los mecanismos de planificación de desarrollos tecnológicos. Una primer propuesta es aprovechar las MIAs para este fin, pues son el instrumento con el que cuenta el gobierno para regular los desarrollos tecnológicos; sin embargo, puede ser que la extensión a aspectos sociales diluya la importancia que estas Manifestaciones han tenido en cuanto a la regulación de impactos al entorno natural.

Se puede concluir que los parámetros propuestos de población indígena: regiones indígenas, porcentaje de población indígena en las localidades y poblados con más de 5,000 indígenas; y territorio con base en análisis a nivel municipio y localidad, son viables como patrones de evaluación de proyectos tecnológicos, en particular para vías generales de comunicación. De acuerdo con la información integrable que se dispone en INEGI y en CDI se pueden realizar estudios previos a los desarrollos tecnológicos y, con base en los resultados, resolver si es necesario efectuar estudios conjuntos con la población indígena a fin de dar cabal cumplimiento a los acuerdos internacionales.

Axiológicamente la implementación del Tren México-Querétaro tiene una diferencia sensible si se cuenta con un mecanismo adecuado de participación social durante la fase de implementación. La escala nacional-internacional se armoniza con la regional, a pesar de presentar una pobre participación de los habitantes de las localidades ubicadas en el trazo, particularmente las indígenas.

La intensidad social es muy baja en un escenario centralista, pero mejora bajo uno consultivo, al igual que la participación de las comunidades, que mejora conforme se integren mecanismos de consulta como los aquí propuestos.

No se percibe intencionalidad a priori, aunque si la expropiación de terrenos necesarios no es bien remunerada, habría una intencionalidad de despojo a los pobladores en favor de la compañía que construya y opere el Tren México-Querétaro; si se lleva a cabo un proceso consultivo bien instrumentado, la intencionalidad puede cambiar hacia un desarrollo social regional mediante procesos compensatorios.

La inteligibilidad es baja, debido a las escasas posibilidades de interacción que los pobladores tendrían con el sistema técnico. Por último la amigabilidad durante la etapa de operación se vería comprometida por el ruido que los trenes de alta velocidad generan; para mejorar este atributo axiológico es necesaria una barrera anti-ruido que funcione eficazmente, para lo que es conveniente considerar lo que la población aledaña a las vías puede necesitar y aportar.

3. Evaluación de aspectos económicos sobre la propuesta del Tren México-Querétaro

3.1. Introducción

Actualmente se evalúan las inversiones con instrumentos puramente crematísticos como el ROI, el plazo de recuperación de inversión, la TIR, el VPN, etc., lo que implica una racionalidad costo-beneficio con criterios estrechos del retorno sobre la inversión y una visión económica reducida al ámbito de lo financiero (Linares, 2008). Sin dejar de considerar estos parámetros, hay teorías económicas diferentes a la clásica, que consideran una evaluación integral de la economía como el modo de satisfacer las necesidades humanas; dichas visiones van más allá de la simple economía de mercado y las razones crematísticas, ponen énfasis en la evaluación del capital ampliado y en la internalización de externalidades para evitar dinámicas económicas lesivas a una parte de la humanidad (Cendra y Stahel, 2006). Algunas de esas visiones han sido planteadas en el marco teórico. Axiológicamente, como señala Olivé (2011), los diferentes modos de evaluación obedecen a racionalidades diferentes.

Los trenes requieren de una infraestructura onerosa. Dicha infraestructura ha sido históricamente subsidiada por el gobierno; por ejemplo, para el establecimiento de la primera red de ferrocarriles en México, diferentes gobiernos del siglo XIX tuvieron que ofrecer subsidios hasta por 3/4 del valor total de las obras, conceder, además, la concesión perpetua de la explotación de la línea a las compañías constructoras, para posteriormente terminar rescatando las líneas que quebraron en 1908 (Coatsworth, 1976). En muchas ocasiones se ha necesitado de la concurrencia de capitales de la iniciativa privada y los subsidios gubernamentales. A pesar de lo oneroso de la obra, históricamente se ha asumido que los trenes de pasajeros traen aparejados ahorros sociales en términos de tiempo y dinero que hacen que la inversión valga la pena desde el punto de vista de los usuarios y los beneficios sociales asociados.

La concurrencia de capitales públicos y privados ha generado la coexistencia de dos racionalidades diferentes, muchas veces con intereses diversos. La lógica de lo público es de naturaleza diferente que la de lo privado (Wallerstein, 1988), pues en tanto lo privado se mueve bajo una racionalidad de costo-beneficio crematístico, la racionalidad de lo público se puede encaminar a otras funciones sociales, como la redistribución, la nivelación, el aumento en la calidad de vida, entre otras.

En la evaluación económica de los trenes se tienen expectativas de retorno sobre la inversión, con ciertas garantías de que, si el negocio no marcha bien, el gobierno hará concesiones a los inversionistas para garantizar la inversión. Por ejemplo, el tren suburbano que corre de Buenavista a Cuautitlán gozó de una extensión del tiempo de concesión y el alcance territorial, dado el bajo retorno sobre la inversión que tenía (SCT, 2012: libro blanco). Hay otras razones económicas para garantizar los trenes, como los ahorros sociales aparejados en términos de tiempo y dinero de los viajeros. También hay otras razones para evaluar en extenso los costos que trae la obra, como las externalidades ecológicas y sociales.

Para este capítulo tomo como base de análisis los planteamientos de Gilberto Gallopin. De acuerdo con lo establecido en el capítulo de “Sostenibilidad”, la finalidad que debe perseguir la economía es un desarrollo socioecológico sostenible, lo que implica un aumento en la calidad de vida de las personas dentro de una sociedad y un mantenimiento de la resiliencia medioambiental, que permita tener ecosistemas sanos (Gallopin, 2003).

De acuerdo con Gallopin (2003) el desarrollo no necesariamente implica crecimiento económico, y el crecimiento económico no necesariamente implica un aumento en la demanda de recursos materiales. Desde esa perspectiva, se puede establecer dos ejes de análisis para las actividades económicas: la calidad de vida de las personas, y la demanda de recursos materiales; como otro eje derivado está el crecimiento económico.

Así, de acuerdo con Gallopín (2003) un sistema que tienda a la sostenibilidad mejorará la calidad de vida de las personas sin aumentar la demanda de recursos materiales; mientras

que en un sistema de desarrollo viciado tenderá a decrecer la calidad de vida de las personas y a aumentar la demanda de recursos materiales. Hay sistemas de no-desarrollo cuando ni crece la economía ni mejora la calidad de vida; generalmente se ha concebido como desarrollo a la combinación de una calidad de vida cada vez mejor con crecimiento económico material; sin embargo, puede haber una mejora en la calidad de vida sin crecimiento económico material a través de un crecimiento económico no material, procesos de crecimiento económico cero, o incluso decrecimiento económico. En palabras de Gallopin (2006):

Un proceso de cambio puede ser sostenible o no sostenible; por ejemplo, un proceso de crecimiento continuado del consumo material no es sostenible a largo plazo en un mundo finito, pero un proceso de desarrollo definido en términos del mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos puede ser sostenible si se centra en el despliegue de las potencialidades humanas sociales, culturales, y psicológicas (una vez alcanzado un umbral aceptable de consumo material).

Para Gallopin -tal como para Amartya Sen (2004)- la calidad de vida implica la posibilidad del despliegue de las potencialidades humanas; a la par -tal como para Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn (1998)- implica la satisfacción de las necesidades humanas y el establecimiento de umbrales mínimos y máximos de consumo material.

De acuerdo con Gallopin (2003):

Incluso teniendo presente el cambio tecnológico acelerado, en un planeta finito, se deberá alcanzar un nivel básico sostenible de consumo material per cápita. Una manera razonable de hacerlo entrañaría aumentar el consumo material de los miles de millones de personas que actualmente viven en la pobreza y a la vez que se reduce el exceso de consumo de la minoría rica. Asimismo, eventualmente la población mundial tendrá que estabilizarse.

Por otra parte, dado que el Tren México-Querétaro implica la inversión de dinero público a través de subsidios y fondos, es conveniente establecer un parámetro de análisis de la

inversión hacia los beneficios sociales más allá de lo crematístico. Para ello resulta útil retomar los planteamientos de Wallerstein (1988) sobre las palancas de cambio y ajuste político con que cuenta el estado para dirigir la vida pública y permitir la distribución o acumulación de beneficios.

De acuerdo con Wallerstein (1988) el control estatal ha sido la palanca de ajuste político más efectiva para favorecer a diversos grupos en el capitalismo; el estado ejerce su poder a través de tres elementos: la jurisdicción territorial, el control normativo y la capacidad impositiva. Al respecto de este último elemento, un estado tiene a su disposición una gran cantidad de dinero obtenida a través de su estructura impositiva, el proceso de obtención y la aplicación de este dinero en uno u otro proyecto determina de hecho la política del gobierno y su visión sobre la relación entre los diversos actores sociales, históricamente “La capacidad impositiva era uno de los medios más inmediatos por los que el Estado ayudaba directamente al proceso de acumulación de capital anteponiendo unos grupos a otros” (Wallerstein, 1988, p. 43). El autor apunta que la redistribución ha actuado más como un mecanismo para polarizar la distribución que para hacer que converjan los ingresos reales a través de tres mecanismos: subvenciones oficiales, malversaciones de fondos públicos y la individualización de ganancias para la socialización de riesgos.

Así, con base en los números que se obtienen en el presente capítulo y con fundamento en los planteamientos de Gallopin y Wallerstein, se puede hacer un análisis de si el Tren México-Querétaro representa un proyecto que conlleva beneficios sociales y abona a la redistribución y convergencia de ingresos, o uno que genera más polarización y privatización de beneficios.

De acuerdo con diversos autores (Wallerstein, 1988; Linares, 2008; Leff, 2010; Olivé, 2011), la lógica de lo público es de naturaleza diferente que la de lo privado, pues en tanto lo privado se mueve bajo una racionalidad de costo-beneficio crematístico, la racionalidad de lo público se puede encaminar a otras funciones sociales, como la redistribución, la nivelación, el aumento en la calidad de vida, entre otras. En los gobiernos neoliberales lo público es

evaluado desde la racionalidad de lo privado, lo que ha provocado una concentración enorme de recursos y una privatización de beneficios a costa de una socialización de los costos

3.2. Metodología

Para el caso del Tren México-Querétaro, planteo una evaluación de parámetros económicos que se sustenta en la evaluación de la inversión a través del retorno sobre la inversión, la tasa interna de retorno (TIR), el periodo de recuperación de la inversión y el punto de equilibrio del proyecto; establezco la necesidad de apoyo gubernamental a la inversión y determino los posibles beneficios adicionales en cuanto a creación de empleos, reducción de tiempo de transporte y disminución de accidentes. Con base en los planteamientos de Gallopin (2003) y Wallerstein (1988) analizo la inversión desde el punto de vista de satisfacción de necesidades y acumulación de beneficios. Por último, realizo una evaluación axiológica de los procesos económicos aparejados al desarrollo del Tren México- Querétaro con base en la matriz de evaluación propuesta en el entorno teórico.

3.3. Evaluación de parámetros tradicionales: ROI, TIR, punto de equilibrio

Para evaluar integralmente los parámetros económicos del desarrollo del Tren México-Querétaro es necesario realizar los cálculos básicos tradicionales, es decir, el retorno sobre la inversión (ROI por sus siglas en inglés), la tasa interna de retorno (TIR), el plazo de recuperación de la inversión y el punto de equilibrio operativo del proyecto. Con estos cálculos se puede determinar la necesidad de subsidio que tendrá el proyecto por parte del Gobierno Federal, o de alguna otra fuente.

Para los cálculos de esta sección se toman en cuenta tres fuentes diferentes de información, los estimados que aparecen en la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA; SCT, 2014b), el análisis de costo beneficio realizado por Modelística (2014) y las cifras que presentó el

consorcio ganador de la primera licitación, posteriormente cancelada (SCT, 2014a, o sea el Fallo).

Debido a que algunos datos esenciales discrepan sensiblemente, realizo los cálculos para cuatro escenarios diferentes, en uno considero una afluencia de 11,200 pasajeros al día y un costo de la obra de 40,767.54 millones de pesos mexicanos (mdp) más IVA, que son los datos básicos contenidos en la MIA (SCT, 2014b); para este escenario considero que no hay restricciones en cuanto al precio del boleto. En el segundo escenario considero una afluencia de 22,700 pasajeros al día y un costo de la obra de 50,820 mdp más IVA, que son los datos básicos contenidos en el análisis de costo beneficio y la licitación cancelada (Modelística, 2014; SCT, 2014a); para este escenario considero que no hay restricciones en cuanto al precio del boleto. En el tercer escenario considero los mismos supuestos que para el primer escenario, pero con restricciones en cuanto al precio del boleto. Para el cuarto escenario considero los mismos supuestos que para el segundo escenario, pero con restricciones en cuanto al precio del boleto.

3.3.1. Escenario 1

Para los cálculos del retorno sobre la inversión, el plazo de recuperación de inversión, la TIR y el punto de equilibrio se considera un plazo de 20 años, a fin de que sea comparable con el escenario 2. A diferencia del escenario 2, el financiamiento del escenario 1 es por aportaciones no recuperables del gobierno federal, por lo que la tasa de interés se considera de 0.00%.

De acuerdo con la MIA (SCT, 2014b) el proyecto está bajo el esquema de licitación de obra pública federal. La inversión estimada como anteproyecto es de 40,767.54 mdp (el documento no especifica si el monto es neto o bruto, se asume lo primero), 47,290.35 mdp con IVA. La MIA contiene una tabla que refleja un estimado de monto y origen del financiamiento (tabla 3.1).

El hecho de que sea una obra pública federal implica que será financiada por el gobierno a través de diferentes fuentes, todas públicas, tal cual se ve en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Monto y origen del financiamiento del proyecto.

Componentes	Fuentes de financiamiento	Inversión (mdp)				
		2013	2014	2015	2016	2017
TOTAL		3,235.0	5,139.2	11,900.0	16,451.9	4,041.5
Obra Civil	Total	2,621.3	4,194.1	9,930.2	11,426.0	3,130.2
	Fiscal	1,821.3	2,914.1	6,899.6	7,938.9	2,174.9
	FONADIN*	607.1	971.4	2,299.9	2,646.3	725.0
	Estatad	192.9	308.6	730.7	840.8	230.3
	Privado	-	-	-	-	-
Instalaciones Ferroviarias	Total	0.0	0.0	764.0	3,820.1	509.4
	Fiscal	0.0	0.0	530.9	2,654.3	353.9
	FONADIN*	0.0	0.0	177.0	884.8	118.0
	Estatad	0.0	0.0	56.2	281.1	37.5
	Privado	-	-	-	-	-
Material Móvil	Total	401.9	803.8	1,205.8	1,205.8	401.9
	Fiscal	279.3	558.5	837.8	837.8	279.3
	FONADIN*	93.1	186.2	279.3	279.3	93.1
	Estatad	29.6	59.2	88.7	88.7	29.6
	Privado	-	-	-	-	-
Derecho de vía	Total	211.8	141.2	0.0	0.0	0.0
	Fiscal	147.2	98.1	0.0	0.0	0.0
	FONADIN*	49.1	32.7	0.0	0.0	0.0
	Estatad	15.6	10.4	0.0	0.0	0.0
	Privado	-	-	-	-	-

Fuente: SCT, 2014b, p. 24.

- * FONADIN: Fondo Nacional de Infraestructura.

Los costos de operación y mantenimiento que considero para este escenario son los que establece Modelística (2014) en el Análisis de costo-beneficio. En promedio, durante los primeros 30 años, los costos de operación y mantenimiento por año son de 1,668.68 mdp, de

los cuales 717.07 son de mantenimiento (412.07 de material rodante y 305 de infraestructura) y 951.61 son de operación. Para salir de punto de equilibrio, el proyecto debe ingresar 3,547.12 mdp al año, con un plazo de recuperación de inversión de 20 años y una TIR de 5% anual.

La afluencia estimada por la MIA es de 11,200 pasajeros diarios, es decir, 336,000 al mes, 4,088,000 al año. Para salir de punto de equilibrio el costo del viaje sencillo debe ser de 867.69 pesos más IVA de 16%, o sea, 1,006.52 pesos.

3.3.2. Escenario 2

La obra fue licitada a mediados de octubre de 2014. Resultó ganador el único grupo que se presentó a la licitación, un consorcio encabezado por la empresa China Railway Construction, junto con otras cuatro empresas, algunas de ellas mexicanas. Otras 16 empresas entregaron cartas de disculpa, pues no lograron integrar una propuesta competitiva en tiempo y forma. Después de un cuestionamiento por parte de grupos empresariales y medios de comunicación, sobre todo con respecto al tiempo que se dio para presentar propuestas, a inicios de noviembre el Presidente de la República decidió cancelar la licitación. Debido a un recorte en el presupuesto derivado de la baja en los precios del petróleo, para el año 2015 el gobierno federal decidió no licitar la obra como una medida de ajuste presupuestal.

La licitación ganadora posteriormente cancelada presupuestó el proyecto en 50,820 mdp sin IVA, de los cuales 43,096 corresponden al costo de la obra (49,991.36 con IVA) y 7,723 son para la operación y mantenimiento de los primeros cinco años (8,958.68 con IVA). El consorcio había conseguido un financiamiento por parte del Banco de Exportaciones e Importaciones de China (China Exim Bank), que financiaría el 85% del monto total, con un plazo de recuperación de 20 años, 2.5 años de gracia y una tasa de interés fija de 3.22% anual (SCT, 2014a). Estos datos son cercanos a los estimados por Modelística, en el Análisis de costo beneficio (Modelística, 2014) establece un costo de inversión de 37,568.77 mdp, lo que incluye, entre otras cosas no especificadas, infraestructura (24,248.76 mdp), vía

(3,936.88 mdp), electrificación (1,980.35 mdp), seguridad y telecomunicaciones (3,030.58 mdp) y, material rodante (4,019.20 mdp), todo más IVA; 43,579.69 mdp con IVA.

Los 2.5 años de gracia es el tiempo que se tardaría la obra en estar lista para dar servicio, por lo que el proyecto carecería de ingresos por explotación y es esperable que no haya pago de deuda, pero sí aplicación de intereses. Si se asume que el financiamiento se requiere de manera lineal durante la etapa de construcción y que el banco chino financiaría el 100% del costo de la obra -que equivale aprox al 85% del costo del proyecto cotizado-, los primeros dos años y medio había un flujo de recursos mensuales de 1,436,533,333 pesos por parte del banco chino. La deuda contraída con el banco chino al final del periodo de gracia incluyendo intereses ascendería a 44,935,814,336 pesos, a ser pagados en 20 años.

Los costos de operación y mantenimiento, de acuerdo con la licitación, serían de aprox. 128.7 mdp al mes (1,544.4 mdp al año). Para saldar la deuda en 20 años, se tendría que solventar un servicio de deuda de aprox. 254.2 mdp al mes (3,050.4 mdp al año). Para salir de punto de equilibrio el proyecto debería generar, en su etapa de operación, aprox. 382.9 mdp al mes, es decir, 4,594.8 mdp al año. El plazo de recuperación de la inversión sería de 20 años (mismos que dura el crédito), la TIR es de 7.08% anual. Durante los primeros 20 años de operación, el proyecto carece de utilidades, pues el total de ingresos se irían a pagar los costos de operación y el servicio de la deuda.

La afluencia de pasajeros estimada por el análisis de costo-beneficio con base en la cual se realizó la propuesta de licitación es de 22,700 diarios, es decir, 681,000 pasajeros al mes, 8,285,500 pasajeros al año. Para salir de punto de equilibrio, el costo del viaje sencillo debe ser de 555 pesos más IVA de 16%, o sea, 644 pesos.

3.3.3. Escenario 3

Para el cálculo del precio máximo pagable por los viajeros se considera que los 11,200 pasajeros por día pertenecen a los sectores que viajan en automóvil propio o en autobús de

primera clase o de lujo, pues estos sectores son los más sensibles al ahorro social que representa una reducción en el tiempo de viaje.

La tarifa de autobús entre México y Querétaro (actualizada al 28 de febrero de 2015, con IVA) en servicio de primera clase es de \$265.00 pesos el viaje sencillo, en servicio de lujo es de \$320.00 el viaje sencillo; el tiempo de traslado es de 210 minutos. El trayecto en automóvil tiene un costo de \$340.00 pesos, de los cuales \$140.00 son por dos casetas (Tepetzotlán y Palmilla, cada una de \$70.00) y \$200.00 de gasolina a un rendimiento medio de 15 km por litro. La ocupación media por automóvil se estima en 1.7 personas (Modelística, 2014; FES, 2001), por lo que el costo ponderado por persona-trayecto en automóvil es de \$200.00; el tiempo de traslado se estima en 180 minutos.

El Tren México-Querétaro es un proyecto de alta velocidad, con material rodante de 300 km/h; su trazo es de 212 km, el tiempo de recorrido estimado es de 62 min. La diferencia en el tiempo de traslado por pasajero-trayecto para autobús es de 148 minutos; la diferencia en tiempo de traslado por pasajero-trayecto para automóvil es de 118 minutos.

El valor del tiempo para los viajeros de la ruta México-Querétaro se estima en 43.32 pesos por hora (Modelística 2014). Para este escenario se estima que el Tren México-Querétaro sustituirá la circulación de 11,200 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil y autobús en una proporción de 58.12% y 41.88% respectivamente, es decir, 6,510 pasajeros-automóvil y 4,690 pasajeros-autobús (ver Capítulo 5). La diferencia en tiempo promedio por pasajero considerando el porcentaje de sustitución de automóvil y autobús es de 130.56 minutos. El ahorro social promedio por pasajero, medido como el tiempo ahorrado multiplicado por el valor del tiempo (Coatsworth, 1976), es de 94.27 pesos. Si se toma en cuenta sólo el factor del tiempo, este sería el sobreprecio máximo que las personas estarían dispuestas a pagar por ir en un tren de alta velocidad. Anualmente el ahorro social es de 385.36 mdp, y 370,652.5 días-persona.

De acuerdo con el ahorro social calculado, los viajeros de primera clase estarían dispuestos a pagar \$359.27 por trayecto; los viajeros de autobús de lujo estarían dispuestos a pagar

hasta \$ 414.24 por trayecto; Si se considera que una proporción de los viajeros que se mueven en automóvil van solos, éstos estarían dispuestos a pagar hasta \$434.24 por trayecto. Un buen estimado de precio para generar la demanda esperada es de \$400.00 por pasajero-trayecto con IVA.

De acuerdo con los cálculos de Modelística (2014), tomando como base una tarifa de 300 pesos por pasajero-trayecto, la demanda estimada teórica media es de 25,511 pasajeros diario para los primeros 20 años; un aumento de 20% en la tarifa, a 360 pesos, conllevaría una reducción en la demanda a 16,170 pasajeros diario; una disminución en la tarifa de 20%, a 240 pesos, conllevaría un aumento en la demanda a 31,474 pasajeros diario. El cálculo de \$400.00 por pasajero-trayecto para una demanda de 11,200 resulta consistente con los cálculos de Modelística.

Al año la afluencia estimada en este escenario es de 4,088,000 pasajeros-trayecto; con un costo por boleto de \$400.00, dan unos ingresos anuales de 1,635.2 mdp con IVA

La MIA (SCT, 2014b) establece un costo de inversión de 47,290.35 mdp con IVA. Los costos de operación y mantenimiento por año son de 1,668.68 mdp netos, es decir, 1,935.67 mdp con IVA.

Con la tarifa establecida de \$400.00 por trayecto y la afluencia estimada, para cubrir los costos de operación y mantenimiento es necesario un subsidio anual de 300 mdp, por lo que el proyecto resulta deficitario, no se recupera la inversión, y es necesario un desembolso del erario público cada año para mantener la línea en operación. Si se descuenta el subsidio del ahorro social, resulta en un ahorro social neto de 85.36 mdp al año, lo que es marginal dado el monto de la inversión. Después de 20 años de operación, el proyecto le habrá costado al erario público 53,290.35 mdp.

Si se considera al ahorro social como un retorno sobre la inversión del costo del proyecto, se puede proponer una TIR social, que para este escenario es de 0.88%.

3.3.4. Escenario 4

Con base en los datos calculados para el escenario 3, la diferencia en tiempo promedio por pasajero considerando el porcentaje de sustitución de automóvil y autobús es de 130.56 minutos; el ahorro social promedio por pasajero es de 94.27 pesos. La demanda estimada para este escenario es de 22,700 pasajeros diarios, es decir, 8,285,500 pasajeros al año. El ahorro social anual es de 781.04 mdp, 751,233 días-persona.

A pesar de la elasticidad por precio, se asume que un precio de \$400.00 por trayecto sigue siendo atractivo como para generar la demanda estimada; por lo que los ingresos anuales del proyecto ascienden a 3,314.2 mdp.

Para este escenario se consideran las mismas condiciones crediticias y de costos que para el escenario 2, por lo que, para saldar la deuda en 20 años, se tendría que solventar un servicio de deuda de aprox. 254.2 mdp al mes (3,050.4 mdp al año); los costos de operación y mantenimiento ascienden a 128.7 mdp al mes (1,544.4 mdp al año). Para salir de punto de equilibrio el proyecto debe generar, en su etapa de operación, aprox. 382.9 mdp al mes, es decir, 4,594.8 mdp al año (mdpa).

Tabla 3.2. Cuadro resumen de escenarios de inversión a 20 años.

Escenario	Inversión mdp	Pasajeros / día	\$ trayecto *	Utilidades mdpa**	TIR anual	Ahorro social mdpa ***	TIR social anual	Beneficio agregado mdpa ****
1	47,290.35	11,200	1,006.52	0.00	5%	385.36	0.88%	385.36
2	49,991.36	22,700	644.00	0.00	5%	781.04	1.32%	781.04
3	47,290.35	11,200	400.00	(300.00)	NA	385.36	0.88%	85.36
4	49,991.36	22,700	400.00	(1,280.60)	3.54%	781.04	1.32%	(499.56)

Elaboración propia.

* Se considera un plazo de recuperación de inversión de 20 años. IVA incluido.

** Para los primeros 20 años.

*** Tiempo total ahorrado por traslado x precio promedio hora persona.

**** Suma de utilidades + ahorro social.

Al comparar los ingresos anuales contra los necesarios para salir de punto de equilibrio, el proyecto resulta deficitario en 1,280.60 mdp al año durante los primeros 20 años, es decir,

costará al erario público un total de 25,612 mdp. Después de ese tiempo, una vez saldada la deuda con el Banco de Exportaciones e Importaciones de China, el proyecto generará utilidades por 1,769.8 mdp al año; por lo que tomará otros 14.5 años para recuperar el gasto al erario público. El plazo de recuperación de la inversión es de 34.5 años, la TIR es de 3.54% anual.

Si se considera al ahorro social como un retorno sobre la inversión del costo del proyecto, se puede proponer una TIR social, que para este escenario es de 1.32%.

3.4. Otros parámetros

3.4.1. Empleos

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2014a) el Tren México-Querétaro generaría 20,000 empleos directos y 40,000 indirectos en su etapa de construcción (3 años). Una vez construido, ofrecería empleo a 3,000 técnicos especializados.

Se puede asumir que la mayoría de los trabajos creados en la etapa de construcción serían de baja calificación: obreros y peones, ya que, de acuerdo con declaraciones del consorcio que participó en la licitación cancelada, el trabajo de mayor contenido tecnológico -diseño, supervisión y proveeduría de material rodante, equipos electromecánicos y sistemas- sería realizado en el extranjero; mientras que la obra civil sería realizada por mexicanos (Cabrera, 2014). Según INEGI (2014) las remuneraciones promedio mensuales en términos reales en las empresas de construcción son de aprox. 6,805.25 pesos. La etapa de construcción se ejecutaría en 36 meses, por lo que se puede estimar una derrama económica directa de 4,899.78 mdp en tres años.

Durante la etapa de operación generaría una derrama por empleos técnicos especializados de 40,831,500 pesos al mes, si se asume que un técnico especializado gana lo doble que un peón; para un total anual de 489.98 mdp.

3.4.2. Beneficios indirectos en tiempo por el descongestionamiento de la salida a Querétaro

De acuerdo con Modelística (2014: 132), al llevar a cabo el proyecto de Tren México-Querétaro, la zona norte de la ciudad de México tendrá beneficios colaterales por la descongestión de la autopista México-Querétaro y las arterias que a ella conducen. En el norte de la ciudad de México se ubica una importante zona industrial que se extiende en los municipios de Tlalnepantla, Cuautitlán y Atizapán en el Estado de México, y la zona de Vallejo en el D.F.; en esta zona. Modelística (2014) estima que con el proyecto la velocidad promedio de los vehículos de carga aumentará de 15 km/h a 19 km/h, con un ahorro de 1.1 pesos/vehículo/km; la longitud del tramo con mayor carga, Tepetzotlán-Zona norte, es de 14 km, la cantidad de camiones de carga que circulan por la carretera México-Querétaro es de 16,483 unidades diarias (Ruiz-Esparza, 2013); el ahorro estimado es de 253,838.2 pesos diarios; 92.65 mdpa.

Modelística (2014) estima un beneficio en tiempo de viaje para los usuarios de la autopista hacia Querétaro de 18 min. debido a la descongestión de la zona norte de la Ciudad de México y de la propia carretera. El total de afluencia vehicular diaria en la autopista México-Querétaro es de 50,695 (Ruiz-Esparza, 2013); la reducción vehicular que estima Modelística es de 12,000 vehículos (bajo un escenario de 22,700 viajeros diarios en el tren México-Querétaro), por lo que circularían 38,695 vehículos diarios en la autopista, con aprox. 455,886 pasajeros. Bajo esas condiciones hay un ahorro social de 136,766 horas diarias, 5,924,700.91 pesos diarios; 2,162.52 mdpa.

El ahorro total estimado por la descongestión vial de la zona norte de la Ciudad de México es de 2,255.17 mdpa.

3.4.3. Reducción de accidentes

De acuerdo con Cuevas y colaboradores (2014), la autopista México-Querétaro es la segunda por el número de accidentes, sólo detrás de la de Puebla-Córdoba; en el 2012

ocurrieron 448 accidentes, 246 de ellos con víctimas, 85 de ellas murieron; los daños materiales ascendieron a 38.88 mdp. Si se asume una reducción de accidentes proporcional a la reducción de vehículos, bajo el escenario de sustitución de 12,000 vehículos diarios la cantidad de accidentes al año es de 340, con daños esperables por 29.55 mdpa y 65 muertes; lo que representa un ahorro al año de 180 accidentes, 20 muertes y 9.33 mdp.

Tabla 3.3. Beneficios indirectos del Tren México-Querétaro.

Beneficios	Al año (mdp)	En 20 años (mdp)
Empleo en construcción	1,633.26	4,899.78
Empleo en operación	489.98	9,799.6
Tiempo de descongestión	2,255.17	45,103.4
Reducción de accidentes	9.33	186.6
TOTAL		59,989.38

Elaboración propia.

3.5. Análisis

Como se observa en la tabla 3.2, en ninguno de los escenarios estimados el proyecto es rentable después de 20 años de operación, por lo que no tiene una buena viabilidad económica. En los primeros dos escenarios, el precio de trayecto necesario para recuperar la inversión en 20 años es muy superior al precio estimado por Modelística (2014) de 350 pesos y al máximo pagable de 400 pesos considerando el ahorro social por tiempo, por lo que se estima que no sería comercialmente viable. El único escenario que tiene resultados positivos de retorno sobre la inversión en el tiempo es el cuarto, que considera una afluencia de 22,700 pasajeros diarios y un préstamo del Banco de Exportaciones e Importaciones de China a una tasa fija de 3.22% anual; el plazo de recuperación de la inversión es de 34.5 años, con una TIR de 3.54% anual; el plazo de recuperación de la inversión es casi 75% superior a los 20 años considerados para evaluar la viabilidad económica del proyecto. Lo anterior coincide con lo que establecen Amos, Bullock y Sondhi (2010), quienes concluyen que para que un tren de alta velocidad sea económicamente viable, la afluencia de viajeros debe rondar los 150,000 pasajeros al día.

Tanto el estudio de Modelística (2014) como la licitación ganadora (SCT, 2014a) consideran para evaluar la viabilidad económica del proyecto únicamente parámetros tradicionales como la TIR, el plazo de recuperación de la inversión o el Valor Presente Neto; aunque en ambos casos estiman los beneficios colaterales que la obra traería a su zona de influencia, éstos no se consideran dentro de la viabilidad económica, sino como factores externos a la misma. Aunque proponer un valor monetario a los beneficios indirectos puede ser discutible, permite una evaluación sobre una misma base que la inversión de capital, por lo que facilita el análisis.

Los beneficios indirectos estimados son por casi 60,000 mdp en 20 años, lo que es aproximadamente 1 1/3 la inversión inicial. Sobre esta base el proyecto debería considerarse como viable; pero, hace falta un análisis más detallado para sostener esta conclusión. El principal beneficio indirecto es el ahorro en tiempo por descongestión vial de la zona norte de la ciudad de México; sin embargo, este beneficio puede conllevar la transferencia del problema de congestión vial a otras zonas, sobre todo al entorno de la estación de Buenavista y a la futura estación en Querétaro; para hacer un análisis más preciso se requieren de cálculos que exceden el alcance de este trabajo sobre el origen de los pasajeros y los medios de transporte que utilizarían para acceder a las estaciones de tren, no obstante, es probable que la afluencia de 22,700 pasajeros congestione una zona vialmente conflictiva como Buenavista, lugar en cuyo entorno confluyen arterias importantes de la ciudad como Av. Insurgentes, Circuito Interior, los ejes 1 y 2 norte, entre otras, con lo que los beneficios indirectos podrían disminuir o incluso resultar deficitarios.

Los proyectos ferroviarios requieren generalmente de estructuras de soporte de afluencia de viajeros, como líneas alimentadoras a través de otros medios de transporte; en un entorno urbano estos medios pueden implicar inversiones de capital adicionales y problemas de afluencia que deben ser analizados sistémicamente.

El beneficio social más importante que ofrece el proyecto es el tiempo que ahorran los viajeros, tiempo que abona a la calidad de vida y que representa un ahorro social; sin

embargo, dado el monto de inversión que requiere, hay otras obras de infraestructura para transporte público metropolitano que, con la misma inversión o menos, ofrecen ahorros sociales mucho más importantes, como la ampliación del servicio de metrobús, de la red del metro, de los trenes suburbanos, o la creación de corredores de bicicletas y transporte no motorizado. Algunas de estas soluciones ya se encuentran contempladas en el Programa Integral de Movilidad 2013-2018 para el Distrito Federal (GODF, 2012). Sin embargo, para generar soluciones integrales al problema de movilidad en el norte de la ciudad se requiere de la coordinación de tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal), en tres estados diferentes (D.F., Hidalgo y Estado de México), lo que ha sido tradicionalmente conflictivo.

Por ejemplo, el Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP México, 2014) estima que con una inversión de 35,000 mdp sería posible construir, en 10 años, 29 nuevas rutas troncales de metrobús (BRT por sus siglas en inglés: *Bus Rapid Transport*), con una extensión de 500 km y que ofrecería beneficios a más de 7.5 millones de pasajeros al día (con un ahorro de 180,000 horas diarias).

Retomando los planteamientos de Gallopin (2003), el Tren México-Querétaro implica un crecimiento económico por la puesta en marcha de un nuevo sistema de transporte, que generará flujos económicos a través de el establecimiento del mismo sistema (bienes) y la prestación de un servicio de transporte de personas (servicios); generará empleos durante las etapas de construcción y operación. Sin embargo, requiere de una inversión cuantiosa y onerosa que deberá ser aportada por el gobierno, por lo que cabe preguntar, desde la lógica de lo público, si dicha inversión es la mejor que puede realizar el gobierno a fin de incrementar la calidad de vida de las personas. De acuerdo con otras posibilidades de inversión, tales como las planteadas por el ITDP México (2014) ya comentadas o la inversión en ampliación y construcción de nuevas refinerías, hay otros proyectos de inversión que el gobierno puede hacer y que implican un incremento superior de la calidad de vida que el que ofrece el Tren México-Querétaro.

Por otro lado, el crecimiento económico que generaría el Tren México-Querétaro está basado en un incremento de demanda material, tanto por los materiales necesarios para la

construcción y que analizo en el capítulo 5, como por la energía que se requiere para hacer funcionar al sistema. El aumento en el consumo material beneficiaría la calidad de vida de las personas que pueden pagar por un servicio de transporte más caro que los actualmente disponibles, por lo que no aportaría un beneficio apreciable para la población más vulnerable.

Desde los planteamientos de Gallopin (2003), un incremento en el consumo material tendría sentido si entraña una mejora en la calidad de vida de las personas que viven en la pobreza y a la vez reduce el exceso de consumo de la “minoría rica”. Esto segundo se cumple con el Tren México-Querétaro, pues la tecnología del tren de alta velocidad es más eficiente energética y materialmente que las otras disponibles para el movimiento de personas entre México y Querétaro, por lo que se aumenta la eficiencia energética y material y se mitigan efectos adversos; sin embargo, dado que no representa beneficios apreciables para las personas que viven en pobreza, puede haber otro tipo de proyectos que requieran de apoyo gubernamental y que sí beneficien directamente a las personas que viven en pobreza.

Dado que la obra sería principalmente pagada con dinero público, la inviabilidad económica representa un gravamen al erario. Con base en los planteamientos de Wallerstein (1988), el Estado, a través de los canales impositivos, terminaría haciendo una transferencia neta de capitales a las compañías que construyan y operen el Tren México-Querétaro, a cambio de la prestación de un servicio de transporte de personas entre estas ciudades, lo que favorecería una privatización de beneficios con una socialización del riesgo.

3.6. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos

Dado que el proyecto del Tren México-Querétaro no tiene programado salir de funcionamiento, y que el fin de ciclo de un tren, desde el punto de vista económico, es esporádico y singular, no es factible evaluar la etapa de fin de ciclo desde el punto de vista económico. Por ello, la matriz de evaluación axiológica para el aspecto económico sólo considera las etapas de implementación y funcionamiento (para este caso, operación) del sistema.

Implementación

En cuanto a la etapa de implementación para el aspecto económico, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico:

Escala: El Tren México Querétaro tiene una escala internacional, pues aunque los recursos salen del erario público, las compañías que han buscado participar en la licitación se agrupan alrededor de algún gran ofertante internacional de trenes, como China Railway Construction, CAF, Renfe, Alstom, CNCF, Siemens, Bombardier o Mitsubishi. La licitación cancelada contó con una propuesta de financiamiento por parte del China Exim Bank, lo que compromete recursos mexicanos a nivel internacional. El orden de magnitud de los montos es tal que se requiere de la capacidad de financiamiento de gobiernos nacionales, con la acumulación de capitales que la capacidad recaudatoria permite.

En cuanto a los empleos generados durante la etapa de implementación de la tecnología, se planteó la concurrencia de profesionistas nacionales e internacionales, y de obreros mexicanos. La escala es sobre todo regional, pero nuevamente requeriría complementos a nivel nacional e internacional.

Intensidad: El Tren México-Querétaro tiene como característica intrínseca una fuerte intensidad económica, sobre todo, crematística, pues es una obra que requiere de recursos cuantiosos para establecer un ferrocarril de poco más de 200 km. La inversión es superior a la necesaria para el establecimiento de 29 líneas de BRT, es también cercana a 1/2 de la requerida para instalar una refinería de última generación.

Intencionalidad: Es aventurado establecer una intencionalidad desde el aspecto económico, pero dado que los beneficios sociales son limitados en comparación con los montos crematísticos requeridos, se puede adelantar como hipótesis una posible intencionalidad de realización de “la obra por la obra misma”; es decir, la decisión de hacer la obra obedecería a intereses privados que pugnan por hacer la obra para tener beneficios provenientes del

presupuesto público, y en segundo -y marginal- lugar, por el interés público de tener un medio alternativo de transporte entre México y Querétaro.

Esta hipótesis es soportada por las declaraciones del Secretario de Hacienda, Luis Videgaray, cuando tomó la decisión de no apoyar el proyecto debido al recorte presupuestal derivado de la caída en los precios del petróleo: “no sólo por el impacto que tendrían en las finanzas públicas en 2015, sino sobre todo por la presión de gasto público que implicaría en los años por venir a partir de 2016” (Notimex, 2015). También está soportada por el director del Centro de Estudios Económicos del Sector Privado (CEESP; Foncerrada, 2014) que concluye que el proyecto del Tren México-Querétaro debe cancelarse por ser económicamente inviable.

Participación: Durante la implementación del sistema la participación en el capital y los beneficios es limitada a unos cuantos actores macro: el gobierno federal, el China Exim Bank (o alguna entidad similar) y las compañías licitantes. A nivel personal, la participación será de entre 20,000 y 40,000 personas, por lo que la redistribución de dinero a través del ingreso por producto del trabajo tendrá un nivel de participación equivalente, pero limitado a tres años, que es el tiempo que dura la construcción.

Inteligibilidad: Las posibilidades de interactuar desde el aspecto económico son limitadas; no obstante, en la etapa de implementación del sistema, el aspecto económico está totalmente determinado, es decir, se conocen todas sus variables y es predecible y evaluable. El hecho de que la licitación sea pública y las obligaciones de transparencia que este tipo de proyectos tiene hacen que este proyecto sea inteligible para los evaluadores y para el público interesado. Aunque la participación en la evaluación es limitada, la inteligibilidad es alta.

Amigabilidad: Dado el análisis de no viabilidad económica del proyecto que en este capítulo se presenta y a los montos que se comprometerían si se aprueba, desde el aspecto económico el proyecto es poco amigable en su etapa de implementación, pues compromete recursos públicos cuantiosos que serán pagados por los contribuyentes, buena parte de estos recursos irían al pago de la tecnología que poseen empresas internacionales,

especialmente por el diseño del sistema, por los componentes de a parte de comunicación y por el material rodante.

Funcionamiento

En cuanto a la etapa de funcionamiento (u operación) para el aspecto económico, se puede establecer el siguiente análisis por atributo axiológico:

Escala: El tren México-Querétaro tiene una escala regional, pues los beneficios en cuanto a ahorro social, reducción de accidentes y empleos generados, que son elementos que ayudan a mejorar la calidad de vida, se quedan en el entorno regional de las ciudades de México y Querétaro. Aún no está del todo definido si la operación correrá por cuenta del gobierno o se concesionará a un prestador de servicios privado, por lo que las utilidades en la etapa de operación, si las hubiera, no tienen un destino definido.

Intensidad: La demanda de recursos económicos y generación de beneficios en la etapa de operación tiene una intensidad media a baja, pues requiere de recursos económicos para operar que son de intensidad media y serán aportados por los viajeros y por el estado; mientras que la derrama de beneficios económicos y mejora en la calidad de vida tiene una intensidad baja si se considera que el número de viajes irán entre 4 y 8.3 millones al año.

Intencionalidad: Se establece como intencionalidad el beneficio de los usuarios del Tren México-Querétaro, en detrimento del erario público. Otra intencionalidad es la reducción de tránsito en la autopista México-Querétaro, por lo que, de no aumentar la demanda de viajes entre México y Querétaro, se podría tener un “juego de suma cero”, es decir, que los viajeros que capte el Tren México-Querétaro serán a costa de la autopista; en un escenario tal se comprometería la viabilidad técnica y económica de la autopista, del Tren México-Querétaro, o de ambas infraestructuras. Cabe mencionar que las autopistas en México ya han sido “rescatadas” entre 1997 y 2002, lo que implicó la inyección de unos 165,000 mdp para evitar la quiebra de 23 de las 52 autopistas concesionadas a nivel federal, entre las que cuenta el libramiento a Querétaro (CEFP, 2004).

Participación: Durante la operación del sistema la participación en el capital y los beneficios es limitada a unos cuantos actores macro: el gobierno federal, el China Exim Bank (o alguna entidad similar) y las compañías operadoras. A nivel personal, la participación será de al rededor de 3,000 personas, por lo que la redistribución de dinero a través del ingreso por producto del trabajo tendrá un nivel de participación equivalente. El tren prestará un servicio de transporte abierto al público, por lo que se puede estimar la participación de viajeros entre 4 y 8.3 millones al año.; si bien esta participación es superior en cuanto al número de personas que durante la etapa de implementación, es mucho menor que otros proyectos, como el establecimiento de nuevas líneas de BRT, que implican la participación de 2,737.5 millones de viajeros al año por una inversión equivalente.

Inteligibilidad: Las posibilidades de interactuar desde el aspecto económico son limitadas; no obstante, en la etapa de operación del sistema, el aspecto económico está totalmente determinado, es decir, se conocen todas sus variables y es predecible y evaluable. El hecho de que el servicio sea público y las obligaciones de transparencia que este tipo de servicios tiene hacen que este proyecto sea inteligible para los evaluadores y para el público interesado en su etapa de operación. Aunque la participación en la operación es limitada, la inteligibilidad es alta.

Amigabilidad: Dado el análisis de no viabilidad económica del proyecto que en este capítulo se presenta y a los montos que se comprometerían si se aprueba, desde el aspecto económico el proyecto es poco amigable en su etapa de operación, pues compromete recursos públicos cuantiosos que serán pagados por los contribuyentes. La tarifa estimada para salir de punto de equilibrio es elevada para la mayoría de la población, por lo que sólo los viajeros de clase primera y de lujo podrían sufragarla; esto hace que el proyecto sea poco amigable desde el aspecto económico en su etapa de operación.

3.7. Conclusiones particulares al capítulo 3

El Tren México-Querétaro es económicamente inviable dentro de un plazo de recuperación de la inversión de 20 años, pues en los dos escenarios sin restricciones en cuanto al precio del boleto, el costo del viaje es muy superior al calculado considerando el ahorro social; el primer escenario tiene un costo por boleto al punto de equilibrio de 1,006.52 pesos, el segundo escenario tiene un costo por boleto al punto de equilibrio de 644.00 pesos, mientras que el costo por boleto pagable considerando el ahorro social es de 400 pesos. Los escenarios que consideran este precio máximo no salen de punto de equilibrio dentro del plazo de 20 años; en uno se estima pérdidas en 20 años por 53,290.35 mdp y en el otro, por 25,612.00 mdp.

En cuanto al ahorro social que permitiría la obra, de acuerdo con los escenarios de 11,200 pasajeros diarios se estima en 385.36 mdpa, es decir, 7,707.2 mdp en 20 años. De acuerdo con los escenarios de 22,700 pasajeros diarios se estima un ahorro social de 781.04 mdpa, es decir, 15,620.8 mdp en 20 años.

Por los demás beneficios indirectos, en 20 años se reportarían 59,989.38 mdp; sin embargo de éstos, 45,103.40 corresponden a tiempo de descongestión de la zona norte de la ciudad de México, toda vez que las personas que dejen de circular hacia y desde Querétaro por autopista lo harán por tren, este problema se puede exportar a las zonas aledañas a las estaciones de Buenavista y Querétaro, ambas en el centro de las ciudades, zonas de por sí congestionadas. Es probable que el problema de afluencia a las estaciones potencie efectos negativos en el tránsito y en la saturación de transporte público, por lo que derive en un conflicto mayor al que resolvieron. Si se considera como un objetivo primordial la descongestión vial en las ciudades de México y Querétaro, habría que apoyar a otros proyectos que inciden de manera más directa y significativa en la consecución del objetivo, como los sistemas de BRT, la ampliación de la red de Metro o del transporte suburbano.

Desde los planteamientos de Gallopín (2003, 2006), el Tren México-Querétaro propone un crecimiento económico con incremento en la demanda material. Apoya marginalmente a la

mejora de la calidad de vida de personas de nivel adquisitivo medio a alto, por lo que no apoya directamente a la satisfacción de necesidades de personas que viven en pobreza.

Axiológicamente tiene una escala internacional, una fuerte intensidad económica -crematística-; una intencionalidad posible es la realización de la obra por los beneficios que genera a las empresas privadas -la obra por la obra misma- y en segundo lugar por el beneficio social que conlleva un medio alternativo de transporte; una participación de grandes empresas, por lo que otros actores sociales tienen poca injerencia, la participación es limitada; una alta inteligibilidad desde el punto de vista económico, y una baja amigabilidad debido a la socialización de riesgos y la privatización de beneficios pagados por los contribuyentes.

El Tren México-Querétaro es un proyecto a ser desarrollado por un número relativamente reducido de personas, por lo que la inversión asociada no representa un aumento significativo en las capacidades de satisfacer las necesidades de un gran número de personas; más allá de la generación posible de competencias clave que tenga aparejada el proyecto -que analizo en el capítulo 4-, no representa una ampliación de las capacidades de las personas.

4. Análisis de competencias tecnológicas disponibles en México para la construcción de un Tren de Alta Velocidad

4.1. Introducción

Los trenes de alta velocidad comparten con los demás trenes eléctricos la mayoría de los elementos del paquete tecnológico; sin embargo, debido a las altas velocidades a las que operan, hay diferencias en varios de estos elementos: de infraestructura, de la construcción, del material rodante y de la explotación.

Dado que México tiene capacidades para el establecimiento de infraestructura ferroviaria, surgen las preguntas que animan este capítulo: ¿existen las competencias técnicas en México para hacer el desarrollo del Tren México-Querétaro de manera interna?, ¿qué partes del paquete tecnológico son técnicamente ajenas a la experiencia mexicana? En este capítulo no pretendo establecer la viabilidad global del proyecto de manera endógena, pues hay restricciones de costos por economías de escala que pudieran resultar insalvables; más bien exploro la brecha tecnológica que presenta México hacia el establecimiento de infraestructuras para trenes de alta velocidad, y en particular para el Tren México-Querétaro, y establezco atributos axiológicos a fin de evaluar el aspecto tecnológico del desarrollo del Tren México-Querétaro.

