



Universidad de Valladolid

Evaluación de la Gestión de la Integración en Proyectos Complejos de Infraestructura

Giovanni Lecuyer Ferrera

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.
Universidad De Valladolid
España



INSISOC
SOCIAL SYSTEMS
ENGINEERING CENTRE
2023



Universidad de Valladolid

Evaluación de la Gestión de la Integración en Proyectos Complejos de Infraestructura

Giovanni Lecuyer Ferrera

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.
Universidad De Valladolid

Valladolid, Julio 2023

Tutor
Fernando Acebes Senovilla

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa en la realización de este trabajo.

Especialmente a mi pareja, Cristina. Tu amor, paciencia y comprensión han sido pilares fundamentales durante todo el proceso.

A mi madre, María. Tu inquebrantable confianza en mí ha sido un motor constante para seguir adelante y superar los desafíos.

Agradezco profundamente a mis estimados profesores y compañeros del máster. Vuestra dedicación, experiencia y conocimientos compartidos han sido invaluable en mi formación.

ÍNDICE

ÍNDICE	I
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo del Proyecto	3
Alcance del Proyecto	3
Motivación del Proyecto.....	4
Estructura del Documento	4
Capítulo 1 PROYECTOS COMPLEJOS DE INFRAESTRUCTURA	5
1.1 Características de los proyectos complejos de infraestructura.....	5
1.2 Problemas principales de los proyectos complejos de infraestructura.....	7
1.3 Impactos de los grandes proyectos de infraestructura	9
1.3.1. Impactos positivos:	9
1.3.2. Impactos negativos:	10
1.4 Costes de los grandes proyectos de infraestructura	11
1.5 Principales riesgos de los proyectos complejos de infraestructura	12
Capítulo 2 GESTIÓN DE LA INTEGRACIÓN	15
2.1 PMBOK	15
2.1.1. Gestión de la Integración (PMBOK)	17
2.2 PM2.....	19
2.2.1. Gestión de la Integración (PM2).....	21
2.3 ICB 4.0.....	22
2.3.1. Gestión de la Integración (ICB).....	24
2.4 AGILE	25
2.4.1. Gestión de la Integración (AGILE).....	27
2.5 SCRUM	28
2.5.1. Gestión de la Integración (SCRUM).....	29
2.6 BIM.....	30
2.6.1. Gestión de la Integración (BIM)	32
Capítulo 3 CASOS DE ÉXITO VS FRACASO	35
3.1 Casos de éxito	35
3.1.1. Túnel del Canal de la Mancha.....	36
3.1.2. Presa de las Tres Gargantas	41
3.1.3. Tren de alta velocidad La Meca – Medina (Proyecto Haramain)	46
3.2 Casos de fracaso	49
3.2.1. Aeropuerto de Berlín-Brandeburgo	50
3.2.2. Línea de alta velocidad California	54
3.2.3. Puente de Tacoma Narrows	58
Capítulo 4 MARCO DE REFERENCIA	61
4.1 Creación de valor	61
4.2 Planificación estratégica rigurosa	63
4.2.1. Análisis DAFO.....	64

4.2.2. Análisis PESTEL.....	65
4.2.3. Análisis de las 5 fuerzas de Porter.....	66
4.3 Gestión de cambios y riesgos.....	67
4.4 Gestión integral de costes, alcance y tiempo.....	68
4.5 Colaboración y comunicación efectiva y continua con las partes interesadas.....	69
4.6 Gestión del conocimiento del proyecto.....	71
4.6.1. Adaptación y flexibilidad.....	72
4.7 Desarrollo y coordinación de modelos BIM.....	72
4.8 Monitoreo y evaluación.....	73
4.9 Recopilación del Marco de Referencia.....	73
Capítulo 5 CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXO A: Acciones que pueden condicionar la intensidad de los impactos ambientales generados según las fases de desarrollo de una infraestructura. Fuente: Extraído del texto de Sagarduy (Sagarduy, 2006).	85
ANEXO B: Herramientas y artefactos que propone la metodología PM2 para cada etapa del Proyecto. Fuente: Extraído de <i>Metodología de Gestión de Proyectos PM2 / Síntesis</i> (2017).	86
ANEXO C: Esquema para la gestión de cambios en un proyecto. Fuente: Elaboración propia.	87
ANEXO D: Marco de Referencia para la Gestión de la Integración en Grandes Proyectos de Infraestructura. Fuente: Elaboración propia.	88
INDICE DE FIGURAS	89
INDICE DE TABLAS.....	91

RESUMEN

El presente trabajo de fin de máster se centra en la gestión de la integración en proyectos complejos de infraestructura, utilizando casos de éxito y fracaso como punto de partida para desarrollar un modelo de referencia. A través de una revisión exhaustiva de la literatura existente y el análisis de diversos casos de estudio, se identificaron los aspectos clave para abordar los desafíos asociados a la gestión de la integración en este tipo de proyectos.

El marco de referencia propuesto destaca la importancia de la creación de valor, la planificación y gestión rigurosas, la colaboración y comunicación continuas con las partes interesadas y el uso de tecnologías avanzadas y ágiles como elementos fundamentales para lograr una gestión exitosa de la integración.

Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación efectiva del modelo mejora la alineación de todos los aspectos del proyecto, facilita la toma de decisiones informadas y puede conducir a una mejora significativa en la gestión de la integración, promoviendo el éxito en los grandes proyectos de infraestructura.

Palabras clave

Gestión de la integración, proyectos complejos, infraestructura, casos de éxito, casos de fracaso, marco de referencia.

ABSTRACT

The present master's thesis focuses on the integration management in complex infrastructure projects, utilizing success and failure cases as a starting point to develop a reference model. Through a comprehensive review of existing literature and analysis of various case studies, key aspects to address the challenges associated with integration management in such projects were identified.

The proposed framework emphasizes the importance of value creation, rigorous planning and management, continuous collaboration and communication with stakeholders, and the use of advanced and agile technologies as fundamental elements to achieve successful integration management.

The obtained results demonstrate that the effective implementation of the model enhances alignment across all project aspects, facilitates informed decision-making, and can lead to significant improvements in integration management, thereby promoting success in large-scale infrastructure projects.

Keywords

Integration management, complex projects, infrastructure, success cases, failure cases, reference framework.

INTRODUCCIÓN

Objetivo del Proyecto

En la era actual, donde la información y la tecnología juegan un papel fundamental en todas las esferas de la sociedad, la realización de investigaciones y estudios se vuelve cada vez más importante y necesaria. El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) se enmarca en este contexto, con el propósito de analizar y abordar diversos objetivos de vital importancia en el ámbito de la dirección de proyectos.

El objetivo principal de este TFM es la creación de un marco o modelo de referencia para llevar a cabo la gestión de la integración en proyectos complejos de infraestructura. Para lograrlo, se llevará a cabo un estudio exhaustivo y riguroso que se centrará en primer lugar en abordar lo que se entiende por proyectos complejos de infraestructura, para luego abordar la gestión de la integración en las metodologías actuales y finalmente mencionar casos de éxito y fracaso de grandes proyectos. El resultado esperado es contribuir al conocimiento existente en el campo de la gestión de la integración y ofrecer algunos aportes significativos con la realización de un marco de referencia para afrontar dichos proyectos.

A lo largo de este trabajo, se abordarán diferentes objetivos específicos que se interrelacionan para alcanzar el objetivo general. Entre los objetivos específicos que se perseguirán se encuentran los siguientes:

1. **Análisis de la gestión de la integración.** Se busca poner en valor el conocimiento que aportan las metodologías actualmente desarrolladas a este campo de la dirección de proyectos que es tan importante en grandes proyectos.
2. **Análisis de casos de éxito y fracaso en grandes proyectos de infraestructura.** Se busca comprender y analizar los principales aciertos y errores que han sufrido algunos de los grandes proyectos (de los que se puede encontrar algo de información relevante para su estudio) que han tenido lugar en los últimos años. Con esto poder sacar algunas conclusiones para la elaboración del modelo o marco de referencia.
3. **Importancia de los impactos de los proyectos complejos de infraestructura.** Este objetivo se orienta hacia la comprensión y evaluación de los impactos de los grandes proyectos, reconociendo su importancia y sus implicaciones en diferentes aspectos sociales, económicos y ambientales.

Asimismo, se desarrollarán metodologías y estrategias de investigación adecuadas para abordar los objetivos planteados. Esto incluirá la recopilación de datos e información relevantes de la literatura y otras fuentes publicadas, junto con las propias mediciones y observaciones del autor de este trabajo.

Alcance del Proyecto

El alcance de este trabajo abarca un amplio espectro desde el estudio y comprensión de los grandes proyectos de infraestructura hasta el conocimiento de la gestión de la integración. A través de un enfoque riguroso y metodológicamente sólido, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente, así como el desarrollo de investigaciones y análisis propios. Se buscará comprender en profundidad los aciertos y errores que han tenido algunos de los proyectos más

grandes y complejos realizados hasta este momento con el objetivo de realizar un marco de referencia para la gestión de estos en el futuro.

Motivación del Proyecto

La motivación detrás de este TFM es multifacética y se nutre de diferentes fuentes. En primer lugar, la pasión personal por la dirección de proyectos ha sido un motor impulsor constante a lo largo del proceso de formación. La fascinación por los grandes proyectos de infraestructura ha despertado el deseo de indagar más profundamente y explorar sus implicaciones y aplicaciones prácticas.

Además, este TFM surge de la necesidad de aplicar los conocimientos teóricos y habilidades adquiridos durante el máster en un contexto real. La oportunidad de utilizar los fundamentos teóricos como base para investigaciones empíricas o análisis detallados permite no solo poner en práctica los conocimientos, sino también fortalecer las habilidades de investigación, el pensamiento crítico y la capacidad de resolver problemas.

También se basa en el deseo de realizar una contribución significativa al campo de estudio. La identificación de brechas o cuestiones aún no abordadas en profundidad ha despertado la curiosidad y el deseo de generar nuevos conocimientos, perspectivas originales o soluciones innovadoras. La ambición de aportar algo valioso a toda la comunidad académica o profesional y tener un impacto positivo en el campo.

Estructura del Documento

La estructura del presente TFM se desarrollará en torno a los siguientes puntos clave:

1. Proyectos complejos de infraestructura. En este capítulo se abordarán los proyectos complejos de infraestructura, destacando su escala y complejidad, así como sus posibles impactos y sus principales riesgos.
2. Gestión de la Integración. En este se expondrán los principios y herramientas clave de la gestión de la integración en proyectos, enfocándose en las propuestas de las principales metodologías en dirección de proyectos.
3. Casos de Éxito vs Fracaso. En este punto se desarrollarán ejemplos de casos de éxito y fracaso en grandes proyectos de infraestructura, analizando factores como la planificación adecuada y rigurosa, la creación de valor, el enfoque en la calidad y la importancia de la participación y colaboración de todas las partes interesadas en el resultado final del proyecto.
4. Marco de Referencia. Se elaborará un modelo de gestión de la integración basado, principalmente, en los aprendizajes del estudio de los casos de éxito y de fracaso y en las experiencias adquiridas por el autor de este trabajo en el transcurso del mismo.
5. Conclusiones. Se detallarán los principales resultados a los que ha llegado el autor.

Capítulo 1 PROYECTOS COMPLEJOS DE INFRAESTRUCTURA

Los proyectos complejos de infraestructura son proyectos de construcción de grandes obras públicas a gran escala que buscan desarrollar o mejorar la infraestructura física de un país o región, tales como carreteras, puentes, aeropuertos, puertos, sistemas de transporte masivo, sistemas de energía, entre otros (HistoriasdeLaEmpresa.com, s.f.; Postgrado UCSP, s.f.). Estos proyectos pueden requerir una gran cantidad de recursos, tanto humanos como financieros, y pueden tener una duración de varios años.

Además, puede definirse como un proyecto constituido por muchos componentes (eléctrica, electrónica, civil, mecánica, entre otras) interdependientes e interrelacionados. Un proyecto complejo se considera como un sistema dinámico que se desarrolla en un entorno de gran incertidumbre e imprevisibilidad (Baccarini, 1996).

Estos proyectos tienen como objetivo final fomentar el desarrollo económico y social y aumentar la calidad de vida de la población. Sin embargo, también presentan importantes desafíos en términos de coordinación, financiamiento, riesgos e impactos negativos.

En este capítulo, se busca profundizar en los principales aspectos de los proyectos complejos de infraestructura, incluyendo sus características, problemas, impactos, costes, riesgos y estrategias de mitigación.

1.1 Características de los proyectos complejos de infraestructura

Los grandes proyectos de infraestructura tienen varias características que los distinguen de otros tipos de proyectos. A continuación, se tratará de identificar y evaluar los más relevantes para hacer un desarrollo de estos.

La magnitud de estos proyectos es una de las principales características ya que implican grandes cantidades de recursos y un largo plazo de ejecución. Estos proyectos pueden tener un impacto significativo en la economía de un país o región y suelen ser considerados como un indicador de desarrollo (Naciones Unidas, s.f.).

Otra de las características a resaltar es el impacto. El objetivo principal de los grandes proyectos de infraestructura es aumentar la calidad de vida de la población y promover el desarrollo económico y social. Estos proyectos suelen tener un impacto significativo en la conectividad, la generación de empleo, el acceso a servicios básicos y la inversión. Además, pueden tener un impacto tanto positivo como negativo en la movilidad y accesibilidad de las personas, lo que a su vez influye en el comercio y la economía en general.

Por otro lado, estos grandes proyectos tienen un alto grado de complejidad. Requieren de un buen nivel de especialización y coordinación entre distintas áreas y actores. Estos proyectos pueden involucrar a múltiples entidades gubernamentales, empresas privadas y organizaciones de la sociedad en su conjunto. Cada parte interesada tienen sus propios intereses y necesidades, lo que puede hacer que la planificación e implementación sean un proceso complicado.

A continuación, se presenta la tabla de indicadores de complejidad y sus categorías según Kermanshachi, Dao, Shane, Anderson (Kermanshachi et al, 2016) (Tabla 1). Los autores se

apoyaron en la técnica Delphi para conseguir las respuestas de 10 profesionales con muchos años de experiencia en la diligencia de proyectos nacionales e internacionales.

Tabla 1. Indicadores de complejidad y sus categorías. Fuente: Adaptación de Kermanshachi (Kermanshachi et al, 2016).

Categoría	Indicador de Complejidad (IC)
Interfaces	Número de participantes en el equipo de proyecto durante la fase de diseño e ingeniería detallada.
Recursos materiales del proyecto	Rapidez en las soluciones de abastecimiento de materiales que no estaban disponibles cuando era necesario para apoyar la construcción.
Diseño tecnología	Grado de familiaridad de las compañías con las tecnologías que intervendrán en la fase de diseño del proyecto.
Definición del alcance	El impacto en la magnitud y el tiempo de las órdenes de cambio en la ejecución del proyecto.
Ubicación	El impacto de la ubicación de los proyectos en sus planes de ejecución.
Gobernanza	Número de entidades con autoridad superior a la del equipo de proyecto en la toma de decisiones y número total de socios de empresas conjuntas en el proyecto.
Recursos humanos del proyecto	Calidad u cualificación de la mano de obra durante la construcción del proyecto.
Gestión de partes interesadas	El impacto de los intereses de las partes externas en el plan original de ejecución del proyecto.

Otra de las características principales de los proyectos complejos de infraestructura es la financiación. Estos precisan de una gran cantidad de recursos financieros que pueden y suelen provenir principalmente de los gobiernos, aunque también proceden de la inversión privada, organismos multilaterales o una combinación de estos. La falta de financiamiento adecuado puede retrasar o incluso impedir la ejecución de este tipo de proyectos.

Además de los anteriores, cabe destacar como un aspecto clave de estos proyectos la gestión de los riesgos. Existen múltiples riesgos asociados a los grandes proyectos de infraestructura, como incertidumbre en el coste y plazo de ejecución, problemas técnicos, conflictos sociales y

ambientales, entre otros. Estos riesgos pueden tener un impacto significativo en la viabilidad y éxito del proyecto (Korytárová y Hromádka, 2020).

1.2 Problemas principales de los proyectos complejos de infraestructura

A pesar de los beneficios que pueden generar los grandes proyectos de infraestructura, estos también presentan importantes problemas. A continuación, se describen algunos de los problemas más comunes, respaldados en el trabajo de Rodríguez, M. (Rodríguez, 2010). En su trabajo, el autor se basa en un estudio de aproximadamente 60 grandes proyectos de infraestructura alrededor de todo el mundo, para exponer los problemas y riesgos que presentan dichos proyectos.

La falta de transparencia en la planificación, ejecución y evaluación de estos proyectos de infraestructura es uno de los principales problemas y puede generar una gran desconfianza en la población y acrecentar el riesgo de corrupción entre las partes interesadas. Para poder disminuir o contrarrestar el surgimiento de esta problemática, se debe tener en consideración la comunicación efectiva de las actividades y tareas que puedan afectar de cualquier manera a las partes interesadas.

Un problema que liga con lo anterior y es muy común en los grandes proyectos de infraestructura es la corrupción. La falta de transparencia y rendición de cuentas, así como la complejidad de estos proyectos, pueden propiciar el surgimiento de prácticas corruptas, ya que los contratistas, subcontratistas y funcionarios del gobierno pueden ser tentados de aprovechar la oportunidad para obtener ganancias personales o beneficios indebidos.

La corrupción en este tipo de proyectos puede tomar diversas estructuras. Se puede presentar en forma de sobornos a los funcionarios del gobierno para obtener los permisos y licencias, como sobrecostos inflados por parte de los contratistas para la obtención mayores beneficios durante el transcurso de la obra, el uso de materiales con un menor grado de calidad y la adjudicación de contratos a empresas amigas o familiares, entre otros.

A continuación, se presenta un mapa de calor (Figura 1), extraído del informe sobre el Índice de Percepción de la Corrupción (IPC) de 2022, de la Agencia de Transparencia Internacional (*Transparency International*, 2022), donde se muestra este índice por países. Este mapa muestra los países en los que puede ser más complicado la ejecución de este tipo de proyectos de infraestructura. Según comentarios de su actual director ejecutivo Daniel Eriksson (Eriksson, 2022), el IPC muestra un estancamiento continuo durante los últimos años en todo el mundo. También recalca en su escrito que hay que luchar contra la corrupción para promover la paz y que los gobiernos deben incluir al público en la toma de decisiones y en sus proyectos.

Por otro lado, se pueden presentar problemas por la falta de coordinación entre actores en estos proyectos. La ejecución de estos grandes proyectos requiere de gran coordinación entre múltiples actores, tanto del sector público como privado. La falta de coordinación puede generar conflictos y retrasos en la ejecución del proyecto, por lo que se debe realizar una buena gestión de las partes interesadas.

También existen problemas técnicos. Los grandes proyectos de infraestructura suelen involucrar tecnologías y procesos complejos que pueden presentar problemas técnicos durante la planificación y ejecución de estos.

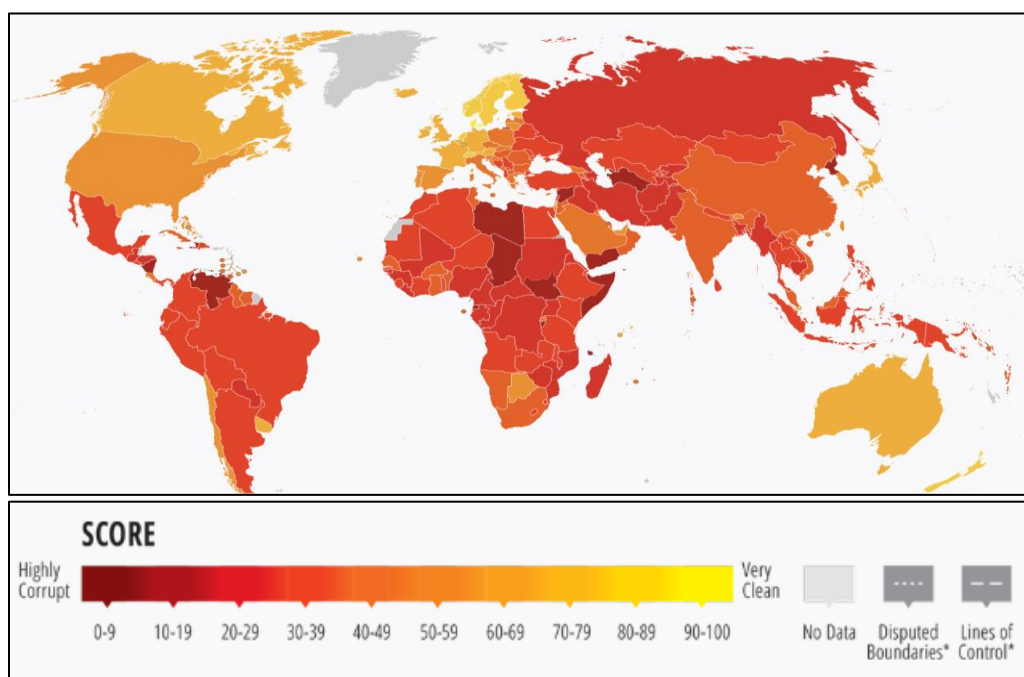


Figura 1. Índice de Percepción de la Corrupción de 2022. Fuente: *Transparency International, the global coalition against corruption* (Eriksson, 2022).

Según el estudio de Flyvbjerg (2007), los grandes proyectos tienen las siguientes características:

- Tienen riesgos inherentes debido a los largos horizontes de planificación y las interfaces complejas.
- La tecnología a menudo no es estándar.
- La toma de decisiones y planificación son a menudo procesos de múltiples actores con intereses en conflicto.
- El alcance o el nivel de ambición cambiarán significativamente con el tiempo.
- Hay eventos no planificados que dejan contingencias presupuestarias.
- La información errónea sobre costes, tiempo y riesgos comúnmente es la norma.
- El resultado de la mayoría de estos proyectos son sobrecostes o déficits en los beneficios.

Los conflictos sociales y ambientales son a menudo los problemas principales en la mayoría de los proyectos complejos de infraestructura. Este tipo de proyectos suelen tener un impacto en las comunidades locales y el medio ambiente. La falta de consulta y participación ciudadana puede generar conflictos sociales y ambientales que afectan la viabilidad y éxito del proyecto. También pueden originar impactos medioambientales negativos a largo plazo si no se tienen en cuenta estos aspectos.

En este análisis, se describe cómo uno de los más graves problemas, los costes imprevistos. Los proyectos complejos de infraestructura pueden presentar costes imprevistos durante la ejecución del proyecto. Estos costes pueden generar problemas financieros y retrasos en la ejecución del proyecto, e incluso, la extinción de este. Se deberá realizar un plan de riesgos que contemple una parte importante de costes de contingencias y una cartera de reservas.

1.3 Impactos de los grandes proyectos de infraestructura

Los grandes proyectos de infraestructura pueden tener impactos positivos y negativos en la sociedad y el medio ambiente. A lo largo de esta sección, se exponen algunos de los impactos positivos más destacados, como el impulso económico, la mejora en la calidad de vida de las personas o la atracción de inversión. También se analizarán los impactos negativos, como los impactos ambientales adversos, los problemas económicos o los desafíos sociales que pueden surgir durante la ejecución de estos proyectos.

Es importante destacar que los impactos pueden variar en función del contexto específico de cada proyecto y de las medidas de mitigación y compensación implementadas. La gestión integral adecuada y la planificación cuidadosa de los proyectos de infraestructura son fundamentales para minimizar los efectos negativos y maximizar los beneficios en términos económicos, sociales y ambientales.

1.3.1. Impactos positivos:

En primer lugar, se aborda el impacto en el **desarrollo económico**. Los grandes proyectos de infraestructura pueden estimular el crecimiento económico a través de la creación de empleo y la mejora de la conectividad y accesibilidad. En particular, se suelen generar mayores estímulos para la inversión de este tipo de infraestructuras en países emergentes, debido en gran medida a la falta de recursos (CEPAL, 2021).

En la Figura 2 se representa un gráfico de barras con las estimaciones de inversión en infraestructura mundial, diferenciando entre países emergentes y avanzados. Como se puede observar, la inversión total en infraestructura en Asia emergente será de 1,7 billones de USD al año durante los próximos 20 años, o el 4,2% del PIB, y 35 billones de USD en total (Seguros News, 2020).