4.1.1. Adquisición de tecnología o desarrollo tecnológico

Desde una perspectiva histórica, a nivel nacional hay un abanico de posibilidades de adopción de una tecnología, en un extremo está la adquisición de tecnología mediante la contratación de un tercero -por ejemplo, un contratista transnacional- que posee la tecnología para que la implemente, de tal modo que quien la adquiere sólo requiere “girar la llave” para hacer uso de lo que adquirió. Este modelo aumenta la dependencia tecnológica de quien la compra pues, en casos extremos, éste no participa en el desarrollo, por ende, no aumenta

importantemente las competencias clave sobre la tecnología. Tiene la ventaja de acceder a tecnología de punta en un tiempo muy corto, aunque cuando la tecnología sea superada, difícilmente podrá adecuarla sin tener que recurrir a quien la desarrolló. Así, se adquiere la técnica necesaria para operar la tecnología, pero no las competencias para desarrollarla o mejorarla, que tendrán que ser posteriormente adquiridas si se desea tener una verdadera asimilación tecnológica.

En otro extremo de adopción está el desarrollo interno total, que se da cuando un país desarrolla todas las partes que constituyen a una tecnología sin acudir a otro. Dado que las tecnologías en la actualidad funcionan dentro de todo un sistema tecnológico y son cada vez más complejas¹¹, hay a la par menos posibilidades de realizar un desarrollo interno en su totalidad, a no ser de tecnologías relativamente simples o maduras. Las cadenas de valor que se han establecido para el desarrollo tecnológico y, en general, económico tienden a ser transnacionales, alrededor del 60% del comercio mundial corresponde al comercio de bienes y servicios intermedios; cada país se ha especializado en tareas específicas, más que en la producción íntegra de un bien o servicio (Rosales, et al., 2014; UNCTAD, 2013)

Entre los dos extremos planteados hay una diversidad de opciones que dependen del nivel tecnológico de la obra y de las aptitudes que tenga un país en su interior, lo que determina el nivel de empaquetamiento o desempaquetamiento que puede lograr sobre una tecnología. Una tecnología que se adquiere por parte de un país o de una empresa requiere de un proceso de transferencia tecnológica que, para Villavicencio y Arvanitis (1994) es un problema de adquisición, pero sobre todo, un problema de aprendizaje y apropiación, pues la transferencia implica varias dimensiones más allá del contrato de compra-venta, como la decisión o selección tecnológica, la operación de la transferencia, la articulación con la tecnología preexistente, la inserción en la empresa, aspectos todos ellos que son clave para el éxito de una transferencia.

11 Por complejo se entiende que tienen un gran número de componentes o partes, cuyas interacciones ocurren en elevado número y frecuencia, y de manera sistémica, es decir, las interacciones entre una parte y otra influyen y son influidas por el resto de las partes del sistema.

Las dos posiciones en los extremos parten de dos visiones diferentes sobre la tecnología, la primera, la de “llave en mano”, asume que la tecnología es simplemente un bien en el mercado que se puede comprar y vender, como cualquier otro bien; es la concepción neoclásica que considera a la tecnología como un residuo de la función de producción. De acuerdo con Jasso (2004), esta postura, llamada tradicional, considera la tecnología como un bien público disponible. Desde esta concepción, el cambio tecnológico asociado con la innovación está relacionado con el funcionamiento de la economía y es parte del proceso de acumulación de capital, pues este cambio está incorporado en los equipos productivos.

Esta visión tradicional tiende a pensar a las sociedades que adquieren una tecnología de manera pasiva, lo que es en extremo simplista; una transferencia tecnológica implica la aceptación por parte de la sociedad que la adquiere de los valores y normas de comportamiento -al menos, tecnológicas y productivas- de la sociedad que la transfiere (Mumford, 1998 [1934]; Winner 1986; Herrera, 1978). Ello conlleva a largo plazo una dependencia tecnológica que funciona, en muchos casos, como un principio de dominación de una sociedad -o nación- sobre otra (Mumford, 1964; Drucker, 1969, 1994; Galeano, 1971; Illich, 2006a [1974]; Dos Santos, 2011 [1978]; Leff, 2010).

Por otro lado, la tecnología puede ser considerada como un factor endógeno; es decir, como algo que depende del funcionamiento global del aparato productivo (Arrow, 1962). Desde esta concepción, la adquisición o desarrollo de una tecnología -incluida la transferencia tecnológica- implica el desarrollo de capacidades técnicas internas necesarias para operar un sistema técnico específico, que es algo más complejo que la simple importación de bienes de capital (Villavicencio y Arvanitis, 1994; Jasso, 2004).

Para el desarrollo de capacidades internas se requiere de un esfuerzo sostenido por parte de varios actores, provenientes de tres ámbitos de acción diferentes: las empresas, las universidades -en general instituciones de educación superior y los centros públicos de investigación- y el gobierno (Sábato y Botana, 1968; Etzkowitz, 1993, 2002). De acuerdo con varios autores (Villavicencio y Arvanitis, 1994; Herrera, 1995; Freeman, 1995; OCDE, 1997; Jasso, 2004, entre otros), la innovación se da en el seno de una sociedad como resultado de

la cooperación, y competencia de las vinculaciones intra e interinstituciones, lo que incluye a las empresas; estas interacciones en el seno de una sociedad conforman los sistemas de innovación (SI).

Estos sistemas de innovación deben estar presentes tanto para un desarrollo tecnológico interno, como para adquirir tecnología por medio de una transferencia tecnológica. Es a través de estos sistemas que una sociedad puede asimilar o desarrollar las tecnologías que le sean adecuadas a sus necesidades; este es el concepto de tecnologías adecuadas o comúnmente llamadas apropiadas, que tienden a cubrir necesidades demandadas por la sociedad en cuestión, de tal manera que su funcionamiento está inserto en una dinámica social de manera más asimilable. Herrera (1978) indica que para que el término de “tecnología apropiada” tenga sentido, habría que definir “apropiada para qué”.

El desarrollo tecnológico interno -tanto como la asimilación de una transferencia tecnológica- implican elevar las capacidades de las personas; la participación en la creación de nuevas capacidades genera tanto conocimiento tecnológico tácito -no codificado-, como explícito -codificado-, que aumentan los “saber hacer” de las personas y organizaciones. Lo más importante no es tanto si la tecnología es desarrollada de manera interna o es transferida, sino la participación social en la definición del problema y la selección de la solución, lo que implica una evaluación social y una capacidad de inteligir con la tecnología; no es simplemente autonomía o autarquía, sino la capacidad de tomar decisiones que se adecuen a las propias necesidades (Sábato y Botana, 1968; Herrera, 1978; Villavicencio y Arvanitis, 1994; Freeman, 1995; Villavicencio, 2005).

La participación de las personas que establecen, operan y conviven con el sistema técnico es un elemento central en los esquemas de desarrollo o asimilación de tecnologías, como apunta Herrera (1978), no sólo por razones de justicia, sino por el hecho de que, a nivel social, se requiere de toda la capacidad creativa de sus miembros para construir una tecnología apropiada. Herrera (1978) propone como un esquema de participación la definición de lo que él llama el Espacio Tecnológico, que está definido por el conjunto de

condiciones y restricciones que una tecnología debe satisfacer para responder a una necesidad; se compone de tres pasos básicos:

1. El estudio de las condiciones socioeconómicas del área de trabajo. En esta fase se reconoce que todo problema tecnológico está inmerso en una realidad social, es decir, una situación sociopolítica, cultural, etc., que lo condiciona en gran medida, pues a veces se resuelve un problema tecnológico, cuando el problema de fondo no está en la tecnología, sino en elementos sociales, económicos o políticos. De ahí que sea necesario definir la situación problemática, de la cual la tecnología es sólo una parte. Definido el problema, se determina qué funciones debe tener la tecnología para resolverlo; ello implica hacer las preguntas elementales, por ejemplo, en el caso de la vivienda, ¿para qué sirve una vivienda? Más allá de la respuesta obvia sobre la protección, el abrigo y condiciones sanitarias, es un elemento social, psicosocial, estético, etc.; algunos planes de vivienda han fracasado por ignorar ciertas razones propias de la comunidad en donde se han instalado.
2. Analizar las soluciones locales. La gente tuvo que resolver el problema mucho antes que se buscara una solución técnica específica por parte de algún experto: más allá de la tecnología, es importante el conocimiento local que se encuentra como base de las soluciones tecnológicas que las personas han implementado con anterioridad.
3. Estudiar los recursos naturales de la región. Según Herrera (1978) "Recurso es un término económico y la naturaleza no produce cosas económicas ", los cuerpos físicos presentes en la naturaleza se convierten en recursos con la confluencia de ciencia y tecnología -entre otros factores-, por lo que cualquier cuerpo natural puede ser un recurso.

4.1.2. Estudios sectoriales

Como revisión a los documentos disponibles sobre las capacidades nacionales para el desarrollo de ciertas tecnologías, desde finales del siglo pasado y particularmente lo que va de este hay diversas entidades que se han dado a la tarea de plantear estudios sectoriales. En general todos atienden al problema de cómo articular las capacidades nacionales para que un sector (o varios) se desarrollen en el país de manera competitiva. En estos estudios

se entiende por “Competitividad” la capacidad para atraer y retener talento e inversiones (IMCO, 2014); sobre todo se traduce en empresas de gran tamaño -fundamentalmente transnacionales- que se establezcan en cierta región y se articulen con la cadena productiva nacional. Esas empresas de carácter transnacional han sido llamadas “tractoras”; aunque representan por número el 0.2% de las empresas formales establecidas en México, producen casi el 48% del PIB (INEGI, 2015).

Tres estudios que pueden ser de interés para confrontar su contenido contra lo propuesto en este capítulo, el que realiza ProMéxico (2014) sobre el sector aeroespacial, para el sector automotriz (ProMéxico, 2013) y el que realiza la Dirección General de Industrias pesadas y de Alta Tecnología de la Secretaría de Economía (SE-DGIPAT, 2012) sobre la industria aeronáutica en México. Son de interés por diferentes motivos, por ser sectores relativos al transporte, por tener procesos de manufactura similares a los necesarios para el establecimiento de un tren de alta velocidad (TAV), y por haberse establecido en México a lo largo de los últimos años.

El estudio del sector aeroespacial de ProMéxico (2014) hace una revisión de la industria aeroespacial y de defensa en el mundo, una revisión del sector en México, plantea una estrategia nacional que considera los siguientes elementos:

- Tendencias globales,
- estrategias en materia de infraestructura global y de calidad,
- desarrollo de turbinas en México,
- aeronave con alto contenido de integración nacional,
- estrategia de defensa,
- Centro Integral de Servicios Aeronáuticos en México,
- capital humano y acciones de formación para la industria aeroespacial,
- Agencia Espacial Mexicana (AEM),
- desarrollo de proveedores del sector aeroespacial y de manufactura avanzada,
- desarrollo logístico,
- Consejo de Ingeniería,

- Ciudad de Ingeniería,
- ejemplos de avance de proyectos específicos y,
- estrategias regionales

El estudio termina con un directorio de empresas dedicadas al sector aeroespacial por entidad federativa. Adelanta además algunas conclusiones; sin embargo, al ser un documento prácticamente de promoción, es poco objetivo en cuanto a las brechas específicas y los problemas que puede enfrentar esta industria; exalta también las competencias que el sector tiene en México.

El estudio de la industria aeronáutica de la SE-DGIPAT (2012) realiza una revisión de la industria a nivel global en la que establece el tamaño de mercado, la segmentación, la cadena productiva, las tendencias mundiales y la regulación vigente. Posteriormente analiza la industria aeronáutica en México, con las empresas y distribución geográfica, empleos e inversiones, exportaciones e importaciones, productos manufacturados, estructura de la industria aeronáutica, e instrumentos de apoyo. Termina con un análisis estratégico a modo de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).

En este estudio la DGIPAT establece que las partes que se manufacturan en México corresponden a alta especialidad; la distribución por el número de empresas y tipo de manufactura queda conforme con la figura 1.

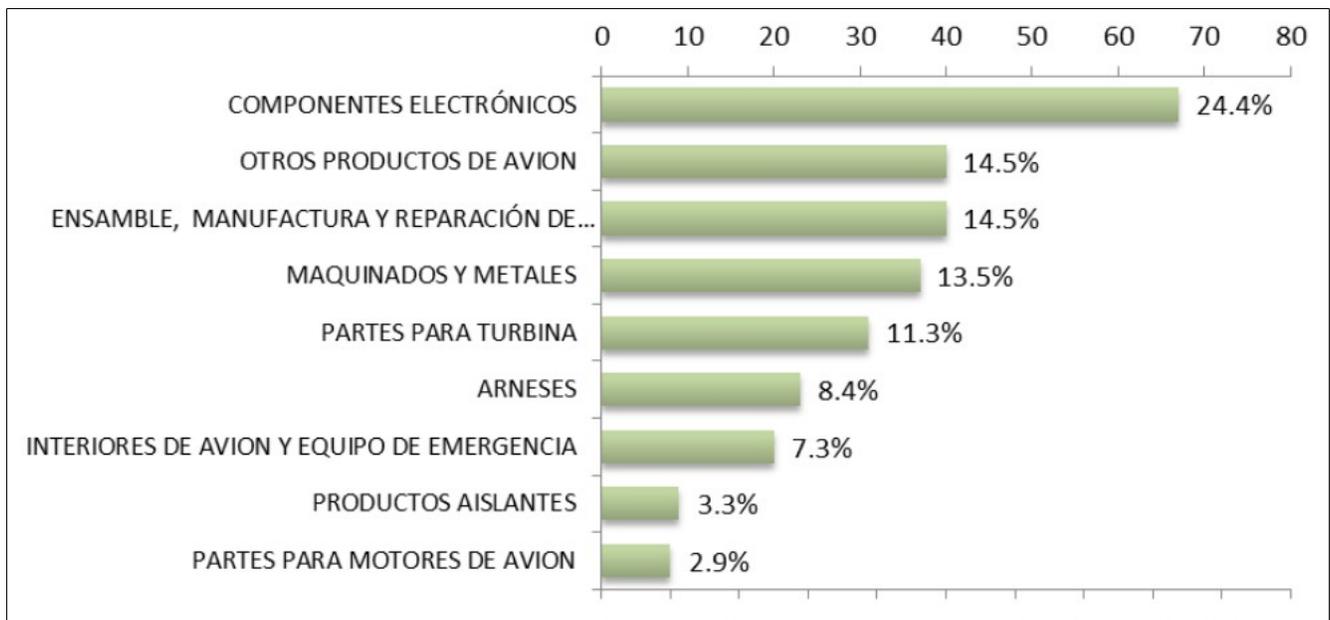


Figura 4.1. Empresas y Productos Aeronáuticos Manufacturados en 2010.

Fuente: SE-DGIPAT (2012).

El estudio del sector de la industria automotriz (ProMéxico, 2013) es una actualización de un estudio que este organismo ha realizado en ocasiones anteriores. Realiza una descripción somera de la industria a nivel internacional y nacional. De acuerdo con el documento, México cambió de ser un país exportador de manufacturas simples, a generador de innovación, pues en el país existen más de 30 centros de diseño automotriz. En México hay 23 plantas de producción de vehículos ligeros y 12 plantas de producción de vehículos pesados. El documento establece un análisis de casos relativos a la industria automotriz: negocios de exportación, inversión, marco legal, acceso a mercados. También plantea las tendencias futuras sobre el empleo y centros de diseño. El documento propone algunas conclusiones que, al igual que el de la industria aeroespacial, resultan promocionales y poco objetivas.

Cabe señalar que si bien los estudios sectoriales determinan áreas de oportunidad y posibles estrategias, suelen establecer brechas tecnológicas generales, pero no con un grado de especificidad como el que se pretende en este capítulo, ninguno de ellos explicita su marco axiológico ni establece posibles atributos axiológicos; tampoco ninguno trata sobre un tren de alta velocidad en México.

4.1.3. El tren como sistema técnico y paquete tecnológico

Desde el punto de vista estructural, el tren es un sistema de transporte que se compone básicamente de tres elementos: un vehículo múltiple de transporte (con uno o varios coches acoplados), un sistema de locomoción físico y un camino fijo expresamente preparado para que el vehículo no pueda salirse de él. Desde el establecimiento de los sistemas ferroviarios en la Inglaterra del siglo XIX ha habido un cuarto elemento, un sistema cada vez más complejo de señalización y comunicación, necesario para controlar el movimiento de los trenes (Ellis, 1981; Lewis, 2001).

Asociado al sistema se encuentran también las estaciones, que en sí tienen también una lógica de construcción y funcionamiento que obedece a las necesidades del tren. Además, como obra civil están los patios, garages, talleres, fosas de lavado y otras instalaciones propias del sistema. Alrededor de esta infraestructura, hay otras consideradas de obra pública, como puentes, pasos, alcantarillas, conexiones diversas, obras viales para alimentación de estaciones y liberación del derecho de vía, entre otras (Derry y Williams, 1980). Todos estos elementos necesarios para el funcionamiento de un tren constituyen un paquete tecnológico que puede ser integrado o desagregado para su análisis y gestión.

4.1.4. Los trenes actualmente en México

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2013), en México existe actualmente una red de ferrocarriles de carga, manejados principalmente por tres compañías privadas: Ferrocarril Mexicano (Ferromex, 8,439 km), Ferrosur (1,954 km) y Kansas City Southern de México (4,283 km). En su conjunto, estas tres compañías tienen la concesión sobre la mayoría de los 19,799.2 km de vías férreas concesionadas y transportan 111,607 kton/ año de carga.

Además, existen otros tres ferrocarriles privados de carga de trayecto más corto (SCT, 2013): Línea Coahuila-Durango, S.A. de C.V. (974), Compañía de Ferrocarriles Chiapas-Mayab, S.A. (1,558) de C.V., Ferrocarril y Terminal del Valle de México, S.A. de C.V. (297),

Administradora de la Vía Corta Tijuana-Tecate (71) y un ferrocarril de carga paraestatal, el Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec, S.A. de C.V. (222).

La red ferroviaria de carga tuvo en 2012 las características mostradas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características de la red ferroviaria de carga, 2012.

Extensión	26,726.9 km
Troncales y ramales	20,722.0 km
Secundarias	4,449.8 km
Particulares	1,555.1 km
Locomotoras diésel	1,238
Potencia total	11,145,722 MJ
Carros de carga	31,080
Góndolas	10,191
Tolvas	8,969
Furgones	5,834
Tanques	1,511
Racks	1,373
Plataformas	1,139
Cabuses	114
Carros especiales	309
Carros fuera de servicio	1,640
Capacidad de carga	2,537,372 ton
Carga movida	111,670,000 ton
Distancia promedio	711 km
Productos industriales	53,417,000 ton
Productos agrícolas	26,698,000 ton
Productos minerales	15,396,000 ton
Petróleo y sus derivados	8,690,000 ton
Productos inorgánicos	5,841,000 ton
Productos forestales	1,096,000 ton
Animales y sus productos	469,000 ton

Fuente: elaboración propia con datos de SCT (2013)

En cuanto a los ferrocarriles de pasajeros (SCT, 2013), hay tres, dos de los cuales son principalmente turísticos: Chihuahua Pacífico (el Chepe), y el Tequila Express; el tercero es el tren suburbano de la Ciudad de México que corre de Buenavista a Cuautitlán, concesionada a la compañía Ferrocarriles Suburbanos. Otros tramos pequeños de servicio de pasajeros son las tres líneas cortas, asignadas a los gobiernos estatales: Aguascalientes: Adames-Peñuelas; Baja California: vía corta Tijuana-Tecate; Hidalgo: Pachuca-Tepa-San Agustín Irolo.

Los trenes de pasajeros cuentan con 129 carros, 12 de ellos en reparación; los 117 que están en operación cuentan con 6,820 asientos y transportan a 43,830,300 pasajeros al año. 80 carros pertenecen al tren suburbano, que tiene 4,640 asientos, y transporta a 43,628,000 pasajeros al año, con un promedio de 20.9 km/pasajero (SCT, 2013).

Otros tramos pequeños de servicio de pasajeros son las tres líneas cortas, asignadas a los gobiernos estatales: Aguascalientes: Adames-Peñuelas; Baja California: vía corta Tijuana-Tecate; Hidalgo: Pachuca-Tepa-San Agustín Irolo. (SCT, 2013).

Existen además transportes urbanos que corren sobre rieles: el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México, y el Sistema de Transporte Colectivo Metrorrey de la ciudad de Monterrey.

4.2. Metodología

Planteo una investigación fundamentalmente cualitativa, documental, descriptiva-correlativa, sobre las capacidades técnicas presentes en el país para la construcción de vías férreas y material rodante, y sobre los requisitos para construir un tren de alta velocidad. Posteriormente determino la brecha de saberes hacer que tendría que solventar México si buscara hacer el desarrollo del Tren México-Querétaro de manera autónoma. Como última parte hago un análisis axiológico del aspecto tecnológico con base en los atributos axiológicos propuestos para esta tesis.

Para evaluar las competencias tecnológicas disponibles estableceré la participación nacional en tres líneas férreas que transportan pasajeros: el tren suburbano Buenavista-Cuautitlán, la línea A y la línea 12 del metro de la Ciudad de México. Considero estas tres líneas debido a que son las principales que circulan con un sistema de rodadura férrea sobre riel de metal, con tracción eléctrica; cabe señalar que el STC Metro cuenta con 12 líneas, diez de rodadura neumática y dos de rodadura férrea.

Para establecer los requisitos necesarios en la construcción de un tren de alta velocidad me fundamento en el estudio realizado por Ruano Gómez (2007) en el que compara los requisitos técnicos de los trenes convencionales contra los de alta velocidad en España.

4.3. Resultados

4.3.1. Competencias tecnológicas necesarias, el TAV como paquete tecnológico, fases de implementación y operación.

Los trenes de alta velocidad comparten con los demás trenes eléctricos la mayoría de los elementos del paquete tecnológico; sin embargo, debido a las altas velocidades a las que operan, hay diferencias en varios aspectos de estos elementos. De acuerdo con Ruano Gómez (2007) se pueden analizar las diferencias entre los trenes convencionales y los de alta velocidad desde el punto de vista de infraestructura, de la construcción y de la explotación.

4.3.1.1. Infraestructura

Al respecto de la infraestructura, Ruano Gómez (2007) establece que las diferencias pueden ser en:

- Características geométricas

- Superestructura: carril, aparatos de vía, traviesas, sujeciones, placa de asiento y vía en placa
- Infraestructura: capas de asiento, rigidez vertical y plataforma
- Obras civiles: pasos superiores, inferiores y a nivel, puentes y túneles

A continuación se presentan las principales diferencias. Para mayores referencias ver el Anexo 1.

Características geométricas

Las características geométricas se refiere a la geometría de la infraestructura de la vía. Estas características son constituidas por:

- ancho de vía,
- calidad geométrica,
- entrevía,
- inclinación del carril,
- trazado y,
- gálibos.

La velocidad de los trenes tiene influencia en la geometría. Las principales diferencias entre un tren convencional y uno de alta velocidad para las características geométricas se establecen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Diferencia en las características geométricas entre líneas convencionales y de alta velocidad.

	Tren convencional (140 km/h)	Tren Alta Velocidad > 250 km/h
Ancho de vía		
Ancho de plataforma	12,708 mm	13,300 mm
Distancia del eje de vía al poste de catenaria	3,000 mm	3,100 mm
Tolerancia al ancho de vía	-7 y +20 mm	-1 y +5
Calidad Geométrica		

	Tren convencional (140 km/h)	Tren Alta Velocidad > 250 km/h
Alineación	±5 mm	±3.5 mm
Nivelación longitudinal	±5 mm	±2.5 mm
Nivelación transversal	±5 mm	±2.0 mm
Alabeo	2 – 3 mm/m	1.5 mm/m
Entrevía y carril		
Entrevía	1,600 – 4,000 mm	4,200 – 5,000 mm
Inclinación del carril	1/20	1/20
Trazado		
Peralte máximo	160 mm	200 mm
Insuficiencia de peralte	155 mm	60 - -80 mm
Pendiente máxima	20%	25%
Curvas de transición en alzado	9,800,000 mm	31,250,000 – 61,250,000 mm
Gálibos (valores de referencia)		
Gálibo cinemático de partes altas	3,440 mm	3,840 mm
Gálibos de implantación de obstáculos	4,300 mm	4,700 mm

Fuente: elaboración propia con datos de López Pita (2005) y Ruano Gómez (2007)

Superestructura

La superestructura está regularmente compuesta por:

- carril,
- los aparatos de vía,
- las sujeciones del carril,
- las traviesas y las placas de asiento.

También se puede incluir aquí la llamada vía en placa.

Las principales diferencias entre un tren convencional y uno de alta velocidad para las características geométricas se establecen en la tabla 4.3.

La vía en placa es una estructura de vía en la que la una losa de hormigón ha sustituido a la banqueta de balastro; los elementos de apoyo del carril y de estabilización de la vía se

colocan mayoritariamente dentro de la losa. Este tipo de vía se suele instalar en tramos específicos, como los carriles embebidos en estaciones o en tramos con muchas obras de arte. Aunque su mantenimiento es menos costoso que el de una vía en balastro, su instalación resulta un 30% - 40% más costosa.

Tabla 4.3. Diferencias en la superestructura entre líneas convencionales y de alta velocidad.

	Tren convencional (140 km/h)	Tren Alta Velocidad > 250 km/h
Carril		
Material	Acero 54.77 kg/m	Acero 60.34 kg/m
Cupones (tramos)	6 m	12 m
Unión entre cupones	Juntas en taller	Soldaduras eléctricas
Aparatos de vía		
Desvíos	Tangenciales	Corazón de punta móvil
Aparatos de dilatación	Tipo A	Tipo AV con carreras de más de 1,000 mm
Sujeciones de carril		
Tipo de sujeción	Elástica	Elástica
Traviesas y placas de asiento		
Traviesas	Monobloque	Monobloque
Placas de asiento	Caucho o polietileno con rigidez de 500 kN/mm	Caucho o polietileno con rigidez de 100 kN/mm
Espesor de la placa	4.5 mm	6 – 7 mm

Fuente: Elaboración propia con datos de Ruano Gómez (2007), ALAF (2004), SCT (2000).

Infraestructura

Se llama infraestructura en este apartado a los elementos que conforman el soporte que requiere una vía. En general hay tres elementos relevantes, las capas de asiento -sobre todo el balastro-, la rigidez vertical de la vía y la plataforma.

En cuanto a la capa de asiento, hay dos diferencias relevantes entre las vías convencionales y las de alta velocidad, por un lado está la configuración de la capa de asiento, por otro, el

mismo balastro. Las principales diferencias entre un tren convencional y uno de alta velocidad para la infraestructura se establecen en la tabla 4.4.

El balastro utilizado en las líneas de alta velocidad debe tener un mejor desempeño que el de las líneas convencionales; debe tener mayor resistencia al choque y a la abrasión (menos frágil). El ensayo de Deval mide la fragilidad de un árido, mediante esta prueba se obtiene el coeficiente de Deval: a mayor coeficiente, menor fragilidad del material. El ensayo de Los Ángeles refleja la resistencia al impacto, el coeficiente de Los Ángeles mide la diferencia de peso entre una muestra sin ensayar y una muestra sometida a un proceso abrasivo, a menor índice de Los Ángeles, mayor resistencia al choque.

Tabla 4.4. Diferencias en la infraestructura entre líneas convencionales y de alta velocidad.

	Tren convencional (140 km/h)	Tren Alta Velocidad > 250 km/h
Capa de asiento		
Configuración	Capa de balastro de 25 cm sobre plataforma	Multicapa: balastro de 35 cm, sub-balastro de 25 cm, capa de grava de 20 cm, capa de arena de 15 cm, plataforma
Balastro		
Coeficiente de Deval	>8	>12
Coeficiente de Los Ángeles	<15	<12
Rigidez vertical		
Rigidez vertical óptima	50 - -60 kN/mm	78 kN/mm

Fuente: Elaboración propia con datos de Ruano Gómez (2007), Teixeira (2005).

La rigidez vertical de la vía depende de la rigidez de los componentes: carril, placa de asiento, fijaciones, balastro, sub-balastro y plataforma. La rigidez debe ser óptima ante dos efectos contrapuestos: evitar deformaciones verticales o deflexiones en el carril (solicitaciones dinámicas verticales), pero evitar a la vez una disipación de potencia en la vía, lo que aumentaría los costos de tracción.

La plataforma es la estructura construida sobre la explanación que sustenta las capas de asiento, la vía y los dispositivos de control de movimiento de los trenes. Está formada por el

terreno, en caso de desmontes, o por suelos de aportación, en el caso de terraplén en el relleno de una depresión. Debe tener pendientes transversales para la evacuación de aguas pluviales. Para líneas de alta velocidad se requieren plataformas de mayor calidad que en las convencionales, para evitar diferencias en el terreno que produzcan deformaciones que pueden ser peligrosas a altas velocidades.

Obras civiles

Las obras de arte se componen sobre todo por puentes o viaductos, túneles, pasos superiores, inferiores y a nivel.

En cuanto a los pasos superiores e inferiores, no hay diferencias significativas entre las líneas convencionales y las de alta velocidad (Ruano Gómez, 2007). En líneas de alta velocidad, así como en convencionales con velocidades superiores a 140 km/h, no hay pasos a nivel. Al respecto, cabe señalar que las líneas de alta velocidad precisan de cerramiento de toda la línea.

En cuanto a los puentes o viaductos, todos los ferroviarios son estructuras muy rígidas, que deben soportar cargas elevadas debido al balastro y al peso de los trenes, además, deben soportar fuerzas horizontales derivadas de las interacciones vía-tablero, del frenado y arranque de vehículos y a fuerzas sísmicas y eólicas.

Una diferencia relevante entre los puentes de vías de alta velocidad y los de vías convencionales es la longitud que suelen tener; las vías convencionales corren sobre trazos más sinuosos, con radios e curva menores, lo que facilita buscar un trazo con puentes cortos y de poca altura, mientras que las líneas de alta velocidad demandan trazos más rectos, por lo que las especificidades del terreno deben ser superadas mediante puentes (y túneles) más largos, altos, rectos y rígidos.

En cuanto a los efectos dinámicos que soportan los puentes de líneas de alta velocidad, además de los provocados por la carga móvil, hay que considerar la resonancia que es un factor relevante para velocidades superiores a 220 km/h. El cálculo dinámico de puentes para

líneas de alta velocidad debe ser exhaustivo, a diferencia de las líneas convencionales, en las que es suficiente con una comprobación de frecuencia. La resonancia en trenes de alta velocidad puede generar una rápida trituración de la capa de balastro, la formación de espacios huecos bajo las traviesas y el deterioro de la nivelación longitudinal y transversal de la vía.

Los puentes de líneas de alta velocidad, al ser característicamente más largos, están sujetos a acciones transversales y longitudinales mayores a los de líneas convencionales, por efectos del viento y de movimientos sísmicos; este factor también se debe tomar en cuenta para el cálculo de puentes.

La interacción vía-tablero se comporta de manera sistémica, pues interactúan a través de traviesa y balastro. Los movimientos de la vía respecto del balastro suelen ocurrir por variaciones de temperatura del carril, frenado y arranque de los vehículos y flexión del tablero. Para reducir este fenómeno se suelen utilizar los aparatos de dilatación descritos en la superestructura.

La diferencia básica entre los túneles de líneas convencionales y de alta velocidad está en las dimensiones de la sección transversal. Debido a la velocidad de los trenes, las líneas de alta velocidad tienen efectos aerodinámicos en los túneles mucho mayores que las convencionales, por ejemplo el efecto pistón, que es el que se genera por la presión del aire al ser empujado por el tren dentro de un túnel; también el rozamiento túnel-aire-tren es mayor; por lo que la sección de los túneles en líneas de alta velocidad es mucho mayor a fin de amortiguar estos efectos. Para una línea convencional de vía doble, la sección típica de túnel es de 40-50 m², mientras que para altas velocidades la sección típica es de 70-110 m².

4.3.1.2. Construcción

Se puede dividir en dos fases consecutivas, la construcción de la plataforma y el montaje de la vía.

Construcción de la plataforma

De acuerdo con Ruano Gómez (2007), la construcción de la plataforma, tanto en líneas convencionales como de alta velocidad, tiene seis fases:

1. Determinación y replanteo de la traza
2. Consolidación del terreno de asiento de las obras de tierra
3. Construcción de puentes y túneles
4. Realización de obras de fábrica
5. Realización de obras de tierra
6. Ejecución de postes de electrificación, cunetas, canalizaciones, pozos y tomas de tierra

La principal diferencia entre la construcción de líneas tradicionales y de alta velocidad está en cuanto a la cantidad y calidad de las obras; aunque en ambos casos se utilizan básicamente los mismos procedimientos de ejecución y métodos.

La principal diferencia en la construcción de puentes y túneles estriba en que las líneas convencionales, en su mayoría, se construyeron en los siglos XIX y XX; mientras que las de alta velocidad son principalmente del siglo XXI. Dado el avance tecnológico, los métodos de construcción utilizados se han actualizado, no sólo (no principalmente) por las exigencias de la alta velocidad, sino por la diferencia de época histórica.

Derivado de las nuevas exigencias medioambientales, las obras de alta velocidad cuentan con más y mejores obras de fábrica, como los pasos de fauna con luces más grandes y mejor integración paisajística. Ello se deriva, no tanto de la técnica de construcción, sino del diseño.

Dadas las exigencias de trazo de las líneas de alta velocidad, en su construcción suele tener lugar una gran cantidad de movimientos de tierra, superiores a los que ocurren en la construcción de líneas convencionales. Este factor suele tomarse en cuenta desde la planeación de la línea y es un elemento considerado en las manifestaciones de impacto

ambiental (MIA); al menos para el caso del Tren México-Querétaro, este factor está considerado (SCT, 2014b).

Los terraplenes constituyen un elemento clave para la conservación de las vías de alta velocidad, cuya calidad geométrica es mucho más demandante que las líneas convencionales. Después de construidos los terraplenes suelen tener movimientos verticales debido a que el material se asienta (asientos post-constructivos) y también a los dinámicas derivadas del paso del tren. Otro factor es que el paso de un tren a alta velocidad puede hacer volar el balastro, que golpea sobre el sistema de rodadura o de frenado del tren.

Por lo anterior, autores como Melis Maynar (2006) y Molinar Yago (2009) sugieren el uso de vía en placa, práctica adoptada por países como Japón o Alemania para sus líneas de alta velocidad. El problema que tienen estos sistemas es su alto costo de instalación; también que, aunque suelen deformarse menos que la vía en balastro, una deformación de vía en placa es mucho más difícil y costosa de reparar; los esfuerzos a los que está sujeta una vía en placa en pendientes pueden causar deformaciones con relativa facilidad.

Otra solución es reducir el asiento de terraplenes mediante diferentes técnicas, como la ejecución de columnas de grava, la aplicación de precarga, bajar la rasante, entre otras.

Montaje de vía

El montaje de vía se realiza mediante la repetición de cinco operaciones básicas:

1. Base de montaje y suministro de materiales
2. Colocación de vía auxiliar
3. Descarga de materiales (traviesas, sujeciones, carriles, etc)
4. Extensión de capa de balastro
5. Nivelación y estabilización

El montaje de vía varía de acuerdo con si es sobre balastro o sobre placa. El Tren México-Querétaro está planteado para ser sobre balastro, por lo que se considera este tipo de vía.

El material es suministrado regularmente por la misma vía férrea, mientras se va construyendo, por lo que la disposición de elementos necesarios para la construcción es en serie (no en paralelo); para liberar el espacio se deben disponer de cambios de vía suficientes para facilitar una circulación fluida y optimizar los tiempos de movimiento en cada ciclo.

La construcción de la base de montaje y suministro de materiales, que son estructuras donde se efectúan operaciones durante la fase de montaje de vía, así como el replanteo topográfico y la descarga de materiales son elementos que no cambian por que la vía sea convencional o de alta velocidad. Por el contrario, la extensión de la capa de balastro tiene un procedimiento diferente; para líneas convencionales se hace una sola descarga de balastro, mientras que para alta velocidad se hacen dos descargas, una de 12 a 20 cm de espesor antes de iniciar el montaje de vía, y otra ya que está ejecutado el montaje de vía, hasta alcanzar 35 cm.

Como quedó establecido, los carriles de líneas de alta velocidad suelen ser del doble de longitud que los de vías convencionales, con barras electrosoldadas, que se unen entre sí con soldaduras aluminotérmicas o eléctricas.

Las traviesas de las líneas de alta velocidad se montan de manera similar a las de las líneas modernas de trenes convencionales, se descargan de dos en dos en el frente de montaje y se pasa una de ellas a la vía paralela para que vayan replanteadas perfectamente.

El balastro se coloca con el uso de extendedoras de balastro con cable guía o control láser que aseguran la uniformidad del balastro y el espesor, también la uniformidad granulométrica que garantiza un asiento de vía adecuado. Ya que está montada la vía sobre la primera capa, se aporta más balastro para ir levantando la vía al espesor de diseño.

La nivelación se realiza mediante bateadoras, con métodos más precisos que los requeridos en líneas tradicionales a través de múltiples levantes de vía. La estabilización dinámica se realiza con una máquina especial para esta función, cuyo efecto equivale al paso de 100,000

t de circulaciones sobre la vía. Se utiliza esta máquina después de cada levante para garantizar un buen asiento de vía.

Una vez que está hecha la primera nivelación se sueldan las barras y se liberan las tensiones internas. Debido a que la variación térmica en la soldadura puede producir efectos indeseables en la vía se debe controlar estrictamente la tolerancia en las soldaduras y la temperatura de fijación de carriles. Se puede verificar la calidad de las soldaduras visualmente con la ayuda de líquidos penetrantes, ultrasonido. La cabeza de la vía se perfila para corregir posibles daños relacionados con los trenes de trabajo. A lo largo del montaje, se precisa de tres nivelaciones.

4.3.1.3. Explotación

La explotación del sistema ferroviario incluye a los elementos que permiten la funcionalidad del mismo. De acuerdo con Ruano Gómez (2007), hay cinco aspectos relevantes para la explotación de un tren de alta velocidad: material rodante, estudio del impacto, instalaciones ferroviarias, mantenimiento y cambiadores de ancho. Dado que el estudio de impacto se analiza en los capítulos 2 y 5, y que en México no es necesario el cambio de ancho pues todas las vías en operación son estándar, sólo se toman en cuenta para este apartado los otros tres aspectos.

Material rodante

Son los vehículos capaces de circular sobre la vía férrea. Típicamente un tren suele tener tres tipos de material rodante:

- Material motor, que proporciona la tracción y no tiene capacidad de llevar carga comercial, como la locomotora
- Material remolcado, dedicado al traslado de viajeros, de mercancías o de ambos, no tiene capacidad tractora. Usualmente se separan los coches de viajeros y los vagones de mercancías de diferentes tipos

- Material autopropulsado, que tiene capacidad tractora y lleva carga comercial, típicamente pasajeros

Se distingue también a los trenes de alta velocidad de los convencionales. Los primeros son los que circulan a velocidades mínimas de 250 km/h en líneas construidas especialmente para esta circulación; también los que circulan a velocidades de 200 km/h en líneas preexistentes acondicionadas (CE, 1996). Para los fines de la presente tesis, se considera al Tren México-Querétaro como de construcción especial para alta velocidad. En México no hay trenes de alta velocidad, como queda establecido en el capítulo 5.

Los trenes de alta velocidad suelen tener diseños aerodinámicos, que ayudan a reducir, tanto los efectos aerodinámicos del tren en su paso por el túnel, como la resistencia al avance y efecto del viento lateral sobre el tren. Otra diferencia básica de diseño es la unión articulada entre coches que tienen los trenes de alta velocidad, pues se busca una mayor solidez del tren como estructura, a fin de mejorar el comportamiento; es decir, en los trenes de alta velocidad no se pueden separar unos coches de otros, por lo que son composiciones indeformables; es además un dispositivo antivuelco y anticaballamiento.

En cuanto a la capacidad motriz, en los trenes de alta velocidad suele no distinguirse el material motor del remolcado, pues los coches son autopropulsados. Esta es una diferencia con muchos trenes convencionales, aunque cabe señalar que en los trenes suburbanos y en el sistema de transporte colectivo metro de México existen también coches autopropulsados.

Los bogies son el conjunto de pares de ruedas montadas sobre ejes paralelos que forman un carretón. Los trenes de alta velocidad requieren de bogies particulares que reduzcan los esfuerzos verticales, a fin de mejorar la estabilidad y reducir el deterioro de la vía. Las principales diferencias en los bogies de trenes de alta velocidad y convencionales se señalan en la tabla 4.5.

Reducir el peso de los bogies mejora el comportamiento frente a esfuerzos transversales. La disposición de los motores en los bogies es un adelanto tecnológico que se ha incorporado

también a los trenes convencionales nuevos, por lo que no es sólo por causa de la alta velocidad. La ubicación del bogie como elemento de anclaje es posible gracias a que los trenes de alta velocidad no se separan los coches; esta disposición proporciona también más estabilidad.

La tracción de los trenes de alta velocidad es típicamente eléctrica. Los trenes convencionales tiene sistemas de tracción diversos; los trenes a vapor están prácticamente extintos; sin embargo, los trenes con motores térmicos son muy comunes, tanto turbomotores, como motores a diésel; también hay trenes convencionales a tracción eléctrica, particularmente para el transporte de personas. Tal es el caso de los suburbanos y los sistemas de transporte urbano de personas, como el metro o el tren ligero.

Tabla 4.5. Características de los bogies de trenes.

	Convencional	Alta Velocidad	Causa
Tipo de bogie	1 motor por eje (motor en el bogie)	1 motor por bogie (motor bajo la caja del vehículo)	Reducción de peso. Mejor comportamiento frente a esfuerzos transversales
Peso	~18-13 t	~6 t (aleaciones de Al que reducen el peso)	Reducción de peso. Mejor comportamiento frente a esfuerzos transversales
Distancia entre bogies	~18 m	~19 m	Mayor estabilidad
Empate	~2.5 m	~3 m	Mayor estabilidad transversal
Flexibilidad	12-16 t/mm	19 t/mm	Menor deterioro de la vía
Ubicación	Bajo la caja	Como elemento de anclaje	Mayor espacio Mayor confort

Fuente: Ruano Gómez, 2007.

Dentro de los trenes a tracción eléctrica hay de tracción concentrada, en los que una serie de coches son remolcados por una cabeza tractora (locomotora), y de tracción distribuida, en los que los coches tienen sistemas de tracción, por lo que el esfuerzo de tracción no recae sólo en la locomotora, sino en cada coche, o en diferentes coches a lo largo de todo el tren.

Los trenes de alta velocidad suelen tener sistemas de tracción distribuida, en especial los que desarrollan velocidades superiores a los 300 km/h, debido a que la tracción concentrada suele tener sobrecargas dinámicas que afectan a la geometría de la vía que es un parámetro clave para altas velocidades. Otra razón es que en los sistemas de tracción distribuida el peso por eje es menor que en la concentrada; en el primer caso el peso por eje llega a 12 t/eje, mientras que en el segundo, a 17 t/eje (Ruano Gómez, 2007); esta diferencia de peso reduce los esfuerzos verticales sobre la vía que, nuevamente, favorece la conservación de la geometría de la vía. Los sistemas de tracción distribuida, para el caso de trenes de alta velocidad, reparten el equipo eléctrico a lo largo de todo el tren bajo el bastidor, lo que aumenta el espacio para los viajeros.

Los trenes de alta velocidad tienen un peso menor que los convencionales, debido principalmente a cuatro factores:

- Cajas de materiales ligeros (por ejemplo, aluminio)
- Bogies más ligeros (bogie monomotor)
- Nuevos materiales y diseños en los motores de tracción
- Transformadores en motores más ligeros

Es también importante para los trenes de alta velocidad disminuir el peso no suspendido, que es el que actúa sobre la superficie del carril sin interposición de algún elemento elástico (sin ningún tipo de amortiguamiento), Para los trenes convencionales el peso no suspendido ronda las 2,8 t/eje, mientras que para los de alta velocidad es del orden de 1.4 t/eje (López Pita, 2005, Tomo I).

El sistema de frenado de los trenes de alta velocidad no tiene diferencias significativas de concepto, pues básicamente ambos tipos de trenes utilizan una combinación de frenos neumáticos (de zapata o de disco), reostáticos y de recuperación; la principal diferencia es en cuanto a la potencia de los frenos, pues a mayores velocidades, mayores distancias de parada y mayor potencia.

La suspensión de los trenes de alta velocidad y los trenes convencionales de pasajeros suele tener un elemento de amortiguación entre el eje y el bastidor del bogie (suspensión primaria) y otro elemento de amortiguación entre el bastidor y la caja (suspensión secundaria). Los trenes de alta velocidad tienen una mayor flexibilidad de la suspensión; la suspensión primaria suele ser de muelles helicoidales de acero y la secundaria, de tipo neumático.

Instalaciones ferroviarias

Para fines de este apartado, son aquellas que permiten el funcionamiento del sistema ferroviario, en particular las instalaciones eléctricas y los sistemas de señalización y telecomunicaciones.

El sistema de electrificación requerido por un tren de alta velocidad está descrito en el capítulo 5, se compone principalmente por las líneas de alimentación a las subestaciones de tracción en alta o muy alta tensión, las subestaciones de tracción y la línea aérea de contacto (catenaria) de donde el tren capta la energía.

En los trenes de alta velocidad se debe garantizar un suministro continuo y estable de energía, de lo contrario no será posible alcanzar las velocidades de diseño del tren; de igual manera, es imprescindible garantizar una adecuada interfase con la vía, que es un elemento activo del sistema de electrificación. Por ello, las exigencias al sistema de alimentación son mayores que en las líneas convencionales. Los sistemas de suministro de energía en las líneas de alta velocidad suelen tener doble catenaria, lo que garantiza un contacto continuo entre el pantógrafo del tren y la línea de suministro.

Las principales diferencias en los sistemas de electrificación entre líneas convencionales y de alta velocidad se deben a que los motores de alta velocidad son monofásicos y de funcionamiento más delicado que los de líneas convencionales; requieren de corriente alterna y de tensiones en catenaria muy superiores. Las principales diferencias en los sistemas de electrificación entre ambas líneas de tren se establecen en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Diferencias entre sistemas de electrificación de líneas convencionales y de alta velocidad.

Componente	Línea convencional	Línea de alta velocidad
Tipo de corriente	C.D. (corriente directa)	C.A. (corriente alterna)
Motor de tracción	Buen motor de tracción	Motor monofásico de funcionamiento más delicado que el de c.d.
Tensiones en catenaria	Bajas (750, 1,500, 3,000 V)	Altas (25,000 V)
Subestaciones	Cada ~20 km	Cada ~50 km

Fuente: Ruano Gómez, 2007.

Las líneas de alta velocidad tienen sistemas de señalización y telecomunicaciones basados en las posibilidades que brinda la fibra óptica y la comunicación celular; suelen tener, a diferencia de los trenes convencionales, señalización en cabina, pues las altas velocidades hacen poco confiable la lectura de señales laterales. Establecer un tren de alta velocidad en México implica decidir el estándar de señalización y telecomunicaciones que se asumirá, y que, de desarrollarse otras líneas de alta velocidad, convendrá armonizar. Uno de los sistemas más robustos es europeo conocido como ERTMS (*European Rail Traffic Management System*); sin embargo, no es el único sistema disponible.

El mantenimiento es un elemento fundamental para la conservación de las vías y de todo el sistema ferroviario. De manera general existen tres tipos de mantenimiento: predictivo, preventivo, correctivo. Las líneas de alta velocidad han desarrollado estándares de mantenimiento preventivo elevados, a través de la vigilancia y auscultación de las vías. De acuerdo con Ruano Gómez (2007), hay cinco elementos en los que se basa la vigilancia y auscultación de las vías para trenes de alta velocidad:

- Auscultación geométrica, en la que se registran los parámetros geométricos y defectos de gran longitud de onda
- Auscultación dinámica, en la que se registran y controlan las aceleraciones en la caja del vehículo y del bogie a fin de detectar defectos evolutivos
- Auscultación ultrasónica de los carriles, que permite hacer pruebas de control no destructivas en los carriles en búsqueda de defectos internos
- Recorrido a pie y en cabina

- Levantamientos topográficos

4.3.2. Competencias tecnológicas disponibles en México hacia el TAV.

A continuación realizo un análisis de las competencias tecnológicas disponibles en México; me baso en la experiencia de construcción y operación de trenes de pasajeros a tracción eléctrica con rodadura férrea que actualmente circulan en México; en concreto tomo datos de tres líneas: líneas A y 12 del STC Metro de la Ciudad de México y el Tren Suburbano Buenavista-Cuautitlán de la Ciudad de México. En tanto las obras civiles son estructuras necesarias para otros tipos de trenes y para la red carretera, las capacidades nacionales también están reflejadas en otros sistemas de transporte, por lo que los analizo cuando resulta necesario.

Históricamente existió un tren eléctrico entre las ciudades de Querétaro y México, que operó dos años, de 1994 a 1996, año en que, por decreto presidencial, se desincorpora del Estado, motivo por el cual salió de operaciones. Esta línea funcionaba con locomotoras General Electric, serie GE E60 C2, diseñadas y construidas en Aguascalientes, México; su máxima velocidad era de 145 km/h (Delgado y Ramírez Vázquez, 1998). En este apartado no lo considero, no por falta de méritos técnicos, sino porque actualmente no opera en el país y esas competencias pudieran no estar presentes.

4.3.2.1. Desarrollo del tren suburbano Buenavista-Cuautitlán

Datos obtenidos del Libro Blanco (STC. 2012)

Generalidades

El tren suburbano Buenavista-Cuautitlán tiene 27 kilómetros de longitud y siete estaciones. Fue construida entre 2005 y 2008 por la empresa española Construcciones y Auxiliares de Ferrocarril (CAF), y es operada por su subsidiaria Ferrocarriles Suburbanos, S.A. De C.V. La

obra tuvo una inversión de 706 millones de dólares y fue co-financiada por inversión pública 53%, y por el concesionario 47% (SCT, 2012).

La concesión original daba el derecho de explotación en exclusiva por 30 años e incluía la extensión hasta Huehuetoca. Se planeó en un inicio un flujo de personas de 298,000 al día; sin embargo, debido a que la línea sólo opera hasta Cuautitlán, a que la mayoría de las estaciones están sobre zonas primordialmente industriales y a diversos problemas de planeación y ejecución de rutas alimentadoras y de infraestructura, la afluencia real a tres años del inicio de operaciones (en junio de 2011) era de la mitad, lo que supone un menor rendimiento sobre la inversión de lo proyectado y una situación financiera insostenible por parte del concesionario; razón por la cual, la concesión en exclusiva se extendió en 15 años, para un total de 45 años, considerando un aforo de 192,666 pasajeros al día. Actualmente se cabildea la construcción de la extensión de la vía hasta Huehuetoca, hacia zonas Construcciones y Auxiliares de Ferrocarril habitacionales conurbadas de la Ciudad de México, con lo que se espera que la afluencia de personas se compense (SCT, 2012).

El parque vehicular

El parque vehicular está formado por trenes de tipo unidades múltiples a electricidad (EMU), de la Serie 447 de Renfe, con ancho de vía estándar (1,435 mm), con cuatro unidades por tren y son movidos por energía eléctrica suministrada a un pantógrafo superior por catenaria de 25 kVcc. Fueron fabricados en España, con motor eléctrico de manufactura japonesa (Mitsubishi). El ensamblado se realizó con mano de obra e insumos mexicanos (40% de la manufactura total), en la planta de Huehuetoca, Estado de México, de CAF.

Las partes del paquete tecnológico relativo al parque vehicular manufacturadas con mano de obra e insumos mexicanos fueron las siguientes:

- 640 ventanas,
- 480 puertas de pasajeros,
- 4.600 asientos para pasajeros y 40 asientos de conductor,

- 80 elementos de fijación para sillas de ruedas y un lote de pasamanos para los 80 coches,
- acoplamiento mecánico – eléctrico de 160 bogies,
- 40 pantógrafos para toma de corriente,
- 60 pasillos de intercomunicación entre coches,
- 160 porta equipajes,
- 80 juegos de tableros para piso,
- Instalación de 80 cubiertas de piso,
- puestas a tierra y mecanismos de desbloqueo de puertas,
- difusores de aire,
- ductos y reguladores de climatización,
- iluminación exterior de carros,
- indicadores y alumbrado de interiores,
- radiadores de calefacción y areneros,
- revestimiento de interiores y de cabina,
- climatización de cabinas y asientos de conductor,
- soportes para revestimientos interiores y de cabina,
- 80 puertas de cabina de conducción y extintores,
- faldones para 80 coches y pupitre de mandos,
- pintado de franjas en cajas,
- realización de pruebas de equipos y puesta en servicio.

Las obras de infraestructura

La concesión original incluye el derecho de uso de dos vías férreas preexistentes, en condiciones adecuadas para su utilización, “con pocos asentamientos irregulares en el derecho de vía” (SCT 2012). Sin embargo, habían cientos de familias asentadas irregularmente en el derecho de vía, su reubicación, junto con otros factores de negociación con la sociedad civil y los gobiernos locales, ocasionaron un retraso de un año en la conclusión de la obra.

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE 2008), la empresa tuvo a su cargo la construcción de un puente ferroviario, un paso ferroviario a desnivel, ampliación de dos pasos más, confinamiento lateral con mallas, bardas y cercas en 54 km, seis estaciones y siete obras de superficie de Centros de Intercambio de Medios, un centro de control de tráfico y despacho de trenes, dos talleres, un patio de guardado, además de la adecuación de la infraestructura de la vía y de la terminal Buenavista, con tres túneles de interconexión con otros medios de transporte.

La adecuación de vía corrió por parte del concesionario e incluyó la construcción, instalación y mantenimiento de taludes, basalto, durmientes, rieles, herrajes y cortavías. Realizó las obras del sistema de suministro de energía y catenaria. Fue también responsable de proveer otras partes del paquete tecnológico: electrificación, control de tráfico y señalización, equipamiento de estaciones, boletaje y otros.

Para la concreción de la obra civil, la compañía subcontrató a dos empresas: Constructora Mexicana del Ferrocarril Suburbano, S.A. De C.V. (México) y Constructora del Ferrocarril Suburbano, S.L. (España). Aunque la primera empresa es filial de CAF México, de capital primordialmente español, opera con ingenieros principalmente mexicanos.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se encargó de la construcción de 19 pasos vehiculares para evitar cruces a nivel, obras viales para alimentar a las siete estaciones y terminales, 24 puentes peatonales y otras obras urbanas, además de la liberación del derecho de vía y la adquisición de terrenos para terminales y estaciones.

La obra generó 4,000 empleos temporales directos y 8,000 indirectos durante el tiempo de ejecución, y el proyecto generó adicionalmente 200 empleos permanentes directos y 400 indirectos. La concesionaria opera el sistema con personal mexicano.

Algunas consideraciones

Desde un inicio la compañía se apalancó en julio de 2006 con créditos adquiridos en España, por un importe de 217.25 millones de euros (3,414 millones de pesos (mdp)), con una tasa de interés creciente de 0.07% hasta 548% durante un periodo de 14 años.

Si bien la obra funciona adecuadamente, a pesar de contar con vías existentes el proyecto se entregó con un año de retraso debido a problemas diversos que no son imputables al contratista. Aunque en el estudio de factibilidad se informa que no hay asentamientos irregulares importantes en el derecho de vía, las negociaciones para desalojar a las personas que habitaban en el espacio de las vías fue ardua y problemática, su reubicación no estuvo exenta de problemas, lo que retrasó la conclusión de la obra.

16 de 55 obras viales de acceso a las estaciones que tenía que hacer la SCT no fueron terminadas a tiempo, es decir, para diciembre de 2008. La Secretaría no implementó el Plan de Transporte que establecía rutas alimentadoras y medios de transporte público; estos dos eventos en conjunto causaron escasa afluencia de pasajeros.

Al tener menos pasajeros que los proyectados en el plan de negocios y al cargar el costo financiero de un año de atraso en la obra (a intereses progresivos), la viabilidad operativa y financiera de la empresa se vio comprometida. En marzo de 2010 el proyecto alcanzó su punto de equilibrio operativo; sin embargo, los ingresos excedentes al costo de operación desde esa fecha y hasta abril de 2011 sirvieron para cubrir el déficit operativo acumulado desde junio de 2008 (113 mdp).

La línea ha operado continuamente con menos afluencia que la programada en el plan de negocios, de tal modo que, para agosto de 2011, el concesionario alcanzó una situación financiera insostenible, por lo que se había dispuesto del fondo contingente para la deuda, desde 2008 hasta junio de 2011 por 1,178 mdp, pero a partir de junio de 2012, el concesionario no podría hacer frente a sus obligaciones crediticias; el concesionario reflejó en 2011 una pérdida de capital social de un 74.7% sobre el capital total; además, existían en junio de 2011 dos demandas interpuestas por el Concesionario contra la SCT, una por 1,475

mdp por diferencia de ingresos programados debido al incumplimiento de obras de ingreso a estaciones, y otra por 1,166 mdp por un procedimiento administrativo en revisión por los tribunales.

Debido a la situación financiera y de afluencia de pasajeros, se hizo una reestructura financiera global del proyecto en septiembre de 2011, en donde el Fondo Nacional de Infraestructura (FNI) inyectó 1,629 mdp mediante la adquisición del 49% del capital accionario, se otorgó un apoyo recuperable como línea de crédito por 2,340 mdp para el pago de intereses, se extendió la concesión de 30 a 45 años, se ajustó el plan de negocios a una tasa interna de retorno de 8% nominal (4% real aprox.), entre otras medidas.

Al margen de las vicisitudes financieras, el contenido tecnológico nacional desarrollado en este proyecto es pequeño. En realidad se utilizaron competencias presentes en el país para el ensamblado de los coches y las obras de infraestructura. No es despreciable la utilización de capacidades técnicas, pero no hubo el desarrollo de habilidades de diseño de coches, sistemas de control y otros elementos clave. Operativamente, la obra funciona razonablemente bien con personal mexicano.

4.3.2.2. Desarrollo de la línea A del STC Metro de la Ciudad de México

Generalidades

Esta línea del Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro de la Ciudad de México corre desde Pantitlán en el D.F., hasta La Paz en el Estado de México. Posee diez estaciones, ocho en el D.F. y dos en el Estado de México; la estación Pantitlán es subterránea, y el resto de estaciones son en superficie. Tiene una longitud de poco más de 17 km, de los cuales casi 15 km son de servicio de pasajeros, y el resto para maniobras y mantenimiento (STC Metro, 2014c).

Su construcción inició en 1990 y fue inaugurada en agosto de 1991. En su totalidad, la obra de infraestructura fue realizada por la empresa mexicana Ingenieros Civiles Asociados, S.A.

De C.V. (ICA), que ganó la licitación para su construcción y los trenes fueron hechos en México por un consorcio de tres empresas. Es operada por el STC Metro, que es una empresa pública (STC Metro, 2014c).

La línea transporta diariamente a 287,047 personas (STC Metro, 2014a). Fue originalmente pensada como una línea suburbana alimentadora del STC desde los poblados municipios del oriente de la ciudad; la delegación de Iztapalapa, en donde se sitúan 5 de las 10 estaciones, es la más poblada del D.F., con más de 1,400,000 personas. Dada esta visión de línea alimentadora suburbana, hasta enero de 2014 esta línea operaba con un cobro de boleto independiente del resto del STC Metro, por lo que el transbordo en Pantitlán a las otras tres líneas generaba un doble costo en ambos sentidos; debido a un reajuste tarifario, a partir del 2014 se eliminó este doble costo y el transbordo se hace sin tener que pagar otro boleto, con lo que se integró de lleno al STC. Actualmente hay planes de ampliar la línea hasta el municipio de Chalco, en el Estado de México (Pazos, 2014); sin embargo, a la fecha no hay una obra proyectada, por lo que es sólo un plan.

ICA ha construido la mayoría de las líneas del metro de la Ciudad de México, incluyendo las líneas 1 y 2, para las que tuvieron que desarrollar una tecnología propia, dadas las problemáticas características del subsuelo de México en su zona centro, pues la ciudad fue construida sobre un lago (Baños-Lemoine, 2014). ICA construyó también la línea A.

El parque vehicular

El parque vehicular está formado por trenes de EMU, modelo FM95A, de rodadura férrea, con ancho de vía estándar (1,435 mm), con seis unidades por tren y son movidos por energía eléctrica suministrada a un pantógrafo superior por catenaria de 750 Vcc. El tren tiene una longitud de 110 m, un peso de 207 toneladas, una capacidad de transporte de 1,360 pasajeros como máximo de seguridad, y una velocidad máxima de 85 km/h (STC Metro, 2014c).

Fueron diseñados y construidos en México por ingenieros mexicanos, a través de un consorcio formado por las empresas Bombardier, Concarril, S.A. De C.V. y CAF. Aunque

Bombardier es de origen canadiense, actualmente tiene una participación mexicana importante, pues en 1992 compró a la paraestatal Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril (Concarril), con la planta de construcción en Ciudad Sahagún, Hidalgo (Bombardier 2013).

Las obras de infraestructura

El total de las obras fueron realizadas con ingeniería y mano de obra mexicana, por ICA. La vía es de ancho estándar, con un sistema de riel sobre durmientes de hormigón, soportados sobre una cama de balastro, en cajón de concreto hidráulico.

La línea A, corre principalmente a lo largo de la calzada Zaragoza, en la zona oriente de la Ciudad de México. Debido a las características del suelo, está construida mediante dos procedimientos: túnel falso de sección rectangular con muros Milán, con losa de piso y techo; y construcción en superficie.

El primer procedimiento se utilizó en tres tramos. El primero parte de la estación terminal Pantitlán tiene una longitud aproximada de 1,600 m, sirve para cruzar por debajo de la línea 5 y de una parte de la calzada Zaragoza. El segundo tramo de 500 m se construyó para librar la calzada Zaragoza entre Acatitla y Santa Marta. El tercer tramo tiene una longitud de 385 m y sirve para cruzar la carretera México-Texcoco.

El procedimiento superficial es el más utilizado en la línea y consiste en una estructura de concreto hidráulico en cajón abierto, con una losa de fondo, dos muros laterales que funcionan como confinamiento y un muro central de seguridad.

La administración y operación de la obra corre por cuenta del STC Metro. Como tal, el mantenimiento de las obras de infraestructura y del material rodante forma parte de un sistema más amplio, que es el del propio sistema.

Algunas consideraciones

De todo el STC Metro esta es la línea que más problemas tiene con las vías, pues es frecuente que éstas se deformen y presenten curvaturas, por lo que las obras de renivelación y alineación de rieles son constantes; en 24 años se ha tenido que suspender el servicio en cinco ocasiones para hacer intervenciones necesarias. Dicho problema se debe a que la zona en la que corre la línea A tiene frecuentes deslizamientos de suelo que deforman las vías.

El establecimiento de este tren permitió que México mantuviera e incrementara sus capacidades de diseño de carros y sistemas; si bien contó con la participación de la canadiense Bombardier, el contenido nacional fue casi total.

4.3.2.3. Desarrollo de la línea 12 del STC Metro de la Ciudad de México

Generalidades

La línea 12 corre por el sur de la Ciudad de México, de Mixcoac a Tláhuac. Se integra por 20 estaciones de las que nueve son subterráneas, nueve elevadas y dos superficiales. En inicio se programaron 23 estaciones; sin embargo, debido a oposición vecinal en una estación y a recomendaciones por parte del Instituto Nacional de Antropología e Historia, tres estaciones del trazo original fueron suprimidas (SYSTRA, 2014).

Es una línea de rodadura férrea, con ancho estándar (1435 mm), alimentada por catenaria a 1,500 vcc; la alimentación de energía eléctrica es en alta tensión, 230 kVA; cuenta con señalización en línea, pilotaje automático digital, puesto de control en línea y radio telefonía de radio troncalizado digital.

La línea tiene una longitud de casi 24.5 km, de los cuales 20.3 km son para el transporte de pasajeros, y el resto son para maniobras. El trazo tiene 2.8 km superficiales, 12.1 km como

viaducto elevado, 2.8 km en cajón subterráneo y 6.8 km con túnel profundo (STC Metro, 2014b).

En el 2014 registró una afluencia de 57,496,027 pasajeros, es decir, un promedio de 157,523 pasajeros diarios. Cabe mencionar que por diversos problemas técnicos que se analizan posteriormente, la línea funciona actualmente lejos de su demanda estimada, superior a 367,000 pasajeros diarios (STC Metro, 2014b).

El parque vehicular

Se trata de 30 trenes de manufactura española CAF, de la serie FE-10, formados de siete unidades por cada tren; dos coches remolque con cabina y cinco coches motores intermedios. La estructura es de aluminio a base de perfiles extruidos. La longitud del tren es de 140 m, el ancho exterior es de 2,800 mm, la altura es 3,840 mm, tiene un peso de 238 toneladas. Tiene una capacidad de 1,900 pasajeros, 271 por coche como máximo de seguridad.

La alimentación es por catenaria de 1,500 V, a corriente directa, con toma de alimentación por pantógrafo con patín de rozamiento de carbono. Cada coche está soportado por dos bogies de dos ejes, con ruedas metálicas en acero forjado. Todos los bogies son bimotores, fijados elásticamente al bastidor; tiene suspensión primaria de elementos de caucho-acero y suspensión secundaria neumática. Cada bogie tiene sistema antibalaneo. La totalidad del parque vehicular fue diseñado y construido por CAF en España (STC Metro, 2014d).

Las obras de infraestructura

La obra civil tuvo un costo de 17,500 millones de pesos y fue realizada por un consorcio de empresas mexicanas integrado por ICA, Carso Infraestructura y Construcción y Alstom Mexicana. Es una vía férrea, con riel 115 R.E. de acero, apoyado sobre durmientes de hormigón, con cama de balastro, en cajón de concreto (SYSTRA, 2014).

La vía fue construida bajo especificaciones y trazo aportados por el Gobierno del Distrito Federal. Algo relevante para esta obra y algunos problemas que ha tenido es que, dado el trazo, tiene dos curvas con radio inferior a los 200 m (110 y 112 m de radio) y ocho curvas con radio de 200 m (SYSTRA, 2014).

La obra comenzó el 22 de septiembre de 2008 y se inauguró el 30 de octubre de 2012. La obra civil tuvo varias modificaciones en las fechas, tanto de inicio como de término, pues en la licitación se marca como fecha de término la del 31 de diciembre de 2011; sin embargo, esta fecha tuvo que ser ajustada por motivos diversos, sobre todo, presupuestales (SYSTRA, 2014).

Algunas consideraciones

Si bien la obra civil empezó en julio de 2008, el contrato para el suministro del material rodante se firmó el 31 de mayo de 2010 (Milenio, 2014). La obra fue desarrollada considerando un material rodante similar al que transita en la línea A del STC Metro; sin embargo, los trenes fueron construidos por CAF, bajo especificaciones del STC Metro, pero con estándares europeos. La línea tiene fundamentalmente estándares americanos; por ende, la línea empezó a presentar fallas serias en el funcionamiento y desgaste en los rieles en el 2013. Ante el riesgo de descarrilamiento, se suspendió el servicio en 11 de las 20 estaciones el 11 de marzo de 2014.

El tema que es de carácter fundamentalmente técnico se volvió un asunto de polémica social y política; por lo que fue necesario contratar un estudio independiente para determinar las causas de las fallas.

El informe presentado por la empresa francesa SYSTRA (2014) establece como principal causa de las fallas una incompatibilidad entre las características del riel y de las ruedas, pues los rieles corresponden a trenes de metro, y los coches son de tipo tren suburbano. Los materiales de las vías y balastros no son compatibles con los requerimientos de los trenes CAF FE-10, que requieren de mayor resistencia a esfuerzos verticales que los trenes FM 95-A; a este punto se le suma una falta de mantenimiento de las vías, lo que provocó un

desgaste ondulatorio. Ante ese desgaste, el STC Metro tomó la decisión de reducir la velocidad en la línea, lo que supuso mayores desgastes en las curvas de poco radio (<500 m) y alto peralte (de hasta 160 mm). Aunado a esto, el balastro utilizado no tiene la calidad que requieren los trenes, por lo que se presenta trituración.

El Gobierno del Distrito Federal (GDF) ha emprendido esfuerzos por corregir los problemas en la línea, por lo que tiene un programa de sustitución de rieles y material de soporte -en especial, balastro y fijaciones-. Existe también una recomendación para sustituir los trenes, emitida el 20 de enero de 2015 por parte de la empresa que certifica la seguridad de los trabajos de rehabilitación de la línea 12, TÜV Rheinland (ObrasWeb, 2015).

4.3.3. Competencias tecnológicas en México por elemento clave del TAV como paquete tecnológico.

Para el análisis de esta sección, divido el estudio en competencias disponibles para la obra de infraestructura y construcción, y competencias para el desarrollo del material rodante y los sistemas de control y comunicaciones.

4.3.3.1. Infraestructura y construcción

México cuenta con empresas establecidas a nivel nacional con expertise en obras de telecomunicaciones y transportes. Para la primera licitación posteriormente cancelada, manifestaron interés por participar 84 empresas, muchas transnacionales, pero también muchas nacionales, en especial de construcción (SCT, 2014).

En cuanto a la infraestructura y construcción de vías férreas destaca la participación nacional en la construcción de diversos sistemas de transporte urbanos y suburbanos. Al respecto, la empresa mexicana que ha liderado el mercado es ICA.

ICA es una compañía de capital e ingeniería fundamentalmente mexicanos fue fundada por Bernadro Quintana Arrijoja en 1947. En cuanto a infraestructura férrea se refiere, la empresa se ha especializado en trenes ligeros de transporte de personas, y ha construido diversas líneas de metro en varias ciudades del mundo de 1968 a la fecha: uno en Miami, EE.UU.; uno en Monterrey, México; uno en San Juan, Puerto Rico; 12 en la Ciudad de México; con 209 estaciones, más de 215 km de vía (Fundación ICA, 2007).

El Tren México-Querétaro, de acuerdo con el trazo propuesto en la MIA (SCT, 2014b), contará con 10 túneles y 21 viaductos (ver capítulo 5, tabla 5.11), entre ellos destacan un túnel de 1,400 metros en el tramo Tula-Santuario del Agua y un viaducto de 2,441 metros de largo en el tramos Cuautitlán-Huehuetoca. De acuerdo con lo establecido en la MIA, los viaductos serán principalmente para evitar taludes demasiado grandes.

En México se han desarrollado viaductos y puentes de grandes dimensiones y exigencias. Por ejemplo, están los puentes “Baluarte Bicentenario” y el San Marcos, también llamado “Ing. Gilberto Borja Navarrete”. El primero forma parte de la carretera Durango-Mazatlán, es un puente atirantado con una altura de 402.57 m, una longitud de 1,124 m, un vano de 520 m y un ancho de 20 m; atraviesa parte de la Sierra Madre Occidental, es el puente atirantado más alto del mundo, fue diseñado y construido por Grupo Tradeco, que es una empresa con capital 100% mexicano. El segundo puente pertenece a la autopista México-Tuxpan, cruza parte de la Sierra Madre Oriental, tiene una longitud de 840 m, una ancho de 18 m, una altura de 225 m, se desarrolla en curva horizontal, es el segundo puente tipo viaducto más alto del mundo (después del Millay, Francia) y fue realizado por la compañía mexicana ICA.

En cuanto a túneles, también hay obras destacables. El túnel más largo en México es el Maxitúnel Interurbano Acapulco, tiene una longitud de 2,953 m, un ancho de 13.60 m y una altura de 9.60 m, fue inaugurado en 1996, es una de las principales vías de acceso al puerto de Acapulco y fue construido por un consorcio mexicano conformado por las empresas Grupo Mexicano de Desarrollo, Ingenieros Civiles Asociados (ICA) y Triturados Basálticos y Derivados. Actualmente se construye otro túnel en el entorno de Acapulco, llamado “Escénica Alterna”, con una longitud de 3,300 m y es liderado por ICA. Otro túnel destacable está en la

carretera Durango-Mazatlán, “El Sinaloense”, que tiene 2,794 m de largo, una cobertura máxima de 400 m aproximadamente y cuenta con sistemas inteligentes de transporte (ITS), aunque cabe destacar que, si bien la obra fue de manufactura mexicana, el equipamiento del túnel fue hecho con insumos españoles.

4.3.3.2. Desarrollo del material rodante y los sistemas de control y comunicaciones

En México se han diseñado y construido más de 1,000 coches y locomotoras para vías férreas. En particular para el transporte de personas, Bombardier Transportation México adquirió en 1992 a la principal compañía mexicana de construcción de carros de ferrocarril, la Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril (Concarril), fundada en 1952. Con esta adquisición accedió a la planta de construcción de ferrocarriles de Ciudad Sahagún, en el estado mexicano de Hidalgo. Esta planta tiene 500,000 m² y se especializa en el diseño, fabricación, instalación, mantenimiento y servicio al cliente de ferrocarriles ligeros, en especial vagones del metro, trenes regionales y locomotoras.

Esta planta tiene las siguientes áreas de proceso (Bombardier, 2013):

- Partes de metal pesado y ligero para manufacturar piezas de hojas de metal (17.300 m²).
- Talleres para la soldadura de subensambles menores (4.700 m²)
- Líneas metálicas (32.000 m²)
- Talleres de Pintura (11.500 m²)
- Vestidores (13.000 m²)
- Área de pruebas estáticas (2.300 m²)
- Pista de pruebas dinámicas (500 m)

Es una planta de ensamble y subensamble, aunque a la fecha se manufacturan especialidades de valor agregado como arneses eléctricos y, muy importante, tiene capacidad de diseño propio.

En estos talleres se han ensamblado 65% de la flota del Metro de la Ciudad de México, 100% de la del Transporte Eléctrico de la Ciudad de México (tranvías), 74% de la del Sistema de Tránsito Urbano de Monterrey (Metrorrey), 100% de la del Sistema de Tren Eléctrico Urbano de Guadalajara. Se han hecho además locomotoras de trenes suburbanos para Nueva Jersey, tranvías y trenes ligeros para Toronto, carros de metro para Montreal, Toronto, Chicago, Nueva York y San Francisco, entre otros. También se fabrican componentes primarios, sub-ensambles menores, arneses y sistemas de tracción (o trucks)

En 2005, en el estado de Querétaro, se inauguró una planta para manufactura de componentes de aviones por parte de Bombardier Aerospace en México. En 2009 Bombardier inauguró una planta nueva en Huehuetoca, Estado de México, para la fabricación de arneses eléctricos.

La empresa produce y exporta partes primarias de trenes y carros completos a Estados Unidos, Australia, Canadá y Sudáfrica. Según Alfredo Nolasco (en González, 2013), Bombardier tiene capacidad para producir en México el material rodante de alta velocidad que el Tren México-Querétaro necesita.

De acuerdo con Rodolfo Peters Lammel (2015), en la planta de Ciudad Sahagún, en la época de construcción de los trenes EMU FM95A, se contaba con la infraestructura para fabricar vagones desde la fundición. Se hicieron también locomotoras diésel eléctricas, para las que se importaba el motor, el generador y algunos componentes de locomoción, y el resto era fabricado y ensamblado en México.

CAF tiene una planta en Huehuetoca, Estado de México, de 77,600 m² destinada a la fabricación de diversos materiales ferroviarios. Cuenta con casi todas las capacidades de manufactura que la planta de CAF en Beasain, España, excepto ejes y ruedas. En esta planta se terminó el ensamble de los trenes que corren en el Ferrocarril Suburbano del Valle de México.

Aunque otros jugadores importantes del mercado de trenes tienen presencia, e incluso instalaciones industriales en México -por ejemplo Alstom, Siemens y Mitsubishi-, su negocio en el país se ha concentrado más en el mercado de energía eléctrica. Alstom ha tenido una participación importante en el metro de la Ciudad de México, pues proveyó de los primeros trenes, y ha instalado los sistemas de señalización y control de todas las 12 líneas. Tiene cuatro instalaciones en el país, pero están dedicadas a mantenimiento correctivo y preventivo de diferente material rodante.

Otro elemento que provee de competencias técnicas es la capacidad de dar mantenimiento al material rodante. Además de Alstom, el STC Metro de la Ciudad de México cuenta con varios talleres de mantenimiento; particularmente uno en Zaragoza (Ciudad de México) de mantenimiento mayor, posee capacidades para desarmar y volver a armar todos los trenes del STC para realizar pruebas y ensayos no destructivos a las piezas que constituyen el material rodante para garantizar su buen funcionamiento.

Debido a que algunos insumos que se compran en el extranjero son caros y pueden tardar mucho tiempo en llegar a la planta, los técnicos han emprendido un programa interno de manufactura de dichas piezas, con controles de calidad realizados en laboratorios propios. A la fecha no han optado por títulos de protección industrial; sin embargo, el programa ha permitido acelerar la rehabilitación de trenes; el STC tenía originalmente proyectado rehabilitar 12 en 2014; hasta abril de 2015 se habían recuperado 23 trenes de un total de 105 que se tiene programado recuperar (STC Metro, 2015), aunque algunas refacciones no se harán de manera interna.

4.4. Análisis de resultados

El Tren México-Querétaro puede ser desarrollado de dos maneras diferentes: con base en las capacidades presentes en el país, es decir, de manera interna, o mediante la introducción de la tecnología desarrollada en otro país, pero sin un proceso efectivo de transferencia, es decir, de manera externa. En la presente sección divido el análisis en dos partes

complementarias, un establecimiento de la brecha tecnológica para el desarrollo interno, y un análisis axiológico dadas las posibilidades de desarrollo interno y externo.

A nivel mundial las empresas que hacen trenes de alta velocidad no realizan al interior de sus países toda la integración de la cadena de valor, pues ello generaría ineficiencias por economías de escala y por el desarrollo de competencias clave. Por ejemplo, los trenes españoles suelen tener motores hechos en Japón o Alemania. El Tren México-Querétaro puede tener un alto contenido nacional, pero no sería viable que la totalidad de los elementos necesarios para su implementación fueran desarrollados en México. Sin embargo, para esta sección asumo que es posible superar una brecha tecnológica para desarrollar de manera interna la mayor parte del sistema técnico; establezco, desde la dimensión tecnológica, los atributos axiológicos que un desarrollo tal traería aparejados.

4.4.1. Brecha

Se entiende como brecha a la diferencia entre las competencias e infraestructura necesarias para establecer un tren de alta velocidad y las competencias e infraestructura presentes en el país. Esta brecha se establece con base en el análisis de los trenes eléctricos de pasajeros establecidos de manera interna y la diferencia entre estos trenes y uno de alta velocidad.

Como principal brecha se establece que los trenes eléctricos de pasajeros construidos en México son todos de carácter urbano, por ende, su velocidad máxima de operación es de 85 km/h; mientras que un tren de Alta Velocidad corre a más de 250 km/h. En México se han construido vías para trenes de carga, e incluso de pasajeros, para velocidades superiores a los 140 km/h; sin embargo, la brecha en cuanto a velocidad es evidente.

4.4.1.1. Brecha de infraestructura y construcción

Para hacer de manera interna el Tren México-Querétaro se tendría que desarrollar la capacidad para hacer un tendido de vías con alta calidad geométrica. Se antoja lejana la

posibilidad de fundir en territorio nacional los rieles necesarios, pues dada la reducción en la capacidad de la industria siderúrgica y de fundición (González, 2015) -en especial de perfiles industriales de alto estándar-, llevaría un esfuerzo industrial poco factible; se considera que este insumo, y tal vez otros, como los aparatos de vía, se adquirirían en el extranjero. Con estas salvedades, más que una brecha cuantitativa de infraestructura industrial, la brecha es cualitativa y se manifiesta como una diferencia de calidad en los trabajos requeridos.

En México hay compañías y personas con *expertise* al respecto de las obras de infraestructura, especialmente adecuadas a las características propias de la orografía mexicana, que es sensiblemente más accidentada que la de otros países con trenes de alta velocidad. Por ello, se estima que no hay una brecha muy grande para realizar el trazo del tren. No obstante lo anterior, en México no se ha hecho el tendido de vías con la calidad geométrica de una de alta velocidad; este factor, que no es menor, es la principal brecha en cuanto a infraestructura se refiere. Con la capacidad y conocimientos que poseen las empresas situadas en México, principalmente se requieren de normas técnicas aplicables y de robustecer los sistemas de control de calidad *in situ*; esta calidad es requerida para respetar las tolerancias de los elementos del proyecto, en especial en cuanto al ancho de vía, la calidad en la soldadura, y las nivelaciones horizontal y vertical, que son mucho más estrechas que las de los trenes convencionales.

La construcción de puentes y túneles, así como la realización de obras de fábrica y de obras de tierra no deberían de representar una brecha estimable; en México se construyen obras de grandes exigencias, tanto de puentes como de túneles, desde hace tiempo.

Para el montaje de vía es posible que se requiera la transferencia de conocimientos de áreas de especialidad; por ejemplo, la soldadura que se hace en la industria de pailería, que es de alta calidad, puede transferir conocimientos específicos para soldar las vías con una mayor calidad que la tradicionalmente utilizada en vías férreas convencionales.

Los aparatos de vía podrían importarse, en especial los guardavías, por la misma razón por la que se estima importar los rieles. México cuenta con capacidad de manufactura de

traviesas de hormigón armado y sería probable construir unas con las especificaciones requeridas para la obra. En cuanto a las sujeciones, sería también factible manufacturarlas de manera interna; en México hay industrias que desarrollan piezas de alto estándar, como la automotriz o la aeroespacial.

En cuanto a las capas de asiento, rigidez vertical y plataforma, en México existen canteras de roca basáltica que podrían habilitarse para proveer de balastro de alta calidad, con la granulometría requerida, dada la tradición de beneficio de minerales que tiene el país. La construcción de las capas de asiento, incluida la plataforma, no debe representar un problema mayor, siempre que se determinen las características necesarias que se rigen por estándares internacionales. Un aspecto a tener en cuenta es el desarrollo tecnológico necesario para garantizar una nivelación y estabilización de la vía.

4.4.1.2. Brecha de material rodante y sistemas de control y comunicaciones

De acuerdo con Peters Lammel (2015) en México hay capacidades para manufacturar de manera interna todas las partes de un tren de alta velocidad, aunque será necesario establecer vinculaciones entre las universidades, el gobierno y el sector productivo para superar las brechas tecnológicas existentes. La brecha principal en cuanto al material rodante y los sistemas de control, es de saber hacer (*Know How*); este tipo de brecha puede solventarse por medio de consultoría -por ejemplo de empresas de otros giros que poseen los saberes- o por vinculaciones con los lugares donde se pueden generar más rápidamente los conocimientos requeridos, típicamente las universidades y centros de investigación.

En México se hace diseño, producción, ensamble y mantenimiento de trenes eléctricos de transporte de pasajeros cuya velocidad máxima es de 85 km/h; por ende, hay dos brechas principales en cuanto al material rodante: las partes que no se hacen en México y aumentar las características de las que sí se hacen para que sean de tipo de alta velocidad.

Las principales partes que no se hacen en México para los sistemas de transporte de pasajeros sobre vía férrea, son las relativas al sistema de señalización y control de trenes. Un tren de alta velocidad, como quedó establecido, requiere de un sistema de señalización en cabina y se rige por cantones móviles, en vez de estáticos. En México es posible desarrollar tal sistema, pues hay compañías que manufacturan sistemas de señalización y control a diversas industrias. En las ensambladoras automotrices de México se diseñan y desarrollan tableros de control y arneses eléctricos (Ford Motors Company, 2014). Si bien el nivel de complejidad que requiere un sistema de señalización, comunicación y control de un tren de alta velocidad es superior al de otras infraestructuras -como las carreteras, los automóviles o los trenes convencionales-, los principios de funcionamiento para señalar la disponibilidad de cantones o la velocidad máxima de seguridad son conocidos.

Tanto Bombardier como las ensambladoras de automóviles que hay en el país han hecho un esfuerzo por aumentar la capacidad de manufactura y diseño de arneses eléctricos en México; estas partes de los trenes de alta velocidad se pueden desarrollar de manera interna.

Los motores se pueden hacer de manera interna también, pues hay compañías que desarrollan turbinas de altas exigencias, como las aeroespaciales; por ejemplo Honeywell, GE y Snecma han integrado cada cual sus cadenas de proveeduría en México, y cubren dentro del país la mayoría de los procesos y capacidades para elaborar motores, desde el concepto, diseño y manufactura, hasta la reparación (ProMéxico, 2014).

La aerodinámica y diseño del tren es posible desarrollarlo en México. Se cuenta con laboratorios de diseño y capacidad de cómputo para modelar los trenes. La UNAM cuenta con un túnel de sople y con un túnel de viento (UNAM, 2015); aunque están dedicados a la evaluación de modelos de ingeniería civil en estructuras y materiales de alta tecnología, con las gestiones adecuadas se podrían evaluar propuestas de diseños aerodinámicos.

Hay una pujante industria automotriz y una aeroespacial en crecimiento, en México hay capacidades para hacer carrocerías. Hacer la carrocería para un tren de alta velocidad

representa un reto grande; sin embargo, se puede gestionar el proyecto, como se han gestionado otros, en especial con el establecimiento del cluster aeroespacial en los estados de Querétaro, Baja California, Sonora, Chihuahua, Jalisco y Nuevo León (ProMéxico, 2014)

Los bogies y suspensiones que se han desarrollado en México corresponden a trenes ligeros de transporte de pasajeros, pero convencionales, muchos de ellos de rodadura neumática (ver figura 4.2). Por ende, es necesario rediseñar los bogies, las suspensiones, la manufactura de partes y ensamblado para cumplir con las exigencias de un bogie de alta velocidad, que es más ligero, con un sólo motor y que funge además como plataforma para el elemento de enlace entre coches (ver figura 4.3); las suspensiones en los trenes de alta velocidad permiten garantizar la estabilidad y seguridad del tren, el confort de los viajeros y la conservación de las vías.



Figura 4.2. Bogie del metro de la Ciudad de México.
Fuente: Rama 2013.



Figura 4.3. Bogie en unión de coches del Euromed 100-103.
Fuente: Maquetren, 1997.

4.4.1.3. Principales universidades y centros de investigación con posibilidades vinculantes

Para salvar las brechas establecidas y otras que tal vez queden ausentes en esta revisión, México cuenta con universidades y centros de investigación establecidos y con colaboración activa con la industria presente en el país.

Por el lado de las universidades, las tres que mayores vinculaciones tienen con el sector productivo son la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM ó Tec de Monterrey); como parte del IPN se encuentra el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav).

De acuerdo con ProMéxico (2014), el cluster aeroespacial en México ha realizado vinculaciones exitosas con centros de investigación, muchos de ellos públicos, a través de los cuales ha podido solventar diversas brechas tecnológicas. Algunos de estos centros son el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C. (CIDETEQ), el Centro Nacional de Metrología (CENAM), el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ), el Cinvestav, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA) .

4.4.2. El desarrollo de capacidades tecnológicas desde una perspectiva axiológica

Como se menciona en el capítulo 3, hubo ya una licitación ganada por un consorcio de ocho empresas, liderado por la China Railway Construction. Aunque la licitación fue anulada por el presidente de México, de existir otra licitación es presumible que vuelva a haber interés por parte de las empresas que intentaron participar en la primera licitación. Desde la óptica de capacidades tecnológicas, un factor determinante en la adjudicación de la obra debería ser la participación nacional, medida en términos de desarrollo tecnológico interno y aumento de capacidades tecnológicas.

Para poner en perspectiva la discusión, asumo que hay básicamente dos posibilidades, por un lado está la de que la obra sea ejecutada, administrada y operada por un contratista transnacional, con escasa participación de empresas nacionales, a esta opción la llamaré externa. Por otro lado, la de que una empresa -posiblemente transnacional- con planta productiva en el país lidere una oferta con alto contenido nacional, a esta opción la llamaré interna.

Hay una tercera opción que descarto por francamente inviable, que un conglomerado de empresas nacionales PyME hagan una oferta de construcción y servicio con contenido y capital totalmente mexicano; esta propuesta la descarto por la naturaleza de la obra, pues es más viable que una empresa con *expertise* lidere la oferta, habida cuenta de la desindustrialización que sufrió México a partir de los años 80 (la llamada década perdida latinoamericana; Llomovatte, 2006) y también a raíz del tratado de libre comercio con Estados Unidos y Canadá. En el pasado una obra como el Tren México-Querétaro hubiera podido ser desarrollada de manera interna con la concurrencia del gobierno; sin embargo, actualmente el gobierno tiene una política de desintegrar la industria pesada paraestatal o estatal, lo que eufemísticamente se llama “gobierno esbelto”, es decir, deshacerse de las estructuras productivas públicas.

Otra opción descartada es que haya una etapa de implementación externa y una etapa de operación interna. Esta opción la descarto porque tiende a crear discrepancias entre el contratista que desarrolla la obra y el cliente que la operará, tal y como pasó en la Línea 12 del STC Metro de la Ciudad de México (ver sección 4.3.2.3). Por otro lado, esta opción puede derivarse con relativa facilidad de las dos opciones planteadas en el presente capítulo, toda vez que se pueden adecuar los planteamientos axiológicos de las opciones consideradas por cada etapa diferente.

4.4.2.1. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos para un desarrollo externo

Para esta opción asumo que no se desarrollan en el país las competencias necesarias para solventar la brecha tecnológica, principalmente porque no se necesita, ya que las compañías externas aplicarán la expertise adquirida en otros desarrollos; por lo que México se ve simplemente como un territorio más para efectuar un tren de alta velocidad como cualquier otro en el mundo.

Implementación

En cuanto a la etapa de implementación para el aspecto tecnológico dado un desarrollo externo, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: El Tren México Querétaro tiene una escala internacional, pues bajo el supuesto de desarrollo externo, la tecnología provendría en su mayor parte del extranjero. En este caso la escala internacional implica una baja tasa de transferencia tecnológica, pues se asume que la obra será desarrollada básicamente con técnicos extranjeros, al menos en la etapa de implementación.

Intensidad: Desde el aspecto tecnológico, el atributo de intensidad puede ser visto desde tres ópticas: como el grado de explotación de un potencial de transformación de la materia y la energía, como la cantidad y complejidad de artefactos tecnológicos utilizados y generados para y por el sistema técnico, y como el grado de desarrollo de capacidades tecnológicas y conocimientos en la sociedad que adquiere o desarrolla la tecnología. Este último aspecto es propio de la participación y la inteligibilidad, por lo que no se analizará desde el atributo tecnológico de intensidad.

La intensidad tecnológica para el Tren México-Querétaro es alta, pues, como ha quedado establecido, es un sistema técnico complejo que requiere de una infraestructura hecha exprofeso para su funcionamiento. Tanto la calidad de la vía, como el material rodante y los sistemas de señalización y comunicaciones requieren un grado de transformación de materia

y energía en insumos tecnológicos que distan de ser triviales; el contenido de conocimientos científicos y empíricos para establecer la línea son elevados. Lo mismo puede decirse de los artefactos tecnológicos necesarios para establecer la línea; cuyo requerimiento en número y complejidad es mucho mayor que en las líneas convencionales de tren; por ejemplo, se requiere de equipo de medición y control específico para evaluar la calidad del trazo de la vía, pues éste no acepta errores significativos, a diferencia del trazo convencional, cuyos requerimientos técnicos de calidad no son tan demandantes como los de alta velocidad.

Intencionalidad: Para un desarrollo externo, la intencionalidad tecnológica es el simple establecimiento del sistema en sí; es decir, la intencionalidad sería tener el Tren México-Querétaro en circulación, como una tecnología de transporte presente en el país, pero con un bajo grado de asimilación; sin embargo, en inicio con un alto grado de confiabilidad, que es esperable si la obra es desarrollada por un participante extranjero con amplia experiencia en el establecimiento de este tipo de sistemas. Se puede decir que se preferiría la confiabilidad a la elevación de competencias técnicas a nivel nacional.

Participación: Para un desarrollo externo, el grado de participación en la etapa de implementación es bajo, pues es una tecnología que sería diseñada y construida desde el extranjero. Al respecto, se puede confrontar con los planteamientos de Amílcar Herrera (1978) sobre los requisitos para una tecnología apropiada; se puede decir que el desarrollo externo del Tren México-Querétaro no cumple con las características de una tecnología apropiada, por lo que pudiera generar problemas en otros aspectos diferentes al tecnológico, como el social o el económico.

Inteligibilidad: El grado de inteligibilidad tecnológica durante la etapa de implementación de manera externa se estima como medio, pues aunque la baja participación reduce la inteligibilidad del sistema técnico, en México hay capacidades desarrolladas como para entender el funcionamiento y lógica del sistema, por lo que no sería ininteligible técnicamente a los saberes disponibles en México.

Amigabilidad: El desarrollo del Tren México-Querétaro de manera externa sería un caso aislado a otros sistemas técnicos presentes en el país, y no generaría importantes competencias técnicas a nivel nacional. Aunado a esto, tendería a desincentivar a las empresas establecidas en territorio nacional, que pueden tener una capacidad de producción ferroviaria sub-utilizada y que están acostumbradas a incluir en su cadena de valor la contribución de PyMEs nacionales, por lo que sería poco amigable con las posibilidades de integración tecnológica nacional.

Funcionamiento

En cuanto a la etapa de funcionamiento (llamada también de operación) para el aspecto tecnológico dado un desarrollo externo, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: La tecnología de funcionamiento requiere insumos, tanto para la operación cotidiana, como para los diferentes mantenimientos -preventivo, predictivo y correctivo-, que serían proporcionados por empresas extranjeras; aunque la operación se concentrará en entornos puntuales de las terminales de Querétaro y Buenavista, y la línea de tren que las uniría -incluyendo los talleres y bodegas-, la escala de operaciones sería internacional, pues requeriría de capacidades tecnológicas con base en la matriz de la compañía transnacional que opere el sistema, por ejemplo, para mantenimiento mayor de trenes, para la actualización de los sistemas de comunicación y seguridad, o de equipo específico para rectificación de vías, si fuera necesario.

Intensidad: La intensidad tecnológica en la etapa de operación es media; aunque los trenes, las vías y los sistemas asociados requieren de mantenimiento, una vez establecido el sistema no es necesaria ni la transformación de grandes cantidades de materia o energía en insumos tecnológicos, ni de artefactos complejos, pues éstos ya habrán sido desarrollados en la etapa de implementación del sistema. Sí serían necesarios artefactos complejos y conocimientos especializados para cuestiones específicas de mantenimiento mayor o actualización de sistemas; sin embargo, estas actividades serían esporádicas. La operación diaria del sistema requiere de cierto grado de especialización; pero se puede codificar en

acciones rutinarias, con manuales de procedimiento estandarizados, por lo que no se considera de intensidad tecnológica alta.

Intencionalidad: No se aprecia una intencionalidad específica desde el aspecto tecnológico en la etapa de operación, más allá de la eficiencia técnica operativa necesaria para ofrecer un servicio competitivo. Por competitivo se entiende como capaz de competir con otros medios de transporte de personas entre México y Querétaro. Desde esta definición, la confiabilidad del servicio es algo que resulta relevante técnicamente hablando, es decir, mantener la línea en condiciones adecuadas de operación para cumplir con los itinerarios establecidos, y con las condiciones de seguridad y confort que garanticen un buen servicio.

Participación: La participación tecnológica sería media, pues no habría un desarrollo de capacidades tecnológicas notables a nivel local; aunque, incluso bajo el supuesto de un desarrollo externo, es necesario el desarrollo de habilidades de personal mexicano que se encargarían de actividades operativas simples y cotidianas; no así de las reparaciones y mantenimientos necesarios para el correcto funcionamiento de la línea durante un tiempo de vida útil que debe superar los 30 años como mínimo.

Inteligibilidad: Se estima una inteligibilidad tecnológica operativa media; el sistema debe funcionar adecuadamente, por lo que su comprensión por parte de los operarios y usuarios debe asimilarse; sin embargo, en cuanto a ciertas partes del sistema, como algunos elementos específicos de los sistemas de seguridad, de comunicaciones y algunas particularidades del material rodante, su inteligibilidad sería limitada.

Aquí cabe una acotación, México se distingue por contar con técnicos curiosos que quieren comprender y modificar los sistemas técnicos, si bien de manera un tanto intuitiva; esta curiosidad puede ser un arma de doble filo, por un lado tiende a desestabilizar sistemas de calibración fina en el afán de comprender; pero por otro lado, ha logrado superar retos tecnológicos que en su tiempo se estimaron como improbables, como dan cuenta diferentes historias de asimilación tecnológica, por ejemplo, durante la nacionalización de la industria petrolera, ferrocarrilera y eléctrica, la invención del fierro-esponja o el establecimiento de

talleres de mantenimiento mayor para trenes del STC Metro de la Ciudad de México. Es muy probable que la inteligibilidad aumente rápidamente como consecuencia de esta costumbre muy arraigada en la identidad técnica nacional.

Amigabilidad: Se estima que en la etapa de operación este atributo del aspecto tecnológico es neutra; lo anterior porque ni desarrollaría capacidades tecnológicas relevantes, ni inhibiría la posibilidad de desarrollo e otros sistemas tecnológicos. Para hacer una evaluación más integral, habría que comparar este atributo contra otras opciones de desarrollo; comparación que realizo en el inciso 4.4.4.3.

Fin de ciclo

Si bien el proyecto del Tren México-Querétaro no tiene previsto dejar de operar, se puede establecer tecnológicamente un fin de ciclo hipotético; otros aspectos, como el económico o el social presentan singularidades que no tiene el tecnológico, por lo cual este aspecto es evaluable, a diferencia de los otros. En cuanto a la etapa de fin de ciclo para el aspecto tecnológico dado un desarrollo externo, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: Hay dos posibilidades de fin de ciclo, que la compañía que opera el sistema recupere el material rodante y el material de los sistemas de comunicación y control, o que simplemente deje de operar el tren y deje en el país el material rodante y el material de los sistemas. En el primer supuesto la escala de fin de ciclo es internacional, pues la compañía deberá llevar los trenes y el material a su casa matriz para aprovechar las partes servibles, reciclar el material reciclable y disponer del material no recuperable. En el segundo supuesto la escala es nacional dado que el material quedará para su utilización en el entorno de México; no será local debido a que la infraestructura que aprovecha los materiales para su utilización está localizada y no distribuida a nivel nacional, por lo que es probable que los materiales útiles se introduzcan a los canales establecidos de reciclaje de fin de ciclo.

Por otro lado, en el segundo supuesto quedará en el país una cantidad de material chatarra que se tendrá que gestionar. El tema de la basura industrial, como en la mayoría de los

países, está lejos de ser resuelto; sin embargo, dado que las leyes al respecto y las economías de escala avanzan, es difícil suponer un escenario tendencial al respecto.