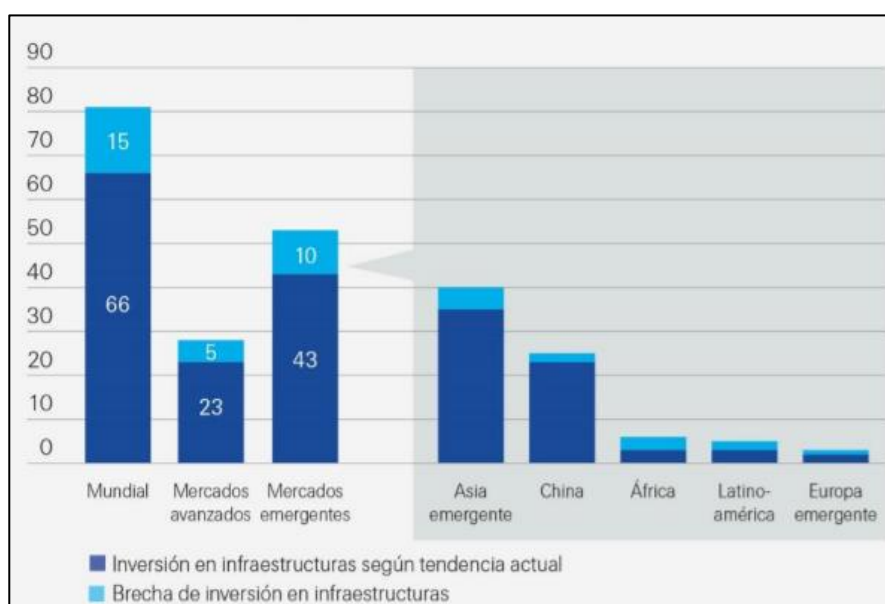


Figura 2. Estimaciones de inversión en infraestructura y brecha en los mercados emergentes, 2021-2040, en billones de USD. Fuente: Seguros news (Seguros news, 2020).

La **mejora en la calidad de vida** es otro impacto positivo de los proyectos complejos de infraestructura. Este tipo de proyectos pueden mejorar la calidad de vida de la población al proporcionar acceso a servicios básicos, como agua potable, saneamiento, electricidad y transporte. También suelen contribuir a una reducción de los costes de vida en el lugar que se realizan a medio y largo plazo.

Para conseguir mejorar la calidad de vida, este tipo de proyectos debe tener una visión sostenible, buscar el bienestar de la sociedad sin perjudicar la calidad de vida de las generaciones futuras, a través de una administración eficiente y racional de los recursos (Martínez, 2018).

A continuación, se representa un gráfico con la evolución del número total de proyectos sostenibles anunciados a nivel mundial de 2016 a 2020, extraído de un informe de Refinitiv Infrastructure 360 (Figura 3). En este informe, el autor comenta que el 56% de los 2.551 proyectos lanzados, es decir 1.437 proyectos, pertenecen a la categoría de renovables, por lo que se pueden clasificar como sostenibles (Rautmann, 2021).

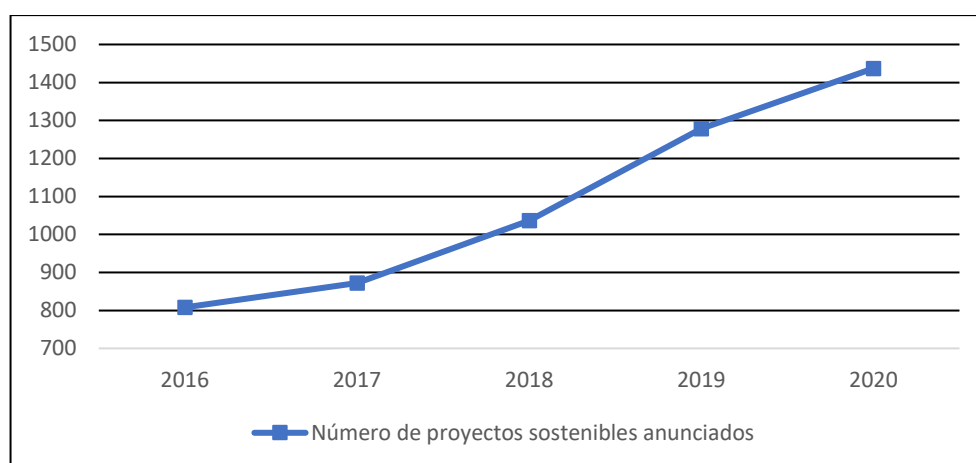


Figura 3. Número total de proyectos sostenibles anunciados a nivel mundial (desde 2016). Fuente: Adaptado Refinitiv Infrastructure 360.

Uno de los impactos positivos más importantes es la **atracción de inversión**. Los proyectos complejos de infraestructura pueden atraer inversión extranjera y mejorar la imagen del país como destino de inversión. Así mismo, se pueden reforzar lazos con los países inversores para futuros proyectos. En este sentido, los países en vías de desarrollo tienen una mayor atracción de inversores institucionales a nivel internacional.

1.3.2. Impactos negativos:

Los proyectos complejos de infraestructura pueden tener un impacto negativo en el **medio ambiente**, como la deforestación, la pérdida de hábitats naturales y la contaminación. Según las conclusiones del estudio de Sagarduy, R. (Sagarduy, 2006), estos proyectos deben regirse, en su planificación y ejecución, por el principio de precaución, para así conservar y proteger los ecosistemas, espacios y el paisaje desde una perspectiva de sostenibilidad.

En el **Anexo A**, se muestran las principales acciones o tareas que pueden condicionar a la intensidad de los impactos ambientales generados según las fases de desarrollo de una infraestructura (Sagarduy, 2006).

Los grandes proyectos de infraestructura pueden generar **conflictos sociales** debido a la expropiación de tierras, la reubicación de comunidades y la falta de consulta y participación ciudadana. Estos problemas pueden agravarse si la comunidad está muy arraigada al entorno y la naturaleza del lugar donde se realizará el proyecto.

Este tipo de proyectos de infraestructura pueden generar **problemas económicos**, como, en algunas ocasiones, el aumento del coste de vida y la inflación, especialmente en los casos en que los costes del proyecto son financiados con deuda externa. Cabe destacar que el 90% de las grandes obras públicas en todo el mundo termina con sobrecoste, debido principalmente a un patrón de infraestimación de costes y a la ignorancia de algunos riesgos a lo largo del desarrollo (Soriano et al, 2014).

1.4 Costes de los grandes proyectos de infraestructura

Los grandes proyectos de infraestructura pueden ser costosos debido a su magnitud y complejidad. A continuación, se describen algunos de los costes más comunes y significativos para este tipo de proyectos complejos.

En primer lugar, se encuentra el **coste de construcción**. El coste de construcción de un proyecto complejo de infraestructura puede ser alto debido a la magnitud y complejidad del proyecto. También se debe tener en cuenta la calidad y durabilidad de los materiales que se utilizan, ya que para este tipo de proyectos se suelen exigir elevados grados y niveles de calidad.

Aunque la estructura de costes en los proyectos de construcción no es estática, sino que evoluciona al introducir diferentes materiales y procedimientos, se pueden diferenciar dos tipos de costes principales, los consumos intermedios y la remuneración de asalariados (Martín, R. et al, 2012). Como se puede observar, el coste de los materiales representa en torno al 63% de los costes totales en los proyectos de construcción, mientras que el restante 37% se refiere al coste de la mano de obra o remuneración de asalariados (Tabla 2).

Tabla 2. Estructura de costes de la construcción por actividades. Fuente: Extraído de Estructura de costes en el sector de la construcción en España (Martín et al, 2012).

	Edificación	Obra Civil	Total Construcción
Consumos intermedios	63,26%	61,31%	62,78%
Remuneración de asalariados	36,74%	38,69%	37,22%
Total Costes de Construcción	100,00%	100,00%	100,00%

Por otro lado, este tipo de proyectos de infraestructura también conllevan costes continuos de operación y mantenimiento, que en algunos tipos de construcciones pueden implicar gran parte del presupuesto.

Según el estudio de Arencibia, J. M. (Arencibia, 2007), las ventajas de realizar el mantenimiento correspondiente a las edificaciones son principalmente: prolongar el tiempo de explotación de una construcción; reducir los costes de grandes reparaciones; y una mejora en la satisfacción de las necesidades de los usuarios.

Costes financieros: Los proyectos complejos de infraestructura pueden requerir financiamiento externo, que puede ser costoso debido a los intereses y las comisiones bancarias. Aunque también pueden existir algunas ayudas públicas, como es el caso de las subvenciones, para apaciguar estos costes.

Costes sociales y ambientales: En los grandes proyectos de infraestructura se pueden originar costes sociales y ambientales, como la compensación a las comunidades afectadas y la restauración del medio ambiente. Estos costes pueden ser diversos, desde la movilidad ciudadana hasta la expropiación de fincas o terrenos privados.

Según el estudio de Eduardo Raffo (Raffo, 2015), los recursos naturales carecen de precio, al no existir mercado de intercambio para estos. Aunque, comenta que tienen valor, por lo que es necesario contar con medidores o indicadores que demuestren la importancia de estos para el bienestar de la sociedad y pone como denominador común el dinero para poder compararlos. En su estudio, habla también de lo que son las externalidades (Tabla 3): “[...] son todos aquellos costos o beneficios que, aunque resultantes indirectos de un determinado proceso económico son “externos” al mercado específico en que se da este proceso. Alcanzan protagonismo en la ciencia económica a partir de las discusiones en torno de la sostenibilidad ambiental de la economía”.

Tabla 3. Externalidades negativas o coste externo de la contaminación. Fuente: Elaboración propia con datos del trabajo de Raffo, E. (Raffo, 2015).

Externalidades negativas o coste externo	
Contaminación de las aguas del cuerpo receptor por residuos sólidos.	Contaminación de las aguas del cuerpo receptor a causa de las aguas residuales.
Contaminación de cultivos y suelos con aguas no tratadas del cuerpo receptor.	Contaminación de las aguas debido a la actividad agropecuaria.

1.5 Principales riesgos de los proyectos complejos de infraestructura

Los grandes proyectos de infraestructura también presentan riesgos que pueden afectar a su ejecución y éxito.

Por ejemplo, se describen los **riesgos financieros**. Los grandes proyectos de infraestructura pueden presentar riesgos financieros importantes debido a la falta de financiamiento, la devaluación de la moneda y la falta de capacidad de pago del gobierno. Gran parte de estos proyectos no se suelen llevar a cabo, o acaban siendo casos de fracaso debido a la falta de financiación (L. Kumar, 2018).

También existen los **riesgos técnicos**. Los proyectos complejos de infraestructura pueden presentar riesgos técnicos debidos, en gran medida, a problemas en el diseño, la construcción y la operación del proyecto. El análisis de estos riesgos generalmente está basado en opiniones de expertos y, se suele hacer cualitativamente. Se crean listas de riesgos, que contienen riesgos comunes y relevantes para el tipo de proyecto dado, con base en el conocimiento del tema (Korytárová y Hromádka, 2020). En la Tabla 4, se realiza una lista de riesgos como ejemplo de lo anteriormente descrito.

Tabla 4. Registro de riesgos. Fuente: Elaboración propia con datos de Korytárová, J. et al, (Korytárová et al, 2020).

Número	Descripción del Riesgo
1	Estimación Inadecuada en el diseño del proyecto
2	Retrasos en la adjudicación del proyecto
3	Retrasos en la compra de terrenos
4	Exceder los costes de inversión
5	Costes de mantenimiento por encima de los esperados
6	Oposición pública o de las comunidades afectadas
7	Cambio en los requisitos ambientales

Por otro lado, se encuentran los **riesgos ambientales**. Este tipo de proyectos de infraestructura pueden presentar graves riesgos ambientales debido a la falta de cumplimiento de las normas ambientales y la falta de medidas para evitar, mitigar o transferir los impactos ambientales.

Los grandes proyectos de infraestructura suelen presentar también **riesgos políticos** debidos, en gran parte, a cambios en las políticas gubernamentales, conflictos sociales y corrupción. Estos riesgos pueden ser difícilmente medibles, ya que tienen un componente humano y de incertidumbre muy elevado.

Según el estudio de Darrin Grimsey y Mervyn K. Lewis (Gimsey y Lewis, 2002), existen dos tipos de categorías de riesgos político-económicos: las desviaciones en los flujos de caja de un proyecto, debido a las fluctuaciones de los precios, costes, retrasos en los permisos y pequeños problemas técnicos; y, por otro lado, los desastres en un proyecto, debidos a sobrecostes importantes, recesiones económicas, desastres ambientales y cambios políticos que podrían conducir al fracaso y quiebra del proyecto.

Por último, se pueden encontrar los **riesgos sociales**. Los proyectos complejos de infraestructura pueden presentar riesgos sociales debido a la falta de consulta y participación ciudadana, la reubicación de comunidades y la falta de compensación a las comunidades afectadas.