Intensidad: En cualquier caso la etapa de fin de ciclo tiene dos variables a considerar en cuanto a intensidad, por un lado la cantidad de materia a transformar es grande; de acuerdo con las leyes y normas ambientales, la tendencia es a restaurar las intervenciones hechas en el territorio para la implementación de una tecnología. Por otro lado, la intensidad tecnológica requerida en la etapa de fin de ciclo es baja; las vías férreas suelen dejarse en el territorio al fin de ciclo y se convierten en material de uso común; aunque es posible su reutilización industrial, el costo de transporte y procesamiento es elevado y la calidad del material obtenido es limitada. En cuanto al material rodante y al material de los sistemas, estos sí representan una singularidad en el atributo de intensidad para el aspecto de tecnología, pues su utilización en el fin de ciclo depende de para qué será utilizado, si como chatarra industrial para ser fundida, como piezas de repuesto para otros sistemas técnicos, entre otras posibilidades.

Intencionalidad: No se puede suponer a priori una intencionalidad tecnológica en la etapa de fin de ciclo, pues depende de la utilización que se hará del material disponible. Si el material fuera abandonado, la intencionalidad sería de transferencia neta del problema de gestión de basura tecnológica; si el material fuera recuperado y aprovechado en una gestión de fin de ciclo, la intencionalidad sería la de reducir la extracción de material virgen; si el material fuera reutilizado en otros sistemas técnicos, la intencionalidad sería la de alargar el tiempo de vida útil del material manufacturado; entre otras posibilidades.

Participación: En el caso de que la compañía que opera el sistema decida recuperar el material y procesarlo fuera de México, la participación sería baja. En caso de que el material se quede en México y sea procesado de manera interna, la participación sería alta.

Inteligibilidad: La inteligibilidad en la etapa de fin de ciclo dado un desarrollo externo depende del grado de comprensión de las posibilidades de utilización del material que queda en desuso; esto a su vez depende de la asimilación tecnológica por parte del personal mexicano

y de las posibilidades de utilización en otros sistemas técnicos. El problema principal es para qué se utilizará el material y cómo se podría sacar la máxima potencia técnica en la etapa de fin de ciclo hacia la reutilización o el reciclaje de materiales, lo que es una singularidad, por ende, difícil de establecer a priori.

Amigabilidad: Si se gestiona adecuadamente el fin de ciclo, tendrá una amigabilidad tecnológica alta, pues el material en desuso apoyará el ciclo de materiales y de tecnología de otros sistemas técnicos; mientras que, si el fin de ciclo se caracteriza por un abandono de material, la amigabilidad tecnológica será baja, pues no se aprovechará el material para sacar su mayor potencial.

Cabe precisar que al fin de ciclo puede haber procesos de ingeniería inversa, lo que generaría conocimientos específicos y aumentaría la amigabilidad tecnológica. Por ejemplo, la empresa Ferromex donó en noviembre de 2014 un cabús de tren a la Facultad de Ingeniería de la UNAM (Manufactura, 2014) para fines académicos, lo que aumenta la amigabilidad tecnológica de fin de ciclo.

4.4.2.2. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos para un desarrollo interno

Para esta opción asumo que un desarrollo interno implica la necesidad de solventar las diferentes brechas tecnológicas que hay en el país para la implementación y operación de un tren de alta velocidad; ello conlleva un aumento en las capacidades tecnológicas internas.

Implementación

En cuanto a la etapa de implementación para el aspecto tecnológico dado un desarrollo interno, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: La escala es nacional, posiblemente con componentes internacionales, pues es de esperar que, aún en el escenario de mayor contenido nacional, sea necesario comprar algunos insumos, e incluso ingeniería, en el extranjero.

Intensidad: Este atributo queda igual que para el supuesto de un desarrollo externo, pues no es relevante si el sistema es de manufactura mexicana o extranjera, la intensidad tecnológica es la misma, dado que se trata esencialmente del mismo sistema técnico desde este atributo.

Intencionalidad: Además de la implementación del propio sistema, un desarrollo interno puede tener aparejada la intencionalidad de aumentar las capacidades tecnológicas a nivel nacional a fin de poder establecer futuros trenes de alta velocidad, cuya curva de aprendizaje sea menor que el Tren México-Querétaro. A la par, es posible que la confiabilidad del sistema en un inicio sea menor que si se estableciera de manera externa; la confiabilidad podría aumentar con la elevación de competencias técnicas internas, pero habría que considerar la curva de aprendizaje, lo que requiere básicamente de tiempo. No quiero decir con ello que se tendría un tren inseguro o poco confiable, pero el tiempo que se requeriría invertir para ello es mayor.

Participación: El nivel de participación sería alto, lo que conduciría a un aumento necesario de capacidades tecnológicas y a un aumento en la autonomía decisional. Ello mejoraría las características para considerar el desarrollo como una tecnología apropiada.

Inteligibilidad: El grado de inteligibilidad sería alto, debido a que el sistema deberá ser comprendido de manera interna en su totalidad para poder establecerse; debido a que los trenes de alta velocidad no toleran errores en su manufactura, durante la implementación del sistema de manera interna se deberá analizar, comprender e integrar todas las actividades y parámetros hasta sus más finos detalles.

Amigabilidad: Para desarrollar de manera interna el Tren México-Querétaro se deberán crear sinergias con otras líneas de manufactura establecidas en el país, como la ferroviaria convencional, la aeroespacial o la automotriz; deberá integrar saberes disponibles en toda la

cadena de valor, con lo que se generaría un incentivo a la industria nacional y una articulación que resulta necesaria en el país. Se considera un grado de amigabilidad tecnológica alto.

Funcionamiento

En cuanto a la etapa de funcionamiento (o de operación) para el aspecto tecnológico dado un desarrollo interno, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: La operación requiere insumos, tanto para la operación cotidiana, como para los diferentes mantenimientos -preventivo, predictivo y correctivo-, que serían proporcionados por empresas establecidas en todo el territorio nacional; aunque la operación se concentrará en entornos puntuales de las terminales de Querétaro y Buenavista, y la línea de tren que las uniría -incluyendo los talleres y bodegas-, la escala de operaciones se estima de carácter nacional.

Intensidad: La intensidad en cuanto a la operación es media por las mismas razones establecidas para un desarrollo externo.

Intencionalidad: Además de lo establecido para el desarrollo externo, se plantea como intencionalidad el desarrollo -o asimilación- e implementación de los manuales de operación del sistema de manera interna; ello permitiría la eventual réplica en otros trenes de alta velocidad que se pudieran establecer en un futuro.

Participación: La participación tecnológica es alta, dado que se generarían competencias clave para la operación y mantenimiento del sistema, con la consecuente curva de aprendizaje.

Inteligibilidad: Se estima como alta, debido a que prácticamente todas las partes del sistema y su operación serían conocidas y compatibles con las capacidades nacionales.

Amigabilidad: La operación interna del sistema requiere elevar las competencias nacionales y la integración de elementos propios del servicio al cliente, con requerimientos técnicos de mantenimiento y mejora de la línea y el material rodante, por lo que la amigabilidad se estima alta.

Fin de ciclo

En cuanto a la etapa de fin de ciclo para el aspecto tecnológico dado un desarrollo interno, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico.

Escala: El hecho de contar con un desarrollo interno no cambia las posibilidades de fin de ciclo, que se traducen en la reintegración al ciclo de tecnología de media vida o reutilización y reciclaje de materiales, o el abandono de la obra. En ambos supuestos la escala es nacional, dado que, como quedó establecido, los canales de reciclaje y utilización se ubican en diferentes puntos de la República. Cabe la posibilidad de que algunas partes sean colocadas en el mercado internacional, lo que aumentaría la escala de fin de ciclo. Cabe mencionar que las consideraciones sobre basura industrial en el supuesto de desarrollo externo son válidas para el interno.

Intensidad: La intensidad tecnológica de fin de ciclo para el caso de un desarrollo interno es la misma que para un desarrollo externo, pues no hay diferencias significativas en cuanto a las posibilidades de utilización de fin de ciclo, ni a los requerimientos técnicos para su disposición.

Intencionalidad: Para el caso de un desarrollo interno, se puede establecer los mismos supuestos sobre intencionalidad que para un desarrollo externo.

Participación: Dada la inteligibilidad alta en la operación y conocimiento del sistema, se estima que la participación de diferentes empresas o entes sociales en la etapa de fin de ciclo puede ser alta.

Inteligibilidad: Se estima como alta, dado que se conocerían las variables del sistema y sus partes, desde los materiales básicos, hasta los suprasistemas, por lo que es más probable que se pueda sacar una potencia técnica en la etapa de fin de ciclo mayor a la obtenible bajo un desarrollo externo.

Amigabilidad: Para el caso de un desarrollo interno, se puede establecer los mismos supuestos sobre amigabilidad que para un desarrollo externo.

4.4.2.3. Comparación axiológica entre un desarrollo interno y uno externo

Tabla 4.7. Matriz axiológica comparativa interno-externo, etapa de implementación, aspecto tecnología.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro. Aspecto Tecnología. Etapa Implementación		
	Interno	Externo
Escala	Nacional	Internacional
Intensidad	Alta: Sistema técnico complejo, gran cantidad de materiales con grandes transformaciones	Alta: Sistema técnico complejo, gran cantidad de materiales con grandes transformaciones
Intencionalidad	Desarrollo de competencias técnicas nacionales, reproducción del sistema	Establecimiento del sistema, prioriza la confiabilidad y la eficiencia
Participación	Alto, aumento en la autonomía decisional, posibilidad de desarrollo interno de la mayor parte del paquete tecnológico	Técnicos especialistas extranjeros, baja participación nacional, encadenamiento productivo pobre
Inteligibilidad	Alta	Media
Amigabilidad	Alta, creación de sinergias y articulación industrial, integración de saberes y cadena de valor	Poco amigable, desincentivo a empresas establecidas en el país

Fuente: Elaboración propia.

Dado que en México existen competencias clave desarrolladas para la implementación de líneas de tren convencionales, y que la brecha contra las necesarias para la construcción de una de alta velocidad no son insalvables desde el punto de vista tecnológico, un desarrollo interno -que bien puede implicar una transferencia tecnológica- aporta beneficios contra uno externo. En la etapa de implementación se puede establecer una matriz axiológica para ambas opciones y queda conforme se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.8. Matriz axiológica comparativa interno-externo, etapa de funcionamiento, aspecto tecnología.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro. Aspecto Tecnología. Etapa Funcionamiento		
	Interno	Externo
Escala	Nacional: requerimiento de insumos y conocimientos a nivel nacional para la operación y mantenimiento del sistema	Internacional: la operación puede efectuarse con personal nacional, pero el mantenimiento mayor requiere de insumos y mano e obra internacionales
Intensidad	Media	Media
Intencionalidad	Desarrollo o asimilación de variables de operación, reproducción del sistema	Eficiencia técnica operativa
Participación	Alta; se requiere de una curva de aprendizaje para la operación del sistema y su mantenimiento	Media: desarrollo de habilidades operativas cotidianas; mantenimiento externo
Inteligibilidad	Alta	Media: curiosidad del personal como un factor a considerar
Amigabilidad	Alta: Desarrollo de competencias clave para el mantenimiento de la línea	Neutra

Fuente: Elaboración propia.

Un desarrollo interno trae aparejado un mayor aumento en las competencias tecnológicas, una mayor autonomía decisional y sobre todo una articulación de la cadena productiva, con una consecuente derrama económica en empresas PyME. Un desarrollo interno mejora las posibilidades de tener una tecnología apropiada. Como contraparte, un desarrollo tecnológico

externo trae aparejado un sistema técnico confiable y eficiente, un menor tiempo de realización y posiblemente un menor costo, debido a una menor curva de aprendizaje.

En la etapa de funcionamiento un desarrollo interno ofrece también beneficios tecnológicos a uno externo en cuanto al aumento de competencias y saberes nacionales; aunque probablemente la experiencia de un externo haga que el servicio sea más confiable y de mayor calidad, sobre todo al inicio de las operaciones. En la etapa de funcionamiento se puede establecer una matriz axiológica para ambas opciones y queda conforme se muestra en la tabla 4.8.

Una operación interna trae aparejada una curva de aprendizaje que puede comprometer la funcionalidad del sistema al inicio de operaciones, por lo que un desarrollo externo puede eficientar esta etapa.

Tabla 4.9. Matriz axiológica comparativa interno-externo, etapa de fin de ciclo, aspecto tecnología.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro. Aspecto Tecnología. Etapa Fin de Ciclo		
	Interno	Externo
Escala	Nacional o Internacional	Internacional o nacional
Intensidad	Cantidad de material grande, intensidad tecnológica baja	Cantidad de material grande, intensidad tecnológica baja
Intencionalidad	Depende de la utilización del material al fin de ciclo	Depende de la utilización del material al fin de ciclo
Participación	Alta	Baja si se dispone el material en el extranjero, alta si se dispone nacionalmente
Inteligibilidad	Alta	Depende del grado de asimilación tecnológica
Amigabilidad	Depende del modelo de gestión de material en desuso	Depende del modelo de gestión de material en desuso

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, un desarrollo interno brinda una mayor amigabilidad, inteligibilidad y participación, por lo que el desarrollo tecnológico nacional se vería favorecido. Este

desarrollo trae aparejada la posibilidad de reproducir las variables para operar otros sistemas de alta velocidad que pudieran desarrollarse en un futuro.

La etapa de fin de ciclo es muy similar, ya sea a través de un proyecto interno o externo. Se puede establecer una matriz axiológica para ambas opciones y queda conforme se muestra en la tabla 4.9.

La principal diferencia en la etapa de fin de ciclo entre un proyecto interno y uno externo es que en el primer caso el desarrollo de competencias a nivel nacional en las etapas previas permitiría un aprovechamiento del material en desuso con mayores posibilidades de aumentar el contenido tecnológico residual, entendido éste como el grado de obtención de efectos técnicos que le son o le pueden ser propios al material en desuso.

4.5. Conclusiones particulares al capítulo 4

Se puede definir el Espacio Tecnológico (Herrera, 1978) del Tren México-Querétaro, como uno en el que están presentes compañías con presencia local, con capacidades calve desarrolladas. La situación problemática no es tanto la necesidad de movimiento de personas entre México y Querétaro, como se discute brevemente en el capítulo 3, sino el establecimiento de un tren de alta velocidad, por lo que se establece un tema importantemente técnico; de ahí que la evaluación axiológica de este desarrollo tecnológico resulta relevante, de acuerdo con las opciones que se analizan.

En México existen competencias tecnológicas para la implementación de trenes convencionales para el transporte de pasajeros. Particularmente para trenes de tipo urbano como metro o suburbano, en México se han desarrollado prácticamente todas las partes del paquete tecnológico; aunque actualmente hay insumos que se requieren importar, como los rieles o algunas especialidades eléctricas y electrónicas, y tableros propios de los sistemas de control, con software aparejado.

Aunado a esos insumos, existe una brecha tecnológica para la implementación del Tren México-Querétaro, que es de alta velocidad, que surge de las diferencias entre los trenes convencionales y los sistemas de alta velocidad. Esta brecha se puede dividir en obra de infraestructura y elementos propios de la explotación de la línea.

En cuanto a obra de infraestructura, la principal brecha es la calidad geométrica de la línea, cuyas exigencias demandan de saber hacer que no está desarrollado en el país, con tolerancias estrechas cuyo cumplimiento requiere de una elevación de competencias técnicas y de instrumentación altamente especializada. Los demás elementos, como obras de arte, durmientes, balastos y plataforma están actualmente disponibles en México, por lo que no hay brecha significativa en ellos.

En cuanto a los elementos de la explotación, hay brechas importantes en el material rodante, particularmente en los requerimientos y características de los bogies, de los sistemas de suspensión y en los motores disponibles; aunque en materia de motores, México tiene también competencias técnicas desarrolladas que permitirían reducir rápidamente la brecha.

Otro elemento que presenta una brecha significativa es el sistema de control y comunicaciones, pues los sistemas de control han sido desarrollados en México por empresas extranjeras (importantemente la francesa Alstom) y su asimilación no es tal que permita un desarrollo endógeno; además, los sistemas de control y comunicaciones de los trenes de alta velocidad tienen principios de funcionamiento distintos a los convencionales, pues funcionan con base en un tablero integrado en el tren y con sistemas de cantones móviles.

Para superar estas brechas se consideran dos posibilidades, un desarrollo interno, o uno externo. Para el primer caso será necesario un aumento en las competencias tecnológicas clave presentes en el país; para el segundo caso, la obra podrá ser realizada por empresas extranjeras.

Dados esos dos modelos de desarrollo, se puede establecer una comparación axiológica con base en los atributos caracterizables, propuestos en la presente tesis. De dicho análisis se concluye que un desarrollo interno ofrece beneficios tecnológicos en cuanto al desarrollo de competencias, a la inteligibilidad, la participación y la amigabilidad; asimismo, la intencionalidad puede reflejar un futuro desarrollo de nuevas líneas de tren de alta velocidad de manera endógena o con contenido nacional importante. Este factor refleja una mayor autonomía decisional propia y la posibilidad de establecer una tecnología apropiada en los términos definidos por Herrera (1978).

Un desarrollo externo, por otro lado, ofrece la ventaja de establecer desde un inicio una plataforma tecnológica confiable, reduce el riesgo de falla técnica y aumenta la eficiencia al abatir la curva de aprendizaje, tanto en la etapa de implementación, como en la de funcionamiento.

No se detectaron diferencias axiológicas significativas entre un desarrollo interno y uno externo para la etapa de fin de ciclo.

La metodología de análisis propuesta resultó adecuada para determinar la brecha tecnológica específica y sus posibilidades de ser superada. Resultó muy adecuada para analizar diferencias axiológicas desde el aspecto tecnología para diferentes opciones de desarrollo del tren México-Querétaro. Ambos aspectos, la determinación de la brecha tecnológica específica y la evaluación axiológica, reportan una ventaja contra los estudios de sector previos. Los estudios de sector, a su vez, ofrecen mayor información cuantitativa, por lo que la metodología de análisis propuesta y los estudios de sector resultan instrumentos complementarios.

Esta metodología deberá de validarse con otros proyectos afines de los que se tenga información necesaria. Esta información debe concretarse en un análisis axiológico comparativo entre diversas opciones de desarrollo tecnológico, lo que ofrece un aporte teórico y metodológico a lo que existe actualmente en la literatura disponible.

5. Evaluación de impacto de emisiones de CO₂ como parámetro de análisis al entorno naturaleza del desarrollo del Tren México-Querétaro

5.1. Introducción

En la evaluación del impacto al entorno natural de un proyecto de desarrollo suelen haber dos enfoques complementarios: el análisis de impacto por “factor”: agua, aire, suelo; y el análisis de impacto basado en el territorio. Para el primer enfoque se suelen tomar indicadores como las emisiones de CO₂ eq, la huella ecológica y la huella hídrica; mientras que para el segundo enfoque se suelen analizar parámetros más puntuales: especies presentes en el territorio y factores abióticos -cuerpos de agua, extensiones de tierra, recursos minerales, montañas, cerros, barrancos- posiblemente afectados. Las Manifestaciones de Impacto Ambiental suelen considerar principalmente el segundo enfoque.

En la evaluación del impacto al entorno natural de un proyecto de desarrollo se suele considerar al menos las fases de construcción y puesta en marcha del proyecto; sin embargo, para tener una evaluación que dé lugar a aspectos axiológicos en la relación que el proyecto de desarrollo tendrá con el entorno natural, es necesario evaluar todas las fases del ciclo de vida proyectado, incluyendo el tiempo durante el cual el entorno coexistirá con los restos del sistema una vez que éste deje de funcionar como tal.

El proyecto del Tren México-Querétaro, por su naturaleza, cuenta con una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) en su modalidad regional. La MIA para el Tren México-Querétaro fue presentada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2014b); al mencionar la MIA en este trabajo me refiero al documento citado. Si bien este documento es fundamental para el análisis del impacto que el desarrollo tendrá en el territorio en donde se llevará a cabo, resulta necesario complementar la información que la MIA contiene y, sobre todo, proponer un método de análisis que permita explicitar los aspectos axiológicos contenidos en la relación que el proyecto tendrá con el entorno natural.

El tren representa una opción de movilidad cuyo impacto por persona en emisión de CO₂ eq es menor que el automóvil, en especial para distancias como las proyectadas en el Tren México-Querétaro (García-Álvarez, 2008); sin embargo, en los balances de CO₂, se suele comparar sistemas construidos y en funcionamiento, los impactos ocurridos en la etapa de construcción suelen ser ignorados. Por lo anterior, realizo un análisis de costo-beneficio ambiental para determinar una “viabilidad ambiental” basada en la construcción de posibles escenarios futuros. Asimismo, tomo en cuenta otros parámetros relevantes como el impacto a la biodiversidad, la contaminación potencial de agua y suelo para calcular un retorno de la inversión (ROI por su siglas en inglés) ambiental con una metodología de desarrollo propio.

De acuerdo con las conclusiones obtenidas en el capítulo 1.5.2, al momento no hay una metodología que permita explicitar los atributos axiológicos sobre los cuales se lleva a cabo un desarrollo tecnológico. Al ser el entorno natural uno de los tres aspectos a tomar en cuenta para un desarrollo sostenible (ver capítulo 1.5.1) resulta necesario analizar las posibles afectaciones que el desarrollo del Tren México-Querétaro traerá a su región de influencia.

5.1.1. Afectaciones a la naturaleza

De acuerdo con (Hails et al., 2008) la biodiversidad está bajo amenazas antropogénicas agrupables en cinco categorías:

- Fragmentación, pérdida o cambio de hábitat
- Sobreexplotación de especies
- Contaminación
- Esparcimiento de especies o genes invasivos
- Cambio climático

El proyecto del Tren México-Querétaro puede generar amenazas relevantes en la contaminación, puede también contribuir al cambio climático y puede generar amenazas específicas y puntuales hacia la fragmentación, pérdida o cambio de hábitat. Tanto la

sobreexplotación de especies como el esparcimiento de especies o genes invasivos no se consideran amenazas relevantes directamente asociadas con el proyecto, pues el Tren México-Querétaro es de pasajeros y no contempla la explotación masiva de recursos naturales de la región para su funcionamiento.

5.1.2. Contenido de la MIA

La MIA del proyecto de Tren México-Querétaro es un estudio integral que evalúa, entre otras cosas, los posibles impactos que el desarrollo puede generar en su región de influencia. Se compone de VII secciones, las cuales son:

- I. Contenido
- II. Descripción de las obras del proyecto del Tren de Pasajeros México-Querétaro
- III. Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables
- IV. Descripción del Sistema Ambiental Regional (SAR) y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región para el proyecto ferroviario: “Tren de Pasajeros México-Querétaro”
- V. Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales, del Sistema Ambiental Regional
- VI. Estrategias para la prevención de impactos ambientales, acumulativos y residuales del Sistema Ambiental Regional
- VII. Pronósticos ambientales regionales y evaluación de alternativas

Las VII secciones contienen en su conjunto 329 incisos que se desarrollan a lo largo de 756 páginas. Tiene un enfoque basado en el territorio y en el análisis del cumplimiento de las normas y leyes aplicables, tanto en materia ambiental, como en ordenamiento territorial.

De las tres categorías de amenazas antropogénicas a la biodiversidad relevantes para el Tren México-Querétaro, la MIA realiza un análisis extenso de la posible fragmentación y cambio de hábitat y de la contaminación que el proyecto puede generar a lo largo de todo el ciclo de vida.



Figura 5.1. Superficies delimitadas entre el trazo del proyecto (rojo) y el trazo de la vía actual.
Fuente: SCT, 2014b.

La descripción del Sistema Ambiental Regional incluye factores abióticos, bióticos y socioeconómicos en la región de influencia del proyecto. Considera las áreas naturales protegidas, regiones terrestres prioritarias, regiones hidrológicas prioritarias, áreas de importancia para la conservación de aves y las zonas de humedales o “sitios Ramsar”. Hace una descripción de las especies animales y vegetales en las diferentes regiones del trazo del Tren México-Querétaro y su situación con respecto a diversidad, importancia y vulnerabilidad

-especialmente para especies en riesgo o peligro-. Contiene una descripción del paisaje dividido en cuatro unidades paisajísticas o regiones.

La MIA identifica diez tramos diferenciables por su geometría; a saber: entrada y salida de México, D.F. -Buenavista-Cuautitlán-; Cuautitlán Norte-Huehuetoca; El Salto; Libramiento de Tula; Tula-Santuario del Agua; Santuario del Agua; Libramiento de San Juan del Río; San Juan del Río-La Griega; Curva La Griega; entrada y salida de Querétaro -La Griega-Querétaro- (ver figura 2.1).

El primer tramo, entrada y salida de Ciudad de México, corresponde a un entorno netamente urbano de 30.5 km, que comparte derecho de vía con otra infraestructura ferroviaria, la del tren Suburbano; por lo que el *land cover* es de manufactura humana en su totalidad.

El segundo tramo, Cuautitlán Norte-Huehuetoca -de 16.5 km-, comparte derecho de vía con la línea Juárez-Morelos, actualmente de carga. La MIA señala que es un tramo con constreñimientos espaciales, debido a la densidad urbana en puntos específicos. El *land cover* es, igualmente, manufacturado por el hombre dado el actual derecho de vía; sin embargo, desde la salida del núcleo urbano de Cuautitlán hasta el tramo semiurbano de la localidad de Teoloyucan pasa por campos de cultivo, con extensión de 3.5 km; el espacio de 3 km que se extiende a lo largo de la localidad mencionada es semiurbano; los siguientes 6 km corren a través de campos de cultivo, hasta alcanzar las edificaciones urbanas de Huehuetoca; a partir de ahí y hasta el final del tramo -4 km-, cruza la localidad de Huehuetoca, aunque el espacio netamente urbano tiene una longitud de 1.5 km; al final del tramo el trazo toca tangencialmente el santuario de la Laguna de Zumpango.

El tercer tramo, llamado El Salto, es de geometría sinuosa y se extiende por 17.5 km. En este tramo se empieza a trazar un curso independiente a la línea Juárez-Morelos, debido a que el paso por el valle del río Tula representa un obstáculo que hay que resolver desde un tramo antes y debido también a que la irregularidad del trazo de la línea actualmente en uso no cumple con las especificaciones necesarias para un tren de alta velocidad. El tramo transcurre fundamentalmente en el derecho de vía de la línea Juárez-Morelos, y aunque

atraviesa campos de cultivo y la carretera federal 87 (Santa Teresa-Tula), la mayoría del terreno se encuentra ya recubierto de infraestructura ferroviaria, que está rodeada de terrenos agrícolas y de pastizales cultivados, por lo que la cobertura de la vegetación original es mínima.

Al final del tercer tramo, empieza una separación del actual derecho de vía, e inicia el cuarto tramo, Libramiento de Tula, intervención que tiene un nuevo corredor, con 7 túneles y 6 viaductos, a fin de evitar en la medida de lo posible afectaciones mayores a las urbanizaciones dispersas cercanas a Tula; busca también un trazo más recto que el actual derecho de vía, pues este último es particularmente sinuoso en este tramo. La actuación se extiende entre los puntos kilométricos 64+500 y 93+000 de la línea Juárez-Morelos (28.5 km de la nueva vía). En su recorrido atraviesa terrenos dedicados mayoritariamente a cultivos agrícolas, pasa al sur de las instalaciones de la fábrica “Mabe” y va hacia el valle del río Tula antes de que desemboque en la presa Requena. La parte más sensible de este libramiento es la que se extiende sobre los humedales de Jilotepec, región hidrológica prioritaria, zona en la que viaductos y túneles logran dar soporte al trazo, con una afectación de baja a moderada, debido a que actualmente no hay vías del tren que crucen la región. En esta zona se reporta la presencia de remanentes de bosques de pino-encino, aunque el entorno se ha visto fuertemente modificado debido a la tala inmoderada. Al final del cuarto tramo, el trazo vuelve a alinearse con el derecho de vía de la línea Juárez-Morelos.

El quinto tramo, “Tula – Santuario del Agua” se extiende desde el punto kilométrico 93 de la línea Juárez-Morelos hasta el 140+600, con una longitud de 47.6 km. Aunque el tramo presenta una marcada sinuosidad y es necesario realizar numerosas actuaciones, todas ellas ocurren en el corredor actual de la línea Juárez-Morelos, si bien el aprovechamiento del actual derecho de vía es muy bajo (de sólo 15 km). La MIA, si bien describe las actuaciones y la geometría actual y de la nueva vía, no describe mayormente las características del landcover circundante en este tramo. En las fotografías aéreas de la zona disponibles en el Sistema de Información de Índices de Vuelos (INEGI, 2016), se aprecia zonas de cultivo, cañadas, y zonas puntuales y fragmentadas (manchas) de vegetación, probablemente árboles.

El sexto tramo, “Santuario del Agua”, se extiende entre los puntos kilométricos 140+600 y 150. En su último tramo cruza la poligonal del área natural protegida “Santuario del Agua”, aunque se aprovecha el derecho de vía de la línea Juárez-Morelos, por lo que no se ocasionaría un cambio en la cobertura del suelo. La MIA no describe la naturaleza de la cobertura en esta región, pero, al margen de la zona natural protegida, en INEGI (2016) se distinguen sólo zonas de cultivo.

El séptimo tramo corresponde al “Libramiento San Juan del Río”; se extiende entre los puntos kilométricos 150 y 197 de la línea Juárez-Morelos, con una longitud de 47 km. Bordea por el sur el núcleo urbano de San Juan del Río. En línea recta, el tramo tiene una longitud de 25 km, y el serpenteo que hace el actual derecho de vía se debe a que existe una diferencia de cotas de 325 m entre un extremo y otro del tramo, razón por la cual es necesario reducir la pendiente para la línea de carga. Por ello, el trazo del tren de alta velocidad propone una actuación de 26,896 m, para tener un nuevo pasillo, fuera del derecho de vía actual. En el Sistema de Información de Índices de Vuelos (INEGI, 2016), se aprecia una cobertura mixta en la zona, con zonas parceladas, manchas de cobertura vegetal y estructuras urbanas. Las manchas de cobertura vegetal que se aprecian no son densas y están fragmentadas

El octavo tramo corresponde a “San Juan del Río – La Girega”; va del punto kilométrico 197 al 220 de la línea Juárez Morelos. El total de la vía corre sobre el derecho de vía existente, debido a una geometría adecuada. No se plantea ningún cambio en la cobertura actual, y en el Sistema de Información de Índices de Vuelos (INEGI, 2016), se aprecia que el terreno está completamente parcelado, fundamentalmente rural, con manchas urbanizadas de los pueblos de El Sauz, Pedro Escobedo y San Clemente, por lo que carece de cobertura original.

El noveno tramo corresponde a “Curva La Griega”, va del punto kilométrico 220 al 227 de la vía Juárez-Morelos y, si bien es relevante desde el punto de vista técnico debido a que se tendrá que resolver la calibración de una curva que permita sostener altas velocidades,

desde el punto de vista de landcover el terreno es llano, rural y parcelado hasta la parte final, en donde se encuentran asentamientos urbanizados; hay también áreas industriales de reciente creación en la margen derecha del tramo, pero no comprometen el derecho de vía. En las fotografías presentes en la MIA se aprecian zonas de matorral semi-árido que anteceden a la parte urbanizada.

El décimo tramo corresponde a “Entrada y Salida de Querétaro”, se extiende desde el punto kilométrico 227 hasta el 241 de la vía Juárez-Morelos. Corresponde al final del recorrido, y la cobertura del terreno es urbana, por ende, de manufactura humana. Se aprovecha el derecho de vía preexistente.

La cobertura vegetal en el trazo del proyecto tiene, según el tipo, las siguientes extensiones (SCT, 2014b):

Asentamiento Urbano: 7.96 ha

Bosque de Encino: 23.24 ha

Sin vegetación aparente: 9.06 ha

H2O 1.49 ha

Bosque cultivado (“Información Agrícola Pecuaria Forestal”): 896.02 ha

Matorral crasicaule: 37.69 ha

Pastizal inducido: 97.99 ha

Zona urbana: 497.06 ha

La MIA considera los elementos descritos arriba para establecer posible fragmentación y cambio de hábitat. Pone especial énfasis en 11 superficies que quedarán atrapadas entre el trazo del Tren México-Querétaro y el derecho de vía de la línea Juárez-Morelos que actualmente opera para trenes de carga (Figura 5.1).

La MIA considera que “La fragmentación es un proceso en el que el hábitat natural continuo es reducido a pequeños remanentes” (SCT, 2014b, p. 264); los efectos que trae aparejada la fragmentación son la alteración del microclima y el aislamiento. Establece que estos efectos no ocurrirán debido a que las superficies delimitadas por las vías del proyecto y las vías que

existen actualmente no quedarían aisladas de su entorno, seguiría teniendo lugar el intercambio de materia y energía entre esas superficies y sus alrededores. La MIA señala que las superficies delimitadas están en su mayoría en zonas afectadas previamente, por lo que el trazo del Tren México-Querétaro no impactaría a superficies con características naturales originales. Por ello, la MIA concluye que no ocurriría la fragmentación de hábitat. Para mitigar posibles efectos negativos, la MIA establece la obligación de realizar pasos de fauna en lugares necesarios.

En cuanto a la contaminación, la MIA tiene un enfoque sistémico e integral para la identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales, del SAR. Establece los posibles impactos durante las etapas de construcción, operación y abandono a cuerpos de agua, suelo y subsuelo, y la atmósfera. Establece obligaciones para el manejo adecuado de aguas residuales, residuos sólidos generados y ruido. Describe los componentes ambientales susceptibles de sufrir impactos debido al desarrollo del proyecto: hidrología superficial, hidrología subterránea, atmósfera, suelo, flora, fauna, paisaje y socioeconómico.

En cuanto al cambio climático la MIA hace un análisis de emisiones de CO₂ que es muy mejorable. La MIA contiene un cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas a los automóviles y autobuses que circulan de México a Querétaro y viceversa, y un cálculo de las emisiones a la atmósfera asociadas al consumo de energía eléctrica requerida para la operación del Tren México-Querétaro. Por lo que concluye:

De acuerdo con la estimación de toneladas de CO₂ obtenidas, se tiene que en un año, debido a la operación del Tren de pasajeros México Querétaro, se emitiría una menor cantidad de este gas contaminante que la cantidad emitida por los vehículos automotores que circularon sobre la autopista México Querétaro en cualquiera de los años estudiados comprendidos de 2002 a 2012, por lo que se concluye que el Tren es un proyecto ambientalmente viables (sic) desde este punto de vista (SCT, 2014b, p. 624).

Sin embargo, la MIA no contiene un análisis de las emisiones asociadas a la construcción del Tren México-Querétaro; tampoco contiene un análisis sobre la disminución de emisiones

debida a la sustitución de autos o autobuses por el Tren México-Querétaro. La MIA compara el total de emisiones asociadas a los autos y autobuses que circulan entre México y Querétaro, con las emisiones que generará el Tren México-Querétaro en su etapa de operación. Esta metodología no considera que el Tren México-Querétaro sólo dará servicio a una parte de los viajeros, no sustituirá al total de los vehículos que circulan entre ambas ciudades. Por ello, es necesario, para tener una evaluación integral de emisiones de CO₂, proponer una metodología diferente, tal y como a continuación planteo.

5.1.3. Generalidades sobre Emisiones de CO₂

De acuerdo con el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) el aumento en la temperatura media del planeta ha sido originado principalmente por actividades humanas que provocan la emisión de diferentes gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (IPCC, 2007). En particular el CO₂ proveniente del consumo de combustibles es el gas que más ha contribuido al aumento de la temperatura debido al volumen de emisiones y a la capacidad que tiene de retener el calor. A nivel mundial la emisión de CO₂ en 2010 fue de 31,200 Mt (EIA, 2013).

Según el informe del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, *International Energy Outlook* (IEO; EIA, 2013), el consumo total de energía en el 2010 fue de 552.5×10^{18} Joules (524 *quadrillion Btu*). El IEO considera al sector de transporte como el responsable del movimiento de personas y bienes, por caminos, vías férreas, aire, agua y ductos. El sector de transporte consumió 26% de la energía total entregada a nivel mundial (sin contar pérdidas asociadas con la generación y transmisión de electricidad), con 143.4×10^{18} Joules en el 2010; fue el segundo sector por consumo de energía, sólo después del industrial (210.9×10^{18} Joules en el 2010). El sector de transporte consumió 55% de los combustibles líquidos a nivel mundial en el 2010.

México ocupa el lugar número 13 a nivel mundial por sus emisiones de CO₂eq. De acuerdo con El Banco Mundial (2014), en el 2010 México emitió 611,699.3 kt (Gg) de CO₂eq -sin contar el uso de la tierra, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS)-; esto representa

el 1.36% de las emisiones a nivel mundial. El Banco Mundial (2014) informa que en México en el 2010 el CO₂ fue el gas con mayores emisiones, 443,674.0 kt CO₂eq (72.53%); mientras que el metano (CH₄), con 115,858.0 kt CO₂eq (18.94%) fue el segundo gas por emisiones, seguido por los óxidos de nitrógeno (NO_x; 7.05%) y otros gases industriales (1.48%). Los porcentajes son típicos, pues a nivel mundial el CO₂ contribuyó con 74.69% de las emisiones, el CH₄ con 16.70%, los NO_x con 6.35% y otros gases con 2.26%. Sin embargo, de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), en el 2010 el CO₂ contribuyó con el 65.9% de los GEI generados en México, el CH₄ con el 22.3%, los NO_x con el 9.2% y otros gases con el 2.5% (SEMARNAT, INECC, 2012).

Los datos presentados por El Banco Mundial (2014) difieren del (INEGEI) debido a que éste sí considera el USCUS y las emisiones fugitivas para el cálculo de emisiones. De acuerdo con el INEGEI (SEMARNAT, INECC, 2012), en el 2010 México emitió 748,252.2 kt de CO₂eq, 6.3% de estos gases se debieron al USCUS y 11.1% a emisiones fugitivas. No es motivo de este trabajo el análisis de las discrepancias entre los datos de El Banco Mundial y del INEGEI; se usarán los datos del primero cuando se confronten contra las emisiones de otros países, se usarán los datos del segundo para los análisis propios de México.

Tabla 5.1. Emisiones de CO₂eq por categoría en el 2010.

Categoría	Emisiones en kt de CO₂eq	% del total
Transporte	166,412.0	22.2
Generación de energía	163,119.0	21.8
Otros consumos	34,419.6	4.6
Manufactura e industria de la construcción	56,867.2	7.6
Emisiones fugitivas	83,056.0	11.1
Procesos industriales	61,226.9	8.2
USCUS	46,892.4	6.3
Agricultura	92,184.4	12.3
Desechos	44,130.8	5.9

Las primeras cinco son subcategorías de la categoría "Energía". Las cifras de emisiones pueden presentar error por redondeo de la fuente de origen. Datos de SEMARNAT, INECC (2012).

En México el sector del transporte es el que más combustible consume, es responsable por el consumo de 57.45% de petróleo y otros líquidos (EIA, 2014). De acuerdo con el INEGI, este sector emitió en 2010 el 22.2% del total de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional (SEMARNAT, INECC, 2012), con 166,412.0 kt de CO₂eq; es el que más GEI emitió (ver tabla 5.1), incluso por arriba de la generación de energía (21.8%); es superior a la suma de las emisiones generadas por las actividades de manufactura, industria de la construcción y procesos industriales.

Tabla 5.2. Emisiones de CO₂ eq en la categoría de Transporte en México.

Modalidad	Emisiones en kt de CO₂eq	% del total transporte
Automotor	157,242.2	94.5
Aéreo	4,886.5	2.9
Marítimo	2,341.0	1.4
Ferroviario	1,942.	1.2

Datos de SEMARNAT, INECC (2012).

El sector automotor fue responsable de 94.5% de las emisiones del sector transporte (157,242.2 kt CO₂eq), pues generó el 21.01% de los GEI a nivel nacional (SEMARNAT, INECC, 2012); mientras que el aéreo contribuyó con 2.9% de las emisiones del sector (4,886.5 kt CO₂eq), el marítimo con 1.4% (2,341.0 kt CO₂eq) y el ferroviario con 1.2% (1,942.0 kt CO₂eq. ver tabla 5.2).

El transporte de pasajeros a nivel nacional interciudades tiene como principales medios al autotransporte público federal (97%), avión, ferroviario (Ruiz-Esparza, 2013). De acuerdo con el Manual Estadístico del Sector Transporte 2012 editado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT; SCT, IMT, 2012), durante el 2011 el movimiento doméstico de pasajeros en transporte interurbano fue de 3,334.0 millones de personas; de ellos, el IMT estima la siguiente distribución: 98.0% para el autotransporte público federal, 1.3% para el ferrocarril, 0.8% para el transporte aéreo y el 0.1% para el marítimo, estas cifras no incluyen el movimiento de pasajeros en vehículos propios. La distancia promedio recorrida por cada medio en 2011 fue de (SCT, IMT, 2012): 143 km por autotransporte público federal, 865 km para el transporte aéreo, 100 km para el marítimo y 21 km para el ferroviario (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Pasajeros-km por modo de transporte en el 2011.

Modo de transporte	Millones de pasajeros	km promedio	Millones pasajeros-km
Carretero	3,264.0	143	465,600
Ferroviario	41.9	21	891
Marítimo	2.6	100	260
Aeronáutico	25.5	860	21,942
TOTAL	3,334.0	147	488,691

No incluye pasajeros en vehículos propios. Datos de SCT, IMT (2012).

El transporte ferroviario es el que menor distancia por recorrido presenta, es una distancia típica suburbana, que corresponde a la del tren suburbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, pues es el servicio ferroviario que más afluencia tiene, con el 99.5% de los pasajeros (Ruiz-Esparza, 2013; ver tabla 5.4); la corta distancia promedio se explica dado que en 1994, por decreto presidencial, dejó de funcionar la deteriorada red ferroviaria pública para el transporte de personas interciudades; por lo que sólo quedaron activas algunas líneas concesionadas, en especial Chihuahua- Los Mochis (Llamado “El Chepe”) y Felipe Pescador- Torreón, por lo que el movimiento de personas por ferrocarril es muy limitado.

Tabla 5.4. Pasajeros en transporte ferroviario por clase de servicio en 2012.

Servicio	Pasajeros (Miles)	%	Pasajeros-km (Millones)	%	Distancia media recorrida (km)
Primera express	96.5	0.2	25.4	2.6	263.2
Económica social	77.2	0.2	22.3	2.3	288.9
Económica turística	28.6	0.1	10.3	1.1	360.1
Suburbano	43,628.0	99.5	911.6	94.0	20.9
TOTAL	43,830.3	100	969.6	100	22.1

SCT. Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal en Ruiz-Esparza (2013).

El IMT (SCT, IMT, 2012) señala que los ferrocarriles mencionados no prestan servicio de clase turística; sin embargo, la afluencia mensual aumenta en los meses vacacionales; El Chepe recorre la ruta que va a las Barrancas del Cobre, en Chihuahua, una zona que atrae a

muchos turistas, por lo que se puede asumir que sí cumple funciones turísticas. En septiembre del 2012 inició operaciones el Tequila Express, un ferrocarril principalmente turístico que va de Guadalajara a la zona de Tequila.

El tránsito de vehículos en las autopistas a cargo de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos ascendió a 376,174,000 en el 2012 (Ruiz-Esparza, 2013); 72.3% de ellos fueron automóviles, 4.9% autobuses, 4.5% camiones de carga de dos ejes, 3.6% camiones de carga de tres ejes, 0.3% camiones de carga de cuatro ejes, 14.5% camiones de carga de cinco o más ejes.

La capacidad de movimiento teórica máxima de personas por tipo de vehículos en México se estima considerando que en un automóvil estándar pueden viajar de manera segura cuatro pasajeros; mientras que en un autobús pueden viajar en promedio 37 pasajeros si se considera el número de vehículos por clase de servicio y capacidad media (Tabla 5.5; Moreno, de la Torre, Bustos, 2012).

Tabla 5.5. Vehículos y capacidad por clase de servicio de autobuses en México 2010.

Clase de servicio	No. de vehs.	% de vehs.	Capacidad media	No. total de asientos	% de asientos
De Lujo	832	1.8	25	20,800	1.2
Económico	29,282	62.9	40	1,171,280	68.3
Ejecutivo	398	0.9	25	9,950	0.6
Primera	10,978	23.6	32	351,296	20.5
Transportación terrestre de pasajeros de y hacia puertos y aeropuertos	5,045	10.8	32	161,440	9.4
TOTAL	46,535		36.85	1,714,766	

Moreno Quintero, de la Torre Romero, Bustos Rosales (2012)

En cuanto al tránsito diario promedio anual en autopistas de cuota, en 2012 ascendió a 908,885 unidades (Ruiz-Esparza, 2013). Dentro de esta red carretera, la autopista México-Querétaro es la tercera por afluencia con 50,695 unidades (Tabla 5.6), de las que 31,800

fueron automóviles (62.73%), 16,483 camiones (32.51%) y 2,412 autobuses (4.76%). El primer lugar correspondió a la autopista México Pachuca (60,950 unidades), el segundo lugar correspondió a la autopista Constituyentes-La Marquesa (58,133 unidades).

Tabla 5.6. Afluencia vehicular diaria autopista México-Querétaro 2012.

Tipo de vehículo	Unidades	%
Automóviles	31,800	62.73
Camiones	16,483	32.51
Autobuses	2,412	4.76
TOTAL	50,695	100.00

Datos de Ruiz-Esparza (2013).

De acuerdo con García Álvarez (2008), el movimiento de personas por tren de alta velocidad para distancias como la del proyecto del Tren México-Querétaro es el que emite menores cantidades de CO₂ a la atmósfera por pasajero; dado que establecer un tren de alta velocidad en donde no existe tiene necesariamente asociadas emisiones de CO₂ correspondientes a las obras, a la fabricación y puesta en marcha del material rodante, para el cálculo de emisiones de CO₂ del proyecto se propone hacer un cálculo de Retorno Sobre la Inversión (ROI por sus siglas en inglés).

5.1.4. El Retorno Sobre la Inversión de CO₂

El ROI es una razón financiera que compara el beneficio o utilidad obtenida en relación con la inversión realizada y se suele expresar en porcentaje. En términos generales se calcula dividiendo los beneficios generados en un periodo (regularmente anualizados) entre la inversión realizada, el resultado se multiplica por cien para expresarlo en %.

El ROI se utiliza para evaluar un proyecto de inversión, si el ROI es positivo significa que el proyecto es rentable, pero si el ROI es menor o igual que cero, significa que el proyecto o futuro negocio no es rentable, pues en caso de ponerse en marcha se perdería dinero invertido. Mientras mayor sea el ROI, un mayor porcentaje del capital invertido en el proyecto

se va a recuperar. Así, el ROI permite comparar diferentes proyectos de inversión: aquél que tenga un mayor ROI será más rentable y, por tanto, más atractivo.

El ROI de CO₂ se expresa como el porcentaje de ahorro de CO₂ por el movimiento de pasajeros anuales sobre la inversión total de CO₂ por la construcción del Tren México-Querétaro.

5.1.4.1. Antecedentes al cálculo de CO₂ para transporte y ROI de CO₂

Desde la Cumbre de Río en 1992 la preocupación por las emisiones de CO₂ a la atmósfera ha ido en aumento. Al ser el transporte uno de los sectores que más contribuye a la emisión de CO₂, han habido muchos intentos por evaluar y mitigar el impacto en emisiones que los sistemas de transportes generan. Por ejemplo, para el caso de México, tres estudios representativos son el MEDEC (México: Estudio para la Disminución de Emisiones de Carbono) Reporte Final sobre el sector transporte (Sánchez Cataño, et al. 2009), un estudio sobre movilidad urbana por Chavez-Baeza y Sheinbaum-Pardo (2014) y, un estudio del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) para el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (Castrejón Botello, et al. 2012).

En el estudio realizado por el Banco Mundial conocido como MEDEC, en el informe final sobre el sector transporte (Sánchez Castaño, et al. 2009) los autores determinan una línea base con una metodología de cinco pasos: i) estimación del parque vehicular, ii) caracterización de la flota, III) determinación de la intensidad de uso, iv) determinación de la tendencia en el rendimiento y, v) estimación de emisiones. Sobre esta línea base, los autores realizan estimaciones de reducción de emisiones con base en cálculos de densificación del área urbana, gestión de la demanda y de sustitución tecnológica (o sustitución por modo) de transporte privado por público, transporte motorizado por no motorizado, optimización de rutas de transporte público, renovación del parque vehicular y fomento al ferrocarril -en particular como transporte de carga-.

Otro estudio similar es el realizado por en IIE sobre políticas medidas e instrumentos para la mitigación de GEI de sector transporte para la zona centro de México (Castrejón Botello, *et al.* 2012). Con base en información geográfica, socio-económica y del parque vehicular, los autores realizan un escenario de referencia de crecimiento del parque vehicular automotriz y del resto del parque vehicular; proponen un escenario de mitigación que incluye la mejora de la eficiencia energética de los vehículos nuevos y el uso de servicio de transporte público eficiente; asimismo, analizan las barreras a la implementación de las medidas de mitigación en cuanto a lo político, financiero, tecnológico y social.

En un estudio sobre escenarios de reducción del consumo de combustible, contaminantes y GEI en la ciudad de México, Chavez-Baeza y Sheinbaum-Pardo (2014) establecen un escenario base para el año 2008 sobre transporte público y privado en la ciudad, al considerar los diferentes medios de transporte y sus emisiones asociadas; posteriormente realizan escenarios futuros hasta el año 2028 a través de una metodología modificada sobre el Modelo de Emisión de Vehículos propuesto por Chen y Thou (2013). En particular Chavez-Baeza y Sheinbaum-Pardo analizan el impacto en la mitigación de emisiones contaminantes y de GEI que trae aparejado el establecimiento de un sistema de autobuses articulados con carril confinado (BRT por sus siglas en inglés: *Bus Rapid Transit*).

Debido a que, como quedó establecido, el transporte de personas por ferrocarril en México es actualmente limitado y no hay trenes de alta velocidad, no hay muchos estudios sobre la comparación de GEI entre este medio de transporte y otros modos como el autobús, el avión o el automóvil en el país.

Para el caso del tren de alta velocidad, un estudio de referencia es el realizado por García Álvarez (2008) para España. El autor realiza una comparación de emisiones entre diferentes medios de transporte: avión, automóvil, autobús, tren convencional y tren de alta velocidad, para diferentes recorridos -Madrid a: Málaga, Barcelona, Valladolid, Sevilla y Toledo-; utiliza información geográfica, de consumo medio de combustible y de ocupación media por cada medio de transporte, y llega a la conclusión de que, en promedio, el tren de alta velocidad es el medio de transporte con menores emisiones por pasajero.

En un estudio realizado por Jehanno, Palmer y James (2011) bajo encargo de la *International Union of Railways* (UIC, como se le conoce por sus siglas en francés), los autores establecen diferentes razones para considerar a los trenes de alta velocidad como un medio de transporte sustentable (de acuerdo con una definición de “sustentable” establecida por la Comisión de las Comunidades Europeas, 2005). Los autores analizan el impacto en CO₂ del movimiento de personas en tren de alta velocidad, autobuses, automóvil y avión, concluyen que, dentro de estos medios de transporte, el primero es el que menos impacto por pasajero-km tiene por sus emisiones. Asimismo, analizan el consumo de energía, la contaminación al aire, los ruidos y vibraciones, la eficiencia en el uso de materiales, impactos a la biodiversidad, al impacto visual, al uso de suelo, a la seguridad en cuanto a accidentes y a la reducción de congestionamiento.

Todos los estudios anteriores parten del supuesto de que existe la infraestructura para el funcionamiento de los sistemas de transporte que consideran; es decir, ignoran el impacto inicial por la implementación de la infraestructura necesaria para cada sistema de transporte: carreteras para los automóviles y autobuses, la construcción de autobuses y automóviles; aeropuertos y construcción de aviones para el transporte aéreo; la construcción de vías, terminales, talleres y, en general, estructura ferroviaria y la construcción de trenes para el transporte ferroviario. Dado que el Tren México-Querétaro requiere de nueva infraestructura, o de remodelación importante de la existente, es necesario considerar esta variable para los cálculos de costo y beneficio de este sistema en términos ambientales.

García Álvarez (2010) realiza un estudio para la UIC, cuya finalidad es responder seis interrogantes que en ese momento se planteaban sobre los trenes de alta velocidad: 1) ¿los trenes de alta velocidad ofrecen las mismas ventajas generales que los trenes convencionales?; 2) ¿los trenes de alta velocidad conllevan un incremento en el consumo de energía, por pasajero, en comparación con los trenes convencionales?; 3) ¿los trenes de alta velocidad requieren de menos energía, por pasajero, transportado, que otros medios de transporte?; 4) si requieren de menos energía, ¿cuál es el orden de magnitud de las diferencias?; 5) ¿El establecimiento de un tren de alta velocidad para un trayecto conlleva

una reducción en el consumo energético en el transporte, considerando la demanda inducida? Y; 6) ¿cuál es el efecto de la velocidad en la distribución de la energía utilizada para la construcción del vehículo durante su vida de operación? En este estudio, el autor calcula el consumo energético para la manufactura y operación de diversos medios de transporte. De acuerdo con el autor, alcance es mundial, dado que no hay diferencias significativas. El autor analiza la reducción de emisiones por la sustitución de pasajeros que viajan en avión, y cambian al tren de alta velocidad. Concluye con algunas recomendaciones para disminuir el consumo de energía durante la operación de los trenes de alta velocidad.

Un estudio realizado por Baron, Martinetti y Pépion (2011) para la UIC, los autores establecen que las herramientas de evaluación de la huella de carbono utilizadas para comparar medios de transporte, tales como la Eco TransIT y la EcoPassenger, consideran sólo la etapa de operación y la fuente de energía, pero no la infraestructura ni la construcción de material rodante o aeroplanos. Para resolver la interrogante sobre el impacto que la etapa de construcción genera para trenes de alta velocidad, los autores ajustan la metodología de medición de huella de carbono y la aplican para cuatro líneas de alta velocidad: Tours-Burdeos, Valencia-Marsella, Taipei-Kaohsiung, Beijing-Tianjing. El estudio considera las emisiones para las fases de planificación, trabajos en tierra, construcción de vías (balastos, rieles y durmientes), obra civil y de ingeniería (obras de arte: viaductos, puentes y túneles), equipamiento de vías (electrificación y telecomunicaciones) y, construcción de estaciones y centros de operación. Los autores calculan la huella de carbono emitida durante la construcción de las cuatro líneas seleccionadas; sin embargo, no proponen un ROI de CO₂.

Un estudio que propone una metodología para el cálculo del impacto de CO₂ que trae aparejada la construcción de infraestructura ferroviaria es el que realizan Maeso González, González Sánchez y Alonso Hazaña (2012) para el metro ligero de Málaga (en México se le llama Tren Ligero a este tipo de infraestructura). Los autores proponen un modelo para la estimación de las emisiones de CO₂ tanto en la fase de construcción como de explotación, estiman además el ahorro de emisiones de CO₂ contra otros modos de transporte y estiman el periodo de recuperación de las emisiones de CO₂. Para el cálculo de emisiones los autores se basan en el consumo de CO₂ que requiere la maquinaria utilizada en el establecimiento de

la infraestructura, y en el consumo medio de energía de este medio de transporte. Aunque el trabajo citado es un antecedente relevante para los fines del presente capítulo, los autores no consideran el CO₂ por concepto del material necesario en la infraestructura, sino sólo el consumo por maquinaria utilizada en la construcción.

5.2. Metodología

Para este capítulo, se calculan las emisiones para un escenario base, que consiste en el movimiento de pasajeros tal cual ocurre en la actualidad entre México y Querétaro; se calculan las emisiones iniciales por la construcción del Tren México-Querétaro -que equivaldrán a la inversión ambiental en términos de CO₂-, las emisiones para la etapa de operación para el Tren México-Querétaro, y se proponen diferentes escenarios para descontar emisiones que otros medios de transporte -que serían sustituidos con el Tren México-Querétaro- tienen aparejadas; así, se llega a un ROI de CO₂ y a un tiempo de recuperación de la “inversión ambiental”.

5.3. Evaluación de ROI de CO₂

5.3.1. Línea base de emisiones

El transporte de pasajeros se efectúa por medio de automóviles y autobuses, por lo que los camiones no serán tomados en cuenta, en tanto el Tren México-Querétaro es de pasajeros.

El tránsito diario promedio anual de vehículos de transporte de personas en la autopista México-Querétaro es de 31,800 automóviles y de 2,412 autobuses (Ruiz-Esparza, 2013). La distancia por autopista entre México y Querétaro es de 220 km. Para el cálculo de emisiones de CO₂ se toman los estimados considerados por García Álvarez (2008), pues si bien los modelos más recientes de automóviles son más eficientes, la edad media vehicular en México es de 7 años (SEMARNAT, INECC, 2012). Las emisiones por automóvil se estiman en 144 gCO₂/km, por lo que un automóvil emite 31,680 gCO₂ en el trayecto México-

Querétaro. De acuerdo con García Álvarez (2008), un autobús emite 781 gCO₂/km, por lo que las emisiones por cada autobús para el trayecto México-Querétaro son de 171,820 gCO₂.

Tabla 5.7. Emisiones por vehículo en la autopista México-Querétaro.

Tipo de vehículo	Unidades diarias	Emisiones por vehículo-trayecto gCO ₂	Emisiones totales diarias tCO ₂
Automóviles	31,800	31,680	1,007.424
Autobuses	2,412	171,820	414.430
TOTAL	50,695		1,421.854

Elaboración propia con base en datos de Ruiz-Esparza (2013) y García Álvarez (2008).

De tal manera, las emisiones diarias por vehículos de transporte de pasajeros en la autopista México-Querétaro queda como se muestra en la tabla 5.7. De acuerdo con esta línea base de emisiones, el transporte de pasajeros entre México y Querétaro emite 518,976.652 tCO₂ al año; 15,569,299.55 tCO₂ en 30 años.

5.3.2. La construcción y emisiones iniciales

Tabla 5.8. Emisiones de CO₂ por kg de material.

Material	kgCO ₂ /kg
Acero	2.8
Agua	0
Aluminio	4.88*
Áridos	0.007
Asfaltos	8.14
Cal	0.32
Cemento	0.41
Cerámica	0.18
Cobre	0.799**
Diesel	0.003
Fibras naturales	0

Hormigón armado	0.1
Pintura	3.64
Madera	0.06
Resinas	16.28

Adaptado de Argüello y Cuchí (2008).

* Dato de Klöpffer y Frischknecht, 2013.

** Dato de COCHILCO, 2012.

Para el cálculo de emisiones de CO₂ durante la fase de construcción del Tren México-Querétaro se toma en cuenta las emisiones por concepto de materiales para la construcción de las obras de estructura y material rodante. Las obras de estructura se dividen en edificios: estaciones y talleres; obras del trazo del tren: infraestructura, superestructura, electrificación y obras de fábrica. Se consideran unas emisiones de CO₂ por kg de material de acuerdo con lo reportado por Argüello y Cuchí (2008), pues los materiales son considerados insumos de construcción en el entorno mexicano (Tabla 5.8).

5.3.2.1. Edificios

Se proyecta la construcción de una estación en la ciudad de Querétaro, la utilización de la estación de Buenavista que actualmente existe en la ciudad de México y la construcción de tres talleres (Tabla 5.9). Se considera que las construcciones tendrán una densidad material equivalente a la industrial, de 3.6 tm/m² (toneladas de material por m² de construcción; Casanovas, 2009). Se consideran unas emisiones ponderadas por material de 100 gCO₂/kg (Argüello y Cuchí, 2008).

Tabla 5.9. Edificios y CO₂.

Edificio	Superficie (m ²)	Masa volumétrica (t)	Emisiones de tCO ₂ por material
Estación Buenavista	3,300	11880.0	1,188.0
Estación Querétaro	2,203	7,930.8	793.1
Talleres	55,000	198,000.0	19,800.0
TOTAL	60,503	217,810.8	21,781.1

Elaboración propia.

En Buenavista se prevé construir nuevas vías y andenes en la mitad este de la nave de andenes, actualmente en desuso. Se propone construir dos andenes centrales de 7 m de ancho que prestan servicio a cuatro vías en total, y una quinta vía sin andén público, para acceso a trenes en depósito o mantenimiento ordinario; el largo de los andenes se estima en 200 m, que es la longitud de un tren de alta velocidad para 400 pasajeros (SCT, 2014b), o sea, 2,800 m² de andenes. Se considera una sala de acceso y espera de pasajeros y unas oficinas y servicios para los operadores y el personal por 500 m². Por ello, para un total de 3,300 m² de construcción, la masa volumétrica de la obra se estima en 11,880 t, o sea, emisiones por 1,188 tCO₂.

La estación de la ciudad de Querétaro tendrá una superficie total de 2,203 m² con vestíbulos, servicios, comercios, circulaciones y accesos a andenes, por lo que se calcula una masa volumétrica de 7,930.8 t; unas emisiones equivalentes por el material de 793.08 tCO₂.

Se construirán tres talleres, uno para inspección básica diaria con una superficie estimada de 5,000 m², un taller central con una superficie aproximada de 47,000 m² y un taller cabecera en Querétaro con una superficie aproximada de 3,000 m². El área total de talleres se estima en 55,000 m², por lo que tendrá una masa volumétrica calculable en 198,000 t, y un impacto de emisiones por material equivalentes a 19,800 tCO₂.

5.3.2.2. El trazo

El trazo del Tren México-Querétaro corre en una región donde existe un derecho de vía para un tren de carga de la línea Juárez Morelos, derecho compartido por un tren suburbano en el tramo Buenavista-Cuautitlán. De los 212 km de vía, 108 km compartirán el derecho de vía actualmente existente, con lo que se reduce la intervención sobre territorios que actualmente se usan para otras actividades. Aunque existe la posibilidad de compartir las vías por las que corre el tren suburbano, para el cálculo de emisiones se considera la construcción de nueva infraestructura independiente debido a que es el escenario más probable.

Tomando en cuenta las bifurcaciones de vías en las entradas a Querétaro y Buenavista y las vías para la entrada y servicio en los talleres, se estima una longitud de vía doble equivalente a 220 km, es decir, 880 km de riel; se considera un riel estándar UIC 60, con una masa métrica de 60.34 kg/m (ALAF, 2004), por lo que se utilizarán 53,099.2 t de acero con emisiones por material equivalentes a 148,677.8 tCO₂.

Se consideran durmientes de concreto que cumplan con lo establecido en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana "PROY-NOM-048/1-SCT2-2000" (SCT, 2000). Una vía estándar lleva un distanciamiento entre durmientes de entre 12" y 18" (SCT, 2014b), por lo que se puede considerar una distancia media de 15" (38 cm); el ancho de la cara superior del durmiente no debe ser mayor a 330 mm ni menor a 150 mm, el ancho de la superficie de apoyo del patín del riel no debe ser menor de 200 mm, por lo que se considera un ancho de 200 mm (20 cm), por lo que se puede asumir que la vía tendrá un durmiente por cada sección de 58 cm, es decir, 379,310 durmientes en los 220 km de vía. Al ser un tren de alta velocidad, se asume que serán durmientes tipo 3 (SCT, 2000), con un peso por durmiente de 330 kg, para un total de 125,172.3 t de material. Se asume una composición por volumen en la mezcla del durmiente de 12% de cemento portland, 28% de arena, 44% de piedra (72% de áridos), 14% de agua y 2% de acero (IMCYC, 2012), con unas emisiones totales por material en durmientes de 13,799.0 tCO₂.

El balastro se considera de piedra triturada cuyos fragmentos pasen por la malla 2 3/4" y se retenga en la de 3/4", que es el material que llena los requisitos especificados en la MIA. Las redes de tren nacionales emplean 50 cm de espesor total de balastro; se considera una distancia entre ejes de vías de 4.5 m, con un largo de 2.44 m de durmiente, más 0.5 m de holgura lateral, por lo que el ancho mínimo a cubrir con balastro es de 7.44 m. Para los 220 km de vía, da un volumen de 818,400 m³ de balastro; con una densidad aparente de 1.378g/cm³ (ADIF, 2009), da una masa volumétrica de 1,127.8 t; con unas emisiones totales por material en balastro de 7.9 tCO₂.

Tabla 5.10. Elementos del trazo y CO₂.

Elemento	Cantidad	Masa volumétrica (t)	Emisiones de CO ₂ por material (t)
Riel	880 km	53,099.2	148,677.8
Durimentes	379,310	125,172.3	13,799.0
Balastro	818,400 m ³	1,127.8	7.9
Talud y sub-balastro	NA	NA	0.0
Pantalla acústica	370 km	97,125	62,164.8
TOTAL	---	276,524.3	224,649.5

Elaboración propia.

Se considera que los taludes y sub-balastros serán hechos con material disponible en la zona, incluyendo el removido para emparejar el terreno y en la excavación de túneles, por lo que no tendrán emisiones extra de CO₂ por concepto de material. Las emisiones por material para elementos del trazo quedan conforme con la tabla 5.10.

El total del trazo deberá bardearse, excepto los tramos con viaductos (19.5 km) o túneles (7.5 km), tanto para evitar el paso de animales o personas, como para mitigar el ruido de tipo aerodinámico generado en la etapa operativa, que es un punto que destaca la MIA. La longitud del trazo a bardear es de 185 km por ambos lados, lo que da 370 km de barda. Se considera que las bardas serán de tipo pantallas acústicas, fabricadas a base de hormigón y mallas metálicas, con una altura promedio de 4 metros. Se puede considerar una base de hormigón armado con 70 cm de altura, 15 cm de grosor (incluyendo el anclaje) y densidad aparente mínima de 2.000 g/cm³; la pantalla metálica suele tener un peso superficial de mínimo 15 kg/m². Esto es, una masa volumétrica de 77,700 t de hormigón armado y 19,425 t de acero en la pantalla metálica, para unas emisiones totales por material de la pantalla acústica de 62,164.8 tCO₂.

5.3.2.3. Obras de Arte

Se entiende por “obras de arte” los túneles y viaductos (puentes) que se construirán para dar paso al tren donde así se requiera. De acuerdo con las estimaciones de la MIA, habrá un

total de diez túneles y 21 viaductos, con una longitud total de 7,548 m de túneles y 19,576 m de viaductos.

En el trazo del tren, se plantean dos actuaciones en las que se requieren de viaductos de gran tamaño: el libramiento de Tula 4 y el libramiento de San Juan del Río. Sin embargo, por los lugares en los que se colocarán los viaductos (Tabla 5.11) se asume que en su mayoría serán para evitar taludes demasiado grandes y sortear pasos de carreteras y vialidades, por lo que su altura promedio será de 6 m, la de un puente típico en carretera (la NOM-012-SCT-2-1995 establece una altura máxima para vehículos que circulan en carreteras de 425 cm; SCT, 1997).

Se asume un ancho de viaductos de 14 m, con una estructura de hormigón armado soportada sobre pilares del mismo material (SCT, 2014b). Se asume una estructura de tipo trabe con un peso de 2 t/m, que son las estructuras utilizadas en México para obras tipo distribuidor vial (SCT, 2014c). Para los 19,576 m de viaducto da una masa volumétrica de 39,150 t, con unas emisiones por material de 3,915 tCO₂.

Los túneles son obras de remoción de material, por lo que su principal impacto es por la disposición de material removido y el proceso de construcción; las emisiones por material en las obras de túnel se estima como despreciable para los volúmenes de obra.

Tabla 5.11. Actuaciones en el trazo del Tren México-Querétaro.

Tramo	Longitud	Derecho de vía	# Túneles	# Viaductos	Long. de túneles	Long. De viaductos
Buenavista - Cuacutitlán	30,530	24,424	1	5	1,100	7,815
Cuautitlán - Huehuetoca	16,172	9,703	0	1	0	2,441
El Salto	--	--	--	--	--	--
Libramiento Tula 4 (engloba tramo anterior)	37,293	--	7	6	4,825	4,900
Tula-Santuario del Agua	45,081	7,384	1	2	1,400	1,725
Santuario del Agua	9,398	9,398	0	0	0	0
Libramiento San Juan del Río	26,896	--	0	5	0	1,900

San Juan del Río - La Griega	22,986	22,986	0	0	0	0
Curva La Griega	6,986	6,986	0	0	0	0
La Griega-Querétaro	16,512	5	1	2	233	795
TOTAL	211,857	85,883	10	21	7,548	19,576

SCT, 2014b. Datos en metros. El derecho de vía previo discrepa 22 km debido a que la MIA considera escenarios diferentes.

5.3.2.4. Electrificación

El sistema de tracción de los trenes de alta velocidad es por energía eléctrica, por lo que la obra contará con una catenaria por vía. Se asume que el suministro de energía contará con un equipamiento similar al tren suburbano Buenavista-Cuautitlán; aunque los trenes de alta velocidad requieren de catenarias más rectas, capaces de soportar la onda de choque que provoca el tren al pasar y el desplazamiento lateral del pantógrafo, el sistema del suburbano cuenta con equipos de compensación similares a los que se usan para los trenes de alta velocidad.

La electrificación se compone de subestaciones; conjunto de soporte: macizo, poste, ménsula, tirante; conjunto de atirantado: aislador de suspensión, aislador de atirantado, soporte de atirantado, brazo de atirantado, hilo de contacto; conjunto de suspensión: hilo sustentador y péndolas; conjunto de compensación: polea, aislador y contrapeso.

Se asume que la catenaria estará soportada por postes metálicos de tipo HEB 200 de 8 m sin alimentador (61.3 kg/m, 490.4 kg/poste; Miliarium, 2014), y postes de tipo HEB 220 de 8 m con alimentador (71.5 kg/m, 572 kg/poste). El vano (distancia entre postes) será de 50 m. El largo de vía a cubrir con catenaria doble será de 220 km; cada kilómetro llevará 20 postes por lado, de los cuales 19 serán HEB 200 y 1 será HEB 220; por lo que la línea tendrá 8,360 de los primeros y 440 de los segundos; con una masa total por postes de 4,351.4 t; y unas emisiones de 12,184.0 tCO₂.

Cada poste estará soportado en macizos cilíndricos de .75 cm de diámetro, .5 m de altura, a 1800 kg/m³, tendrán una masa total por concepto de macizos de 3,499.0 t (397.6 kg/macizo); con unas emisiones totales por material de macizos de 39.8 tCO₂. Cada poste contará con ménsula y tirante. Las ménsulas serán de tubo de aluminio; se asume una masa total por ménsula de no menos de 9.5 kg (3.26 kg/m), por 8,800 postes, da una masa de 83,6 t, con unas emisiones por material de 408.0 t CO₂.

Tendrá compensación mecánica de la catenaria cada 1,000 m, con dos equipos de compensación comprendidos por poleas y contrapesos, para un total de 440 equipos; los contrapesos son de hormigón y pesan 240 kg por equipo, es decir 105.6 t totales, con unas emisiones por material de 10.6 tCO₂; la rueda compensadora da una relación de 1:5 y la masa con todo y cables de acero se estima en 50 kg, es decir 22 t de acero, con unas emisiones por material de 61.6 tCO₂. El conjunto de compensación tendrá unas emisiones totales por material de 72.2 tCO₂.

El cable sustentador será de bronce con una sección de 65 mm², con una densidad de 8.9 g/cm³, tendrá una masa unitaria de 578.5 g/m, para una longitud de vía de 440 da una masa volumétrica de 254.4 t (sin considerar el aumento de longitud por catenaria, se estima una flecha de 0.5 m), para unas emisiones por material de 203.4 tCO₂. Las péndolas serán de hilo flexible de acero con un mínimo de 16 mm² de sección, distanciadas 4.5 m entre sí, con una longitud media no menor a 60 cm, para una masa de 7.4 t, y unas emisiones por material de 20.6 tCO₂. El hilo de contacto es doble, cada uno de cobre con sección de 150 mm²; aunque suelen ser de aleaciones, se considera para el cálculo de emisiones de CO₂ sólo de cobre por ser el material más abundante, para 880 km de cable da una masa de 1,182.7 t, con unas emisiones por material de 945.0 tCO₂.

La electrificación contará con un sistema de suministro de energía eléctrica a la tracción en 2 x 25. kV con subestaciones cada 70 km y autotransformador cada 10 km. Habrá dos subestaciones y 20 autotransformadores. Debido a que el tren pasa cerca de las zonas industriales de Tula-Tepeji y San Juan del Río, se asume que hay potencia disponible, por lo

que no se tomará en cuenta el cálculo de CO₂ por obras de suministro de energía eléctrica. Las emisiones por material para la electrificación quedan conforme con la tabla 5.12.

Tabla 5.12. Elementos de la electrificación y CO₂.

Elemento	Cantidad	Masa volumétrica (t)	Emisiones de CO ₂ por material (t)
Poste	8,800	4,351.4	12,184.0
Maciso	8,800	3,499.0	39.8
Ménsula	8,800	83.6	408.0
Contrapeso	440	105.6	10.6
Rueda compensadora	440	22.0	61.6
Sustentador	440 km	254.4	203.4
Péndola	97,778	7.4	20.6
Hilo de contacto	880 km	1,182.7	945.0
Suministro	Disponible	---	0.0
TOTAL	---	9,506.1	13,669.6

Elaboración propia.

5.3.2.5. Material Rodante

Se asume que los trenes funcionarán con material rodante de 300 km/h. En la MIA se plantea dos posibilidades de trenes, uno con capacidad de 220 pasajeros, y otro con capacidad de 404 (SCT, 2014b); sin embargo, sólo el segundo alcanza 300 km/h, por lo que se calcularán las emisiones con base en ese material rodante. Tiene una longitud total de 200 m, una anchura de caja de 2.950 mm, una altura de altura: 3.890 mm, la caja es de aluminio, y el peso total del tren es de 500 t (el Siemens S103 pesa 463 t). El tren es un sistema complejo de interacción de elementos, por lo que, a grandes rasgos se asume que el 75% del peso es de acero y el 25% restante es de aluminio. Las emisiones de CO₂ por material serán de 1,660 tCO₂/tren (1,050 acero y 610 aluminio).

Para producir un automóvil en el 2013, una planta tipo emitía 0.78 tCO₂, mientras que en el 2008 emitía 1.09 tCO₂ (FORD, 2014). Considerando que un automóvil como los que se producen en esas plantas pesa al rededor de 1.5 t, se puede asumir unas emisiones por producción de 1 tCO₂/t de material rodante, por 500 t por tren, da unas emisiones de 500 tCO₂/tren. Sumando las emisiones por material y por mano de obra da un total de 2,160 tCO₂/tren (emisiones equiparables a las informadas por García Álvarez (2010), quien estima las emisiones para la construcción de un tren de alta velocidad, contando el material y el ensamblado, en 6,325 kgCO₂/t; para el tren de 500 t esto representa 3,162.5 tCO₂/tren).

Según el flujo esperado de 11,200 pasajeros al día para ambos sentidos (SCT, 2014b); asumiendo que la ocupación promedio de un tren de alta velocidad es de 65% (FES, 2001), se requiere de una capacidad de transporte de 17,231 pasajeros, con 42 viajes sencillos, 21 por vía. Asumiendo un servicio de 16 horas, de 6 am a 10 pm (hora de llegada 11:02 pm), se puede estimar, en hora pico, una frecuencia de 2 trenes por hora / sentido, o sea 4 trenes por hora; con un ciclo de servicio por tren de 3.5 horas (SCT, 2014b), se requiere un mínimo de 14 trenes.

Para 11,200 pasajeros al día, las emisiones por material rodante serán de 23,240 tCO₂ por material y 7,000 tCO₂ por manufactura, para un total de 30,240 tCO₂.

Bajo los mismos supuestos asumidos para el flujo de 11,200 pasajeros, según un flujo esperado de 22,7000 pasajeros al día para ambos sentidos (Modelística 2014), se requerirán de 34 trenes para dar servicio. Por lo que las emisiones por material rodante serán de 56,440 tCO₂ por material y 17,000 tCO₂ por manufactura, para un total de 73,440 tCO₂.

5.3.2.6. Total de emisiones por construcción

La suma de emisiones por material de construcción y material rodante es de 294,255.2 tCO₂ para 11,200 pasajeros diarios, o 337,455.2 para 22,700 pasajeros diarios (Tabla 5.13), lo que constituye la inversión en términos de CO₂ que requiere el proyecto de Tren México-Querétaro.

Tabla 5.13. Emisiones por construcción.

Concepto	Emisiones tCO₂
Edificios	21,781.1
Trazo	224,649.5
Obras de arte	3,915.0
Electrificación	13,669.6
Material rodante para 11,200 pasajeros diarios	30,240.0
Material rodante para 22,700 pasajeros diarios	73,440.0
TOTAL 11,200 pasajeros diarios	294,255.2
TOTAL 22,700 pasajeros diarios	337,455.2

Elaboración propia.

5.3.3. Emisiones en la etapa de operación

Tomando en cuenta los datos de Moreno, De la Torre y Bustos (2012), la capacidad de afluencia teórica diaria de personas en la autopista México-Querétaro es de 127,200 por automóvil, 91,656 por autobús, para un total de 218,856. De acuerdo con la MIA (SCT, 2014b), el Tren México-Querétaro está planeado para una capacidad de 11,200 pasajeros al día considerando ambos sentidos. De acuerdo con Modelística (2014), el tren tendrá una afluencia de 22,700 pasajeros al día. Debido a la sensible discrepancia de afluencia, se calculan las emisiones para cada opción, tanto para la planteada por la MIA, como para la planteada por Modelística.

Para los cálculos se usan las estimaciones de la línea base. Las emisiones por automóvil se estiman en 144 gCO₂/km, un automóvil emite 31,680 gCO₂ en el trayecto México-Querétaro. Considerando una ocupación de 4 personas por automóvil, las emisiones por pasajero son de 7,920 gCO₂. La autopista México-Querétaro conecta dos ciudades relevantes de la región central del País, por lo que se puede asumir una ocupación media de automóvil equivalente a la informada por FES (2001) para Europa, de 1.7 personas por vehículo, dato que coincide

con las estimaciones de Modelística (2014); las emisiones ponderadas por ocupación son de 18,635 gCO₂ por pasajero en automóvil por trayecto (Tabla 5.14).

De acuerdo con García Álvarez (2008), un autobús emite 781 gCO₂/km, por lo que las emisiones para el trayecto México-Querétaro son de 171,820 gCO₂. Dado que el Tren México-Querétaro tendrá sólo la estación de destino y de origen, se asume que el perfil de viajeros que usarán el servicio es el que viaja por las clases, primera, ejecutivo y de lujo, por lo que la clase económica no será tomada en cuenta para el cálculo de pasajeros y emisiones.

Los autobuses México-Querétaro salen principalmente desde la estación de autobuses del norte y desde el aeropuerto internacional Benito Juárez; el servicio desde el aeropuerto es sólo de lujo, mientras que en las estaciones de autobuses (del Norte y Observatorio) hay servicios de primera y de lujo; el porcentaje de corridas de primera con respecto al universo considerado (la suma de primera y de lujo) es de 53.57%, el porcentaje de las corridas de lujo es de 46.43%. De ahí que la media de asientos por autobús, según los datos de Moreno, De la Torre y Bustos (2012) es de 28.75. Las emisiones por pasajero son de 5,976 gCO₂ (Tabla 5.14). Si se asume un promedio de ocupación de 21% conforme lo informado por el IFEU (2006), las emisiones ponderadas por ocupación son de 28,459 gCO₂ por pasajero en autobús por trayecto. Es poco probable que los autobuses salgan de punto de equilibrio con seis pasajeros por corrida en promedio, es más probable una ocupación media como la estimada al 100%.

Con los datos planteados se puede calcular una afluencia diaria de viajeros entre México y Querétaro en 123,405, de los que 54,060 viajan por automóvil y 69,345 por autobús.

El Tren México-Querétaro es de alta velocidad, con material rodante de 300 km/h; su trazo es de 212 km, el tiempo de recorrido estimado es de 62 min. Dado que el aumento en las emisiones de CO₂ con respecto a la velocidad se da de manera lineal (García-Álvarez, 2008), se considera para el cálculo de emisiones una velocidad media de 200 km/h. García Álvarez (2008) estima una media de emisiones para cinco trenes de alta velocidad en España de

4,170 gCO₂/km, con esa media, las emisiones por trayecto del Tren México-Querétaro serán de 885,736 gCO₂. La capacidad de los trenes es de 404 pasajeros (SCT, 2014b); considerando una ocupación media de 65% (FES, 2001), da unas emisiones por pasajero-trayecto de 3,373 gCO₂ (Tabla 5.14).

Tabla 5.14. Emisiones estimadas por pasajero / trayecto / medio de transporte México-Querétaro.

Medio de transporte	Emisiones por pasajero/trayecto gCO ₂
Automóvil	18,635
Autobús	5,976
Tren de Alta Velocidad	3,373

Elaboración propia.

5.3.4. Cálculo de Retorno Sobre la Inversión de CO₂ del proyecto

Para el cálculo del ROI se plantean dos opciones, en la primera se asume la afluencia estimada por la MIA (SCT, 2014c), por lo que el Tren México-Querétaro moverá a 11,200 pasajeros al día; en la segunda se asume la afluencia estimada por Modelística (2014), por lo que moverá 22,700 pasajeros al día. Para cada opción se asumen dos supuestos, con tres escenarios por cada supuesto. En el primer supuesto se asume que el Tren México-Querétaro competirá por el traslado de pasajeros con otros medios de transporte: automóvil y autobús, por lo que las emisiones iniciales deberán ser compensadas exclusivamente por la sustitución de vehículos (Tabla 5.15, Figura 5.2; Tabla 5.17, Figura 5.4). En el segundo supuesto se considera que el Tren México-Querétaro complementará el traslado de pasajeros de otros medios de transporte: automóvil y autobús, por lo que, de no construirse, será necesario ampliar la autopista México-Querétaro en un carril por sentido (dos carriles en total; Tabla 5.16, Figura 5.3; Tabla 5.18, Figura 5.5).

Para cada supuesto se plantean tres escenarios: 1) el tren sustituirá la circulación de automóviles exclusivamente, 2) el tren sustituirá la circulación de autobuses exclusivamente, 3) el tren sustituirá la circulación de automóviles y autobuses en una proporción equivalente a la actual.

5.3.4.1. Opción 1, supuesto 1, escenario 1

El tren sustituirá la circulación de 11,200 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil. La diferencia neta de emisiones de CO₂ por pasajero-trayecto representa un ahorro de 15,262 gCO₂. Al día representa un ahorro de 170,944.4 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 1,721.5 días. ROI de CO₂ del proyecto es de 21.20% anual.

5.3.4.2. Opción 1, supuesto 1, escenario 2

Tabla 5.15. ROI de CO₂ bajo la opción 1, supuesto 1.

Escenario	Diferencia gCO ₂ pasajero-trayecto	Ahorro diario kg CO ₂	Ahorro anual tCO ₂	Recuperación de inversión CO ₂ en días	Recuperación de inversión CO ₂ en años	ROI de CO ₂ anualizada (en %)
Escenario 1: sustitución de automóvil	15,262	170,944.4	62,394.7	1,722	4.72	21.20
Escenario 2: Sustitución de autobús	2,603	29,153.6	10,641.1	10,094	27.65	3.62
Escenario 3: Sustitución al 58.12% y 41.88%	9,960	111,552.0	40,716.5	2,638	7.23	13.84

Elaboración propia.

El tren sustituirá la circulación de 11,200 pasajeros-trayecto por día, movidos por autobús. La diferencia neta de emisiones de CO₂ por pasajero-trayecto representa un ahorro de 2,603 gCO₂. Al día representa un ahorro de 29,153.6 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 10,093.3 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 3.62% al año.

5.3.4.3. Opción 1, supuesto 1, escenario 3

El tren sustituirá la circulación de 11,200 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil y autobús en una proporción de 58.12% y 41.88% respectivamente. La diferencia neta de

emisiones de CO₂ por pasajero-trayecto representa un ahorro de 9,960 gCO₂. Al día representa un ahorro de 111,552.0 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ el proyecto requiere de 2,638 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 13.84% al año (Tabla 5.15, figura 5.2).

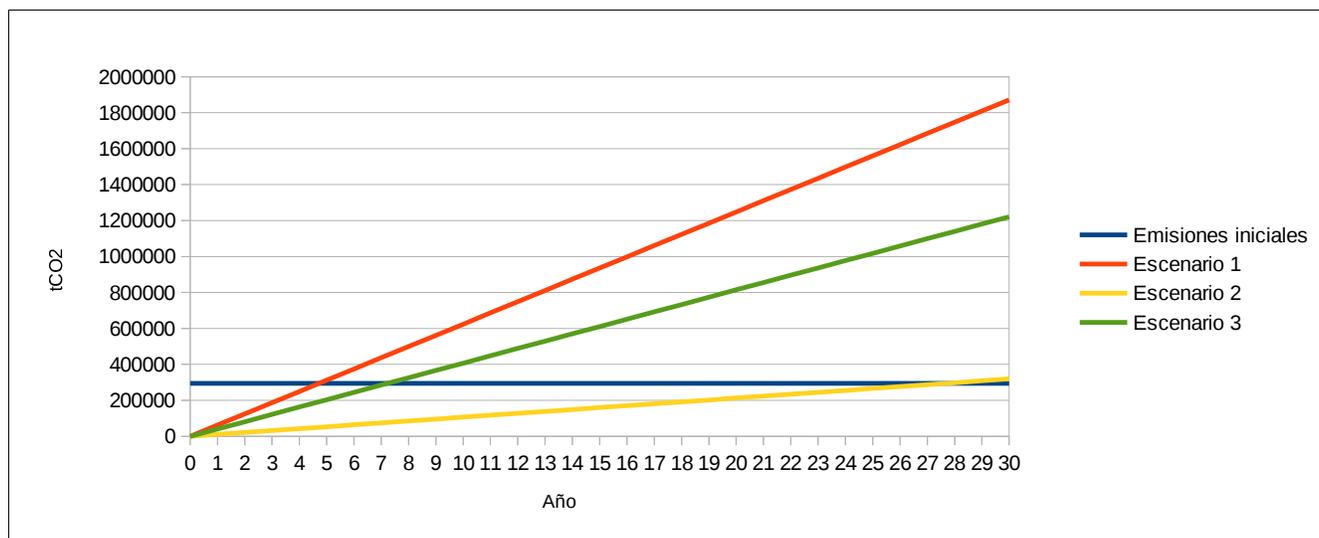


Figura 5.2. Retorno de CO₂, opción 1, supuesto 1.
Elaboración propia.

5.3.4.4. Opción 1, supuesto 2, escenario 1

Para el supuesto 2 se compensa las emisiones por materiales de construcción del Tren México-Querétaro, con las emisiones por materiales de construcción de dos carriles de autopista México-Querétaro.

La autopista tiene una longitud de 220 km, se considera una superficie de rodamiento de pavimento rígido de 3.5 m de ancho por carril, con una losa de concreto hidráulico sin estructura de 25 cm de espesor y una composición de 340 kg/m³ de cemento y 1,776 kg/m³ de áridos (SCT, IMT, 2001); se asume que el material de la sub-base y sub-rasante será tomado del entorno, por lo que no se consideran emisiones por concepto de estos materiales. Para los dos carriles se requerirán 385,000m³ de concreto, con 130,900 t de cemento y 683,760 t de áridos, para unas emisiones totales de 58,455.32 tCO₂.

Al restar las emisiones por concepto de material para la construcción de carretera a las emisiones por concepto de material para la construcción del Tren México-Querétaro, da una inversión inicial de emisiones por 235,799.88 tCO₂. Las compensaciones representan un ahorro de CO₂ de 19.87%.

El tren sustituirá la circulación de 11,200 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil. Al día representa un ahorro de 170,944.4 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 1,379.4 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 26.46% al año.

5.3.4.5. Opción 1, supuesto 2, escenario 2

El tren sustituirá la circulación de 11,200 pasajeros-trayecto por día, movidos por autobús. Al día representa un ahorro de 29,153.6 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ el proyecto requiere de 8,088.2 días. EL ROI de CO₂ del proyecto es de 4.51% al año (Tabla 5.16, figura 5.3).

Tabla 5.16. ROI de CO₂ bajo la opción 1, supuesto 2.

Escenario	Diferencia gCO ₂ pasajero-trayecto	Ahorro diario kg CO ₂	Ahorro anual tCO ₂	Recuperación de inversión CO ₂ en días	Recuperación de inversión CO ₂ en años	ROI de CO ₂ anualizada (en %)
Escenario 1: sustitución de automóvil	15,262	170,944.4	62,394.7	1,380	3.78	26.46
Escenario 2: Sustitución de autobús	2,603	29,153.6	10,641.1	8,089	22.16	4.51
Escenario 3: Sustitución al 58.12% y 41.88%	9,960	111,552.0	40,716.5	2,114	5.79	17.27

Elaboración propia.

5.3.4.6. Opción 1, supuesto 2, escenario 3

El tren sustituirá la circulación de 11,200 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil y autobús en una proporción de 58.12% y 41.88% respectivamente. Al día representa un

ahorro de 111,552.0 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 2,114 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 17.27% al año.

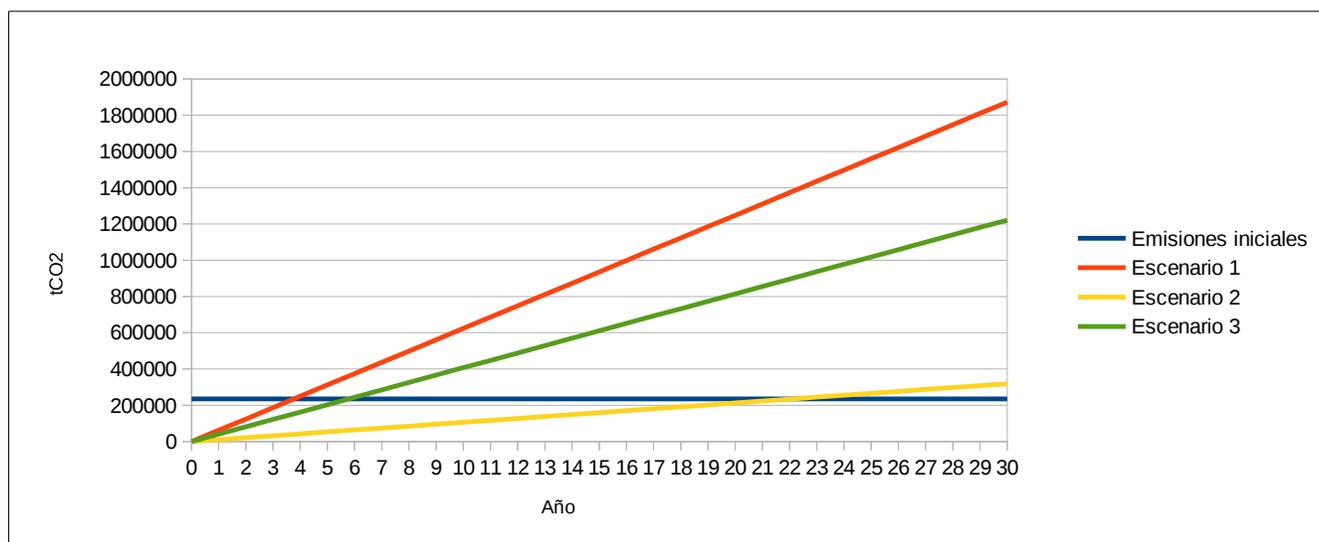


Figura 5.3. Retorno de CO₂, opción 1, supuesto 2.
Elaboración propia.

5.3.4.7. Opción 2, supuesto 1, escenario 1

El tren sustituirá la circulación de 22,700 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil. La diferencia neta de emisiones de CO₂ por pasajero-trayecto representa un ahorro de 15,262 gCO₂. Al día representa un ahorro de 346,447 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 974 días. ROI de CO₂ del proyecto es de 37.47% anual.

5.3.4.8. Opción 2, supuesto 1, escenario 2

El tren sustituirá la circulación de 22,700 pasajeros-trayecto por día, movidos por autobús. La diferencia neta de emisiones de CO₂ por pasajero-trayecto representa un ahorro de 2,603 gCO₂. Al día representa un ahorro de 59,088 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 5,711 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 6.39% al año.

5.3.4.9. Opción 2, supuesto 1, escenario 3

Tabla 5.17. ROI de CO₂ bajo la opción 2, supuesto 1

Escenario	Diferencia gCO ₂ pasajero-trayecto	Ahorro diario kg CO ₂	Ahorro anual tCO ₂	Recuperación de inversión CO ₂ en días	Recuperación de inversión CO ₂ en años	ROI de CO ₂ anualizada (en %)
Escenario 1: sustitución de automóvil	15,262	346,447	126,453.2	974	2.67	37.47
Escenario 2: Sustitución de autobús	2,603	59,088	21,567.1	5,711	15.65	6.39
Escenario 3: Sustitución al 58.12% y 41.88%	9,960	226,092	82,523.6	1,493	4.09	24.45

Elaboración propia.

El tren sustituirá la circulación de 22,700 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil y autobús en una proporción de 58.12% y 41.88% respectivamente. La diferencia neta de emisiones de CO₂ por pasajero-trayecto representa un ahorro de 9,960 gCO₂. Al día representa un ahorro de 226,092 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 1,493 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 24.45% al año (Tabla 5.17, figura 5.4).

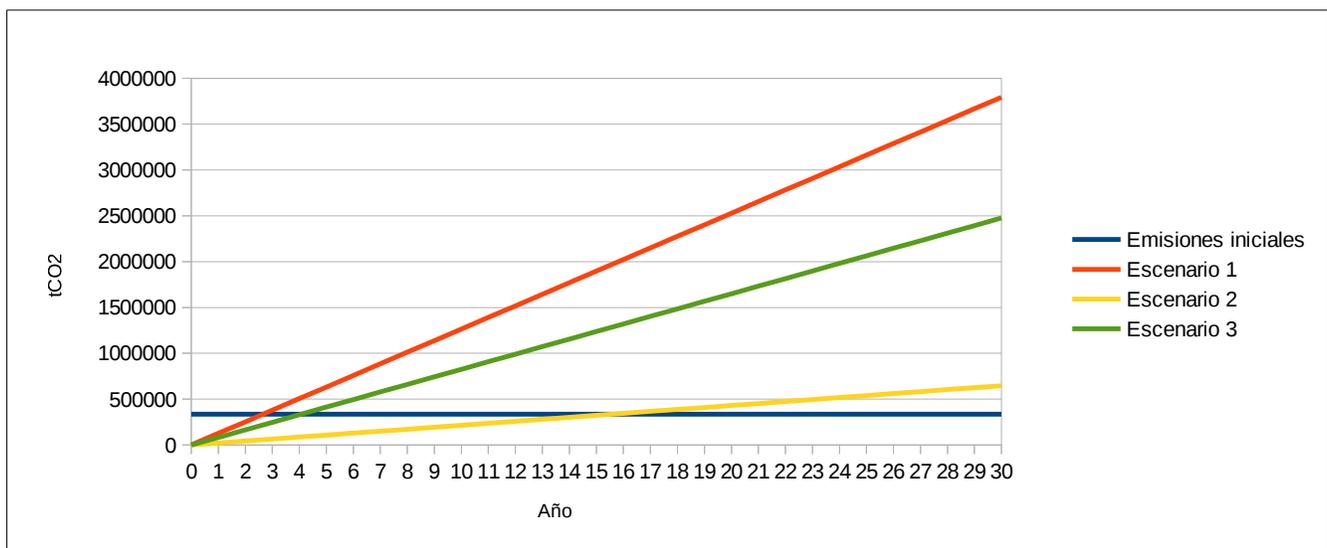


Figura 5.4. Retorno de CO₂, opción 2, supuesto 1.

Elaboración propia.

5.3.4.10. Opción 2, supuesto 2, escenario 1

Para el supuesto 2 se compensa las emisiones por materiales de construcción del Tren México-Querétaro, con las emisiones por materiales de construcción de dos carriles de autopista México-Querétaro; se asume que estas últimas emisiones son las mismas que para la opción 1, para los dos carriles se requerirán 385,000m³ de concreto, con 130,900 t de cemento y 683,760 t de áridos, para unas emisiones totales de 58,455.32 tCO₂.

Al restar las emisiones por concepto de material para la construcción de carretera a las emisiones por concepto de material para la construcción del Tren México-Querétaro, da una inversión inicial de emisiones por 278,999.88 tCO₂. Las compensaciones representan un ahorro de CO₂ de 17.32%.

El tren sustituirá la circulación de 22,700 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil. Al día representa un ahorro de 346,447.4 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 805 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 45.32% al año.

5.3.4.11. Opción 2, supuesto 2, escenario 2

El tren sustituirá la circulación de 22,700 pasajeros-trayecto por día, movidos por autobús. Al día representa un ahorro de 59,088.1 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 4,722 días. EL ROI de CO₂ del proyecto es de 7.73% al año (Tabla 5.16).

5.3.4.12. Opción 2, supuesto 2, escenario 3

El tren sustituirá la circulación de 22,700 pasajeros-trayecto por día, movidos por automóvil y autobús en una proporción de 58.12% y 41.88% respectivamente. Al día representa un

ahorro de 226,092 kgCO₂. Para recuperar la inversión de CO₂ del proyecto se requiere de 1,234 días. El ROI de CO₂ del proyecto es de 29.58% al año (Tabla 5.18, figura 5.5).

Tabla 5.18. ROI de CO₂ bajo la opción 2, supuesto 2.

Escenario	Diferencia gCO ₂ pasajero-trayecto	Ahorro diario kg CO ₂	Ahorro anual tCO ₂	Recuperación de inversión CO ₂ en días	Recuperación de inversión CO ₂ en años	ROI de CO ₂ anualizada (en %)
Escenario 1: sustitución de automóvil	15,262	346,447	126,453.2	805	2.21	45.32
Escenario 2: Sustitución de autobús	2,603	59,088	21,567.1	4,722	12.94	7.73
Escenario 3: Sustitución al 58.12% y 41.88%	9,960	226,092	82,523.6	1,234	3.38	29.58

Elaboración propia.