Los resultados del estudio de Korytárová, J. y Hromádka, V. (Korytárová et al, 2020), demuestran que para este tipo de proyectos es necesario un análisis de riesgos cuantitativo. Ya que como comentan, los resultados de la combinación de la interrelación de variables críticas no pueden provenir de los resultados parciales de los análisis cualitativos. El resultado de estos análisis generalmente dependerá de los valores absolutos de las variables críticas de cada proyecto único.

A pesar de la evidencia de que los riesgos sobre los costes y plazos en los proyectos de construcción suelen subestimarse, los resultados del estudio de Urgilés, P. (Urgilés, 2019), demuestran que las inversiones en estos proyectos son económicamente viables, ya que los beneficios sociales que provocan, en la mayoría de los casos, sobrepasan con creces los incrementos en costes y plazos de estos.

Capítulo 2 GESTIÓN DE LA INTEGRACIÓN

La gestión de la integración se refiere a la capacidad del equipo y la dirección del proyecto para coordinar todos los elementos de este y con ello permitir y asegurar que se alcancen los objetivos del proyecto. Esto incluye la integración de los aspectos técnicos, financieros, de recursos humanos, de comunicación y de gestión de riesgos, entre otros.

Se trata de un enfoque holístico para la gestión del proyecto, que implica la integración de todos los aspectos del proyecto, incluyendo el alcance, el tiempo, los costes, la calidad, los recursos humanos, la comunicación y el riesgo.

La gestión de la integración se lleva a cabo a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta la finalización, y es responsabilidad de la dirección del proyecto asegurarse de que se implementen todos los procesos y actividades de integración de manera efectiva.

En resumen, la gestión de la integración se enfoca en garantizar que todos los aspectos del proyecto estén coordinados y trabajen juntos de manera efectiva para lograr los objetivos de este.

En este capítulo, se pretende describir la gestión de la integración desde diferentes metodologías y marcos de referencia, para así intentar conseguir un mayor entendimiento y comprensión desde varios puntos de vista de lo que es esta directriz.

En primer lugar, se realizará una breve introducción a las metodologías en dirección de proyectos para entender su estructura, sus fundamentos y los procesos que recogen cada una de ellas. Después, se recogerá y estudiará en mayor profundidad lo que cada metodología entiende por gestión de la integración en los proyectos. Por último, se desarrollará un breve resumen con las principales ventajas de cada metodología descrita en este capítulo.

2.1 PMBOK

El PMBOK, proviene del acrónimo en inglés *Project Management Body of Knowledge* o también conocido en castellano como la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Project Management Institute, 2017). Es una publicación realizada por el *Project Management Institute* (PMI). El PMI se fundó en 1969 en Estados Unidos como una organización sin ánimo de lucro para profesionalizar la dirección de proyectos, el PMBOK se convierte en poco tiempo en una de las guías más reconocidas en todo el mundo.

En la Sexta Edición del PMBOK (Project Management Institute, 2017), se describen una serie de componentes clave, que van desde el ciclo de vida, fases y revisión de fases del proyecto, hasta los procesos, grupo de procesos y áreas de conocimiento de la dirección de proyectos (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción de los Componentes Clave del PMBOK. Fuente: Extraído del PMBOK 6ª Edición (Project Management Institute, 2017).

Componentes Clave de la Guía del PMBOK	Breve descripción
Ciclo de vida del proyecto	Serie de fases que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su conclusión.
Fase del proyecto	Conjunto de actividades del proyecto relacionadas lógicamente que culmina con la finalización de uno o más entregables.
Punto de revisión de fase	Revisión al final de una fase en la que se toma una decisión de continuar a la siguiente fase, continuar con modificaciones o dar por concluido un programa o proyecto.
Procesos de la dirección de proyectos	Serie sistemática de actividades dirigidas a producir un resultado final de forma tal que se actuará sobre una o más entradas para crear una o más salidas.
Grupo de procesos de la dirección de proyectos	Agrupamiento lógico de las entradas, herramientas, técnicas y salidas relacionadas con la dirección de proyectos. Los grupos de procesos de la dirección de proyectos incluyen procesos de inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre. Los grupos de procesos de la dirección de proyectos no son fases del proyecto.
Área de conocimiento de la dirección de proyectos	Área identificada de la dirección de proyectos definida por sus requisitos de conocimientos y que se describe en términos de sus procesos, prácticas, datos iniciales, resultados, herramientas y técnicas que los componen.

Del mismo modo, en la guía se señalan las interacciones que hay entre los diferentes componentes dentro del proyecto (Figura 4).

En la misma guía (PMBOK 6ª Edición) se comenta que cuando se gestionan de forma eficaz dichos componentes, estos conducen a la conclusión exitosa de los proyectos. También se expone que el entorno en el que se desarrolla un proyecto influye en el mismo y estas influencias pueden tener impactos favorables y desfavorables en la consecución de objetivos.

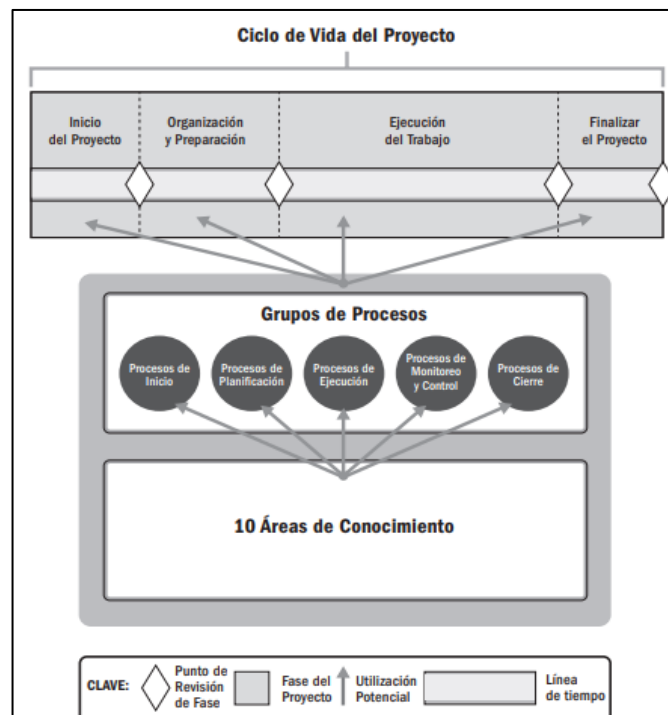


Figura 4. Interrelación entre los componentes Clave de los proyectos. Fuente: PMBOK 6ª Edición.

2.1.1. Gestión de la Integración (PMBOK)

Según el PMBOK 6ª Edición, la gestión de la integración del proyecto incluye los procesos y actividades para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de la gestión de estos dentro de los grupos de procesos de la dirección de proyectos. En el contexto de la dirección de proyectos, la integración incluye características de unificación, consolidación, comunicación e interrelación. Estas acciones deberían aplicarse desde el inicio del proyecto hasta su conclusión.

En este contexto, el PMBOK habla sobre los procesos que se encuentran dentro de la gestión de la integración del proyecto. Como en todos los procesos de la guía del PMBOK, se encuentran las entradas, que son elementos considerados como las materias primas y que se utilizan como base para la toma de decisiones; las herramientas y técnicas, que son los medios utilizados para llevar a cabo los diferentes procesos del proyecto y se utilizan para recopilar y analizar datos, entre otras tareas; y las salidas, que son el resultado de un proceso del proyecto y representan una medida tangible del proyecto.

La gestión de la integración según el PMBOK 6ª Edición se divide en siete procesos principales, que se encuentran resumidos en la Figura 5.

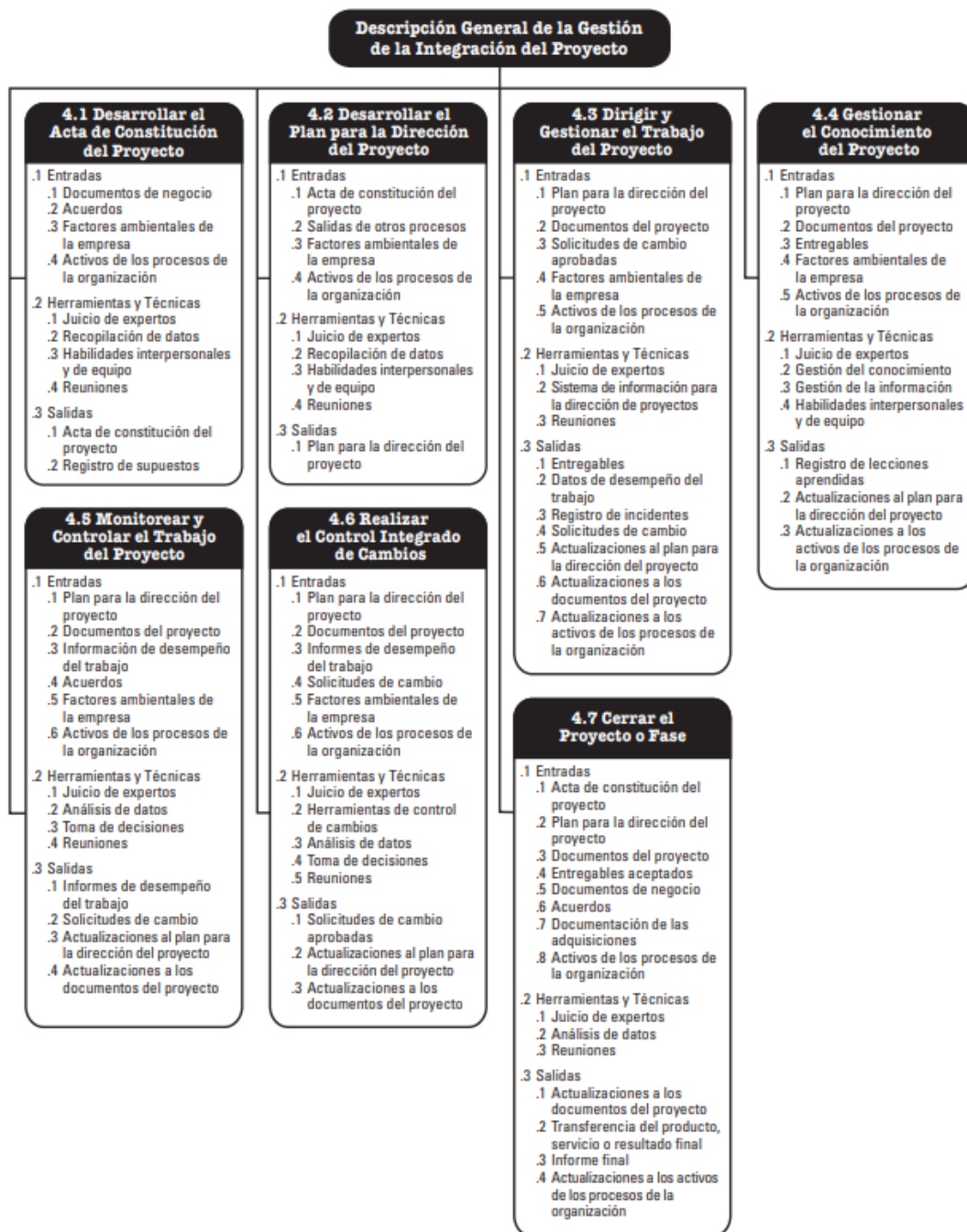


Figura 5. Descripción General de la Gestión de la Integración del Proyecto. Fuente: Extraído del PMBOK 6ª Edición.

En primer lugar, se encuentra el proceso de **desarrollar el acta de constitución del proyecto**. Este proceso implica la identificación de los objetivos y metas del proyecto, así como la creación del acta de constitución del proyecto, que establece la autoridad del proyecto y la responsabilidad del equipo de proyecto.

Después, se describe el proceso de **desarrollar el plan de dirección del proyecto**. Este proceso contiene la creación de un plan de proyecto detallado que defina los objetivos y metas del proyecto, las tareas y responsabilidades del equipo, el plazo y el presupuesto, y los recursos necesarios para completar el proyecto.

A continuación, aparece el proceso de **dirigir y gestionar el trabajo del proyecto**. Este proceso supone la implementación del plan de proyecto y la coordinación de todos los aspectos del proyecto para asegurarse de que se cumplan los objetivos y metas establecidos.

En la misma línea, se describe el proceso de **gestionar el conocimiento del proyecto**. Es el proceso de gestionar el conocimiento existente en la organización, para producir y crear nuevo conocimiento y con ello contribuir a alcanzar los objetivos del proyecto.

De mismo modo, se detalla el proceso de **monitorizar y controlar el trabajo del proyecto**. Este proceso involucra la supervisión y seguimiento continuo del progreso del proyecto, la identificación de desviaciones del plan de proyecto y la implementación de medidas correctivas para mantener el proyecto en el buen camino.