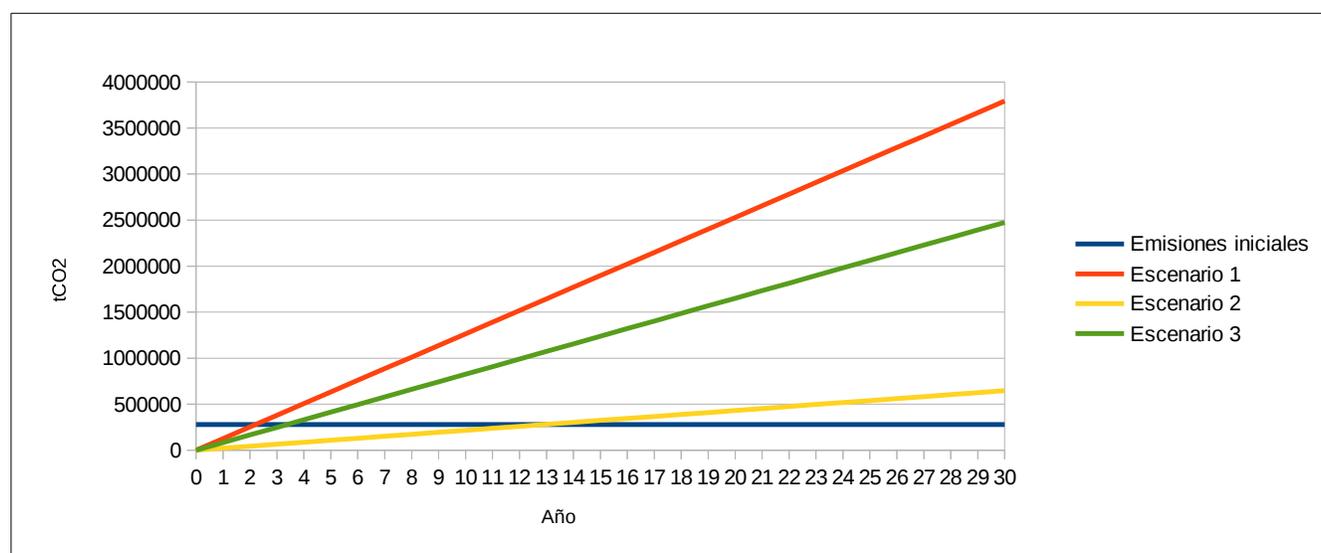


Figura 5.5. Retorno de CO₂, opción 2, supuesto 2.

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Análisis

La MIA considera un tiempo de vida útil mínima de 30 años para el Tren México-Querétaro. De acuerdo con los hallazgos de este trabajo, en todos los escenarios se logra recuperar el impacto inicial de CO₂ por concepto de materiales durante el tiempo de vida útil mínima. El

cálculo de emisiones iniciales sólo considera las referentes al material de construcción, faltaría agregar las emisiones por operaciones de construcción, es decir, las emisiones por el combustible y energía eléctrica que consumirá la maquinaria utilizada para la construcción, por lo que el calculo aquí efectuado resulta conservador.

Las emisiones actuales por el transporte de personas entre México y Querétaro son de 518,976.652 tCO₂ al año. Estas emisiones son las que emiten al año los 31,800 automóviles y los 2,412 autobuses que circulan diario entre estas dos ciudades.

De acuerdo con los cálculos de este capítulo, la etapa de implementación del Tren México-Querétaro tiene un costo de emisiones por concepto de material utilizado de entre 294,255.2 y 337,455.2 tCO₂, dependiendo del escenario, a 11,200 o a 22,700 pasajeros diarios respectivamente. Lo más costoso de la obra en términos de CO₂ es el trazo, es decir, la implementación de las vías con sus diferentes partes; este rubro es responsable de la emisión de 224,649.5 tCO₂, es decir, entre el 66.57% y el 76.35% del total de emisiones de la etapa de implementación.

En la etapa de funcionamiento (u operación) del sistema, el tren de alta velocidad es el medio de transporte que menos emisiones por pasajero genera, de acuerdo con mis cálculos, emite 3,373 gCO₂ por pasajero/trayecto, contra 5,976 del autobús y 18,635 del automóvil, o sea que cada pasajero movido por tren genera 56.44% de emisiones que uno movido por autobús, y 18.10% que uno movido por automóvil. Esta diferencia de emisiones permite una amortización de las emisiones generadas en la etapa de implementación del sistema.

Para el cálculo del ROI de CO₂ fue necesario asumir dos opciones diferentes, debido a la fuerte discrepancia en la afluencia esperada de viajeros entre la MIA (SCT, 2014c) y Modelística (2014). Esta discrepancia surge de estudios que Modelística llevó a cabo para integrar el Análisis Costo-Beneficio, posteriormente a la presentación de la MIA; sin embargo, dado que no hay un tren de alta velocidad en México, la incertidumbre de cómo se puede comportar este medio de transporte hace que el supuesto estimado en la MIA sea igualmente válido. La MIA estima que el Tren México-Querétaro moverá al 9.08% de los pasajeros que

actualmente viajan entre México y Querétaro, mientras que Modelística estima que el Tren México-Querétaro moverá al 18.39% de los pasajeros que actualmente viajan entre México y Querétaro.

El escenario de más lenta recuperación de la inversión de emisiones es el que considera una afluencia diaria de 11,200 personas, que provienen de la sustitución de viajeros movidos por autobús (opción 1, supuesto 1, escenario 2). Bajo estas condiciones, el proyecto tiene un plazo de recuperación de la inversión ambiental de 27.65 años, con un ROI de CO₂ anualizado de 3.62%. Dado que el cálculo de emisiones iniciales es conservador, es posible que las emisiones totales ajustadas por proceso de construcción superen los 30 años de vida útil mínima estimada.

El escenario de más rápida recuperación de la inversión de emisiones es el que considera una afluencia diaria de 22,700 personas, que provienen de complementar a viajeros que se moverían por automóvil y para los cuales sería necesario construir dos carriles de autopista (opción 2, supuesto 2, escenario 1). Bajo estas condiciones, el proyecto tiene un plazo de recuperación de la inversión ambiental de 2.21 años, con un ROI de CO₂ anualizado de 45.32%.

Los escenarios extremos son muy alejados, pues el tiempo de uno es 12.54 veces más que el otro, lo que da órdenes de magnitud diferentes en cuanto a la recuperación de la inversión ambiental.

Lo más probable es que, bajo las condiciones actuales y por razones diferentes a las ambientales, no se construyan dos carriles de autopista, por lo que, de construirse el Tren México-Querétaro, funcionaría bajo un supuesto de sustitución de viajeros y no de complemento.

Bajo un supuesto de sustitución, si se asume el escenario medio, es decir, que los viajeros provienen de la sustitución de automóvil y autobús en una proporción equivalente a la afluencia de vehículos, los periodos de recuperación de la inversión ambiental para 11,200 y

22,700 viajeros son de 7.23 y 4.01 años respectivamente, con un ROI de CO₂ anualizado de 13.84% y 24.45% respectivamente. Si bien estos datos son sensiblemente diferentes, ambos asegurarían un retorno sobre la inversión ambiental positivo.

Hay que considerar que los cálculos de emisiones de CO₂ en la etapa de implementación no incluyen el costo ambiental por uso de maquinaria y combustible para la construcción, ni otras externalidades como el transporte del personal que labore en las obras, por lo que el ROI de CO₂ puede disminuir, y el plazo de recuperación de la inversión puede alargarse.

Bajo un supuesto de complementación, se puede comparar el impacto de emisiones por la ampliación de la autopista, contra las emisiones de implementación del Tren México-Querétaro. Ampliar la autopista tiene un costo de emisiones por materiales de 58,455.32 tCO₂, es decir, entre 15.49% y 19.87% las emisiones por materiales que se generan al establecer el Tren México-Querétaro. A pesar de que la construcción del Tren implica entre 5 y 7 veces más emisiones que la de la autopista, esta diferencia se compensa durante la etapa de operación; considerando que el tren complementaría al movimiento de personas en la proporción actual de automóvil y autobús, se dejarían de emitir entre 111.6 y 226.1 tCO₂ al día; 40,716.5 y 82,523.6 al año. La diferencia de emisiones entre el material requerido para la construcción de dos carriles de la autopista y para el tren, se recuperaría entre 3.38 y 5.79 años.

El trabajo que realizan Maeso González, González Sánchez y Alonso Hazaña (2012) para el metro ligero de Málaga propone un cálculo del periodo de recuperación de inversiones con base en el consumo de energía durante la fase de implementación; sin embargo, ignora las emisiones correspondientes al material, que resultan muy relevantes de acuerdo con los cálculos aquí presentados. Por otro lado, no se puede inferir el costo de emisiones de CO₂ por consumo de energía durante la implementación en México con base en el de Málaga, dado que las técnicas de construcción pueden discrepar entre Málaga y México debido a los costos por el uso de maquinaria y mano de obra.

La metodología utilizada en este capítulo se desprende del cálculo de la huella de carbono, en tal sentido, es análoga a la utilizada por Baron, Martinetti y Pépion (2011); la aquí utilizada incluye el cálculo del ROI de CO₂.

5.5. Revisión axiológica desde los parámetros propuestos

Dado que el proyecto del Tren México-Querétaro no tiene programado salir de funcionamiento, y que el fin de ciclo de un tren, desde el punto de vista material, es esporádico y singular, no es factible evaluar la etapa de fin de ciclo desde el punto de vista de impacto de CO₂. Por ello, la matriz de evaluación axiológica para el aspecto naturaleza sólo considera las etapas de implementación y funcionamiento (para este caso, operación) del sistema.

Implementación

En cuanto a la etapa de implementación para el aspecto naturaleza respecto al CO₂, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico:

Escala: La implementación del Tren México-Querétaro implica la emisión de CO₂ que equivale al 17.20% del total de emisiones del transporte ferroviario en un año en México, por lo que la escala es grande. Dado que no está claro el origen de los materiales, en particular para los carros y locomotoras, no es factible determinar la escala de acceso a los materiales, pero es seguro que, por lo menos, será de nivel nacional.

Intensidad: Aunque el territorio por el que corre el trazo del Tren México-Querétaro tiene un derecho de vía previo y ha sido intervenido con anterioridad, la intensidad material y de emisiones de CO₂ es grande, pues es una obra que emite hasta 26.27 tCO₂ de material por pasajero/día; mientras que para la implementación de los carriles de autopista, las emisiones de material por pasajero/día son de 1.35 tCO₂.

Intencionalidad: En la etapa de implementación no se detecta una intencionalidad específica en cuanto a las emisiones de CO₂ ni al acceso a los materiales. Es posible que, conforme avance la realización del proyecto, puedan surgir intereses por utilizar ciertos materiales provenientes de fuentes y proveedores específicos, lo que tendrá un impacto en el aspecto naturaleza, en particular sobre las emisiones de CO₂.

Participación: Si bien la MIA es un documento público y, por ley, las MIA regionales se pueden abrir a la participación de la ciudadanía, como queda de manifiesto en el capítulo 2, no son a la fecha el documento idóneo para este fin. Dado que es prácticamente el único documento que contempla la participación ciudadana, la evaluación de las afectaciones al aspecto naturaleza, incluyendo el balance de CO₂ es de carácter restringido a unos cuantos actores, como las empresas contratistas, expertos que trabajan en el gobierno y empresas contratadas para realizar los estudios. El nivel de participación de la ciudadanía es bajo.

Inteligibilidad: En la etapa de implementación de la tecnología, el nivel de inteligibilidad para evaluar las afectaciones al aspecto naturaleza es en general bajo. Se requiere de una preparación especializada para leer adecuadamente una MIA, igualmente se requiere de preparación especializada para participar y analizar los debates técnicos sobre posibles afectaciones al aspecto naturaleza. El nivel de divulgación de la información es bajo y está dominado por expertos, con la exclusión de legos.

Amigabilidad: Si bien el Tren México-Querétaro aprovecharía un derecho de vía previo, las emisiones de CO₂ por concepto de material en su construcción son cuantiosas, por lo que la amigabilidad para el aspecto naturaleza en la etapa de implementación es media. De acuerdo con lo establecido en la MIA, se tomarán las previsiones necesarias para mitigar lo más posible el impacto a la naturaleza, con especial énfasis en salvaguardar la integridad de cuerpos de agua que se encuentran en el trazo, la reposición de los árboles removidos y la previsión de pasos de fauna adecuados para evitar aislar o fragmentar hábitat importantes. Sin embargo, el proyecto tiene tres factores que afectan al aspecto naturaleza de manera sensible: las emisiones de CO₂ por concepto de material, la remoción de sólidos y el ruido que será necesario hacer durante la implementación del proyecto.

Funcionamiento

En cuanto a la etapa de funcionamiento (u operación) para el aspecto ambiental, se puede establecer el siguiente análisis por cada atributo axiológico:

Escala: Durante la etapa de operación, la escala está acotada al ámbito local/regional, pues tanto los impactos positivos, como los negativos, al aspecto naturaleza, ocurren en el entorno del trayecto México-Querétaro.

Intensidad: De todos los medios de transporte, en cuanto a las emisiones de CO₂ durante la etapa de operación, el Tren México-Querétaro tendría la menor intensidad, pues las emisiones por pasajero trasladado son de 3,373 gCO₂, contra 5,976 gCO₂ en autobús y 18,635 gCO₂ en automóvil.

Intencionalidad: El proyecto en cuanto a emisiones de CO₂ tiene la intencionalidad expresa de reducir el impacto en este rubro por pasajero trasladado. Habrá que complementar con investigaciones futuras si forma parte de una estrategia más general de eficiencia energética y material, que implique alguna otra intencionalidad en cuanto al aspecto naturaleza, ya sea positiva o negativa.

Participación: En la etapa de operación en cuanto al aspecto naturaleza, la participación es baja, en tanto se limita al acto pasivo de ser trasladado por un medio más eficiente en términos energéticos y de emisiones, y a un número acotado de personas.

Inteligibilidad: En la etapa de operación de la tecnología, el nivel de inteligibilidad para evaluar las afectaciones al aspecto naturaleza puede llegar a ser medio si se cuenta con una adecuada divulgación de la información. La población en general es cada vez más sensible a temas de emisiones de CO₂ y eficiencia energética, aunque hay otras posibles afectaciones, como el problema del ruido ante la fauna silvestre, que es de menor inteligibilidad.

Amigabilidad: Puede llegar a ser alta si se mitiga el principal punto en contra para el aspecto naturaleza en esta etapa, que es el ruido. Serán necesarias investigaciones a futuro para evaluar adecuadamente si en México habrá una sustitución de fuentes de energía eléctrica hacia renovables, pues actualmente 79.7% de la energía eléctrica proviene de combustibles fósiles, 3.9% de uranio, 13.8% de hidráulica, 2.5% de geotérmica y menos del 0.1% de eólica; la generación por plantas solares es marginal en México, no aparece en las estadísticas (Fernández Martínez, *et al.*, 2012).

5.6. Conclusiones particulares al capítulo 5

Se puede concluir que el cálculo de emisiones considerado como un ROI de CO₂ para este proyecto es viable y aporta más información que el cálculo de emisiones contenido en la MIA.

En un escenario medio, con 22,700 pasajeros (apartado 5.3.4.9), el ROI de CO₂ para el Tren México-Querétaro es de 24.45% al año, con un plazo de recuperación de la inversión ambiental de 4.09 años; con 11,200 pasajeros (apartado 5.3.4.3), el ROI de CO₂ para el Tren México-Querétaro es de 13.84% anual, con un plazo de recuperación de la inversión ambiental de 7.23 años. Por lo que, desde este parámetro, la inversión es viable.

Los escenarios son evaluables a 20 y 30 años, pues 20 años es el tiempo considerado para la recuperación de la inversión financiera (ver capítulo 3), mientras que 30 años es el tiempo mínimo de operación del Tren México-Querétaro. En este capítulo se toma en cuenta la inversión ambiental a 30 años, pues los tiempos para el aspecto naturaleza son independientes y diferentes a los tiempos para el aspecto económico. Bajo un escenario conservador (apartado 5.3.4.2) no es clara la viabilidad de recuperación de inversión de CO₂, pues si se consideran variables no incluidas en los cálculos aquí presentados, como el consumo de energía durante la etapa de implementación tecnológica, el plazo de recuperación podría superar los 30 años.

El cálculo del ROI de CO₂ por emisiones en las etapas de implementación y operación del Tren México-Querétaro es un punto de evaluación relevante y parametrizable, por lo que resulta adecuado y podría utilizarse para otras obras de infraestructura similares.

La metodología propuesta para el cálculo de emisiones iniciales, ROI de CO₂ y plazo de recuperación ambiental de CO₂ resulta pertinente, pues aunque no considera las emisiones por maquinaria, las características de los métodos de construcción en México privilegian el uso de la mano de obra por sobre la maquinaria, debido a los costos bajos de la primera y los costos altos de la segunda, a diferencia de lo que ocurre en otros países.

La metodología utilizada en este capítulo parte de un cálculo inicial de la huella de carbono por material utilizado para el Tren México-Querétaro y su posterior operación. Dado que el cálculo del ROI de CO₂ puede ser parametrizable, es una propuesta que se desprende del cálculo de la huella de carbono y que es complementaria en periodos de evaluación previa a la implementación de la tecnología.

El ROI de CO₂ no es el único factor relevante para evaluar el impacto que una tecnología ocasiona en el aspecto naturaleza; sin embargo, dentro de la MIA hay una evaluación extensa de los demás factores relevantes tales como impacto a los mantos freáticos y aguas superficiales; al suelo y subsuelo; a los factores bióticos, tanto a la fauna como a la flora; a la pérdida, fragmentación y cambio de hábitat y a la remoción de material. Por ello, este capítulo es un complemento pertinente de esos factores ya evaluados en la MIA.

Axiológicamente es necesario considerar que durante la etapa de implementación de la tecnología, tiene una escala nacional, mientras que durante la operación, la escala es local/regional. En cuanto a la intensidad, en la etapa de implementación es muy intensiva en la demanda de CO₂, pero en la operación, la intensidad es baja, por lo que la intensidad alta en la etapa de implementación se ve compensada durante la operación. De manera similar, la amigabilidad es baja durante la etapa de implementación, y mejora durante la operación; sin embargo, el ruido puede ser un factor relevante para una amigabilidad negativa al aspecto naturaleza. La intencionalidad detectada es la reducción de emisiones de CO₂ por el

transporte de personas, por lo que es positiva para este atributo axiológico en el aspecto naturaleza. La participación, así como al inteligibilidad, son limitadas a un número reducido de personas, el Tren México-Querétaro no es un proyecto socialmente basado, tampoco para la evaluación del aspecto naturaleza.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

6. Análisis axiológico integral del desarrollo del Tren México-Querétaro

En el presente capítulo estructuro cuatro escenarios de evaluación axiológica integral para el Tren México-Querétaro, posteriormente los comparo y analizo. Con base en los planteamientos teóricos establecidos en el capítulo 1 hago también un análisis de los resultados obtenidos en los capítulos 2, 3, 4 y 5.

6.1. Escenarios axiológicos

Para confrontar diferentes posibilidades de desarrollo del Tren México-Querétaro, establezco dos escenarios base para matrices axiológicas, uno que incluye el escenario consultivo en el aspecto social y el escenario de desarrollo interno en el aspecto tecnología, y otro que incluye el escenario centralista en el aspecto social y el escenario de desarrollo externo en el aspecto tecnología. Para ambos escenarios establezco matrices axiológicas considerando afluencias de 11,200 y 22,700 pasajeros diarios para los aspectos economía y naturaleza; para este último aspecto considero las opciones 5.3.4.3 para 11,200 pasajeros y 5.3.4.9 para 22,700 pasajeros, debido a que son las opciones medias bajo escenarios de no complementación de emisiones por construcción de carriles de la carretera; para el aspecto economía se considera un precio por viaje de \$400.00 (escenarios 3.3.3 y 3.3.4).

6.1.1. Escenario consultivo-interno, 11,200 pasajeros diarios

Para el primer escenario considero una afluencia de 11,200 pasajeros diarios. La matriz axiológica tridimensional queda conforme las tablas 6.1, 6.2 y 6.3. Cabe acotar que la etapa de fin de ciclo es una singularidad en cuanto a los aspectos sociedad, economía y naturaleza, por ende, sus variables son indeterminadas dado que el Tren México-Querétaro no tiene como planteamiento fundamental salir de operación.

Tabla 6.1. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 11,200 pasajeros, etapa de Implementación.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 11,200 pasajeros, etapa de Implementación				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Emisión de 294,255.2 tCO ₂ . Acceso a materiales nacional-internacional	Integración de escalas nacional-internacional y regional	Nacional-internacional, posible confluencia de capitales extranjeros	Nacional con componentes internacionales
Intensidad	Muy intensiva en demanda de CO ₂	Media. Sinergias sociales incipientes por mecanismo de consulta. Posible escalada de intensidad por procesos participativos y de intencionalidad	Alta intensidad de capital. Inversión de 47,290.35 mdp	Alta: sistema técnico complejo que requiere de infraestructura exprofesa para su implementación. Grado y calidad de transformación de materia elevados
Intencionalidad	Visión de remediación-mitigación con prevención media de impactos	Desarrollo social regional mediante procesos compensatorios por la pérdida de terrenos en el derecho de vía	“La obra por la obra en sí”. Privatización de beneficios, socialización de riesgos. Posible desarrollo de cadenas productivas nacionales	Aumentar las capacidades tecnológicas para acceder a otros desarrollos similares. Se compromete al confiabilidad del sistema y autonomía decisional
Participación	Medio nivel de participación ciudadana. Evaluaciones de impacto por especialistas, consulta a legos	Media-alta por procesos de consulta y construcción social de espacios comunes compensatorios	Principalmente de actores macro. Participación de 30,000 personas (aprox). Posible presencia PyME	Alto nivel de participación, aumento de capacidades tecnológicas
Inteligibilidad	Medio nivel del inteligibilidad general. Estudio de especialistas; sensibilización de la comunidad por consulta	Media por sensibilización de la comunidad mediante procesos de consulta	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Alta, se requiere de la comprensión total del sistema para su implementación interna
Amigabilidad	Media: Salvaguarda de cuerpos de agua, reposición de árboles y previsión de fragmentación de hábitat. Impacto por emisiones de CO ₂ , remoción de sólidos y ruido	Media-alta debido a la construcción social y posibles beneficios colaterales	Poco amigable. Compromete recursos públicos cuantiosos con beneficios sociales limitados	Alta. Creación de sinergias industriales e integración de cadenas de valor nacionales. Alta participación PyME

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.2. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 11,200 pasajeros, etapa de Funcionamiento.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 11,200 pasajeros, etapa de Funcionamiento				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Local-regional. Ahorro anual de 40,716.5 tCO ₂ . ROI de CO ₂ de 13.84% al año	Nacional-internacional. Escala regional excluida	Regional. Subsidio de 300 mdpa. Proyecto deficitario. Ahorro social de 307,652.5 días-persona al año, 385.36 mdpa	Nacional
Intensidad	Baja intensidad de emisiones de CO ₂ . Baja intensidad ambiental	Baja	Media-baja. Aporte de recursos con intensidad media, beneficios económicos y de calidad de vida con baja intensidad	Media debido a la especialización requerida en la operación diaria y el mantenimiento
Intencionalidad	Reducción de emisiones de CO ₂	“Desarrollo en tubo”	Beneficio de viajeros en detrimento del erario. Reducción de tránsito en autopista	Desarrollo e implementación de manuales de operación para su réplica posterior en otros sistemas
Participación	Baja	Baja o nula	Principalmente actores macro en cuanto a capital. 3,000 empleos fijos y 11,200 pasajeros diarios	Alta por la generación de competencias técnicas
Inteligibilidad	Media. Hace falta mayor difusión de problemas ambientales colaterales, como el ruido	Baja. Estructura cerrada y especializada	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Alta
Amigabilidad	Alta por la reducción de CO ₂ , pero depende de la mitigación de ruido	Depende del sistema anti-ruido. Amigabilidad neutra	Poco amigable debido a la no viabilidad económica y al compromiso de recursos públicos	Alta por la integración de elementos tecnológicos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.3. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 11,200 pasajeros, etapa de Fin de ciclo.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 11,200 pasajeros, etapa de Fin de ciclo	
Axiológicas /Ontológicas	Tecnología
Escala	Nacional-internacional
Intensidad	Cantidad de material grande, intensidad tecnológica baja
Intencionalidad	Depende de la utilización del material al fin de ciclo
Participación	Alta
Inteligibilidad	Alta
Amigabilidad	Depende del modelo de gestión de material en desuso

Fuente: Elaboración propia.

Dado que la etapa de fin de ciclo es una singularidad, sólo se determinaron algunas variables axiológicas para el aspecto de tecnología, los demás aspectos -naturaleza, sociedad y economía- son indeterminados.

6.1.2. Escenario consultivo-interno, 22,700 pasajeros diarios

Para el segundo escenario considero una afluencia de 22,700 pasajeros diarios. La matriz axiológica tridimensional queda conforme las tablas 6.4, 6.5 y 6.6. Cabe acotar que la etapa de fin de ciclo es una singularidad en cuanto a los aspectos sociedad, economía y naturaleza, por ende, sus variables son indeterminadas. El Tren México-Querétaro no tiene como planteamiento fundamental salir de operación.

Tabla 6.4. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 22,700 pasajeros, etapa de Implementación.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 22,700 pasajeros, etapa de Implementación				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Emisión de 337,455.2 tCO ₂ . Acceso a materiales nacional-internacional	Integración de escalas nacional-internacional y regional	Nacional-internacional, posible confluencia de capitales extranjeros	Nacional con componentes internacionales
Intensidad	Muy intensiva en demanda de CO ₂	Media. Sinergias sociales incipientes por mecanismo de consulta. Posible escalada de intensidad por procesos participativos y de intencionalidad	Alta intensidad de capital. Inversión de 49,991.36 mdp	Alta: sistema técnico complejo que requiere de infraestructura exprofesa para su implementación. Grado y calidad de transformación de materia elevados
Intencionalidad	Visión de remediación-mitigación con prevención media de impactos	Desarrollo social regional mediante procesos compensatorios por la pérdida de terrenos en el derecho de vía	“La obra por la obra en sí”. Privatización de beneficios, socialización de riesgos. Posible desarrollo de cadenas productivas nacionales	Aumentar las capacidades tecnológicas para acceder a otros desarrollos similares. Se compromete al confiabilidad del sistema y autonomía decisional
Participación	Medio nivel de participación ciudadana. Evaluaciones de impacto por especialistas, consulta a legos	Media-alta por procesos de consulta y construcción social de espacios comunes compensatorios	Principalmente de actores macro. Participación de 30,000 personas (aprox). Posible presencia PyME	Alto nivel de participación, aumento de capacidades tecnológicas
Inteligibilidad	Medio nivel del inteligibilidad general. Estudio de especialistas; sensibilización de la comunidad por consulta	Media por sensibilización de la comunidad mediante procesos de consulta	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Alta, se requiere de la comprensión total del sistema para su implementación interna
Amigabilidad	Media: Salvaguarda de cuerpos de agua, reposición de árboles y previsión de fragmentación de hábitat. Impacto por emisiones de CO ₂ , remoción de sólidos y ruido	Media-alta debido a la construcción social y posibles beneficios colaterales	Poco amigable. Compromete recursos públicos cuantiosos con beneficios sociales limitados	Alta. Creación de sinergias industriales e integración de cadenas de valor nacionales. Alta participación PyME

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.5. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 22,700 pasajeros, etapa de Funcionamiento.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 22,700 pasajeros, etapa de Funcionamiento				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Local-regional. Ahorro anual de 82,523.6 tCO ₂ . ROI de CO ₂ de 24.45% al año	Nacional-internacional. Escala regional excluida	Regional. Subsidio de 1,280.6 mdpa. Proyecto deficitario. Ahorro social de 751,233 días-persona al año, 781.04 mdpa	Nacional
Intensidad	Baja intensidad de emisiones de CO ₂ . Baja intensidad ambiental	Baja	Media-baja. Aporte de recursos con intensidad media, beneficios económicos y de calidad de vida con baja intensidad	Media debido a la especialización requerida en la operación diaria y el mantenimiento
Intencionalidad	Reducción de emisiones de CO ₂	“Desarrollo en tubo”	Beneficio de viajeros en detrimento del erario. Reducción de tránsito en autopista	Desarrollo e implementación de manuales de operación para su réplica posterior en otros sistemas
Participación	Baja	Baja o nula	Principalmente actores macro en cuanto a capital. 3,000 empleos fijos y 22,700 pasajeros diarios	Alta por la generación de competencias técnicas
Inteligibilidad	Media. Hace falta mayor difusión de problemas ambientales colaterales, como el ruido	Baja. Estructura cerrada y especializada	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Alta
Amigabilidad	Alta por la reducción de CO ₂ , pero depende de la mitigación de ruido	Depende del sistema anti-ruido. Amigabilidad neutra	Poco amigable debido a la no viabilidad económica y al compromiso de recursos públicos	Alta por la integración de elementos tecnológicos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.6. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 22,700 pasajeros, etapa de Fin de ciclo.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario consultivo-interno 22,700 pasajeros, etapa de Fin de ciclo	
Axiológicas /Ontológicas	Tecnología
Escala	Nacional-internacional
Intensidad	Cantidad de material grande, intensidad tecnológica baja
Intencionalidad	Depende de la utilización del material al fin de ciclo
Participación	Alta
inteligibilidad	Alta
Amigabilidad	Depende del modelo de gestión de material en desuso

Fuente: Elaboración propia.

Dado que la etapa de fin de ciclo es una singularidad, sólo se determinaron algunas variables axiológicas para el aspecto de tecnología, los demás aspectos -naturaleza, sociedad y economía- son indeterminados.

6.1.3. Escenario centralista-externo, 11,200 pasajeros diarios

Para el tercer escenario considero una afluencia de 11,200 pasajeros diarios. La matriz axiológica tridimensional queda conforme las tablas 6.7, 6.8 y 6.9. Cabe acotar que la etapa de fin de ciclo es una singularidad en cuanto a los aspectos sociedad, economía y naturaleza, por ende, sus variables son indeterminadas. El Tren México-Querétaro no tiene como planteamiento fundamental salir de operación.

Tabla 6.7. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 11,200 pasajeros, etapa de Implementación.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 11,200 pasajeros, etapa de Implementación				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Emisión de 294,255.2 tCO ₂ . Acceso a materiales nacional-internacional	Nacional-Internacional. Dislocación de escala regional	Internacional, posible confluencia de capitales extranjeros	Internacional
Intensidad	Muy intensiva en demanda de CO ₂	Baja. Decisiones centralizadas y dependientes	Alta intensidad de capital. Inversión de 47,290.35 mdp	Alta: sistema técnico complejo que requiere de infraestructura expofesa para su implementación. Grado y calidad de transformación de materia elevados
Intencionalidad	Visión de remediación-mitigación con prevención media de impactos	Despojo de tierras a habitantes de la región en favor de la compañía constructora de la infraestructura	“La obra por la obra en sí”. Privatización de beneficios, socialización de riesgos. Menor costo	Establecimiento del sistema, prioriza la confiabilidad y la eficiencia
Participación	Bajo nivel de participación ciudadana. Evaluaciones de impacto por especialistas, ausencia de legos	Baja por ausencia de empleos excepto unos cuantos de baja especialización	Limitada a pocos actores macro. Participación de 30,000 personas (aprox)	Técnicos especialistas extranjeros, baja participación nacional, encadenamiento productivo pobre
Inteligibilidad	Bajo nivel del inteligibilidad general. Estudio de especialistas	Baja. Los trenes de alta velocidad son sistemas complejos que requieren pericia técnica para interactuar con ellos	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Media. Participación restringida de componentes nacionales
Amigabilidad	Media: Salvaguarda de cuerpos de agua, reposición de árboles y previsión de fragmentación de hábitat. Impacto por emisiones de CO ₂ , remoción de sólidos y ruido	Baja debido a externalidades como expropiación, uso de recursos naturales y alteraciones en la dinámica social durante la implementación de la infraestructura	Poco amigable. Compromete recursos públicos cuantiosos con beneficios sociales limitados	Poco amigable, desincentivo a empresas establecidas en el país

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.8. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 11,200 pasajeros, etapa de Funcionamiento.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 11,200 pasajeros, etapa de Funcionamiento				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Local-regional. Ahorro anual de 40,716.5 tCO ₂ . ROI de CO ₂ de 13.84% al año	Nacional-internacional. Escala regional excluida	Regional. Subsidio de 300 mdpa. Proyecto deficitario. Ahorro social de 307,652.5 días-persona al año, 385.36 mdpa	Internacional: la operación puede efectuarse con personal nacional, pero el mantenimiento mayor requiere de insumos y mano e obra internacionales
Intensidad	Baja intensidad de emisiones de CO ₂ . Baja intensidad ambiental	Baja	Media-baja. Aporte de recursos con intensidad media, beneficios económicos y de calidad de vida con baja intensidad	Media debido a la especialización requerida en la operación diaria y el mantenimiento
Intencionalidad	Reducción de emisiones de CO ₂ .	“Desarrollo en tubo”	Beneficio de viajeros en detrimento del erario. Reducción de tránsito en autopista	Eficiencia técnica operativa
Participación	Baja	Baja o nula	Limitada a actores macro en cuanto a capital. 3,000 empleos fijos y 11,200 pasajeros diarios	Media: desarrollo de habilidades operativas cotidianas; mantenimiento externo
Inteligibilidad	Media. Hace falta mayor difusión de problemas ambientales colaterales, como el ruido	Baja. Estructura cerrada y especializada	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Media: curiosidad del personal como un factor a considerar
Amigabilidad	Alta por la reducción de CO ₂ , pero depende de la mitigación de ruido	Depende del sistema anti-ruido. Neutra a baja	Poco amigable debido a la no viabilidad económica y al compromiso de recursos públicos	Neutra

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.9. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 11,200 pasajeros, etapa de Fin de ciclo.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 11,200 pasajeros, etapa de Fin de ciclo	
Axiológicas /Ontológicas	Tecnología
Escala	Internacional-nacional
Intensidad	Cantidad de material grande, intensidad tecnológica baja
Intencionalidad	Depende de la utilización del material al fin de ciclo
Participación	Baja si se dispone el material en el extranjero, alta si se dispone nacionalmente
Inteligibilidad	Depende del grado de asimilación tecnológica
Amigabilidad	Depende del modelo de gestión de material en desuso

Fuente: Elaboración propia.

Dado que la etapa de fin de ciclo es una singularidad, sólo se determinaron algunas variables axiológicas para el aspecto de tecnología, los demás aspectos -naturaleza, sociedad y economía- son indeterminados.

6.1.4. Escenario centralista-externo, 22,700 pasajeros diarios

Para el cuarto escenario considero una afluencia de 22,700 pasajeros diarios. La matriz axiológica tridimensional queda conforme las tablas 6.10, 6.11 y 6.12. Cabe acotar que la etapa de fin de ciclo es una singularidad en cuanto a los aspectos sociedad, economía y naturaleza, por ende, sus variables son indeterminadas. El Tren México-Querétaro no tiene como planteamiento fundamental salir de operación.

Tabla 6.10. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 22,700 pasajeros, etapa de Implementación.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 22,700 pasajeros, etapa de Implementación				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Emisión de 337,455.2 tCO ₂ . Acceso a materiales nacional-internacional	Nacional-Internacional. Dislocación de escala regional	Internacional, posible confluencia de capitales extranjeros	Internacional
Intensidad	Muy intensiva en demanda de CO ₂	Baja. Decisiones centralizadas y dependientes	Alta intensidad de capital. Inversión de 49,991.36 mdp	Alta: sistema técnico complejo que requiere de infraestructura expofesa para su implementación. Grado y calidad de transformación de materia elevados
Intencionalidad	Visión de remediación-mitigación con prevención media de impactos	Despojo de tierras a habitantes de la región en favor de la compañía constructora de la infraestructura	“La obra por la obra en sí”. Privatización de beneficios, socialización de riesgos. Menor costo	Establecimiento del sistema, prioriza la confiabilidad y la eficiencia
Participación	Bajo nivel de participación ciudadana. Evaluaciones de impacto por especialistas, ausencia de legos	Baja por ausencia de empleos excepto unos cuantos de baja especialización	Limitada a pocos actores macro. Participación de 30,000 personas (aprox)	Técnicos especialistas extranjeros, baja participación nacional, encadenamiento productivo pobre
Inteligibilidad	Bajo nivel del inteligibilidad general. Estudio de especialistas	Baja. Los trenes de alta velocidad son sistemas complejos que requieren pericia técnica para interactuar con ellos	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Media. Participación restringida de componentes nacionales
Amigabilidad	Media: Salvaguarda de cuerpos de agua, reposición de árboles y previsión de fragmentación de hábitat. Impacto por emisiones de CO ₂ , remoción de sólidos y ruido	Baja debido a externalidades como expropiación, uso de recursos naturales y alteraciones en la dinámica social durante la implementación de la infraestructura	Poco amigable. Compromete recursos públicos cuantiosos con beneficios sociales limitados	Poco amigable, desincentivo a empresas establecidas en el país

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.11. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 22,700 pasajeros, etapa de Funcionamiento.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 22,700 pasajeros, etapa de Funcionamiento				
Axiológicas /Ontológicas	Naturaleza	Sociedad	Economía	Tecnología
Escala	Local-regional. Ahorro anual de 82,523.6 tCO ₂ . ROI de CO ₂ de 24.45% al año	Nacional-internacional. Escala regional excluida	Regional. Subsidio de 1,280.6 mdpa. Proyecto deficitario. Ahorro social de 751,233 días-persona al año, 781.04 mdpa	Internacional: la operación puede efectuarse con personal nacional, pero el mantenimiento mayor requiere de insumos y mano e obra internacionales
Intensidad	Baja intensidad de emisiones de CO ₂ . Baja intensidad ambiental	Baja	Media-baja. Aporte de recursos con intensidad media, beneficios económicos y de calidad de vida con baja intensidad	Media debido a la especialización requerida en la operación diaria y el mantenimiento
Intencionalidad	Reducción de emisiones de CO ₂	“Desarrollo en tubo”	Beneficio de viajeros en detrimento del erario. Reducción de tránsito en autopista	Eficiencia técnica operativa
Participación	Baja	Baja o nula	Limitada a actores macro en cuanto a capital. 3,000 empleos fijos y 22,700 pasajeros diarios	Media: desarrollo de habilidades operativas cotidianas; mantenimiento externo
Inteligibilidad	Media. Hace falta mayor difusión de problemas ambientales colaterales, como el ruido	Baja. Estructura cerrada y especializada	Entendimiento alto del aspecto económico determinado, poca posibilidad de interactuar	Media: curiosidad del personal como un factor a considerar
Amigabilidad	Alta por la reducción de CO ₂ , pero depende de la mitigación de ruido	Depende del sistema anti-ruido. Neutra a baja	Poco amigable debido a la no viabilidad económica y al compromiso de recursos públicos	Neutra

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.12. Matriz axiológica, Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 22,700 pasajeros, etapa de Fin de ciclo.

Sistema Técnico Tren México-Querétaro, escenario centralista-externo 22,700 pasajeros, etapa de Fin de ciclo	
Axiológicas /Ontológicas	Tecnología
Escala	Internacional-nacional
Intensidad	Cantidad de material grande, intensidad tecnológica baja
Intencionalidad	Depende de la utilización del material al fin de ciclo
Participación	Baja si se dispone el material en el extranjero, alta si se dispone nacionalmente
Inteligibilidad	Depende del grado de asimilación tecnológica
Amigabilidad	Depende del modelo de gestión de material en desuso

Fuente: Elaboración propia.

Dado que la etapa de fin de ciclo es una singularidad, sólo se determinaron algunas variables axiológicas para el aspecto de tecnología, los demás aspectos -naturaleza, sociedad y economía- son indeterminados.

6.1.5. Comparación entre escenarios

Para el análisis se pueden agrupar los escenarios por dos criterios diferentes, cuantitativamente y cualitativamente. Por su agrupación cuantitativa, los escenarios 1 y 3 son cuantitativamente equivalentes en las variables de escala-naturaleza, pues su emisión de CO₂ en la etapa de implementación es de 294,255.2 tCO₂, su ahorro anual de emisiones en la etapa de funcionamiento es de 40,716.5 tCO₂, con un ROI de CO₂ de 13.84% al año. Los escenarios 1 y 3 también son equivalentes en las variables de intensidad-economía en la etapa de implementación, con una inversión de 47,290.35 mdp; y en escala-economía durante la etapa de funcionamiento, con un subsidio de 300 mdpa y un ahorro social de 307,652.5 días-persona al año.

De manera análoga, los escenarios 2 y 4 son cuantitativamente equivalentes en las mismas variables, dado que la de escala-naturaleza en la etapa de implementación tiene una emisión de 337,455.2 tCO₂, un ahorro anual de emisiones en la etapa de funcionamiento de 82,523.6 tCO₂, con un ROI de CO₂ de 24.45% al año. En la variable intensidad-economía en la etapa de implementación, los escenarios 2 y 4 tienen una inversión de 49,991.36 mdp; mientras

que para la variable escala-economía en la etapa de funcionamiento, requieren de un subsidio de 1,280.6 mdpa, con un ahorro social de 751,233 días-persona al año.

Los escenarios 1 y 2 discrepan cuantitativamente en las mismas variables; lo mismo puede decirse de los escenarios 3 y 4. Entre estos escenarios la diferencia es cuantitativa, pero no cualitativa, por lo que forman dos grupos cualitativamente diferenciados, que corresponden a los escenarios consultivo-interno y centralista-externo.

Las principales diferencias cualitativas entre los escenarios consultivo-interno (1-2) y centralista-externo (3-4) se observan en al etapa de implementación, en la que los aspectos sociedad y tecnología discrepan de manera notoria, como se observa en la tabla 6.13.

Tabla 6.13. Diferencias cualitativas entre escenarios consultivo-interno y centralista-externo en la etapa de implementación.

	Naturaleza		Sociedad		Economía		Tecnología	
	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4
Escala	=	=	Integración regional	Dislocación regional	Nacional / internacional	Internacional - nacional	Nacional / internacional	Internacional
Intensidad	=	=	Media	Baja	=	=	=	=
Intencionalidad	=	=	Desarrollo social	Despojo de tierras	Cadenas productivas	Menor costo	Aumento de capacidades tecnológicas	Confiabilidad y eficiencia técnica
Participación	Medio	Bajo	Media-alta	Baja	Transnacionales / PyMEs	Transnacionales	Alto	Bajo
Inteligibilidad	Medio	Bajo	Media	Baja	=	=	Alta	Media
Amigabilidad	=	=	Media-alta	Baja	=	=	Alta	Poco amigable

Fuente: Elaboración propia.

Los escenarios centralista-externo operan sobre una base de valores de eficiencia técnica, menor costo y confiabilidad de la obra; también en la parte social priva la eficacia del sistema, es decir, cumplir el objetivo a pesar de generar efectos indeseados en el aspecto social. Cabe acotar que por eficiencia técnica se entiende como un aprovechamiento de insumos a producto desde el aspecto tecnología, pero esta eficiencia técnica no está en

concordancia con una eficiencia global del sistema, entendida como lo plantea Olivé (2000) como la no generación de efectos indeseados o externalidades (ver capítulo 1.5.2). La obra en sí tiene un valor mayor que la sociedad o la asimilación tecnológica.

Los escenarios consultivo-interno operan sobre una base de valores de fortalecimiento social y tecnológico; se busca que la obra sea socialmente eficiente, aunque se compromete la eficacia en la ejecución. El desarrollo de capacidades tecnológicas es un valor que gobierna la obra y que podrá generar a futuro otras obras similares con una curva de aprendizaje más baja. En la parte social gobierna el desarrollo de la comunidad; aunque algunos efectos adversos y externalidades son inevitables -como el ruido o la remoción de materia-, se tiende a compensar a las comunidades con espacios adecuados para satisfacer las necesidades que pudieran quedar comprometidas con la implementación del Tren México-Querétaro. Por otro lado, se compromete la eficacia en la implementación y la eficiencia técnica; la sociedad y la asimilación tecnológica tienen un valor mayor que la concreción de la obra por la obra en sí.

En la etapa de funcionamiento no hay diferencias cualitativas apreciables entre los escenarios 1-2 y 3-4 para los aspectos naturaleza y sociedad; la única diferencia cualitativa apreciable para el aspecto economía se da en el atributo de participación, pues la posible presencia de PyMEs nacionales en los escenarios 1-2 matiza la participación exclusiva de transnacionales que ocurre en los escenarios 3-4.

En cuanto al aspecto tecnología, hay diferencias cualitativas apreciables en la etapa de funcionamiento del sistema entre los escenarios 1-2 y 3-4, como se establece en el capítulo 4 y se observa en la tabla 6.14. Si bien el atributo de intensidad no tiene diferencias cualitativas apreciables, los otros cinco atributos sí; para los escenarios 1-2 la escala es preferentemente nacional, la intencionalidad es de desarrollo de competencias tecnológicas internas y su posterior réplica, la participación es alta, la inteligibilidad es alta y la amigabilidad es alta; mientras que para los escenarios 3-4 la escala es internacional, la intencionalidad es hacia la eficiencia técnica y confiabilidad del sistema, la participación es media, la inteligibilidad es media y la amigabilidad es neutra.

Tabla 6.14. Diferencias cualitativas entre escenarios consultivo-interno y centralista-externo en la etapa de funcionamiento.

	Naturaleza		Sociedad		Economía		Tecnología	
	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4
Escala	=	=	=	=	=	=	Nacional	Internacional
Intensidad	=	=	=	=	=	=	=	=
Intencionalidad	=	=	=	=	=	=	Desarrollo de competencias y posterior réplica	Confiabilidad y eficiencia técnica
Participación	=	=	=	=	Transnacionales / PyMEs	Transnacionales	Alta	Media
Inteligibilidad	=	=	=	=	=	=	Alta	Media
Amigabilidad	=	=	=	=	=	=	Alta	Neutra

Fuente: Elaboración propia.

La etapa de fin de ciclo no tiene diferencias significativas, ni cuantitativas, ni cualitativas, entre los diferentes escenarios. Como se mencionó, el fin de ciclo de un tren de alta velocidad es un evento singular e imprevisto, por lo que sus atributos axiológicos son difíciles de determinar a priori.

En los escenarios centralista-externo se observan asimetrías notables entre aspectos para los atributos de intensidad e intencionalidad en la etapa de implementación; a una baja intensidad social se le opone una alta intensidad de capitales y tecnología, y una muy alta intensidad en demanda de CO₂; en cuanto a la intencionalidad, la eficacia en el establecimiento del sistema que se observa en el aspecto tecnología se ve reflejada en una privatización de beneficios y socialización de riesgos en el aspecto economía y con un despojo de tierras de los habitantes en favor de la obra y las compañías que la llevan a cabo.

En los escenarios consultivo-interno estas asimetrías se ven atenuadas gracias a una participación social mayor, que aumentan la intensidad social; aunque sigue habiendo una

alta intensidad tecnológica y de capital, el aumento en la intensidad social atenúa las asimetrías. El atributo de intencionalidad cambia de manera notable contra lo establecido para los escenarios 3-4, en el aspecto economía sigue estableciéndose una privatización de beneficios y socialización de riesgos; sin embargo, el desarrollo de cadenas productivas hace que el encadenamiento productivo distribuya el beneficio; ello redundará en un aumento de capacidades tecnológicas como variable de intencionalidad para el aspecto tecnología. Por otro lado, al aparejar una intencionalidad social de desarrollo mediante procesos compensatorios por la pérdida de espacios comunes, se da un proceso de aumento de capacidades sociales, lo que Sen (2004) define también como desarrollo.

La diferencia de asimetrías entre los escenarios 1-2 y 3-4 marca también un desarrollo del sistema tecnológico más armónico y balanceado en el primer caso, pues no sólo se establece la obra, sino que al hacerlo se generan diversos beneficios en favor del desarrollo tecnológico y social.

6.2. Perspectivas axiológicas desde los planteamientos teóricos establecidos en los capítulos 1.5.1 y 1.5.2

La matriz de evaluación axiológica del Tren México-Querétaro permite analizar este sistema técnico como una función trayectoria, más que como una función de estado. Como se desprende del análisis de escenarios tecnológicos establecido en el punto 6.1, las diferencias en la etapa de implementación para un escenario consultivo-interno y uno centralista-externo para los aspectos social y tecnológico son tales que establecen prácticamente dos sistemas técnicos.

En el escenario consultivo-interno, el desarrollo del Tren México-Querétaro apoya a las personas que viven a lo largo del tendido del tren, aumenta las competencias clave disponibles en el país, facilita la implementación de otros sistemas de transporte similares con una menor curva de aprendizaje, aumenta la autonomía decisional, fomenta una tecnología apropiada y aumenta el espacio tecnológico (Herrera, 1978); en suma, mejora la calidad de vida de un número importante de personas más allá de los viajeros.

En el escenario centralista-externo, El desarrollo del Tren México-Querétaro opera sobre una lógica de eficacia que lleva al despojo de espacios en el seno de las comunidades, al desaliento de la planta productiva instalada en el país, mantiene la dependencia tecnológica y fomenta la socialización de riesgos y la privatización de beneficios; la mejora a la calidad de vida es limitada a los viajeros, número ciertamente reducido de personas, y de manera colateral y marginal a la descongestión vehicular al rededor de la carretera que, como se estableció en el capítulo 3, tampoco es la opción tecnológica más eficaz para este fin.

En cualquiera de los dos escenarios propuestos se construye el Tren México-Querétaro, que es una macroestructura cuya implementación implica un impacto al entorno naturaleza, dada la remoción disposición y uso de materiales, por lo que es un desarrollo que implica un crecimiento económico material. También durante su funcionamiento hay efectos indeseados, como el ruido o la emisión de CO₂ por la operación, aunque ésta sea menor que otros medios de transporte. Al comprometer la satisfacción de necesidades de una cantidad importante de personas, el escenario centralista-externo está más cercano a un desarrollo viciado que el escenario consultivo-interno.

Las matrices axiológicas resultan ser una herramienta sensible a las asimetrías entre aspectos, lo que puede ser un indicador de inequidades en los procesos de desarrollo. Con mucha frecuencia se olvida en el establecimiento de estructuras productivas o tecnológicas que las personas asentadas en las localidades tendrán que convivir y asimilar, de alguna manera, dichas estructuras; en no pocas ocasiones se ha dado el caso de que un desarrollo tecnológico repercute en un detrimento en la calidad de vida de las personas a nivel local, como lo señalan varios autores (Galeano, 1971; Herrera, *et al.*, 2004, Gallopin, 2006; Max-Neef, 2007). Las matrices axiológicas pueden ser una herramienta para explicitar las políticas implícitas en los procesos de desarrollo.