También se expone el proceso de **realizar el control integrado de cambios**. Este proceso contiene la evaluación y revisión continua de los cambios del trabajo del proyecto y la implementación de medidas para asegurar la aprobación y comunicación de las decisiones tomadas.

Por último, se encuentra el proceso de **cerrar el proyecto o fase**. Este proceso trae consigo la finalización del proyecto o fase y la entrega del trabajo al cliente, así como su evaluación y la documentación de las lecciones aprendidas.

En esencia, la gestión de la integración conlleva la coordinación de todos los aspectos del proyecto, desde la planificación y el diseño hasta la ejecución, el monitoreo y el control, y la entrega final. Esto incluye la identificación de los objetivos y metas del proyecto, la creación de un plan de proyecto detallado, la asignación de recursos y tareas, la gestión del riesgo y la calidad, y la comunicación y el seguimiento del progreso del proyecto. La gestión de la integración también implica asegurarse de que el proyecto se ajuste a los plazos y presupuestos establecidos, y que se cumplan los requisitos y expectativas del cliente.

2.2 PM2

La metodología en dirección de proyectos PM2 (Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1, 2021) fue desarrollada por la Comisión Europea en colaboración con varias organizaciones y expertos en gestión de proyectos (European Commission, 2021). El objetivo principal era crear una metodología de gestión de proyectos ágil y adaptable que pudiera ser utilizada por cualquier tipo de organización, independientemente de su tamaño, sector o tipo de proyecto.

PM2 está basada en las mejores prácticas de la gestión de proyectos, como PMBOK, PRINCE2, *Agile* y *Scrum*, entre otras. Se trata de una metodología completa y estructurada que incluye procesos, roles, herramientas y técnicas para la gestión de proyectos desde su inicio hasta su cierre.

Es una de las metodologías en dirección de proyectos más fácil de entender y utilizar, puesto que está enfocada en la simplicidad y eliminación de procesos innecesarios. Además, es adaptativa y

flexible, incorpora prácticas ágiles y se puede adaptar a muchos tipos de proyectos y organizaciones. También se centra en la creación de valor para los interesados y reconoce la importancia del equipo y de su colaboración para lograr el éxito en los proyectos.

PM2 se sostiene en 4 pilares fundamentales que se encuentran recogidos e integrados en la Figura 6, como son la gobernanza, el ciclo de vida, los procesos y los artefactos.

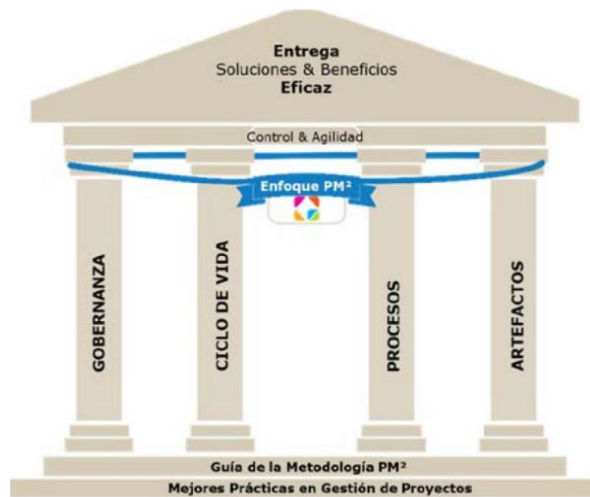


Figura 6. Estructura PM2 (La Casa de PM2). Fuente: Extraído de *Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1* (European Commission, 2021).

La gobernanza es un conjunto de procesos, políticas y estructuras que afianzan que los proyectos se lleven a cabo de una manera más eficiente y eficaz, cumpliendo con las expectativas de las partes interesadas. Se divide en tres niveles: Estratégico, táctico y operativo.

El ciclo de vida se divide en cuatro fases principales (Inicio, Planificación, Ejecución y Cierre) y un control y seguimiento transversal (Figura 7). Cada una de estas fases se divide en otros procesos más específicos como la gestión de riesgos, la gestión de los interesados y la gestión de la comunicación, entre otros.

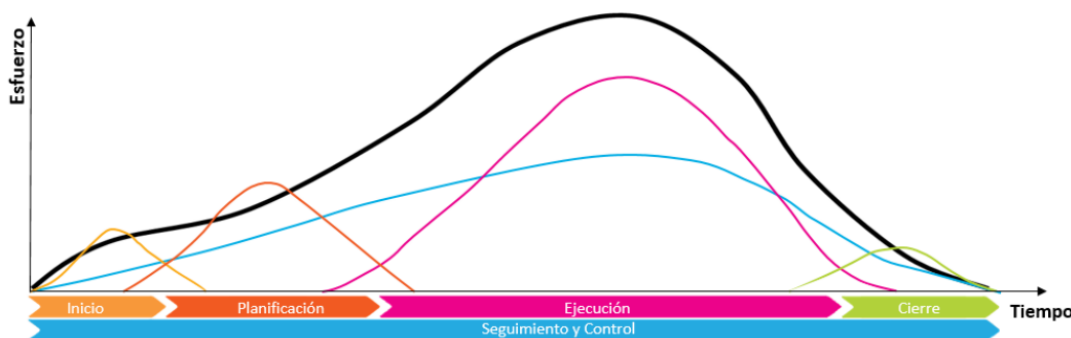


Figura 7. Ciclo de vida del proyecto PM2. Fuente: Extraído de *Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1* (European Commission, 2021).

Por último, se encuentran los artefactos, que son documentos o entregables que se crean durante la ejecución del proyecto, y que sirven para documentar y comunicar información clave del proyecto. La metodología PM2 enfatiza la importancia de crear y mantener actualizados los artefactos del proyecto para asegurar una comunicación efectiva entre los miembros del equipo y los interesados del proyecto, además de poder servir como evidencia en las evaluaciones o auditorías. En el **Anexo B**, se pueden encontrar los artefactos que recoge dicha metodología.

2.2.1. Gestión de la Integración (PM2)

PM2 no tiene un grupo de procesos en el que se recoja la gestión de la integración de sus proyectos como lo hace el PMBOK. En este contexto, la gestión de la integración en PM2 se enfoca en la coordinación de los distintos aspectos del proyecto para garantizar el éxito de este en términos de calidad, tiempo, coste, alcance y satisfacción del cliente.

En este sentido y respetando el ciclo de vida que proporciona PM2, para llevar a cabo la gestión de la integración en esta metodología, se pueden seguir una serie de pasos que el autor de este trabajo ha desarrollado para la construcción del modelo.

En primer lugar, es importante identificar los **objetivos del proyecto** y establecer los resultados esperados. Esto permitirá definir una visión clara del proyecto y asegurarse de que todos los componentes estén alineados con los objetivos de la organización.

En segundo lugar, será necesario definir el **alcance del proyecto**, es decir, lo que se incluirá y lo que no se incluirá en el proyecto. Esto permitirá establecer límites claros en cuanto a los entregables del proyecto.

En tercer lugar, es necesario desarrollar un **plan de gestión del proyecto** que establezca las actividades, plazos, presupuesto y recursos necesarios para llevarlo a cabo.

En cuarto lugar, será necesario identificar, categorizar y gestionar los **riesgos del proyecto**, así como establecer un sistema de gestión de cambios para establecer planes de contingencia.

En quinto lugar, es necesario gestionar la **calidad del proyecto**, para que se cumplan los requerimientos y estándares definidos en los objetivos.

Finalmente, es necesario **cerrar el proyecto de manera efectiva** y revisar la **creación de valor**. Esto implica realizar una revisión final del proyecto y documentar cualquier lección aprendida para futuros proyectos, así como realizar una investigación de los posibles impactos tanto a nivel socioeconómico como ambiental.

Todo ello se tiene que realizar con apoyo de los artefactos que proporciona la propia metodología y respetando en todo momento el ciclo de vida de PM2. Véase la Figura 8, donde se proporciona un resumen de lo descrito como la gestión de la integración en PM2.



Figura 8. Marco de Gestión de la Integración para PM2. Fuente: Elaboración propia con datos de *Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1*.

En PM2, la gestión de la integración se lleva a cabo mediante el uso de herramientas o artefactos que se incluyen en todas las fases del ciclo de vida del proyecto. Este marco establece los procesos y actividades necesarios para completar el proyecto, y se puede ajustar para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto y de cada organización.

2.3 ICB 4.0

La ICB (*International Competence Baseline*) en dirección de proyectos es un marco de referencia desarrollado por la IPMA (*International Project Management Association*) en 1999 para la gestión de proyecto (IPMA, 2015). Desde entonces, ha sido actualizada y mejorada en varias ocasiones, con la última versión publicada en 2018. La ICB describe las competencias necesarias para llevar a cabo con éxito un proyecto y está diseñada para ayudar a los gerentes de proyectos a comprender los diferentes aspectos de la gestión de proyectos y mejorar sus habilidades.

IPMA es una organización sin fines de lucro fundada en 1965 y dedicada a promover la gestión de proyectos a nivel internacional, que agrupa a asociaciones de gestión de proyectos de más de 70 países de todo el mundo y tiene como objetivo fomentar el desarrollo de la gestión de proyectos a nivel global, promoviendo las mejores prácticas y los estándares de calidad en la gestión de proyectos.

La ICB se divide en tres áreas o competencias que debe tener cualquier director/a de proyecto para acometer con éxito cualquier tipo de proyecto. Como se muestra en la Figura 9, las competencias son en Perspectiva, Personas y Práctica.

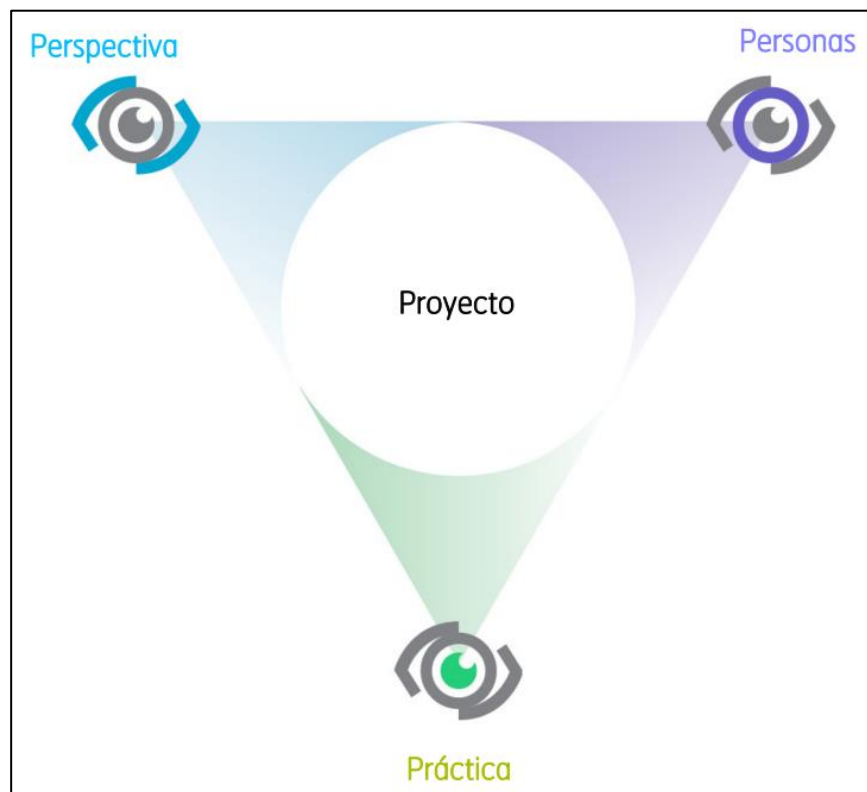


Figura 9. Áreas de Competencias ICB 4.0. Fuente: Extraído de la ICB 4.0 (IPMA, 2015).

Según la ICB 4.0, la dirección de proyectos, carteras o programas debe poseer competencias de perspectiva que abordan el contexto de los proyectos, competencias de personas que abordan temas de comportamiento interpersonal y social, y competencias de práctica que abordan las competencias técnicas específicas para dirigir proyectos.

A su vez, las 3 áreas de competencias principales se dividen en 29 elementos de competencias, los cuales se ven recogidos en la Tabla 6. Cada uno de estos elementos de competencia se describe en detalle en la ICB 4.0, lo que permite a los gerentes de proyectos evaluar su nivel de competencia y desarrollar planes de mejora para mejorar sus habilidades en la gestión de proyectos.

- 5 elementos de competencias de Perspectiva.
- 10 elementos de competencias de Personas.
- 14 elementos de competencias de Práctica.