El aspecto tecnología introduce la variables de evaluación interna de la tecnología que resultan esenciales para un desarrollo tecnológico. En el caso del Tren México-Querétaro se establece una brecha tecnológica cualitativa que debe ser solventada. Dicha brecha puede

ser cubierta de diferentes maneras; en la presente tesis se proponen dos escenarios que resultan axiológicamente antagónicos, un desarrollo externo y otro interno. El análisis axiológico de estos dos escenarios a través de los seis atributos para los cuatro aspectos permite la integración de variables de evaluación externa. Así, las matrices axiológicas integran en una herramienta variables de evaluación interna y externa, cuantitativas y cualitativas.

Explicitar los valores que operan en un sistema técnico permite el diseño de políticas públicas coherentes con una sociedad orientada al bien común. Así, las matrices axiológicas se proponen como una herramienta a explorar para instrumentar en la práctica orientaciones axiológicas transdisciplinarias que superen el credo de la eficiencia de mercado y el imperativo tecnológico, aunque faltan todavía investigaciones futuras que robustezcan este uso. Permiten integrar los cuatro aspectos a tomar en cuenta para procesos sustentables (Peterson, 1997), por lo que se puede considerar aspectos económicos y tecnológicos, pero sin que éstos dejen de lado aspectos sociales o del entorno naturaleza.

A través del análisis de las matrices axiológicas se pueden proponer procesos de desarrollo tecnológico y económico que beneficien a la calidad de vida de la mayoría de las personas y salvaguarden los ecosistemas sanos; no se trata, pues, de satanizar el desarrollo tecnológico, ni el aumento de capital, sino de fomentar los mejores caminos para que los procesos de desarrollo tecnológico y de inversión de capital den como resultado una verdadera satisfacción de necesidades, un bien potencial para la mayoría de las personas, bajo una evaluación plural e incluyente, que tienda a empoderar a las personas sobre las tecnologías y democratizar los procesos de desarrollo tecnológico y económico.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

7. Discusión final, conclusiones y perspectivas

7.1. Discusión final

En los últimos dos siglos y medio ha habido una profunda transformación en el modo como los humanos vivimos e interactuamos con nuestro entorno. Esta transformación ha tenido como base adelantos notables en la tecnología disponible y la ciencia como sistema de conocer el mundo. Estos cambios, a su vez, implican modos diferentes de evaluar lo que es benéfico para el ser humano y modos diferentes de interacción social; es decir, han conllevado un cambio en los valores personales y sociales.

Hasta hace pocas décadas el mundo occidental había sostenido que el desarrollo tecnológico es bueno en sí mismo, ya que implica progreso; a esta postura se le ha llamado “imperativo tecnológico”. Sin embargo, desde mediados del siglo XX diversos acontecimientos han prendido focos rojos al desarrollo tecnológico; la bomba atómica, desastres ambientales e industriales, entre otros factores, han hecho matizar el optimismo, toda vez que, además, el mundo parece estar cada vez más polarizado en las posibilidades de satisfacer las necesidades fundamentales del total de la población.

Toda tecnología ha sido desarrollada por una sociedad en un momento histórico en particular; dicha sociedad tiene valores específicos que pueden ser diferenciados de otras sociedades; así, los desarrollos tecnológicos se fundamentan en valores sociales específicos; al transferir un sistema técnico, se transfiere a su vez los valores sociales desde los cuales fue concebido y desarrollado dicho sistema. Estos valores rara vez son explícitos. A la fecha no hay una herramienta que permita establecer los valores (atributos axiológicos) que una tecnología contiene.

A partir de la Cumbre de Río de 1992 se acepta que un desarrollo que tienda a ser sostenible debe considerar aspectos sociales, naturales y económicos; dichos aspectos deben interactuar con sistemas técnicos cada vez más complejos a fin de satisfacer las

necesidades del total de la generación actual sin comprometer las posibilidades para que las futuras generaciones satisfagan sus necesidades.

El tren de alta velocidad es un sistema técnico que puede tener efectos positivos y adversos en los lugares donde se establece y opera. Históricamente el desarrollo del tren en México ha tenido consecuencias no deseadas en diversos ámbitos: social, natural e incluso el económico. Estos efectos suelen estar relacionados con la predominancia de unos valores sobre otros.

En este contexto, se plantea la necesidad de evaluar el desarrollo tecnológico del tren de alta velocidad entre México y Querétaro (Tren México-Querétaro) desde una perspectiva axiológica, sobre la base del desarrollo sostenible.

Para dar solución a este problema, en esta tesis propongo una metodología de evaluación cuali-cuanti que llamo matriz axiológica. La matriz se compone de tres ejes, uno de atributos axiológicos, otro de aspectos ontológicos y un último de etapas de desarrollo. Propongo seis atributos axiológicos, es decir, seis características valóricas que todo sistema técnico posee: escala, intensidad, intencionalidad, participación, inteligibilidad y amigabilidad (definidos en el capítulo 1.5.3). Estos atributos operan sobre cuatro aspectos ontológicos, es decir, cuatro dimensiones sobre las cuales actúa todo desarrollo tecnológico: naturaleza, sociedad, economía y tecnología. Los atributos y aspectos se aplican a la evaluación de tres etapas de desarrollo del sistema técnico: implementación, funcionamiento y fin de ciclo.

Esta matriz fue aplicada a diferentes escenarios de desarrollo del Tren México-Querétaro. Para la construcción de estos escenarios consideré que la variable que controla el aspecto social es la consulta pública, por lo que establecí un escenario con consulta pública y un escenario sin consulta pública, en especial a la población indígena asentada en el trazo del Tren México-Querétaro. Consideré que la variable que controla el aspecto tecnológico es si el desarrollo se hace de manera interna, es decir, si se aprovechan las capacidades tecnológicas presentes en el país a fin de superar una brecha tecnológica que actualmente existe para desarrollar de manera interna el Tren México-Querétaro, o si se hace de manera

externa, es decir, si será realizado fundamentalmente por empresas extranjeras que aplicarán su capacidad técnica en el territorio del trazo, pero sin una transferencia tecnológica real. Consideré que la variable que controla el aspecto naturaleza es la emisión de CO₂, y que la variable que controla el aspecto de economía es el ahorro social, entendido como el tiempo de viaje que se gana con el Tren México-Querétaro contra otros medios de transporte, lo que define el precio máximo pagable por trayecto. Tanto el aspecto naturaleza como el de economía dependen de la afluencia de pasajeros, por lo que consideré afluencias de 11,200 y 22,700 pasajeros diarios.

Sobre estos supuestos establecí dos escenarios básicos, uno que considera que el Tren México-Querétaro será desarrollado con procesos de consulta pública y que su desarrollo tecnológico se dará predominantemente de manera interna; a este escenario lo llamo “consultivo-interno”. El otro escenario considera que el Tren México-Querétaro será desarrollado con base en decisiones centralizadas en las estructuras de poder, básicamente sin consulta a la población, y que su desarrollo tecnológico será realizado de manera externa; a este escenario lo llamo “centralista-externo”. Ambos escenarios base fueron evaluados para afluencias de 11,200 y 22,700 pasajeros diarios.

Con base en el análisis comparativo de escenarios (sección 6.1.5) se concluye que en los escenarios consultivo-interno para la etapa de implementación se establecen valores de fortalecimiento social y tecnológico, con integración de cadenas productivas y participación de PYMES; el desarrollo de capacidades gobierna al aspecto tecnológico; el desarrollo de la comunidad gobierna al aspecto social. Bajo este escenario la sociedad gana espacios de confluencia para el desarrollo social, lo que mejora la integración regional; desde el aspecto tecnológico, el desarrollo de competencias permitiría el establecimiento futuro de infraestructuras similares con una menor curva de aprendizaje.

En los escenarios centralista-externo para la etapa de implementación se establecen valores de confiabilidad y eficacia para el aspecto tecnológico, con la búsqueda de la opción de menor costo global; esto repercute en el aspecto social en donde se establecen valores de externalización de costos hacia la sociedad. La obra en sí misma se establece como un valor

que se impone sobre otros valores sociales o tecnológicos. La obra tendría posiblemente menor costo que en los escenarios consultivo-interno, pero no habría un desarrollo tecnológico interno, ni una adecuada asimilación tecnológica.

Al comparar escenarios diferenciados por la afluencia de pasajeros se establecen diferencias cuantitativas para los aspectos de naturaleza y economía, en especial para la etapa de funcionamiento del sistema. Aunque los escenarios con 22,700 pasajeros tienen números más cercanos al punto de equilibrio, ningún escenario es rentable a 20 años, pues requieren de subsidios para su funcionamiento de entre 300 y 1,280.6 millones de pesos al año. Dado que la obra y el subsidio serían pagados por el gobierno, es decir, por los impuestos pagados por los contribuyentes, el establecimiento de este sistema de manera externa implica como valor una transferencia económica de lo público a lo privado y del ámbito nacional al transnacional; también prioriza el beneficio a los viajeros por sobre los contribuyentes.

Si se consideran las emisiones de CO₂ durante la etapa de implementación como una inversión ambiental, el ahorro en emisiones de CO₂ que el sistema reporta contra otros medios de transporte puede considerarse como un retorno sobre la inversión (ROI) que ocurre durante la etapa de funcionamiento. Este ROI de CO₂ es de entre 13.84% y 24.45% al año, con un plazo de recuperación de emisiones de entre 4.09 y 7.23 años.

De acuerdo con los cálculos de esta tesis el proyecto es viable desde el balance neto de CO₂ a 30 años de funcionamiento. Su implementación representa un impacto por emisiones de materiales de entre 294,255.2 y 337,455.2 tCO₂. En la etapa de funcionamiento bajo un escenario medio de sustitución de pasajeros de autobús y automóvil, el sistema representa un ahorro de emisiones de entre 40,716.5 y 82,523.6 tCO₂ al año

La Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) resulta un documento que atiende de manera satisfactoria la mayoría de impactos al ambiente; sin embargo, tiene carencias notables en cuanto al cálculo de emisiones de CO₂ del proyecto de Tren México-Querétaro.

A pesar de no haber establecido un costo ambiental integral por el establecimiento del Tren México-Querétaro, el cálculo de CO₂ resulta un parámetro relevante desde el aspecto naturaleza que fue integrable en el análisis axiológico. Otro aspecto considerado en la etapa de operación fue el ruido, que es una de las principales molestias de los trenes de alta velocidad en esta etapa.

El Tren México-Querétaro no tiene planificado salir de circulación en un horizonte de tiempo determinable, por lo que la etapa de fin de ciclo se presenta como una singularidad difícil de determinar. Por ello, no tiene diferencias significativas, ni cualitativas ni cuantitativas, para los diferentes escenarios.

De acuerdo con los resultados axiológicos que se obtienen de los escenarios, un desarrollo consultivo-interno deriva en el fomento de valores sociales y tecnológicos más adecuados para México que un escenario centralista-externo para el Tren México-Querétaro, sobre todo en la etapa de establecimiento de la tecnología, pero también durante el funcionamiento del sistema técnico.

Desde el aspecto social se puede establecer que históricamente la población indígena no ha sido consultada para el establecimiento de este tipo de tecnologías. Al amparo de los instrumentos legales internacionales que México ha signado, que tienen rango constitucional y al amparo de la misma Constitución, los pueblos indígenas deben formar parte activa en el establecimiento de este tipo de infraestructuras, a través de mecanismos de participación que garanticen sus derechos. Los mecanismos de control ambiental, tales como las MIA y Estudios de Riesgo Ambiental no han redundado en mecanismos de control democrático; por lo que todavía está pendiente a nivel nacional la generación de instrumentos apropiados para hacer cumplir efectivamente los acuerdos signados por México. Una posible opción es extender el alcance de la MIA para cubrir estos aspectos, aunque se corre el riesgo de restarle importancia como mecanismo de evaluación ambiental.

Si bien en el trazo del Tren México-Querétaro no hay una región indígena reconocida, sí hay presencia indígena, en particular en el municipio de Tepeji de Río, Hidalgo. La participación

es el primer aspecto relevante para la evaluación de cuestiones sociales relativas a la población indígena. La población indígena, y en general toda la población, tiene derecho a saber y a opinar sobre los desarrollos técnicos que operarán en su territorio; en caso de generar externalidades o efectos colaterales indeseables, la población debe formar parte activa del planteamiento y ejecución de soluciones, a fin de robustecer la capacidad que la comunidad tiene de satisfacer adecuadamente sus necesidades. Tales planteamientos, por obvios que parezcan, han estado históricamente lejos de ser cumplidos.

Desde el aspecto tecnológico en México se han desarrollado competencias tecnológicas clave disponibles para el establecimiento de infraestructura de sistemas urbanos de transporte masivo de personas por vía férrea; sin embargo, estas competencias presentan una brecha cualitativa significativa para el establecimiento de un tren de alta velocidad de manera interna, en especial por la alta demanda en las características geométricas requeridas en la vía.

Otra opción explorada es el desarrollo de infraestructura tecnológica de manera externa; sin embargo, esta opción representa un detrimento cualitativo ante la evaluación axiológica del aspecto tecnología contra un desarrollo interno.

Se puede hablar de desarrollos tecnológicos -en plural- del Tren México-Querétaro, pues los diferentes escenarios dan como resultado sistemas axiológicos diferenciados; por lo que el desarrollo de un sistema técnico tiene más la estructura de una función trayectoria, es decir, que depende de la ruta bajo la cual se desarrolle, que una función de estado, es decir, de la existencia o no del sistema en sí.

7.2. Conclusiones

- Es posible evaluar axiológicamente el desarrollo tecnológico que implica el tren de alta velocidad entre México y Querétaro.
- Tal evaluación puede realizarse sobre la base del desarrollo sostenible establecida a partir de la Cumbre de Río de 1992, cuyos fundamentos (aquí llamados aspectos ontológicos) son: sociedad, economía y naturaleza; además resulta conveniente agregar un aspecto de tecnología.
- La evaluación se realiza a lo largo de las tres etapas de desarrollo de la tecnología: implementación, funcionamiento y fin de ciclo.
- Para dicha evaluación, la metodología cuali-cuanti que llamo matriz axiológica resulta adecuada.
- En este trabajo logré la construcción de una herramienta de evaluación axiológica aplicable a sistemas tecnológicos en desarrollo. Esta herramienta se concreta en una matriz con tres ejes, uno de atributos axiológicos, otro de aspectos ontológicos y un último de etapas de desarrollo.
- Logré proponer y ensayar seis atributos axiológicos, es decir, seis características valóricas que todo sistema técnico posee: escala, intensidad, intencionalidad, participación, inteligibilidad y amigabilidad (definidos en el capítulo 1.5.3).
- La matriz axiológica fue aplicada sobre diferentes supuestos, en los que se integraron 14 matrices para escenarios comparables; con resultados satisfactorios sobre la aplicación.
- En el aspecto sociedad, la matriz resulta sensible a la variable de consulta pública, en especial para la población indígena asentada en el trazo del Tren México-Querétaro.
- En el aspecto naturaleza la matriz refleja los posibles impactos positivos y negativos en las emisiones de CO₂ que el desarrollo del Tren México-Querétaro conlleva.
- En el aspecto economía la matriz es sensible a la viabilidad económica bajo diversos escenarios; además es permeable a variables propias del capital intelectual y las tendencias de evaluación no crematística (es decir, más allá del capital) de la función económica, como la satisfacción de necesidades humanas.

- En el aspecto tecnología la matriz es sensible a si el desarrollo del Tren México-Querétaro se hace con un alto contenido nacional, o si se hace de manera externa, y es permeable a variables de desarrollo de capacidades tecnológicas.
- Las matrices axiológicas son herramientas flexibles y potentes metodológicamente; que resultan adecuadas para trabajos desde la multidisciplina y el desarrollo sustentable.
- Las matrices axiológicas cubren aspectos no resueltos dentro de otras metodologías de evaluación tecnológica. En especial es notable la práctica ausencia de herramientas de evaluación axiológica en la literatura especializada, como queda de realce en el planteamiento teórico; por lo que el aporte teórico-metodológico de esta tesis representa un incremento al conocimiento disponible.

7.3. Perspectivas para futuras investigaciones

Esta tesis, como todo trabajo de investigación, tiene puntos inconclusos y áreas de oportunidad para la mejora; a pesar de que logré establecer una herramienta de evaluación axiológica para un desarrollo tecnológico -las matrices axiológicas-, que integra seis atributos axiológicos a lo largo de los cuatro aspectos relevantes desde la perspectiva de la sostenibilidad, quedan pendientes para futuras investigaciones los siguientes puntos:

- La evaluación de otros sistemas tecnológicos para comprobar el comportamiento de la herramienta de manera más amplia
- El desarrollo ferroviario, por regla general, no plantea un fin de ciclo predecible, sino singular y esporádico, por lo que esta etapa del desarrollo tecnológico no pudo ser evaluada extensamente con la herramienta propuesta.
- Las matrices axiológicas integran variables cualitativas y cuantitativas; las variables cualitativas pueden tender a ser subjetivas, a no ser que sean parametrizadas; para lograr la parametrización de dichas variables es necesario contar con más investigaciones sobre evaluación axiológica de sistemas tecnológicos con base en la herramienta propuesta.

- De igual manera, las variables cuantitativas se integran sistémicamente con las cualitativas, por lo que futuras investigaciones podrán permitir el establecimiento de correlaciones más sólidas de integración cuali-cuanti.
- Hace falta también más investigación para evaluar las matrices axiológicas como una herramienta para instrumentar políticas públicas desde la transdisciplina, a fin de superar el credo de la eficiencia de mercado y el imperativo tecnológico.
- Para tener más elementos de análisis de viabilidad económica de un tren de alta velocidad, queda como investigación pendiente establecer otras opciones, como la extensión de la obra a las ciudades de San Luis Potosí y Monterrey, pues aunque ello suponga un aumento en el costo de infraestructura y operación, el flujo de pasajeros es mayor, en especial entre México y Monterrey, debido a la intensa presencia de conexión aérea.
- Queda también pendiente el establecimiento de una metodología para estimar un costo ambiental integrado de estructuras tecnológicas, que evalúe no sólo las emisiones de CO₂, sino el total de las afectaciones ambientales. Este tema es digno de investigaciones extensas, dada la complejidad del mismo.
- Otro tema que queda pendiente para futuras investigaciones es evaluar el comportamiento de las matrices axiológicas en sistemas cuyo principal impacto sobre el aspecto naturaleza sea diferente a las emisiones de CO₂. Se espera que la herramienta de matrices axiológicas sea sensible e integrable a estos otros sistemas.
- La investigación aquí presentada tiene un alcance que supera lo exploratorio, por lo que es descriptiva-correlativa; sin embargo, conviene continuar la investigación hasta las fases correlativa y explicativa.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

Bibliografía

- Acuerdos de San Andrés Larráinzar (1996). Consultables en: <http://zedillo.presidencia.gob.mx/pages/chiapas/docs/sanandres.html> / <http://www.cedoz.org/site/index.php>
- ADIF. (2009). Comunicado. Referencia 026PP09: Actualización del distintivo de calidad ADIF tipo "1" de la cantera "MIBASA." Madrid: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. Extraído de <http://www.mibasa.es/pdf/ADIF.pdf>
- Agazzi, E. (1996). El bien, el mal y la ciencia. Las dimensiones éticas de la empresa científico-tecnológica (p. 387). Madrid: Editorial Tecnos.
- ALAF. (2004). Rieles. Peso y dimensión de las máquinas bateadoras, niveladoras y alineadoras. Revista ALAF, (72). Extraído de <http://www.alaf.int.ar/?pag=revista&id=45>
- Amos, P., Bullock, D., y Sondhi, J. (2010). High-Speed Rail: The Fast Track to Economic Development? The World Bank, (July), 1–20. Extraído de http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2010/07/26/000334955_20100726032714/Rendered/PDF/558560WP0Box341SR1v08121jul101final.pdf
- Argüello-Méndez, T. del R., y Cuchí Burgos, A. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x1 0 Con Techo-Chiapas del CYTED. Informes de La Construcción, 60(509), 25–34.
- Aristóteles. (n.d.). Política (pp. 1–126). Extraído de http://www.edu.mec.gub.uy/biblioteca_digital/libros/a/Aristoteles - Politica.pdf
- Arrow, K. J. (1962). The economic implications of learning by doing. Review of Economic Studies, (29), 155–173. Extraído de http://lib.cufe.edu.cn/upload_files/other/3_20140520031728_46.The_Economic_Implications_of_Learning_by_Doing.pdf

- Assadourian, E. (2010). The rise and fall of consumer cultures. En E. Assadourian (Ed.), *State of the World 2010. Transforming cultures. From consumerism to sustainability* (pp. 1–20). New York, NY; London: The Worldwatch Institute.
- Baños-Lemoine, C. A. (2014). Crónica de 45 años. Un gusano anaranjado crece con la Ciudad. En A. Salazar y Editorial Aquaclara (Eds.), *El Metro es de todos. Obra de recopilación* (pp. 25–46). México: Sistema de Transporte Colectivo Metro. Extraído de <http://www.metro.df.gob.mx/imagenes/organismo/varios/elmetroesdetodos.pdf>
- Basalla, G. (1991). *La evolución de la tecnología*. Barcelona: Ed. Crítica.
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad* (p. 305). Barcelona: Paidós.
- Berenbaum, M. (2008). La polémica persiste, la advertencia sigue válida. En Rachel Carson. *La pluma contra el veneno* (Digital., pp. 8–10). Washington: IIP Digital, US Embassy. Extraído de <http://photos.state.gov/libraries/amgov/30145/publications-spanish/rachel-carson-sp.pdf>
- Bernal Calderón, G. (2006). El desarrollo tecnológico, una perspectiva social y humanista. En I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I (pp. 1–10). México, D.F.: OEI, AECI, UNAM, IPN, UAM, AMC, AI.
- Bernal, J. D. (1939). *The Social Function of Science* (p. 482). London: George Routledge and Sons LTD.
- Bijker, W. E., Huges, T. P., y Pinch, T. J. (1987). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. (W. E. Bijker, T. P. Huges, y T. J. Pinch, Eds.) (p. 411). Cambridge: MIT Press.
- Bloor, D. (1976). *Knowledge and social Imagery* (p. 203). Chicago: The University of Chicago Press.
- Bombardier. (2013). Hoja de datos de planta en Cd. Sahagún, Hidalgo, México. Cd. Sahagún: Bombardier Transportation México. Extraído de <http://www.bombardier.com/>

- Boulding, K. E. (1966). The economics of the coming spaceship Earth. En H. Jarrett (Ed.), *Environmental Quality in a Growing Economy* (pp. 3–14). Baltimore: Resources for the future / Johns Hopkins University Press. Extraído de http://arachnid.biosci.utexas.edu/courses/THOC/Readings/Boulding_SpaceShipEarth.pdf
- Braudel, F. (1958). *Historie et Sciences sociales: La Longue Durée*. *Annales E.S.C.*, (4), 725–753.
- Brocano, F. (1995). *Nuevas meditaciones sobre la técnica*. Madrid: Trotta.
- Brundtland, G. H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S. A., Chidzero, B., Fadika, L. M., Strong, M. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development “Our Common Future” (p. 318). Oslo.
- Bunge, M. (2002). *Ser, Saber, Hacer*. (Biblioteca Iberoamericana de Ensayo, Ed.) (p. 134). Mexico: Paidós, Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Extraído de http://www.ict.edu.mx/acervo_humanidades_filosofia_Ser_saber_hacer_Mario_Bunge.pdf
- Cabrera, R. (2014). Gobierno dio “tiempo suficiente” para licitar tren México-Querétaro: consorcio ganador. *Aristegui Noticias*. Noviembre 3. México. Extraído de <http://aristeguinoicias.com/0311/mexico/gobierno-si-dio-tiempo-suficiente-para-licitacion-tren-mexico-queretaro-consorcio-chino-mexicano/>
- Calderón, F. R. (1973). *Historia Moderna de México. La República Restaurada. La vida económica*. 3ª ed. (D. Cosío Villegas y Colegio Nacional, Eds.) (p. 812). México: Editorial Hermes.
- (1994). Los ferrocarriles. En D. Cosío Villegas (Ed.), *Historia Moderna de México. El Porfiriato. La vida económica. Tomo I* (pp. 483–634). México: Hermes.
- Cano, M., Cendra, J., y Stahel, A. W. (2005). *Oikonomía vs. crematística: base de las contradicciones del desarrollo moderno. Sostenible?*, (7), 48–71. Extraído de <http://upcommons.upc.edu/revistes/handle/2099/1805>
- Canto-Sáenz, R. (2001). *Del henequén a las maquiladoras. La política industrial en Yucatán 1984-2001*. México: Instituto Nacional de Administración Pública / Universidad de Yucatán.

- Carson, R. L. (2010). Primavera Silenciosa. (J. Ros, Ed.) (1a ed.[1962]). Barcelona: Editorial Crítica.
- Cassaigne Hernández, M. del R. (2002). Elementos de Planeación Estratégica y Gestión de la Tecnología para Pequeñas y Medianas Empresas. México, D.F.: ADIAT.
- Castellanos, M. (1909). Algunos problemas nacionales. (En González Navarro (1973), Ed.) (p. 218). México: Eusebio Gómez de Puente.
- CDI. (2009). Regiones Indígenas de México. México. Extraído de http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=245&Itemid=49
- (2012). Catálogo de localidades indígenas 2010. México. Extraído de http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=2578
- CE. (1996) Directiva 96/48/CE del Consejo de 23 de julio de 1996 relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad. Pub. L. No. 96/48/CE. El Consejo de la Unión Europea. Extraído de http://www.ehu.eus/observatoriosp/pdf/directiva96_48_CE.pdf
- CEFP. (2004). Costo financiero del programa de apoyo para el rescate de autopistas concesionadas. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (p. 30). México. Extraído de <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0152004.pdf>
- Cendra, J., y Stahel, A. W. (2006). Hacia una construcción social del desarrollo sostenible basada en la definición de sus dimensiones y principios , articulados a partir de la ecuación IPAT . Aproximación a sus implicaciones y debates . Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo, (1), 1–32.
- Chesbrough, H. (2003). Open Innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Boston: Harvard Business School Publishing.
- Christensen, C. (1997). The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Boston: Harvard Business Review Press.
- Coatsworth, J. (1974). Railroads, Landholding, and Agrarian Protest in the Early Porfiriato. The Hispanic American Historical Review, 54(1 (feb)), 48–71.

- (1976). Crecimiento contra desarrollo. El impacto económico de los ferrocarriles en el Porfiriato II. México: SEP Setentas.
- Cobb, J. B., y Daly, H. (1989). For the Common Good (p. 492). Boston: Beacon Press.
- COCHILCO. (2012). Factores Clave para un Análisis Estratégico de la Minería (p. 222). Comisión Chilena del Cobre. Santiago de Chile. Extraído de <http://www.cochilco.cl/descargas/estadisticas/recopilacion/2011.pdf>
- COMEST. (2005). Informe del Grupo de Expertos sobre el principio precautorio (p. 51). Paris. Extraído de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001395/139578s.pdf>
- Condorcet, N. de. (1794). Bosquejo de un cuadro histórico de los progresos del espíritu humano. París.
- Constitución. (1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Mexico: Diario Oficial de la Federación 10-02-2014. Extraído de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>
- Cubasolar. (n.d.). Del diccionario de CUBASOLAR. Extraído en Mayo 13, 2014, de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/Articulo20.htm>
- Cuevas-Colunga, A. C., Villegas-Villegas, N., Mayoral-Grajeda, E. F., y Mendoza-Díaz, A. (2014). Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2012) (p. 98). Sanfandilla Querétaro. Extraído de [http://207.248.177.30/mir/uploadtests/32470.177.59.1.02 Anuario accidentes 2012.pdf](http://207.248.177.30/mir/uploadtests/32470.177.59.1.02%20Anuario%20accidentes%202012.pdf)
- Delgado, J., y Ramírez-Vázquez, B. R. (1998). Ciudad-región y transporte en el México Central: Un largo camino de rupturas y continuidades (Colección Ciudad y Región). México: Plaza y Valdés Editores, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Derry, T. K., y Williams, T. I. (1980). Historia de la Tecnología, Vol.2, desde 1750 hasta 1900 (I) (4a ed.). Madrid: Siglo XXI editores (primera edición en inglés [1960] Oxford University Press).

Dos Santos, T. (2011). Imperialismo y dependencia. (Colección Claves Políticas de América No. 5, Ed.) (1a ed [1978]). Caracas: Fundación Biblioteca Ayacucho. Extraído de www.bibliotecayacucho.gob.ve

Drucker, P. F. (1969). The Age of Discontinuity. New York, NY: Harper y Row.

----- (1994). The Age of Social Transformation. The Atlantic Monthly, 273(11).
Extraído de <http://www.theatlantic.com/election/connection/ecbig/soctrans.htm>

Durán, R., Landaeta, P., Orellana, O., y Espinoza-Lolas, R. (2008). Interpretación del tiempo en Ilya Prigogine a partir de Aristóteles, Newton, Zubiri, Bergson y Gardía Bacca. Konvergencias, Filosofía Y Culturas En Diálogo, V(17), 171–191.

Durand Alcántara, C. H. (1994). Crítica al Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) Referente a los Pueblos Indígenas. Alegatos, UAM-Azcapotzalco, 25-26(Septiembre 1993-abril 1994), 6. Extraído de <http://www.azc.uam.mx/publicaciones/alegatos/pdfs/23/25-03.pdf>

Echeverría, J. (2000). Un mundo virtual. Barcelona: Debolsillo.

----- (2003). La revolución tecnocientífica (p. 280). Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.

----- (2009). Innovación y sociedad: una aproximación pluralista (p. 17). Reno.

Egea-Jiménez, C., y Soledad-Suescún, J. I. (2011). Los desplazados ambientales, más allá del cambio climático. Un debate abierto. Cuadernos Geográficos, (49), 201–215. Extraído de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17122051008>

Ehrlich, P. R., y Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth. Science, Nex Series, 171(3977), 1212–1217. Extraído de <http://links.jstor.org/sici?sici=0036-8075%2819710326%293%3A171%3A3977%3C1212%3AIOPG%3E2.0.CO%3B2-E>

EIA. (2013). International Energy Outlook 2013 (p. 312). Washington. Extraído de www.eia.gov/forecasts/ieo/

El Banco Mundial. (2014). Emisiones de CO2 (kt). Datos/Indicadores. Extraído en Diciembre 20, 2014, de <http://datos.bancomundial.org/indicador>

- Ellis, H. (1981). Historia de los trenes. Madrid: Ediciones R. Torres.
- Ellul, J. (2003). La edad de la técnica (p. 444). Madrid: Octaedro.
- Etzkowitz, H. (1993). Enterprises from Science: The Origins of Science-Based Regional Economic Development and the Venture Capital Firm. *Minerva*, (31), 326–360.
- (2002). La triple hélice : universidad , industria y gobierno. Implicaciones para las políticas y la evaluación (p. 17). Estocolmo.
- Etzkowitz, H., y Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29, 109–123.
- FCMAF. (2015). Diccionario ferroviario. Aula Ferroviaria. Extraído en Julio 02, 2015, de <http://www.fcmaf.es/Diccionario/G.htm>
- Fernández-Martínez, X., Navarrete-Barbosa, J. I., Sánchez-Llévano, G., Ontiveros-Montesinos, J. A., Rodríguez-Bolaños, F., y Jaime-Buenrostro, É. Y. (2012). Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026 (p. 237). México. Extraído de <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- FES. (2001). Das System Transrapid. Friedrich Ebert Stiftung. Digitale Bibliothek. Extraído en Enero 30, 2015, de <http://www.fes.de/fulltext/fo-wirtschaft/00321003.htm>
- Foncerrada, L. (2015). “Tren a Querétaro debe cancelarse”: Luis Foncerrada (CEESP). *Aristegui Noticias.*, Enero 19. México. Extraído de <http://aristeginoticias.com/1901/mexico/tren-a-queretaro-debe-cancelarse-luis-foncerrada-ceesp/>
- FORD. (2014). Sustainability Report 2013/14. Detroit. Extraído de <http://corporate.ford.com/microsites/sustainability-report-2013-14/doc/sr13.pdf>
- Freeman, C. (1995). The ' National System of Innovation ' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, (19), 5–24. Extraído de [http://www.globelicsacademy.org/2011_pdf/Freeman NSI historial perspective.pdf](http://www.globelicsacademy.org/2011_pdf/Freeman%20NSI%20historial%20perspective.pdf)

- Fundación ICA. (2007). Obras de metro. Fundación ICA. Extraído de <http://www.fundacion-ica.org.mx/pdf/11. Metro.pdf>
- Galeano, E. (1971). Las venas abiertas de América Latina (p. 379). Montevideo: Catálogos.
- Gallopín, G. C. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. (Serie medio ambiente y desarrollo, Ed.) (p. 46). Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina, Naciones Unidas.
- (2004). El Modelo Mundial Latinoamericano (“Modelo Bariloche”): Tres décadas atrás. En *¿Catástrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano. 30 años después. 2ª ed*, (pp. 12–22). Ottawa; Buenos Aires: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo; IIED-América Latina. Extraído de <http://web.idrc.ca/openebooks/144-2/>
- (2006). Los indicadores de desarrollo sostenible: aspectos conceptuales y metodológicos. En *Seminario de Expertos sobre Indicadores de Sostenibilidad en la Formulación y Seguimiento de Políticas* (pp. 1-36). Santiago de Chile: FODEPAL.
- García Álvarez, A. (2008). Consumo de energía y emisiones del tren de alta velocidad en comparación con otros modos. *Via Libre2*, (515), 16. Extraído de http://www.vialibreffe.com/PDF/Comparacion_consumo_AV_otros_modos_VE_1_08.pdf
- García Fernández, H. (2003). *La bomba y sus hombres* (p. 151). México, D.F.: Secretaría de Educación Pública / ADN Editores.
- Georgescu-Roegen, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. (L. Gutiérrez Andrés, Ed.).
- Girard, P.-S. (1827). Prólogo. En *Memories sur les grandes routes, les chemins de fer, et les canaux de navigation* (pp. cxxv–cxxvi). Paris: Cit. en Schilvelbusch 1986.
- GODF. (2012). Programa Integral de Movilidad 2013-2018. Gaceta Oficial Distrito Federal. 49–153. México: Gobierno del Distrito Federal.
- González, A. (2015). Enfrentan importaciones de acero chino a SE y acereros. *Reforma*, , Junio 25. Sección Negocios, p. 1. México.

- González-Navarro, M. (1973). Historia Moderna de México. El Porfiritito. La vida social. (D. Cosío Villegas y El Colegio Nacional, Eds.). Historia Moderna de México. El Porfiriato. "La vida social" 3a ed. (p. 979). México: Editorial Hermes.
- González-Oropeza, M. (2005). Aplicación del Convenio 169 de la OIT en México. En D. Cienfuegos-Salgado y M. A. López-Olvera (Eds.), Estudios en homenaje a Don Jorge Fernández Ruiz. Derecho constitucional y política (pp. 255–267). México: Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Extraído de <http://www.http//biblio.juridicas.unam.mx/libros/4/1627/15.pdf>
- Gramsci, A. (1986). Cuadernos de la cárcel. México: Era.
- Gray, T. (1822). Observations on a General Iron Rail-Way (3rd ed.). London: Cit. en Schilvelbusch 1986.
- Hails, C., Humphrey, S., Loh, J., Goldfinger, S., Bourne, G., Atkin, M., Backer, W. De. (2008). LIVING PLANET REPORT 2008 (p. 48). Gland.
- Hamel, G. (2006). The why, what, and how of management innovation. Harvard Business Review, 84(2), 72–84, 163. Extraído de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16485806>
- Harvey, D. (1998). La condición de la posmodernidad: Investigación sobre los orígenes del cambio cultural. Buenos Aires, Argentina: Amorrortu.
- Henkelmann, H. (2007). Archbar type truck/bogie as used on some steam locomotive tenders. Extraído en Octubre 30, 2014, de <http://www.answers.com/topic/bogie>
- Herrera, A. (1978). Desarrollo tecnológico y medio ambiente. En I Seminario Internacional sobre Tecnologías Adecuadas en Nutrición y Vivienda (pp. 1–12). México: Programa Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Extraído de <http://www.agro.uncor.edu/~extrural/AMILCAR.pdf>
- (1995). Los determinantes sociales de la política científica en América Latina. Política científica explícita y política científica implícita. Revista Redes, 2(5), 117–131. Extraído de <http://www.redalyc.org/pdf/907/90711276005.pdf>

- Herrera, A. O., Scolnick, H. D., Chichilnisky, G., Gallopin, G. C., Hardoy, J. E., Mosovich, D. Luis, T. (2004). ¿Catastrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano. 30 años después. 2a Ed. (pp. 1–128). Ottawa; Buenos Aires: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo; IIED-América latina. Extraído de <http://web.idrc.ca/openebooks/144-2/>
- Iáñez Pareja, E., y Sánchez Cazorla, J. A. (1998). Una aproximación a los estudios de Ciencia-tecnología-sociedad (CTS). Biotecnología y Sociedad. Extraído en Febrero 17, 2014, de <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/cts.htm>
- IFEU. (2006). Transport y Environment. Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Extraído en Enero 30, 2015, de <http://www.ifeu.org/english/index.php?bereich=ver&seite=startseite>
- Illich, I. (2006a). Energía y equidad. En V. Borremans y J. Sicilia (Eds.), Obras reunidas I (1a ed.[1974], pp. 325–365). México: Fondo de Cultura Económica.
- Illich, I. (2006b). La Convivencialidad. En V. Borremans y J. Sicilia (Eds.), Obras reunidas I (1a ed [1974], pp. 367–530). México: Fondo de Cultura Económica.
- IMCO. (2014). Índice de competitividad estatal 2014 (p. 252). México. Extraído de http://imco.org.mx/indices/#!/competitividad_estatal_2014/introduccion
- (2012). Propiedades básicas del concreto. En Foro Internacional del Concreto 2012 (p. 36). México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Extraído de http://148.245.97.210/joomla/fic_2012_ponencias/propiedades_basicas_del_concreto.pdf
- IMCYC. (2012). Propiedades basicas del concreto. In *Foro Internacional del Concreto 2012* (p. 36). Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Retrieved from http://148.245.97.210/joomla/fic_2012_ponencias/propiedades_basicas_del_concreto.pdf
- INEGI. (n.d.). Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos. SIMBAD. Extraído en Mayo 13, 2014, de <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/index.jsp>
- (2011). Panorama sociodemográfico de México (p. 54). Aguascalientes. Extraído de

http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/panora_socio/Cpv2010_Panorama.pdf

----- (2014). Ocupación y Empleo: Remuneraciones. Indicadores de ocupación y empleo al cuarto trimestre de 2014. Aguascalientes. Extraído en Abril 06, 2015, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=25433&t=1>

----- (2015). Directorio Estadístico Nacional. Aguascalientes. Extraído de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/denue/presentacion.aspx>

----- (2016). Sistema de Información de Índices de Vuelos Ver. 3.0. Extraído en Junio 15, 2016, de <http://gaia.inegi.org.mx/siiv3/viewer.html#>

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC). NMX-GT-001-IMNC-2007. Sistema de gestión de la tecnología – Terminología (2007). México.

IPCC. (2007). Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change (p. 863). New York, NY. Extraído de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf

ITDP México. (2014). Transporte Público Masivo en la Zona Metropolitana del Valle de México Proyecciones de demanda y soluciones al 2024 (p. 170). México. Extraído de www.itdp.mx

Jasso, J. (2004). Relevancia de la innovación y las redes institucionales. Aportes, VIII(025), 5–18.

Jonas, H. (1984). The Imperative of Responsibility: In Search of an Ethics for the Technological Age. Chicago: The University of Chicago Press.

Jones, D. A. (1992). Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries (2nd ed.). Rugby: IChemE.

Klöpffer, W., y Frischknecht, R. (2013). Global life cycle inventory data for the primary aluminium Industry. 2010 Data. Critical Review (p. 53). London. Extraído de http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/10/17/2010_life_cycle_inventory_report.pdf

- Kohr, L. (1978). *The Breakdown of Nations* (1st ed. [1957], pp. 1–22). New York, NY: E.P. Dutton.
- Leff, E. (2000). Tiempo de sustentabilidad. *Ambiente y Sociedad*, (6-7), 5–14. doi:10.1590/S1414-753X2000000100001
- (2010). *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. 3a Ed. (p. 414). México, D.F.: Siglo XXI editores, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades UNAM.
- Lewis, M. J. T. (2001). Railways in the Greek and Roman world. En A. Guy y J. Rees (Eds.), *Early Railways. A Selection of Papers from the First International Early Railways Conference* (pp. 8–19). London. Extraído de <http://www.sciencenews.gr/docs/diolkos.pdf>
- Lewis, Simon L., y Maslin, Mark A. (2015). Defining the Anthropocene. *Nature*, 519, 171.
- LGCC. *Ley general de cambio climático* (2012). México: Diario Oficial de la Federación 06-06-2012. Extraído de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>
- LGEEPA. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (2014). México: Diario Oficial de la Federación 16-01-2014. Extraído de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>
- LIFE. (1949). Talgo. *Revista LIFE*. Extraído de <http://www.oldlifemagazines.com/april-25-1949-life-magazine-2089.html>
- Linares, J. E. (2008). Ética y mundo tecnológico (p. 517). México, D.F.: FCE, UNAM, FFyL.
- Llomovatte, S. (2006). Para una crítica del modelo de la triple hélice: Universidad, Empresa y Estado. En *La vinculación universidad-empresa: miradas críticas desde la universidad pública* (pp. 21–45). Buenos Aires, Argentina: Laboratorio de Políticas Públicas, Miño y Dávila Editoriales.
- López Pita, A. (2005). *Apuntes de Infraestructuras Ferroviarias* (Tomo I y I.). Barcelona: Centro de Publicaciones Campus Nord.
- López-Austin, A. (2014). Sobre el concepto de cosmovisión (pp. 1–33). México.

- Manufactura. (2014). Ferromex dona tren a Facultad de Ingeniería. Manufactura. México. Extraído de <http://m.manufactura.mx/noticias/logistica/2014/11/13/ferromex-dona-tren-a-facultad-de-ingenieria>
- Maquetren. (1997). Trenes de alta velocidad. Maqueteren. Ed. España Desconocida, SL. Extraído de <http://www.todotren.com.ar/trenes/euromed.htm>
- Martínez Vidal, C., y Marí, M. (2002). La Escuela Latinoamericana de Pensamiento en Ciencia , Tecnología y Desarrollo Notas de un Proyecto de Investigación. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad E Innovación, (4 / Septiembre-Diciembre), 1–23. Extraído de <http://www.oei.es/revistactsi/numero4/escuelalatinamericana.htm>
- Max-Neef, M. A. (1984). La economía descalza (p. 127). Estocolmo, Buenos Aires, Montevideo: Nordan Comunidad. Extraído de <http://www.max-neef.cl/>
- (1995). Economic growth and quality of life: a threshold hypothesis. *Ecological Economics*, 15, 115–118.
- (2004). Fundamentos de la transdisciplinaridad. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. Extraído de <http://www.max-neef.cl/>
- (2007). La dimensión perdida. La deshumanización del gigantismo (p. 49). Barcelona: Nordan Comunidad, Icaira Editorial. Extraído de <http://www.max-neef.cl/>
- Max-Neef, M. A., Elizalde, A., y Hopenhayn, M. (1998). Desarrollo a escala humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. 2a Ed. (p. 77). Barcelona: Nordan Comunidad, Icaira Editorial. Extraído de <http://www.max-neef.cl/>
- McIntosh, P., Friedman, M. J., y Berenbaum, M. (2008). Rachel Carson. La pluma contra el veneno (Digital., p. 20). Washington: IIP Digital, US Embassy. Extraído de <http://photos.state.gov/libraries/amgov/30145/publications-spanish/rachel-carson-sp.pdf>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., y Behrens III, W. W. (1972). The limits to growth (p. 205). New York, NY: Universe Books.

- Melis Maynar, M. (2006). Terraplenes y balasto en Alta Velocidad Ferroviaria. *Revista de Obras Públicas*, 153(3464), 7–36. Extraído de http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=18488&anio=2006&numero_revista=3464
- Merton, R. K. (1942). Science and Technology in a Democratic Order. *Journal of Legal and Political Sociology*, (1).
- Milenio. (2014). Las fechas clave en el conflicto de la Línea 12 de Metro. Milenio Digital. Septiembre 9. México. Extraído de http://www.milenio.com/df/Cronologia_del_cierre_de_la_Linea_12-cierre_de_la_linea_12-reportes_de_la_Linea_12-cierran_la_linea_12_0_316168500.html
- Miliarium. (2014). Valores estadísticos de perfiles HEB. Extraído en Enero 16, 2015, de <http://www.miliarium.com/prontuario/Tablas/Perfiles/HEB.htm>
- MOax 98. (1899). Memoria que presentó el C. Gobernador del Estado de Oaxaca, Martín González, a la Honorable Legislatura del mismo, el 17 de septiembre de 1898. (En González Navarro (1973), Ed.) (p. 75). Oaxaca: Imprenta del Estado.
- Modelistica. (2014). Análisis costo - beneficio tren de alta velocidad (TAV): México - Querétaro (p. 145). México, D.F. Extraído de http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/Proyectos-de-Pasajeros/Mex-Qro_ACB/
- Montalar Yago, E. (2009). ¿Balasto o vía en placa?, ¿qué es mejor? El blog de Enrique Montalar. Geotecnia, ingeniería y opinión. Extraído en Julio 02, 2015, de <http://enriquemontalar.com/balasto-o-via-en-placa/>
- Moreno-Quintero, E., De-la-Torre-Romero, E., y Bustos-Rosales, A. (2012). Indicadores Económicos para el Autotransporte Federal de Pasajeros (p. 89). Sanfandilla Querétaro. doi:Publicación Técnica No. 357
- Mumford, L. (1964). Authoritarian Democratic Technics. *Technology and Culture*, 5(1), 1–8. Extraído de <http://www.jstor.or/stable/3101118>

- (1998). Técnica y civilización. Barcelona: Alianza Editorial (original en inglés [1934]).
- Nisbet, R. (1986). La Idea De Progreso. Revista Libertas, Instituto Universitario ESEADE, (5 Octubre).
- Nolasco, A. (2013). Bombardier quiere los trenes de pasajeros. Por González, Valentina. Manufactura. Octubre 22. México. Extraído de <http://www.manufactura.mx/industria/2013/10/21/bombardier-quiere-los-trenes-de-pasajeros>
- Notimex. (2015). Anuncia Videgaray suspensión indefinida de tren México-Querétaro. Notimex. Agencia de Noticias de Estado Mexicano. Enero 30. México. Extraído de <http://www.notimex.com.mx/acciones/verNota.php?clv=239056>
- NU. (2008). Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas (p. 19). New York, NY. Extraído de http://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/DRIPS_es.pdf
- ObrasWeb. (2015). Sería viable cambiar trenes en Línea 12, si técnicamente es necesario. ObrasWeb. Caso Línea 12. Extraído de <http://www.obrasweb.mx/construccion/2015/01/20/seria-viable-cambiar-trenes-en-linea-12-si-tecnicamente-es-necesario>
- OCDE. (1997). National Innovation Systems (p. 49). Paris. Extraído de <http://www.oecd.org/science/inno/2101733.pdf>
- (2005). Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación (3a ed., p. 194). Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos; Oficina de Estadísticas de las Comunidades Europeas (Eurostat).
- OIT. (1989). Convenio 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes (p. 20). México: Oficina Internacional del Trabajo. Extraído de http://www.cdi.gob.mx/transparencia/convenio169_oit.pdf
- Olivé, L. (2000). El bien, el mal y la razón. Facetas de la ciencia y la tecnología. México: Paidós.

- (2007). La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. Ética, política y epistemología (p. 238). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- (2011). Ciencia y tecnología: algunos desafíos para la ética. En L. Olivé y R. Pérez-Tamayo (Eds.), Temas de ética y epistemología de la ciencia: diálogos entre un filósofo y un científico (p. 111). México: Fondo de Cultura Económica.
- OMC. (2014). Principio de precaución. Organización Mundial de Comercio. Módulo de capacitación sobre el acuerdo MSF (Medidas Sanitarias y Fitosanitarias): Capítulo 8, cuestiones actuales. 8.2. Extraído en Agosto 27, 2014, de https://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/sps_agreement_cbt_s/c8s2p1_s.htm
- Ordóñez-Cifuentes, J. E. R. (2011). Declaración Universal de los Derechos de los Pueblos Originarios Convenio 169 de OIT administración de justicia indígena. Perduración de la herencia colonial. En J. E. R. Ordóñez-Cifuentes (Ed.), XVIII jornadas lascasianas Internacionales. Padre/madre: nuestro maíz (pp. 75–86). México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM. Serie: Memorias. Núm. 2. Extraído de <http://www.biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2898/10.pdf>
- Ordoñez, J. (2003). Ciencia, Tecnología e Historia. (Cuadernos de la Cátedra Alfonso Reyes del Tecnológico de Monterrey, Ed.) (p. 118). México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Fondo de Cultura Económica.
- Ortega-y-Gasset, J. (1939). Meditación de la técnica. Buenos Aires, Argentina. Extraído de http://francescllorens.files.wordpress.com/2013/02/ortega_meditacion_tecnica.pdf
- Pazos, F. (2014). Trazan ruta para extender Línea A. Excélsior. Agosto 20. México.
- Pearce, D., y Atkinson, G. (1992). Are National Economies Sustainable? Measuring Sustainable Development (No. CSERGE Working Paper GEC 92-11) (p. 15). London; Norwich.
- Peña Nieto, E. (2013). Plan Nacional de Desarrollo (p. 184). México.
- Pérez, C. (1992). Cambio técnico, restructuración competitiva y reforma institucional en los países en desarrollo. El Trimestre Económico, (223), 23–64.