Tabla 6. Elementos de Competencias ICB 4.0. Fuente: Elaboración propia con datos de la ICB 4.0 (IPMA, 2015).

PERSPECTIVA	PERSONAS	PRÁCTICA
Estrategia	Autorreflexión y autogestión	Diseño de proyecto
Gobernanza, estructuras y procesos	Integridad personal y fiabilidad	Requisitos y objetivos
Cumplimiento, estándares y regulaciones.	Comunicación personal	Alcance
Poder e interés	Relaciones y participación	Tiempo
Cultura y valores	Liderazgo	Organización e información
	Trabajo en equipo	Calidad
	Conflictos y crisis	Finanzas
	Ingenio	Recursos
	Negociación	Aprovisionamiento
	Orientación a Resultados	Planificación y control
		Riesgo y oportunidad
		Partes interesadas
		Cambio y transformación
		Seleccionar y equilibrar

2.3.1. Gestión de la Integración (ICB)

La gestión de la integración según la ICB se centra en la coordinación y sincronización de los distintos aspectos del proyecto para asegurar el éxito del proyecto en todos sus términos, como por ejemplo la satisfacción de las partes interesadas, el tiempo, el coste y el alcance.

La ICB 4.0 se centra en las competencias del gerente de proyectos y en los estándares de rendimiento en la dirección de proyectos. Destaca a su vez la importancia de la comunicación efectiva, el enfoque en los resultados, la gestión del cambio y la calidad en la gestión de la integración. En última instancia, esta gestión efectiva de la integración es fundamental para garantizar el éxito del proyecto y la satisfacción del cliente.

Esta gestión de la integración se debe ejecutar durante toda la vida útil y ciclo de vida del proyecto, por lo que debe seguir los procesos de inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre de este.

El autor del presente trabajo ha desarrollado una figura donde se recoge gráficamente la gestión de la integración desde el modelo por competencias de la ICB (véase Figura 10).

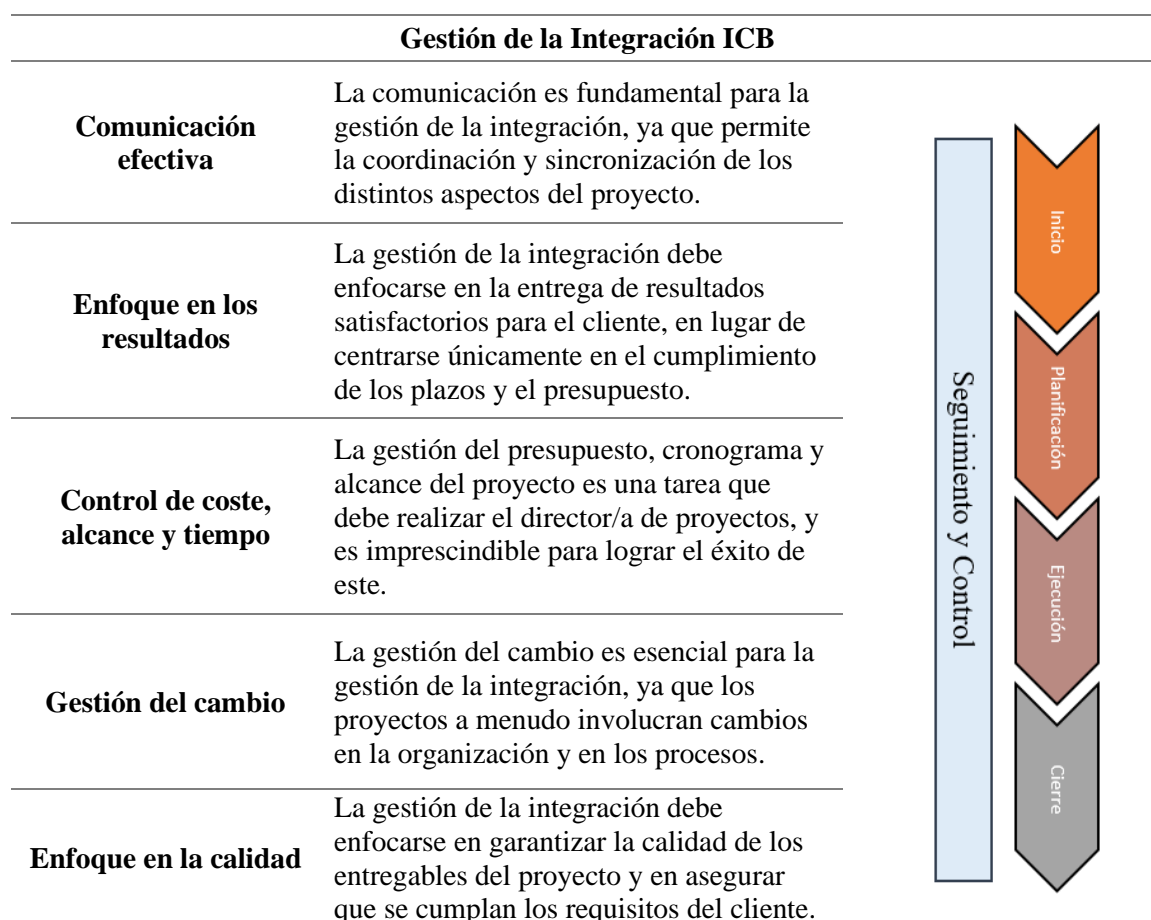


Figura 10. Marco de Gestión de la Integración para ICB 4.0. Fuente: Elaboración propia con datos de la Base para la Competencia Individual en Dirección de Proyectos, Programas y Carteras de Proyectos (IPMA, 2015)

2.4 AGILE

La filosofía ágil (*Agile*), surge junto al Manifiesto Ágil, publicado en 2001, aunque algunas personas piensan que es anterior a este (Durán, 2018). El manifiesto condensó todas las metodologías ágiles anteriores en un conjunto de principios y valores definidos con claridad y que siguen siendo válidos en la actualidad. Fue redactado por 17 expertos desarrolladores software.

Este conjunto de principios y valores, según el manifiesto, deben interpretarse en el contexto de cualquier proyecto en el que se apliquen. No se debe caer en el error de tratar estas afirmaciones como absolutas.

Los valores del Manifiesto Ágil originales son (2001):

- Individuos e interacciones sobre procesos y herramientas
- Software de trabajo sobre documentación completa
- Colaboración con el cliente sobre la negociación del contrato

- Responder al cambio sobre el seguir el plan

La primera declaración requiere un enfoque de liderazgo más suave. Con ello, se permite el empoderamiento para que las personas realicen su trabajo, así como flexibilizar y adaptar los procesos.

La segunda declaración demuestra que se pone demasiado énfasis en la producción de documentación y menos en cumplir con los objetivos del proyecto. El cliente o usuario final, en proyectos en cascada, no llegan a ver lo que se está desarrollando hasta la entrega del producto definitivo.

La tercera declaración se basa en contratos más flexibles, lo que requiere un mayor espíritu de confianza y colaboración entre el equipo de proyecto y el cliente para que se cumplan los requisitos de tiempo y presupuesto de una forma razonable. Suele ser más efectivo en entornos con una mayor incertidumbre.

Por último, la cuarta declaración exige reconocer que en algún momento los requisitos de tiempo, presupuesto y/o alcance van a cambiar a medida que el proyecto avanza, por lo que no es necesario que el usuario o cliente deba definirlos de manera excesivamente precisa.

Estos valores o declaraciones tomaron cuerpo con los 12 principios de *Agile* (Durán, 2018), detallados a continuación:

- *“Nuestra mayor prioridad es satisfacer al cliente mediante la entrega temprana y continua de 'software' con valor.*
- *Aceptamos que los requisitos cambien, incluso en etapas tardías del desarrollo. Los procesos ágiles aprovechan el cambio para proporcionar ventaja competitiva al cliente.*
- *Entregamos 'software' funcional frecuentemente, entre dos semanas y dos meses, preferentemente en el periodo de tiempo más corto posible.*
- *Los responsables de negocio y los desarrolladores trabajamos juntos de forma cotidiana durante todo el proyecto.*
- *Los proyectos se desarrollan en torno a individuos motivados. Hay que darles el entorno y el apoyo que necesitan, y confiarles la ejecución del trabajo.*
- *El método más eficiente y efectivo de comunicar información al equipo de desarrollo, y entre los miembros del equipo, es la conversación cara a cara.*
- *El 'software' funcionando es la medida principal de progreso.*
- *Los procesos ágiles promueven el desarrollo sostenible. Los promotores, desarrolladores y usuarios debemos ser capaces de mantener un ritmo constante de forma indefinida.*
- *La atención continua a la excelencia técnica y al buen diseño mejora la agilidad.*
- *La simplicidad, o el arte de maximizar la cantidad de trabajo no realizado, es esencial.*
- *Las mejores arquitecturas, requisitos y diseños emergen de equipos autoorganizados.*
- *A intervalos regulares el equipo reflexiona sobre cómo ser más efectivo para a continuación ajustar y perfeccionar su comportamiento en consecuencia.”*

2.4.1. Gestión de la Integración (AGILE)

La gestión de la integración en la filosofía *Agile* se enfoca en la entrega continua de valor para el cliente y en la integración de las distintas áreas del proyecto en un flujo de trabajo continuo y adaptable (Cobb, 2015). A diferencia de los marcos de gestión de proyectos tradicionales, que se basan en una planificación detallada y una ejecución secuencial, la filosofía Agile se basa en la iteración continua y la adaptación a medida que el proyecto avanza.

En la Tabla 7, se pueden observar los aspectos clave y su descripción detallada de lo que significa la gestión de la integración para el autor de este trabajo en consonancia con la filosofía *Agile*:

Tabla 7. Marco de Gestión de la Integración para Agile. Fuente: Elaboración propia.

Gestión de la Integración Agile	
Planificación adaptable	La planificación en la filosofía Agile se realiza en iteraciones cortas, y se adapta continuamente a medida que se obtiene más información del cliente y del equipo.
Entrega continua de valor	La gestión de la integración en la filosofía Agile se enfoca en la entrega continua de valor para el cliente, a través de entregas frecuentes de incrementos de producto.
Colaboración y comunicación continua	La colaboración y la comunicación continua son fundamentales para la gestión de la integración en la filosofía Agile, ya que permiten la integración de las distintas áreas del proyecto en un flujo de trabajo continuo.
Enfoque en los resultados y en la satisfacción del cliente	La gestión de la integración en la filosofía Agile se enfoca en la entrega de resultados satisfactorios para el cliente y en la mejora continua de la satisfacción del cliente.
Adaptación continua	La gestión de la integración en la filosofía Agile se basa en la adaptación continua a medida que se obtiene más información del cliente y del equipo, y se realizan ajustes en consecuencia.
Mejora continua	Este proceso, se engloba en la gestión de la integración, e implica la identificación de mejoras en el proceso y en el producto a medida que se avanza en el proyecto.

En última instancia, la gestión efectiva de la integración en la filosofía Agile es fundamental para garantizar la entrega de productos de alta calidad, adaptados a las necesidades del cliente, y para lograr la satisfacción del cliente a largo plazo.

2.5 SCRUM

Scrum es un marco ligero que trata de dar una guía deliberadamente incompleta sobre cómo afrontar proyectos (Schwaber y Sutherland, 2020). Está basado en la corriente del empirismo (aprender de la experiencia) y del pensamiento *Lean* (centrarse en lo esencial).

Scrum es un enfoque ágil para la gestión de proyectos que se centra en el desarrollo iterativo e incremental de un producto o servicio y es ampliamente utilizado en la gestión de proyectos de tecnología y software, aunque también se puede aplicar en otros tipos de proyectos.

Scrum se fundamenta en tres pilares:

- Transparencia
- Inspección
- Adaptación

La metodología *Scrum* se basa en un equipo multidisciplinario y autoorganizado que trabaja en ciclos de tiempo fijos, llamados *sprints*. Cada *sprint* es un período de tiempo predefinido, generalmente de dos a cuatro semanas, en el que el equipo trabaja para completar un conjunto de tareas específicas del proyecto (De Toro, 2022).

En *Scrum*, hay tres **roles principales**: 1) El *Product Owner* es responsable de definir y priorizar los requisitos del proyecto, y de asegurar que el equipo de desarrollo esté trabajando en las características adecuadas. 2) El *Scrum Master* es el encargado de asegurar que el equipo de desarrollo siga las prácticas y los procesos de *Scrum*, y de eliminar cualquier obstáculo que pueda impedir el progreso del proyecto. 3) El Equipo de Desarrollo es el grupo de personas que trabajan juntas para completar las tareas del proyecto.