- (2001). Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Revista de La CEPAL*, (75), 115–136.
- Peters Lammel, R. (2015). Ingenieros mexicanos, capaces de manufacturar trenes de alta velocidad. Por Raúl Serrano. *Investigación Y Desarrollo*. Extraído de <http://www.invdes.com.mx/suplemento-mobil/6424-ingenieros-mexicanos-capaces-de-manufacturar-trenes-de-alta-velocidad>
- Peterson, T. R. (1997). Sustainable Development Comes of Age. In *Sharing the Earth: The rhetoric of sustainable development* (pp. 6–33). Columbia: University of South Carolina Press.
- Polanyi, K. (2003). *La gran transformación: los orígenes políticos y económicos de nuestro tiempo*. 2a ed. (p. 399). México: Fondo de Cultura Económica (primera edición [1944]).
- Porter, M. E. (1987). *Ventaja competitiva* (p. 556). México: CECSA.
- Presidencia. (2014). 5 Datos sobre los Pueblos Indígenas en México. Extraído en Octubre 16, 2014, de <http://www.presidencia.gob.mx/5-datos-sobre-los-pueblos-indigenas-en-mexico/>
- ProMéxico. (2014). *Plan nacional de vuelo. Industria aeroespacial mexicana. Mapa de ruta 2014* (p. 67). México. Extraído de www.promexico.gob.mx
- Queraltó, R. (2008). *La Estrategia de Ulises o Ética para una Sociedad Tecnológica* (p. 245). Sevilla: Doss.
- Quintanilla-Fisac, M. Á. (2005). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología* (p. 295). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Rama. (2013). *Imagen bogie de metro*. Extraído de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bogie-metro-Meteor-p1010692.jpg>
- Riguzzi, P. (1996). Los Caminos del Atraso: Tecnología, Instituciones e Inversión en los Ferrocarriles Mexicanos, 1850- 1900. En S. Kuntz y P. Riguzzi (Eds.), *Ferrocarriles y Vida Económica en México, 1850- 1950. Del Surgimiento Tardío al Decaimiento Precoz*

(pp. 31–97). México: El Colegio Mexiquense / UAM Xochimilco / Ferrocarriles Nacionales de México.

RLGEEPAMEIA. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (2012). México: Diario Oficial de la Federación 26-04-2012.

Rosenzweig, F. (1994). La industria. En D. Cosío Villegas y Colegio Nacional (Eds.), *Historia Moderna de México. El Porfiriato. La vida económica*, tomo I. 4a ed. (pp. 311–481). México: Editorial Hermes.

Ruano Gómez, A. (2007). Las líneas de Alta Velocidad frente a las convencionales. *Adaptación de las líneas convencionales a Velocidad Alta*. Universitat Politècnica de Catalunya. Extraído de <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/5938>

Ruiz-Esparza, G. (2013). 1er Informe de Labores (p. 130). México.

Sábato, J. A., y Botana, N. (1968). La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. *Revista de La Integración, INTAL*, Año 1(3), 15–36. Extraído de http://www.iadb.org/intal/intalcdi/Revista_Integracion/documentos/e_REVINTEG_003_1968_Estudios_01.pdf

Schilvelbusch, W. (1986). *The Railway Journey - The Industrialization of Time and Space in the 19th Century* (p. 203). Berkeley: The University of California Press.

Schumacher, E. F. (2011). *Lo pequeño es hermoso: Economía como si la gente importara* (p. 368). Madrid: Akal.

Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. (Transl. by Redvers Opie, Ed.). Harvard: Harvard University Press.

SCT. Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal. (1997). México: Diario Oficial de la Federación 07-01-1997.

- Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-048/1-SCT2-2000, Para durmiente de concreto. Parte 1-Durmiente monolítico. (2000). México: Diario Oficial de la Federación 05-07-2000.
- (2008). Trenes Suburbanos de la zona metropolitana del Valle de México. En Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Ed.), Seminario Internacional de Políticas Públicas y Mecanismos para el Fomento de la Eficiencia Energética en Latinoamérica (p. 42). Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). Extraído de http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6153/2/innovaciones_transporte_publico.pdf
- (2012). Libro Blanco. Sistema 1 del tren Suburbano ruta Buenavista-Cuautitlán (p. 46). México. Extraído de http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/LB_Sistema_1_del_Tren_Suburbano_de_la_Zona_Metropolitana_del_Valle_de_Mexico__Ruta_Cuautitlan-Bue_01.pdf
- (2013). Anuario Estadístico 2012 (p. 246). México.
- (2014a). Licitación Pública Internacional Abierta LO-009000988-I55-2014. Fallo. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- (2014b). Manifestación de impacto ambiental modalidad regional para el proyecto denominado tren de pasajeros México-Querétaro (p. 755). México.
- (2014c). Montarán las últimas siete traveses en el distribuidor vial Palmira. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Comunicación Social. Extraído de <http://www.sct.gob.mx/uploads/media/COMUNICADO-378-2014.pdf>
- SCT, y IMT. (2001). Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos por la construcción y conservación de superficies de rodamiento: II pavimentos rígidos. Publicación Técnica No. 173 (p. 120). Sanfandilla Querétaro. doi:Publicación Técnica No. 173
- (2012). Manual estadístico del sector transporte (p. 304). Sanfandilla Querétaro.

- SE-DGIPAT (2012). Industria aeronáutica en México. Secretaría de Economía Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología (p. 51). México. Extraído de http://www.economia.gob.mx/files/Monografia_Industria_Aeronautica.pdf
- SEMARNAT. (2008). MIA - regional (p. 57). México. Extraído de <http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGIRA/Guia/MIARegional/MIARegional.pdf>
- SEMARNAT, y INECC. (2012). México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (p. 399). México. Extraído de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/685.pdf>
- Sen, A. (1979). Equality of What? (p. 26). Extraído de http://tannerlectures.utah.edu/_documents/a-to-z/s/sen80.pdf
- (2004). Development as Capability Expansion. En S. Fukuda-Parr y A. K. Shiva-Kumar (Eds.), Readings in human development: Concepts, measures and policies for a development paradigm (pp. 3–16). New York, NY: Oxford University Press.
- Shrader-Frechette, K. S. (1991). Risk and rationality: philosophical foundations for populist reforms. Berkeley: University of California Press.
- Smith, A. (1776). Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones. London: W. Strahan y T. Cadell.
- STC Metro. (2014a). Afluencia de estación por línea 2014. Portal de información del Metro. Extraído de <http://www.metro.df.gob.mx/operacion/afluencia.html>
- (2014b). Línea 12. Línea dorada. Portal de información del Metro. Extraído en Julio 02, 2015, de http://www.metro.df.gob.mx/red/linea12_1.html#de
- (2014c). Línea A. Portal de información del Metro. Extraído en Julio 02, 2015, de <http://www.metro.df.gob.mx/red/lineaa.html#de>
- (2014d). Parque vehicular. Portal de información del Metro. Extraído en Julio 02, 2015, de <http://www.metro.df.gob.mx/operacion/>
- (2015). Pedro Infante viven en la memoria de los mexicanos: recorre en un tren la Línea B del Metro. Portal de información del Metro. Extraído en Julio 02, 2015, de

http://www.metro.df.gob.mx/comunicados/detalleComunicados.html?id_comunicado=1145

- Steffen, W., Crutzen, J., y McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of Nature? *Ambio*, 36(8), 614–21. Extraído de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18240674>
- Strauss, E. (1963). *The primary world of the senses; a vindication of sensory experience*. 2a ed. (p. 428). New York, NY; London: Free Press of Glencoe.
- SYSTRA. (2014). Metro de la Ciudad de México. Diagnóstico de la Línea 12. Informe final (p. 166). México. doi:MEX-S117-REP-0012-B
- Teixeira, P. F. (2005). Contribución a la reducción de los costes de mantenimiento de vías de alta velocidad mediante la optimización de su rigidez vertical. Universitat Politècnica de Catalunya. Extraído de <http://www.tdx.cat/handle/10803/6621>
- Thompson, E. P. (1967). Time, Work-discipline and Industrial Capitalism. Past and Present, *A Journal of Historical Studies*, 38, 56–97.
- UNAM. (2015). En marcha, el túnel de viento en la UNAM. Boletín UNAM-DGCS-070. Extraído en Julio 02, 2015, de http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_070.html
- UNCTAD. (2013). Informe sobre las inversiones en el mundo 2013: Panorama General (p. 52). New York, NY; Ginebra. Extraído de http://unctad.org/es/PublicationsLibrary/wir2013overview_es.pdf
- Vemuri, A. W., y Costanza, R. (2006). The role of human, social, built, and natural capital in explaining life satisfaction at the country level: Toward a National Well-Being Index (NWI). *Ecological Economics*, 58(1), 119–133. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.02.008
- Villavicencio-Carbajal, D. (2000). La innovación en las empresas como espacio de análisis sociológico. *Sociología Del Trabajo*, 40 (otoño), 59–78.
- (2005). El conocimiento tácito y la valorización del trabajo colectivo en los procesos de innovación. *Trabajo*, (1, julio-diciembre), 99–122.

- Villavicencio-Carbajal, D., y Arvanitis, R. (1994). Transferencia de tecnología y aprendizaje tecnológico: Reflexiones basadas en trabajos empíricos. *El Trimestre Económico*, 61(2), 257–279.
- Wallerstein, I. (1988). *El capitalismo histórico* (p. 104). México: Siglo XXI editores.
- (2000). *The essential Wallerstein* (p. 492). New York, NY: The New Press.
- (2011). *The Modern World-System IV: Centrist Liberalism Triumphant, 1789–1914*. *New Political Science* (Vol. 34, pp. 428–431). Berkeley: University of California Press. doi:10.1080/07393148.2012.703869
- Weber, M. (1991). *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*. (J. C. Martínez, Ed.). 9A ed (1a ed. [1905], p. 173). Puebla: Premia editora de libros. Extraído de <http://investigacion.politicas.unam.mx/teoriasociologicaparatodos/pdf/Teor%EDa2/Weber - La %E9tica protestante y el esp%EDritu del capitalismo.pdf>
- Webster, A. (1991). *Science, Technology and Society. New directions* (p. 181). London: Palgrave Macmillan Limited.
- Whitrow, G. W. (1990). *El Tiempo en la Historia - evolución de nuestro sentido del tiempo y de la perspectiva temporal*. Barcelona: Crítica.
- Winner, L. (1986). *The whale and the reactor: A search for limits in an age of high technology* (p. 200). Chicago: The University of Chicago Press.

ANEXO A

DIFERENCIAS ENTRE TRENES DE ALTA VELOCIDAD Y CONVENCIONALES

Infraestructura

Al respecto de la infraestructura, Ruano Gómez (2007) establece que las diferencias pueden ser en:

- Características geométricas
- Superestructura: carril, aparatos de vía, traviesas, sujeciones, placa de asiento y vía en placa
- Infraestructura: capas de asiento, rigidez vertical y plataforma
- Obras civiles: pasos superiores, inferiores y a nivel, puentes y túneles

Características geométricas

Las características geométricas se refiere a la geometría de la infraestructura de la vía. Estas características son constituidas por:

- ancho de vía,
- calidad geométrica,
- entrevía,
- inclinación del carril,
- trazado y,
- gálibos.

La velocidad de los trenes tiene influencia en la geometría. En primer lugar, las distancias de anchura promedio de plataforma y del eje de la vía al poste de catenaria aumentan con la velocidad máxima de diseño; de tal forma que para un tren que corre a 140 km/h la anchura de plataforma recomendada es de 12,708 mm, mientras que para uno que corre a 250 km/h es de 13,300 mm; la distancia del eje de la vía al poste de catenaria es de 300 cm para 140 km/h y 310 cm para 250 km/h (López Pita, 2005).

El ancho de vía para los trenes de alta velocidad es el internacional de 1,435 mm; sin embargo, las tolerancias al ancho de vía en una línea convencional son de -7 y +20 mm, mientras que en una con velocidades superiores a los 280 km/h son de -1 y +5, es decir, la tolerancia es mucho menor para la alta velocidad, lo que requiere de una calidad geométrica superior (Ruano Gómez, 2007).

Los parámetros relevantes para la calidad geométrica de la vía son (Ruano Gómez, 2007): Ancho de vía, alineación, nivelación longitudinal, nivelación transversal y alabeo. Estos parámetros son muy relevantes para garantizar la seguridad, confiabilidad y confort de la infraestructura, y cambian durante el tiempo de funcionamiento del sistema, por lo que deben ser monitoreados y deben recibir mantenimiento.

La alineación está determinada por el hilo director definido en el proyecto y su proyección horizontal, a partir del hilo director, se lleva un ancho de vía a un lado de su proyección horizontal y se obtiene la alineación teórica del otro hilo. El factor que rige la alineación es la tolerancia al ancho de vía ya establecida.

La nivelación longitudinal es el parámetro que define la cota de la superficie de rodadura de un hilo de la vía, referida a un plano de comparación; las desviaciones sobre el plano podrían repercutir en crestas o valles que comprometan la homogeneidad de la superficie de rodadura y, por ende, la funcionalidad.

La nivelación transversal es la diferencia de cota existente entre las superficies de rodadura de los dos carriles de una vía en la sección normal al eje de la vía; en términos coloquiales suele hablarse de peralte, pero para la calidad geométrica se denomina nivelación transversal.

El alabeo en la sección transversal de una vía se define como la distancia existente entre el punto de apoyo teórico de una de las ruedas y el plano determinado por los puntos de apoyo reales de las otras tres, cuando el eje delantero se encuentra situado en la citada sección transversal, si se considera las cuatro ruedas de un vagón o de un bogie de dos ejes. La

base con la cual se mide el alabeo depende de la separación entre los ejes delantero y trasero en cuestión; el alabeo se expresa en milímetros por metro.

Para evaluar la calidad geométrica de la vía se utilizan vehículos de inspección geométrica que miden cada parámetro. Para las líneas convencionales se ponderan los defectos existentes en los diferentes parámetros que determinan la calidad geométrica de la vía; mientras que para las vías de alta velocidad, se califica de forma independiente cada parámetro. Para las líneas de alta velocidad, las exigencias de calidad geométrica de vía son mucho mayores que para las líneas convencionales (Tabla A.1)

Tabla A.1. Influencia de la velocidad en la calidad de la vía.

Tipo de línea	Alineación (mm)	Nivelación longitudinal (mm)	Alabeo (mm/m)	Nivelación transversal (mm)
Línea convencional	±5	±5	2-3	±5
Línea de Alta Velocidad	3.5	2.5	1.5	2

Fuente: López Pita (2005).

La entrevía es la distancia entre los dos ejes de vías contiguas medida en dirección transversal. Esta distancia debe considerar la resistencia de las cajas de los vehículos a los esfuerzos aerodinámicos en los cruces de trenes. Entre mayor sea la velocidad, los esfuerzos aerodinámicos serán mayores. Las entrevías para trenes convencionales suelen ser de 3.60 a 4.00 m, mientras que para los de alta velocidad suelen ser de 4.20 a 5.00 m (Ruano Gómez, 2007); de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI), para las nuevas líneas de alta velocidad se recomiendan vías de al menos 4.50 m.

A medida que aumenta la velocidad, aumenta la inestabilidad del vehículo, por lo que son necesarias entrevías más amplias. Por ello, la tendencia actual es aumentar la entrevía en la previsión de contar con trenes de alta velocidad.

El carril actúa como dispositivo de sustentación y de guiado de las ruedas de los trenes, por lo que constituye el elemento principal de las vías. A fin de resistir de mejor manera las

acciones a las que está sujeto, en su montaje es necesario darle una inclinación, por lo que tiene un desplomado hacia el interior. La inclinación del carril se define como el ángulo entre el eje de simetría del perfil nuevo del carril fijado sobre su soporte y la perpendicular al plano de rodadura. La inclinación del carril tiene como función aportar estabilidad a la marcha de los bogies, por lo que es crítico para la estabilidad del sistema.

La inclinación del carril es fundamentalmente la misma para trenes convencionales y para los de alta velocidad, $1/20$; pues su diseño obedece principalmente al acople con los perfiles de las ruedas del material rodante.

El trazado se configura con dos aspectos fundamentales; las alineaciones en planta y el alzado. Las alineaciones a su vez se componen de rectas, curvas y curvas de transición. Para el caso de los trenes de alta velocidad, los radios mínimos de curva son más amplios que los de los trenes convencionales; cuanto más velocidad, mayor será el radio mínimo de curva. Por ejemplo, según la normativa RENFE NRV 0200 y NRV 0201, para ancho de vía estándar, a 200 km/h el radio mínimo es de 2,100 m; mientras que a 300 km/h el radio mínimo es de 4,700 m. En España los radios de curvas habituales son de 1,000 m para líneas convencionales y de 5,000 a 7,000 m para alta velocidad. De acuerdo con Ruano Gómez (2007), dada la proyección de nuevas líneas de alta velocidad, se han aumentado los radios para poder tener circulación de trenes a 350 km/h sin tener que recurrir a peraltes elevados, lo que ayuda a conservar la plataforma ferroviaria.

El peralte es la diferencia de cota entre las superficies de rodadura de los dos carriles de una vía dentro de una misma sección normal. El peralte se presenta en las secciones curvas y tiene un valor constante. En la curva de transición, entre una recta y una curva circular, el peralte varía de manera lineal a lo largo de la curva de transición hasta alcanzar el valor de peralte de la curva circular.

Dado que una de las principales funciones del peralte es compensar el efecto de la fuerza centrífuga en curva, se puede definir un peralte teórico que es el que se obtiene por la anulación de la fuerza centrífuga a la que se encuentra el vehículo al recorrer una curva a al

velocidad de proyecto; el peralte práctico es el que realmente tiene la vía. Para vías de alta velocidad, suele existir insuficiencia de peralte, es decir, una diferencia entre el peralte teórico y el peralte práctico. A veces es conveniente limitar el peralte, pues si un tren se detiene en una curva el peralte podría provocar un desplazamiento de carga y un arranque con dificultades, el desgaste en el carril bajo tiende a ser mayor con peraltes grandes, el mantenimiento de una vía con peralte excesivo se vuelve dificultoso.

El peralte máximo para líneas de alta velocidad para tráfico de viajeros es de 200 mm, mientras que para una línea convencional es de 160 mm (Ruano Gómez, 2007); mientras que la insuficiencia de peralte puede tener un valor límite de 60 a 80 mm para líneas con velocidades de 300 km/h, y de 115 mm para líneas convencionales.

Cabe hacer notar que las características de las vías deben estar en concordancia con el material rodante que por ellas circulará; hay mecanismos de compensación centrífuga en los trenes, como los sistemas de basculación, que permiten adoptar valores de insuficiencia mayores. El acople entre vía y material rodante es un factor fundamental en el diseño de los ferrocarriles vistos como un sistema.

El trazado en alzado tiene, como elementos fundamentales, la inclinación de rasantes y las curvas de unión entre rasantes diferentes. En cuanto a la inclinación de rasantes, el valor de rampa máxima es uno de los dos parámetros más importantes en el diseño del trazado de la línea -el otro parámetro es el valor del radio máximo-. Una rampa máxima con valores bajos genera sobrecostos por la construcción de obras de arte -viaductos y túneles-; mientras que una rampa máxima con valores altos necesita de material rodante con mayor potencia, tanto motriz como de frenado. La elección del valor máximo de pendiente está en relación con la orografía -que impacta necesariamente en los costos de construcción- y las restricciones impuestas por el material rodante.

De acuerdo con las ETI y las normas RENFE (NRV 0200 y 0201) las líneas convencionales -que suelen ser de tráfico mixto- tienen pendientes máximas recomendables de 20% a velocidades de hasta 140 km/h; mientras que las líneas de alta velocidad de servicio de

viajeros, tienen pendientes máximas de hasta 25%. La razón de la diferencia es que los trenes más pesados -como los de carga- requieren de pendientes más suaves para poder arrancar y frenar en cualquier punto del trazado; también influye que a grandes pendientes, puede haber una falta de potencia que obligue a circular en velocidades bajas, lo que aumenta el desgaste de vías debido al exceso de peralte, con el consecuente aumento en los costos de mantenimiento. De acuerdo con Ruano Gómez (2007), la tendencia en los trenes de alta velocidad es a aumentar el valor de rampa máxima a fin de disminuir los costos de construcción, dado que la tecnología en los vehículos de alta velocidad mejora cada año, por lo que cada modelo nuevo puede superar pendientes mayores a sus antecesores.

Las curvas de transición en alzado se encargan de cambiar la pendiente de la rasante; para trenes suelen ser circulares, por lo que se miden en radios verticales. Las curvas verticales pueden generar sensaciones incómodas a los viajeros debido a la aceleración centrífuga, por lo que, a mayor velocidad, se suelen trazar curvas con radios mayores. Por razones de confort, las líneas convencionales tienen radios verticales recomendables de 9,800 m para 140 km/h de velocidad; mientras que las líneas de alta velocidad tienen radios recomendables de 31,250 m para velocidades de 250 km/h, 45,000 m para velocidades de 300 km/h y 61,250 m para velocidades de 350 km/h (Ruano Gómez, 2007).

Los gálibos, en el argot de ferrocarriles, se refiere regularmente al contorno poligonal que debe quedar libre por encima de las vías para el paso de material rodante (FCMAF, 2015), es decir, la distancia mínima de paso que deben permitir los túneles, puentes y otras estructuras (gálibo cinemático); también a la cercanía de postes, semáforos, señales y el resto de objetos contiguos a las vía (gálibo de implantación). También pueden marcar la medida máxima de vagones y vehículos que pueden circular por una vía férrea determinada.

El gálibo cinemático suele dividirse en partes altas y partes bajas. Para calcularlas se toma en cuenta diversos factores, como el ancho de caja del material rodante, la inclinación de los carros, si es en curva o en recta, y un espacio de seguridad. Como una referencia, para líneas españolas, el gálibo cinemático de partes altas en líneas convencionales es de 3,440

mm en total, mientras que en alta velocidad es de 3,840 mm. La diferencia es también apreciable en los gálibos de implantación de obstáculos; para línea convencional es de 4,300 mm, y para alta velocidad es de 4,700.

Superestructura

La superestructura está regularmente compuesta por:

- carril,
- los aparatos de vía,
- las sujeciones del carril,
- las traviesas y las placas de asiento.

También se puede incluir aquí la llamada vía en placa.

El carril está hecho a base de acero, es el elemento que sustenta al material rodante, se usa como guía y soporta las acciones dinámicas provocadas por la velocidad. Se compone de cabeza, alma y patín. Hay diferentes tipos de carriles, de acuerdo con su peso por metro lineal. En las líneas convencionales de 140 km/h se suelen utilizar carriles UIC 54, con una masa métrica de 54.77 kg/m; mientras que las líneas de alta velocidad suelen tener carriles UIC 60, con una masa métrica de 60.34 kg/, (ALAF, 2004).

Los cupones de líneas tradicionales suelen tener una longitud de 6 m, mientras que los de alta velocidad tienen una longitud de 12 m; la unión entre cupones de carriles para líneas tradicionales se suelen hacer en taller a partir de juntas, mientras que los carriles de alta velocidad se unen a base de soldaduras eléctricas. A medida que aumenta la velocidad se mejoran las condiciones de unión entre cupones y se disminuyen el número de soldaduras.

Los aparatos de vía principales son los desvíos, que sirven para cambiar de vías. En líneas de alta velocidad los desvíos suelen tener radios mayores que en líneas tradicionales, por lo que se aumenta la zona en la que las ruedas no tienen apoyo, llamadas lagunas; para disminuir las lagunas y tener una superficie continua de rodadura con un ángulo de corazón

pequeño, se utilizan desvíos llamados de corazón de punta móvil, que son diferentes a los desvíos de líneas tradicionales, que son tangenciales.

La traviesa o durmiente es un elemento que se sitúa en dirección transversal al eje de la vía, sirve de sostenimiento del carril y se encarga de transmitir y repartir las cargas a la banqueta de balastro; también soportan los carriles y aseguran su posición, separación e inclinación. De acuerdo con Ruano Gómez (2007), tanto las líneas convencionales como las de alta velocidad utilizan traviesas de monobloque. En México se utilizan durmientes de hormigón armado que cumplen con el Proyecto de Norma Oficial Mexicana “PROY-NOM-048/1-SCT2-2000” (SCT, 2000) , que son adecuados para líneas de alta velocidad.

La sujeción es el elemento que fija el carril a la traviesa; por tal, debe asegurar la invariabilidad del ancho de vía. Las traviesas de hormigón llevan sujeciones elásticas, pues deben permitir absorber las acciones mecánicas ejercidas sobre las vías. Estas sujeciones ya son utilizadas en México.

Las placas de asiento son elementos que se interponen entre el carril y la traviesa, a fin de proteger ambos elementos y permitir un buen asiento del carril en la traviesa, tanto para mantener la inclinación, como el ancho de vía. En traviesas de hormigón se utilizan placas elásticas de caucho o polietileno. Las líneas de alta velocidad requieren de placas con menor rigidez que las convencionales, con 100 kN/mm contra 500 kN/mm respectivamente.

Los aparatos de dilatación se encargan de mantener la continuidad de la vía, a través de la regulación de movimientos relativos; cuando un tren circula sobre una vía, ésta se calienta y, por ende, se dilata, lo que provoca una expansión que puede deformar la vía. Para evitar esto, se utilizan los aparatos de dilatación. Las líneas de alta velocidad precisan de aparatos de dilatación, sobre todo en viaductos, con carreras de más de 1,000 mm.

La vía en placa se una estructura de vía en la que la una losa de hormigón ha sustituido a la banqueta de balastro; los elementos de apoyo del carril y de estabilización de la vía se colocan mayoritariamente dentro de la losa. Este tipo de vía se suele instalar en tramos

específicos, como los carriles embebidos en estaciones o en tramos con muchas obras de arte. Aunque su mantenimiento es menos costoso que el de una vía en balastro, su instalación resulta un 30% - 40% más costosa.

Infraestructura

Se llama infraestructura en este apartado a los elementos que conforman el soporte que requiere una vía. En general hay tres elementos relevantes, las capas de asiento (importantemente el balastro), la rigidez vertical de la vía y la plataforma.

En cuanto a la capa de asiento, hay dos diferencias relevantes entre las vías convencionales y las de alta velocidad, por un lado está la configuración de la capa de asiento, por otro, el mismo balastro. Las líneas convencionales tienen una configuración típica de capa de asiento conformada por una capa de balastro de 25 cm como media, soportada sobre una plataforma; esto proporciona el soporte que requieren las traviesas de la vía. En las líneas de alta velocidad se requiere mejorar la rigidez vertical de la vía mediante una mejor distribución de los esfuerzos a los que está sometida; esto se logra con una configuración diferente de la capa de asiento. Las líneas de alta velocidad suelen tener una capa de balastro de 35 cm como media, una capa de sub-balastro de 25 cm, una capa de grava de 20 cm y una capa de arena de 15 cm sobre la plataforma; de este modo se mejora la rigidez vertical de la vía, se mejora la distribución de las presiones, pero se evita a la vez posibles deformaciones de la capa de balastro.

El balastro utilizado en las líneas de alta velocidad debe tener un mejor desempeño que el de las líneas convencionales; es decir, debe tener mayor resistencia al choque y a la abrasión (menos frágil). El ensayo de Deval es la prueba mediante la cual se mide la fragilidad de un árido, mediante esta prueba se obtiene el coeficiente de Deval, a mayor coeficiente, menor fragilidad del material. El ensayo de Los Ángeles refleja la resistencia al impacto, el coeficiente de Los Ángeles mide la diferencia de peso entre una muestra sin ensayar y una muestra sometida a un proceso abrasivo, a menor índice de Los Ángeles, mayor resistencia al choque. Para una línea convencional se requiere balastro con un coeficiente de Deval

superior a 8 y un coeficiente de Los Ángeles inferior a 18; mientras que para una de alta velocidad, el coeficiente de Deval debe ser superior a 12, y el de Los Ángeles, inferior a 15.

La rigidez vertical de la vía depende de la rigidez de los componentes: carril, placa de asiento, fijaciones, balastro, sub-balastro y plataforma. La rigidez debe ser óptima ante dos efectos contrapuestos: para evitar deformaciones verticales o deflexiones en el carril (solicitaciones dinámicas verticales), pero evitar a la vez una disipación de potencia en la vía -lo que aumentaría los costos de tracción-. Fonseca Teixeira (2004) indica que para líneas con velocidades de hasta 200 km/h la rigidez vertical óptima de la vía debería ser al rededor de 50 - 60 kN/mm; mientras que para líneas con velocidades de 300 km/h, debería ser de 78 kN/mm. Estos requerimientos se cumplen con el sistema de las capas de asiento que sostienen las traviesas, y con los elementos de apoyo y sujeción de los rieles ya descritos.

La plataforma es la estructura construida sobre la explanación que sustenta las capas de asiento, la vía y los dispositivos de control de movimiento de los trenes. Está formada por el terreno, en caso de desmontes, o por suelos de aportación, en el caso de terraplén en el relleno de una depresión. Debe tener pendientes transversales para la evacuación de aguas pluviales. Para líneas de alta velocidad se requieren plataformas de mayor calidad que en las convencionales, para evitar diferencias en el terreno que produzcan deformaciones que pueden ser peligrosas a altas velocidades.

Obras civiles

También llamadas obras de arte, se componen sobre todo por puentes o viaductos, túneles, pasos superiores, inferiores y a nivel.

En cuanto a los pasos superiores e inferiores, no hay diferencias significativas entre las líneas convencionales y las de alta velocidad (Ruano Gómez, 2007). En líneas de alta velocidad, así como en convencionales con velocidades superiores a 140 km/h, no hay pasos a nivel. Al respecto, cabe señalar que las líneas de alta velocidad precisan de cerramiento de toda la línea.

En cuanto a los puentes o viaductos, todos los ferroviarios son estructuras muy rígidas, que deben soportar cargas elevadas debido al balastro y al peso de los trenes, además, deben soportar fuerzas horizontales derivadas de las interacciones vía-tablero, del frenado y arranque de vehículos y a fuerzas sísmicas y eólicas. Una diferencia relevante entre los puentes de vías de alta velocidad y los de vías convencionales es la longitud que suelen tener; las vías convencionales corren sobre trazos más sinuosos, con radios e curva menores, lo que facilita buscar un trazo con puentes cortos y de poca altura, mientras que las líneas de alta velocidad demandan trazos más rectos, por lo que las especificidades del terreno deben ser superadas mediante puentes (y túneles) más largos, altos, rectos y rígidos.

En cuanto a los efectos dinámicos que soportan los puentes de líneas de alta velocidad, además de los provocados por la carga móvil, hay que considerar la resonancia que es un factor relevante para velocidades superiores a 220 km/h. El cálculo dinámico de puentes para líneas de alta velocidad debe ser exhaustivo, a diferencia de las líneas convencionales, en las que es suficiente con una comprobación de frecuencia. La resonancia en trenes de alta velocidad puede generar una rápida trituración de la capa de balastro, la formación de espacios huecos bajo las traviesas y el deterioro de la nivelación longitudinal y transversal de la vía.

Los puentes de líneas de alta velocidad, al ser característicamente más largos, están sujetos a acciones transversales y longitudinales mayores a los de líneas convencionales, por efectos del viento y de movimientos sísmicos; este factor también se debe tomar en cuenta para el cálculo de puentes.

La interacción vía-tablero se comporta de manera sistémica, pues interactúan a través de traviesa y balastro. Los movimientos de la vía respecto del balastro suelen ocurrir por variaciones de temperatura del carril, frenado y arranque de los vehículos y flexión del tablero. Para reducir este fenómeno se suelen utilizar los aparatos de dilatación descritos en la superestructura.

La diferencia básica entre los túneles de líneas convencionales y de alta velocidad está en las dimensiones de la sección transversal. Debido a la velocidad de los trenes, las líneas de alta velocidad tienen efectos aerodinámicos en los túneles mucho mayores que las convencionales, por ejemplo el efecto pistón, que es el que se genera por la presión del aire al ser empujado por el tren dentro de un túnel; también el rozamiento túnel-aire-tren es mayor; por lo que la sección de los túneles en líneas de alta velocidad es mucho mayor a fin de amortiguar estos efectos. Para una línea convencional de vía doble, la sección típica de túnel es de 40-50 m², mientras que para altas velocidades la sección típica es de 70-110 m².

Construcción

Se puede dividir en dos fases consecutivas, la construcción de la plataforma y el montaje de la vía.

Construcción de la plataforma

De acuerdo con Ruano Gómez (2007), la construcción de la plataforma, tanto en líneas convencionales como de alta velocidad, tiene seis fases:

1. Determinación y replanteo de la traza
2. Consolidación del terreno de asiento de las obras de tierra
3. Construcción de puentes y túneles
4. Realización de obras de fábrica
5. Realización de obras de tierra
6. Ejecución de postes de electrificación, cunetas, canalizaciones, pozos y tomas de tierra

La principal diferencia entre la construcción de líneas tradicionales y de alta velocidad está en cuanto a la cantidad y calidad de las obras; aunque en ambos casos se utilizan básicamente los mismos procedimientos de ejecución y métodos.

La principal diferencia en la construcción de puentes y túneles estriba en que las líneas convencionales, en su mayoría, se construyeron en los siglos XIX y XX; mientras que las de alta velocidad son principalmente del siglo XXI. Dado el avance tecnológico, los métodos de construcción utilizados se han actualizado, no sólo (no principalmente) por las exigencias de la alta velocidad, sino por la diferencia de época histórica.

Derivado de las nuevas exigencias medioambientales, las obras de alta velocidad cuentan con más y mejores obras de fábrica, como los pasos de fauna con luces más grandes y mejor integración paisajística. Ello se deriva, no tanto de la técnica de construcción, sino del diseño.

Dadas las exigencias de trazo de las líneas de alta velocidad, en su construcción suele tener lugar una gran cantidad de movimientos de tierra, superiores a los que ocurren en la construcción de líneas convencionales. Este factor suele tomarse en cuenta desde la planeación de la línea y es un elemento considerado en las manifestaciones de impacto ambiental (MIA); al menos para el caso del Tren México-Querétaro, este factor está considerado.

Los terraplenes constituyen un elemento clave para la conservación de las vías de alta velocidad, cuya calidad geométrica es mucho más demandante que las líneas convencionales. Después de construidos los terraplenes suelen tener movimientos verticales debido a que el material se asienta (asientos post-constructivos) y también a las dinámicas derivadas del paso del tren. Otro factor es que el paso de un tren a alta velocidad puede hacer volar el balastro, que golpea sobre el sistema de rodadura o de frenado del tren.

Por lo anterior, autores como Melis Maynar (2006a, b, c, 2007) o Molinar Yago (2009) sugieren el uso de vía en placa, práctica adoptada por países como Japón o Alemania para sus líneas de alta velocidad. El problema que tienen estos sistemas es su alto costo de instalación; también que, aunque suelen deformarse menos que la vía en balastro, una deformación de vía en placa es mucho más difícil y costosa de reparar; los esfuerzos a los

que está sujeta una vía en placa en pendientes pueden causar deformaciones con relativa facilidad.

Otra solución es reducir el asiento de terraplenes mediante diferentes técnicas, como la ejecución de columnas de grava, la aplicación de precarga, bajar la rasante, entre otras.

montaje de vía

El montaje de vía se realiza mediante la repetición de cinco operaciones básicas:

1. Base de montaje y suministro de materiales
2. Colocación de vía auxiliar
3. Descarga de materiales (traviesas, sujeciones, carriles, etc)
4. Extensión de capa de balastro
5. Nivelación y estabilización

El montaje de vía varía de acuerdo con si es sobre balastro o sobre placa. El Tren México-Querétaro está planteado para ser sobre balastro, por lo que se considera este tipo de vía.

El material es suministrado regularmente por la misma vía férrea, mientras se va construyendo, por lo que la disposición de elementos necesarios para la construcción es en serie (no en paralelo); para liberar el espacio se deben disponer de cambios de vía suficientes para facilitar una circulación fluida y optimizar los tiempos de movimiento en cada ciclo.

La construcción de la base de montaje y suministro de materiales, que son estructuras donde se efectúan operaciones durante la fase de montaje de vía, así como el replanteo topográfico y la descarga de materiales son elementos que no cambian por que la vía sea convencional o de alta velocidad. Por el contrario, la extensión de la capa de balastro tiene un procedimiento diferente; para líneas convencionales se hace una sola descarga de balastro, mientras que para alta velocidad se hacen dos descargas, una de 12 a 20 cm de espesor

antes de iniciar el montaje de vía, y otra ya que está ejecutado el montaje de vía, hasta alcanzar 35 cm.

Como quedó establecido, los carriles de líneas de alta velocidad suelen ser del doble de longitud que los de vías convencionales, con barras electrosoldadas, que se unen entre sí con soldaduras aluminotérmicas o eléctricas.

Las traviesas de las líneas de alta velocidad se montan de manera similar a las de las líneas modernas de trenes convencionales, se descargan de dos en dos en el frente de montaje y se pasa una de ellas a la vía paralela para que vayan replanteadas perfectamente.

El balastro se coloca con el uso de extendedoras de balastro con cable guía o control láser que aseguran la uniformidad del balastro y el espesor, también la uniformidad granulométrica que garantiza un asiento de vía adecuado. Ya que está montada la vía sobre la primera capa, se aporta más balastro para ir levantando la vía al espesor de diseño.

La nivelación se realiza mediante bateadoras, con métodos más precisos que los requeridos en líneas tradicionales a través de múltiples levantes de vía. La estabilización dinámica se realiza con una máquina especial para esta función, cuyo efecto equivale al paso de 100,000 t de circulaciones sobre la vía. Se utiliza esta máquina después de cada levante para garantizar un buen asiento de vía.

Una vez que está hecha la primera nivelación se sueldan las barras y se liberan las tensiones internas. Debido a que la variación térmica en la soldadura puede producir efectos indeseables en la vía se debe controlar estrictamente la tolerancia en las soldaduras y la temperatura de fijación de carriles. Se puede verificar la calidad de las soldaduras visualmente con la ayuda de líquidos penetrantes, ultrasonido. La cabeza de la vía se perfila para corregir posibles daños relacionados con los trenes de trabajo. A lo largo del montaje, se precisa de tres nivelaciones.

Explotación

La explotación del sistema ferroviario incluye a los elementos que permiten la funcionalidad del mismo. De acuerdo con Ruano Gómez (2007), hay cinco aspectos relevantes para la explotación de un tren de alta velocidad: material rodante, estudio del impacto, instalaciones ferroviarias, mantenimiento y cambiadores de ancho. Dado que el estudio de impacto se analiza en los capítulos 2 y 5, y que en México no es necesario el cambio de ancho pues todas las vías en operación son estándar, sólo se toman en cuenta para este apartado los otros tres aspectos.

Material rodante

Son los vehículos capaces de circular sobre la vía férrea. Típicamente un tren suele tener tres tipos de material rodante:

- Material motor, que proporciona la tracción y no tiene capacidad de llevar carga comercial, como la locomotora
- Material remolcado, dedicado al traslado de viajeros, de mercancías o de ambos, no tiene capacidad tractora. Usualmente se separan los coches de viajeros y los vagones de mercancías de diferentes tipos
- Material autopropulsado, que tiene capacidad tractora y lleva carga comercial, típicamente pasajeros

Se distingue también a los trenes de alta velocidad de los convencionales. Los primeros son los que circulan a velocidades mínimas de 250 km/h en líneas construidas especialmente para esta circulación; también los que circulan a velocidades de 200 km/h en líneas preexistentes acondicionadas (CE, 1996). Para los fines de la presente tesis, se considera al Tren México-Querétaro como de construcción especial para alta velocidad. En México no hay trenes de alta velocidad, como queda establecido en el capítulo 5.

Los trenes de alta velocidad suelen tener diseños aerodinámicos, que ayudan a reducir, tanto los efectos aerodinámicos del tren en su paso por el túnel, como la resistencia al avance y

efecto del viento lateral sobre el tren. Otra diferencia básica de diseño es la unión articulada entre coches que tienen los trenes de alta velocidad, pues se busca una mayor solidez del tren como estructura, a fin de mejorar el comportamiento; es decir, en los trenes de alta velocidad no se pueden separar unos coches de otros, por lo que son composiciones indeformables; es además un dispositivo antivuelco y anticaballamiento.

En cuanto a la capacidad motriz, en los trenes de alta velocidad suele no distinguirse el material motor del remolcado, pues los coches son autopropulsados. Esta es una diferencia con muchos trenes convencionales, aunque cabe señalar que en los trenes suburbanos y en el sistema de transporte colectivo metro de México existen también coches autopropulsados.

Los bogies son el conjunto de pares de ruedas montadas sobre ejes paralelos que forman un carretón. Los trenes de alta velocidad requieren de bogies particulares que reduzcan los esfuerzos verticales, a fin de mejorar la estabilidad y reducir el deterioro de la vía. Las principales diferencias en los bogies de trenes de alta velocidad y convencionales se señalan en la tabla A.2.

Reducir el peso de los bogies mejora el comportamiento frente a esfuerzos transversales. La disposición de los motores en los bogies es un adelanto tecnológico que se ha incorporado también a los trenes convencionales nuevos, por lo que no es sólo por causa de la alta velocidad. La ubicación del bogie como elemento de anclaje es posible gracias a que los trenes de alta velocidad no se separan los coches; esta disposición proporciona también más estabilidad.

La tracción de los trenes de alta velocidad es típicamente eléctrica. Los trenes convencionales tiene sistemas de tracción diversos; los trenes a vapor están prácticamente extintos; sin embargo, los trenes con motores térmicos son muy comunes, tanto turbomotores, como motores a diésel; también hay trenes convencionales a tracción eléctrica, particularmente para el transporte de personas. Tal es el caso de los suburbanos y los sistemas de transporte urbano de personas, como el metro o el tren ligero.

Tabla A.2. Características de los bogies de trenes.

	Convencional	Alta Velocidad	Causa
Tipo de bogie	1 motor por eje (motor en el bogie)	1 motor por bogie (motor bajo la caja del vehículo)	Reducción de peso. Mejor comportamiento frente a esfuerzos transversales
Peso	~18-13 t	~6 t (aleaciones de Al que reducen el peso)	Reducción de peso. Mejor comportamiento frente a esfuerzos transversales
Distancia entre bogies	~18 m	~19 m	Mayor estabilidad
Empate	~2.5 m	~3 m	Mayor estabilidad transversal
Flexibilidad	12-16 t/mm	19 t/mm	Menor deterioro de la vía
Ubicación	Bajo la caja	Como elemento de anclaje	Mayor espacio Mayor confort

Fuente: Ruano Gómez, 2007.

Dentro de los trenes a tracción eléctrica hay de tracción concentrada, en los que una serie de coches son remolcados por una cabeza tractora (locomotora), y de tracción distribuida, en los que los coches tienen sistemas de tracción, por lo que el esfuerzo de tracción no recae sólo en la locomotora, sino en cada coche, o en diferentes coches a lo largo de todo el tren.

Los trenes de alta velocidad suelen tener sistemas de tracción distribuida, en especial los que desarrollan velocidades superiores a los 300 km/h, debido a que la tracción concentrada suele tener sobrecargas dinámicas que afectan a la geometría de la vía que es un parámetro clave para altas velocidades. Otra razón es que en los sistemas de tracción distribuida el peso por eje es menor que en la concentrada; en el primer caso el peso por eje llega a 12 t/eje, mientras que en el segundo, a 17 t/eje (Ruano Gómez, 2007); esta diferencia de peso reduce los esfuerzos verticales sobre la vía que, nuevamente, favorece la conservación de la geometría de la vía. Los sistemas de tracción distribuida, para el caso de trenes de alta velocidad, reparten el equipo eléctrico a lo largo de todo el tren bajo el bastidor, lo que aumenta el espacio para los viajeros.

Los trenes de alta velocidad tienen un peso menor que los convencionales, debido principalmente a cuatro factores:

- Cajas de materiales ligeros (por ejemplo, aluminio)
- Bogies más ligeros (bogie monomotor)
- Nuevos materiales y diseños en los motores de tracción
- Transformadores en motores más ligeros

Es también importante para los trenes de alta velocidad disminuir el peso no suspendido, que es el que actúa sobre la superficie del carril sin interposición de algún elemento elástico (sin ningún tipo de amortiguamiento), Para los trenes convencionales el peso no suspendido ronda las 2,8 t/eje, mientras que para los de alta velocidad es del orden de 1.4 t/eje (López Pita, 2005, Tomo I).

El sistema de frenado de los trenes de alta velocidad no tiene diferencias significativas de concepto, pues básicamente ambos tipos de trenes utilizan una combinación de frenos neumáticos (de zapata o de disco), reostáticos y de recuperación; la principal diferencia es en cuanto a la potencia de los frenos, pues a mayores velocidades, mayores distancias de parada y mayor potencia.

La suspensión de los trenes de alta velocidad y los trenes convencionales de pasajeros suele tener un elemento de amortiguación entre el eje y el bastidor del bogie (suspensión primaria) y otro elemento de amortiguación entre el bastidor y la caja (suspensión secundaria). Los trenes de alta velocidad tienen una mayor flexibilidad de la suspensión; la suspensión primaria suele ser de muelles helicoidales de acero y la secundaria, de tipo neumático.

Instalaciones ferroviarias

Para fines de este apartado, son aquellas que permiten el funcionamiento del sistema ferroviario, en particular las instalaciones eléctricas y los sistemas de señalización y telecomunicaciones.

El sistema de electrificación requerido por un tren de alta velocidad está descrito en el capítulo 5, se compone principalmente por las líneas de alimentación a las subestaciones de tracción en alta o muy alta tensión, las subestaciones de tracción y la línea aérea de contacto (catenaria) de donde el tren capta la energía.

En los trenes de alta velocidad se debe garantizar un suministro continuo y estable de energía, de lo contrario no será posible alcanzar las velocidades de diseño del tren; de igual manera, es imprescindible garantizar una adecuada interfase con la vía, que es un elemento activo del sistema de electrificación. Por ello, las exigencias al sistema de alimentación son mayores que en las líneas convencionales. Los sistemas de suministro de energía en las líneas de alta velocidad suelen tener doble catenaria, lo que garantiza un contacto continuo entre el pantógrafo del tren y la línea de suministro.

Las principales diferencias en los sistemas de electrificación entre líneas convencionales y de alta velocidad se deben a que los motores de alta velocidad son monofásicos y de funcionamiento más delicado que los de líneas convencionales; requieren de corriente alterna y de tensiones en catenaria muy superiores. Las principales diferencias en los sistemas de electrificación entre ambas líneas de tren se establecen en la tabla A.3.

Tabla A.3. Diferencias entre sistemas de electrificación de líneas convencionales y de alta velocidad.

Componente	Línea convencional	Línea de alta velocidad
Tipo de corriente	C.D. (corriente directa)	C.A. (corriente alterna)
Motor de tracción	Buen motor de tracción	Motor monofásico de funcionamiento más delicado que el de c.d.
Tensiones en catenaria	Bajas (750, 1,500, 3,000 V)	Altas (25,000 V)
Subestaciones	Cada ~20 km	Cada ~50 km

Fuente: Ruano Gómez, 2007.

Los sistemas de señalización y telecomunicaciones han evolucionado rápidamente; en parte la posibilidad de establecer trenes de alta velocidad se debe a la mejora en estos sistemas a la luz de los adelantos en tecnologías de información y telecomunicaciones (TICs) del final del siglo pasado. En este aspecto las principales diferencias entre las líneas convencionales

y las de alta velocidad son radicales por dos razones, las líneas de alta velocidad tienen exigencias muy severas sobre los sistemas de señalización y telecomunicaciones y, en su mayoría, las líneas convencionales obedecen a una lógica de funcionamiento establecida por tecnologías analógicas, anteriores a la expansión de la plataforma digital; por lo que podemos decir que, en cuanto a señalización y telecomunicaciones, los sistemas de alta velocidad y de líneas convencionales pertenecen a eras tecnológicas distintas.

Las líneas de alta velocidad tienen sistemas de señalización y telecomunicaciones basados en las posibilidades que brinda la fibra óptica y la comunicación celular; suelen tener, a diferencia de los trenes convencionales, señalización en cabina, pues las altas velocidades hacen poco confiable la lectura de señales laterales. Establecer un tren de alta velocidad en México implica decidir el estándar de señalización y telecomunicaciones que se asumirá, y que, de desarrollarse otras líneas de alta velocidad, convendrá armonizar. Uno de los sistemas más robustos es europeo conocido como ERTMS (*European Rail Traffic Management System*); sin embargo, no es el único sistema disponible.

El mantenimiento es un elemento fundamental para la conservación de las vías y de todo el sistema ferroviario. De manera general existen tres tipos de mantenimiento: predictivo, preventivo, correctivo. Las líneas de alta velocidad han desarrollado estándares de mantenimiento preventivo elevados, a través de la vigilancia y auscultación de las vías. De acuerdo con Ruano Gómez (2007), hay cinco elementos en los que se basa la vigilancia y auscultación de las vías para trenes de alta velocidad:

- Auscultación geométrica, en la que se registran los parámetros geométricos y defectos de gran longitud de onda
- Auscultación dinámica, en la que se registran y controlan las aceleraciones en la caja del vehículo y del bogie a fin de detectar defectos evolutivos
- Auscultación ultrasónica de los carriles, que permite hacer pruebas de control no destructivas en los carriles en búsqueda de defectos internos
- Recorrido a pie y en cabina
- Levantamientos topográficos