Además, *Scrum* tiene cinco **eventos principales**: 1) La Reunión de Planificación del *Sprint* es cuando el equipo de desarrollo y el *Product Owner* se reúnen para determinar qué trabajo se realizará en el próximo *sprint* y cómo se llevará a cabo. 2) El *Sprint*, el equipo de desarrollo trabaja en el conjunto de tareas definido en la reunión de planificación. 3) La Revisión del *Sprint* es una reunión al final del *sprint* en la que el equipo de desarrollo presenta lo que ha logrado durante el *sprint* al *Product Owner* y a otras partes interesadas. 4) La Retrospectiva del *Sprint* es una reunión en la que el equipo de desarrollo revisa cómo ha ido el *sprint* y cómo puede mejorar su forma de trabajo en el siguiente. 5) La *Daily Scrum* es una reunión diaria breve en la que el equipo de desarrollo se reúne para sincronizarse y planificar su trabajo para el día. La reunión se lleva a cabo en un horario fijo y suele durar no más de 15 minutos.

Por último, también existen unos **artefactos principales** de *Scrum* que son: 1) El *Product Backlog* es una lista ordenada de todas las características, funciones y requisitos del proyecto, organizados por orden de importancia. 2) El *Sprint Backlog* es una lista de todas las tareas que el equipo de desarrollo debe completar durante el *sprint*. 3) El Incremento es el resultado del *sprint*, que se refiere a todos los elementos del *Product Backlog* que se han completado y están listos para su uso.

A continuación, se presenta en la figura 11 una forma rápida y precisa de cómo es la interacción entre los diferentes elementos de *Scrum*.

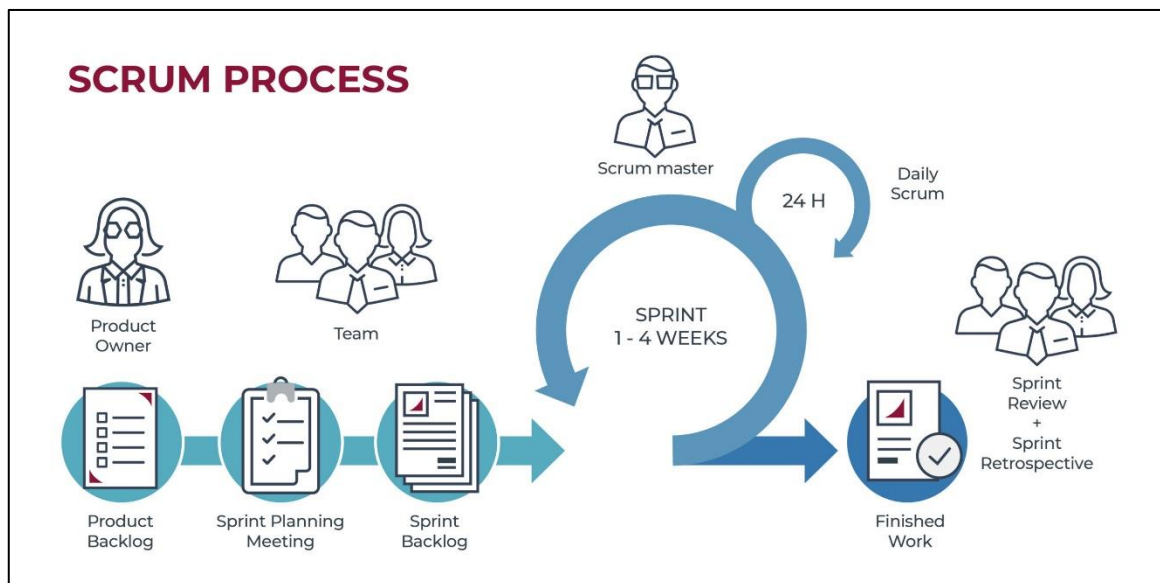


Figura 11. Interacción entre roles, eventos y artefactos de Scrum. Fuente: Extraído de Escuela de Negocios y Dirección (De Toro, 2022).

2.5.1. Gestión de la Integración (SCRUM)

La gestión de la integración en *Scrum* se basa en la entrega continua de incrementos del producto y en la integración de las distintas áreas del proyecto en un flujo de trabajo continuo y colaborativo.

El rol principal responsable de la gestión de la integración es el *Scrum Master*. Si bien el *Scrum Master* no es el gerente de proyecto tradicional, asume la responsabilidad de garantizar que los diferentes elementos del proyecto se integren de manera efectiva.

El *Scrum Master* es el responsable de facilitar la colaboración entre el equipo *Scrum*, el *Product Owner* y las partes interesadas externas. Debe asegurarse de que el equipo *Scrum* tenga las herramientas y los recursos necesarios para integrar y entregar el producto o servicio en función de las expectativas del cliente.

Además, el *Scrum Master* es responsable de garantizar que el equipo *Scrum* siga los principios y prácticas de *Scrum* y que se realicen las reuniones y eventos necesarios para la gestión de la integración, como la reunión diaria de *Scrum*, la revisión del sprint y la retrospectiva del sprint.

La gestión de la integración en esta metodología, elaborada por el autor de este trabajo y siguiendo las directrices de *Scrum*, se enfoca en los aspectos clave recogidos y desarrollados en la siguiente tabla (Tabla 8):

Tabla 8. Marco de Gestión de la Integración para Scrum. Fuente: Elaboración propia.

Gestión de la Integración SCRUM	
Trabajo en equipo	El equipo de <i>Scrum</i> trabaja en conjunto para lograr los objetivos del sprint y de la entrega del producto.
Iteraciones cortas	<i>Scrum</i> se basa en iteraciones cortas, conocidas como <i>sprints</i> , que permiten la entrega continua de incrementos del producto.
Comunicación continua	<i>Scrum</i> enfatiza la comunicación continua entre el equipo de <i>Scrum</i> y el dueño del producto para garantizar que se satisfagan las necesidades del cliente.
Gestión visual	<i>Scrum</i> utiliza herramientas visuales, como el tablero de <i>Scrum</i> , para facilitar la gestión del trabajo y la comunicación del equipo.
Adaptación constante	<i>Scrum</i> se enfoca en la adaptación constante, con el objetivo de mejorar continuamente el proceso y el producto.

2.6 BIM

BIM (*Building Information Modeling*) es una metodología que permite diseñar, construir y gestionar edificios y otros proyectos de construcción de manera más eficiente y colaborativa (Building Smart, s.f.).

Esta metodología no es genérica en dirección de proyectos como las anteriores, aunque el autor de este trabajo ha querido introducirla, ya que es la metodología de trabajo colaborativo más utilizada en cualquier proyecto de construcción.

La metodología BIM surgió a finales de los años 70 y principios de los 80, aunque en aquel momento se conocía con otro nombre: *Building Product Model* (BPM). El BPM fue desarrollado por la empresa Graphisoft en Hungría, y se utilizaba para crear modelos 3D de edificios con el fin de mejorar la visualización y comunicación de los diseños (Choclán, et al, 2014).

Posteriormente, en la década de los 90, la metodología fue evolucionando y adquiriendo nuevas funcionalidades, lo que llevó a que se le conociera como *Building Information Modeling* (BIM).

El porqué del surgimiento de BIM es debido a la necesidad de mejorar la productividad y eficiencia en la industria de la construcción. Antes de la llegada de BIM, el proceso de construcción era muy fragmentado y poco colaborativo, lo que llevaba a errores, retrasos y costes adicionales.

BIM es un proceso que utiliza un modelo 3D para integrar la información de un proyecto, incluyendo información geométrica, de costes, de tiempo, de materiales y de rendimiento, en un solo lugar. Esto permite que todos los miembros del equipo de construcción trabajen en un mismo modelo compartido, lo que a su vez mejora la comunicación y reduce los errores.

El proceso BIM se divide en varias etapas, desde la conceptualización y diseño hasta la construcción y mantenimiento del edificio. Durante estas etapas, el modelo BIM se va actualizando y refinando con la información relevante de cada una de ellas (véase Figura 12).

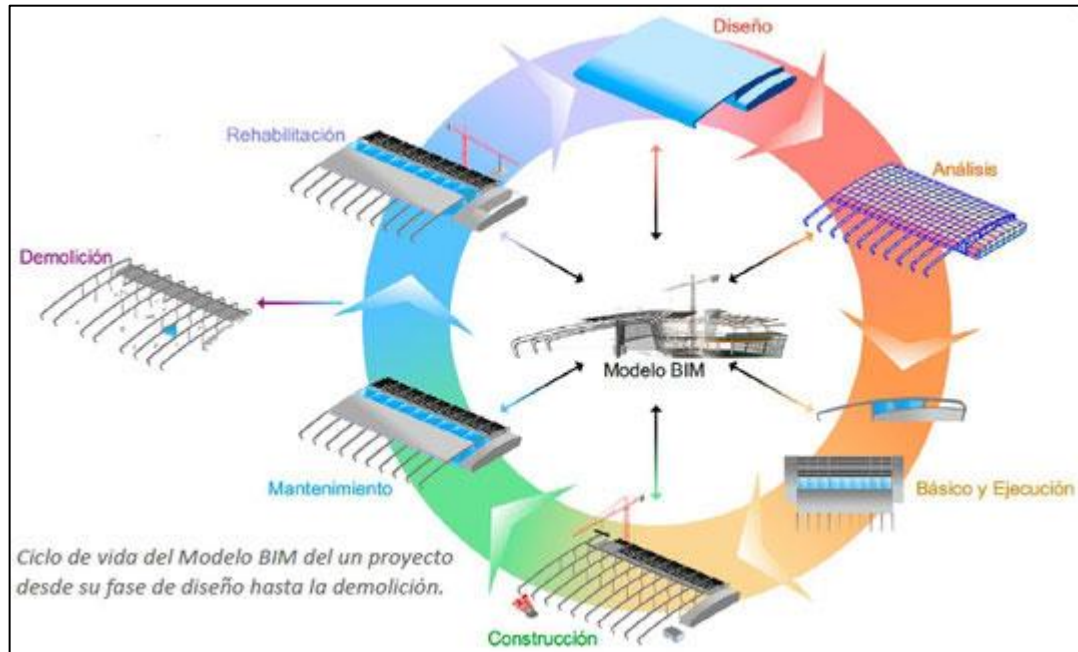


Figura 12. Ciclo de vida BIM. Fuente: Extraído de Building Smart Spain (Building Smart, s.f.).

Existe una serie de dimensiones en la metodología BIM (Figura 13), y en cada una de ellas se encuentran los niveles de detalle (*Level Of Detail* - LOD, por sus siglas en inglés), que son un concepto clave dentro de esta. Los LOD en BIM se refieren al grado de precisión y detalle del modelo 3D de un proyecto de construcción, y se dividen en cinco niveles (Sacks, Eastman, Lee y Teicholz, 2018):

- LOD 100: este nivel se refiere a la etapa inicial de un proyecto, donde se realiza un modelo básico 3D para visualizar el concepto del diseño. En este nivel se definen las formas básicas y las relaciones entre los objetos.
- LOD 200: en este nivel, el modelo 3D se va refinando y se agregan más detalles, como medidas y dimensiones precisas, y se definen los componentes principales del edificio.
- LOD 300: en este nivel se agregan aún más detalles al modelo, como los elementos constructivos y las especificaciones técnicas. El modelo es lo suficientemente preciso como para generar planos y generar cálculos de costes.
- LOD 400: en este nivel, el modelo 3D se utiliza para la planificación y coordinación de la construcción. El modelo es lo suficientemente preciso como para definir los materiales y los sistemas de construcción.

- LOD 500: este nivel se refiere a la información necesaria para la gestión y mantenimiento del edificio una vez construido, como las especificaciones de los equipos y sistemas, y los requisitos de mantenimiento.



Figura 13. Dimensiones en BIM. Fuente: Extraído de Da Vinci Ingeniería (2023).

Es importante destacar que cada nivel de detalle es una etapa del proceso de construcción, y que el modelo 3D se va actualizando y refinando en cada una de estas etapas. De esta manera, se asegura que la información en el modelo BIM esté siempre actualizada y precisa, y que todos los miembros del equipo de construcción tengan acceso a la misma información.

2.6.1. Gestión de la Integración (BIM)

La gestión de la integración en BIM (*Building Information Modeling*) se centra en la colaboración y coordinación de los diferentes actores que participan en un proyecto de construcción. BIM tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia y la calidad del proyecto a través de la integración de la información y la colaboración entre los diferentes participantes (véase Figura 14).

La gestión efectiva de la integración en BIM es fundamental para garantizar la entrega de proyectos de construcción de alta calidad y que satisfagan las necesidades del cliente. Esta se enfoca en algunos procesos y aspectos clave, que son los encargados de realizar de forma correcta y efectiva la gestión de la integración en esta metodología.

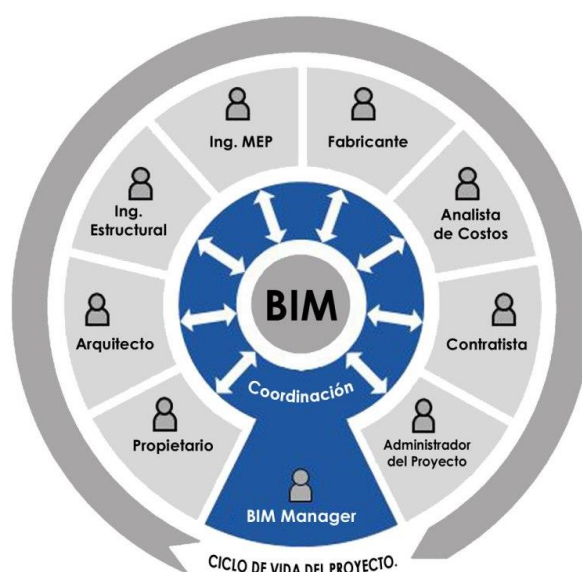


Figura 14. Participantes o equipo de proyecto BIM. Fuente: Academia de Diseño (2019).

2.6.1.1 Procesos clave

- **Planificación del proyecto:** El equipo de BIM y los demás actores del proyecto trabajan juntos para planificar el proyecto, incluyendo los objetivos, los plazos y los recursos necesarios. Esta etapa es la más importante de todo el proyecto y en la que se tiene que destinar un mayor número de horas para evitar errores a la hora de la ejecución.
- **Creación del modelo:** Se crea un modelo BIM que contiene toda la información relevante del proyecto, incluyendo diseño, costes, planificación y detalles constructivos.
- **Colaboración y coordinación:** Los diferentes actores del proyecto colaboran y coordinan sus esfuerzos para asegurarse de que el modelo BIM sea preciso y completo.
- **Análisis:** Se utilizan herramientas de análisis para evaluar el modelo BIM y asegurarse de que se cumplan los requisitos de calidad, seguridad y eficiencia.
- **Gestión de cambios:** Se gestiona cualquier cambio en el modelo BIM para garantizar que todas las partes interesadas estén informadas y que se tomen las acciones necesarias.

2.6.1.2 Aspectos clave

- **Modelo centralizado:** BIM utiliza un modelo centralizado donde se almacena toda la información relevante del proyecto, que contiene el presupuesto, la planificación y el diseño, así como detalles de materiales para la construcción.

- **Colaboración:** BIM fomenta la colaboración entre los diferentes actores del proyecto, incluyendo arquitectos, ingenieros, contratistas, subcontratistas y proveedores.
- **Coordinación:** BIM permite una mejor coordinación entre los diferentes equipos y disciplinas, lo que permite una mayor eficiencia en el proceso de construcción.
- **Información en tiempo real:** BIM proporciona información en tiempo real sobre el proyecto, lo que permite a los equipos tomar decisiones más informadas y rápidas.

Los miembros del equipo de proyecto BIM pueden variar según el tipo y la complejidad del proyecto, pero generalmente incluyen: el BIM Manager, el propietario o el cliente, el arquitecto, el ingeniero estructural, la dirección del proyecto, el ingeniero MEP (Mecánico, Eléctrico y Fontanería), el constructor, el experto en seguridad y el conocedor en sostenibilidad. Además de estos profesionales, el equipo de proyecto BIM también puede incluir otros especialistas, como el técnico en iluminación, acústica, paisajismo, entre otros.

El encargado de la gestión de la integración es el BIM Manager, que es un experto en la coordinación y gestión del proceso BIM, y juega un papel crítico en el éxito del proyecto. Su experiencia y habilidades aseguran que todas las disciplinas involucradas estén trabajando juntas de manera efectiva y que se estén utilizando las tecnologías y prácticas adecuadas para lograr los objetivos del proyecto.

Capítulo 3 CASOS DE ÉXITO VS FRACASO

En el ámbito de los grandes proyectos de infraestructura en todo el mundo, la historia ha proporcionado varios ejemplos tanto de éxitos rotundos como de grandes fracasos. Las experiencias en el desarrollo de estas estructuras permiten analizar y comprender los factores clave que pueden determinar el destino de un proyecto de tal envergadura.

En este trabajo, se busca sumergir al lector en el fascinante mundo de los grandes proyectos de infraestructura, explorando casos emblemáticos de éxito y fracaso desde la perspectiva de la gestión de la integración, y examinando las lecciones aprendidas que pueden aplicarse a futuros proyectos y emprendimientos.

A través de un análisis comparativo de estos casos, descubriremos las variables que influyen en el resultado final, desde la planificación y gestión efectiva de la integración hasta los desafíos inesperados y las decisiones cruciales que pueden marcar la diferencia entre un proyecto exitoso y uno que se convierte en una historia de fracaso.

Estos son solo algunos ejemplos representativos de casos de éxito y fracaso en grandes proyectos de infraestructura. Cada uno de ellos ofrece valiosas lecciones y puntos de referencia para comprender los factores críticos que influyen en el resultado de estos emprendimientos a gran escala desde el punto de vista de la gestión de la integración.

3.1 Casos de éxito

Los casos de éxito en grandes proyectos de infraestructura se caracterizan por tener una planificación y una ejecución efectiva a gran escala, además de mantener una correcta gestión de la integración para que den como resultado beneficios significativos tanto para la sociedad como para los interesados que están directamente involucrados con el mismo.

Al describir un caso de éxito en un gran proyecto de infraestructura, se deben destacar algunos aspectos clave. A continuación, se resaltan los que para el autor de este trabajo tienen una mayor relevancia:

Primero, se debe enfatizar en buena medida en una **planificación detallada y rigurosa**, que aborde todos los aspectos del proyecto, en los que se deben incluir estudios de factibilidad, de diseño técnico, de gestión de riesgos y de cronograma de ejecución, entre otros.

Segundo, cabe destacar la importancia de mantener una **gestión eficiente e integrada** durante todas las etapas del proyecto, en las que hay que incluir una asignación adecuada de recursos, el seguimiento y control riguroso del progreso del proyecto, la resolución oportuna de problemas, la gestión eficiente de cambios y la coordinación y comunicación efectiva entre los diferentes equipos y partes involucradas.

Tercero, se tienen que destacar los **beneficios** que el proyecto ha generado, basándose en la **creación de valor tanto a nivel económico como social y ambiental**. Por ejemplo, la creación de empleo, el impulso al desarrollo económico local, la mejora de la calidad de vida de la comunidad, la reducción de la congestión del tráfico, la disminución de emisiones contaminantes, etc.

Cuarto, es preciso resaltar la **colaboración exitosa entre los diferentes actores involucrados**, como organismos gubernamentales, empresas constructoras, consultores, comunidades locales y otros grupos de interés. La participación activa de todas las partes interesadas puede contribuir a la correcta toma de decisiones y al éxito general del proyecto.

Quinto, se necesita poner énfasis en la importancia **de finalizar el proyecto dentro del plazo** establecido y **respetando el presupuesto asignado**. Esto demuestra la capacidad de gestión y control financiero por parte de los responsables del proyecto. Aunque en este tipo de proyectos complejos de infraestructura suelen surgir muchos problemas que perjudican a estas variables.

Sexto, merece la pena mencionar la importancia de cumplir con los **estándares de calidad y seguridad** durante la construcción y operación del proyecto. En este punto se deben incluir el cumplimiento de las regulaciones y normas aplicables, así como la implementación de medidas de seguridad adecuadas para proteger a los trabajadores y usuarios del proyecto.

Por último, destacar las **soluciones innovadoras** y el uso de **tecnología de vanguardia** aplicada en el proyecto, como el uso de materiales más eficientes, técnicas de construcción avanzadas, sistemas de información geográfica, modelado en 3D, inteligencia artificial, etc. El uso de algunas de estas tecnologías puede reducir e incluso evitar riesgos técnicos, de diseño e incluso ambientales.

Al describir estos casos de éxito, es importante proporcionar datos concretos y ejemplos tangibles que respalden los logros y beneficios mencionados. Además, resaltar la importancia de aprender de estos casos para aplicar las lecciones aprendidas en futuros proyectos de infraestructura.

3.1.1. Túnel del Canal de la Mancha

El Túnel del Canal de la Mancha es un túnel ferroviario que une Reino Unido y Francia a través del Canal de la Mancha. El proyecto tenía como objetivo mejorar significativamente el transporte y el comercio entre Reino Unido y Europa, y ha ayudado a impulsar el turismo y la economía en ambas regiones.

La idea de construir un túnel que conectase Reino Unido con el continente europeo se remonta al siglo XIX. Un antiguo ingeniero de minas francés realizó una propuesta en el año 1803 de unir ambos países a través de un túnel, que se construiría desde cada lado y hasta una isla artificial en medio del mar (Gourvish, 2006). Esta propuesta no llegó a materializarse por los escepticismos y miedos a una posible guerra, aunque sí fue el precursor de las siguientes ideas y propuestas para llevar a cabo esta gran hazaña.

A continuación, se presenta una tabla (Tabla 9) con los datos de las propuestas más relevantes para la construcción del túnel durante el siglo XIX. Aunque cabe destacar que ninguno de ellos tuvo el potencial disruptivo para llevarse a cabo.

No fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial que surgieron nuevas aspiraciones para la construcción del túnel, tras la debilitación de las objeciones militares. Los principales obstáculos ahora eran económicos y políticos. Por ello, se formaron grupos parlamentarios en ambos países para elaborar un caso coordinado para el desarrollo del túnel.

Tabla 9. Lista selecta de las primeras propuestas para un enlace de canal fijo, 1803-1889. Fuente: Extraído de *The official history of Britain and The Channel Tunnel* (Gourvish, 2006).

Fecha	Proponente	País de origen	Modo/método
1803	Jacques–Joseph Mathieu–Favier	Francia	Túnel
1833-1867	Louis Joseph Aimé Thomé de Gamond	Francia	Tube, puente, túnel
1843	Cyprien Tessié du Mottay and Charles Franchot	Francia	Tube sumergido
1851	Hector Horeau	Francia	Tube sumergido
1855	James Wylson	Reino Unido	Tube sumergido
1855	Léopold Favre	Francia	Túnel
1856	William Austin	Reino Unido	Túnel
1865	John Hawkshaw and Hartsinck Day	Reino Unido	Perforaciones de prueba
1867	William Low et al.	Reino Unido	Túnel
1869, 1875	A. Mottier	Francia	Puente
1872	Channel Tunnel Co.	Reino Unido	Túnel: perforaciones
1875	Chemin de Fer Sous-Marin	Francia	Túnel: perforaciones
1881-1882	South Eastern Railway/ Submarine Continental Co.	Reino Unido	Túnel: perforaciones
1889	Hildevvert Hersent et al./ Schneider et Cie	Francia/ Reino Unido	Puente

Tras varios años de debate por si crear un puente o un túnel entre Francia y Reino Unido, en 1964 los gobiernos de ambos países decidieron apostar por la propuesta más alentadora de construir el Túnel. Se comenzó a preparar el anteproyecto, con cuestiones de organización, finanzas y viabilidad económica.

Los franceses proponían que la construcción del proyecto debía realizarse por una empresa privada, o en su defecto por una sociedad de empresas privadas, mientras que Reino Unido se mantenía firmemente en la convicción de que debía ser ejecutado por una corporación pública. Finalmente, se decantaron por la opción francesa y se pusieron con la búsqueda de socios del sector privado a partir de 1966. Además, en esta misma fecha se comenzaron a poner en relación los dos sistemas ferroviarios para desarrollar el estudio, la política comercial y la remuneración de la empresa constructora (incluido el mantenimiento y las futuras mejoras).

Tardaron más de 20 años, pero, finalmente, en 1985 la primera ministra británica Margaret Thatcher y el presidente francés François Mitterrand invitaron a varios promotores para presentar sus propuestas de proyecto (Anderson y Roskrow, 1994):

- *Channel Tunnel*, una propuesta ferroviaria basada en el esquema de 1975 presentado por *Channel Tunnel Group / France-Manche* (CTG / F-M).
- *Eurobridge*, un puente colgante de 35 km (22 millas) con una serie de vanos de 5 km (3,1 millas) con una calzada en un tubo cerrado.
- *Euroroute*, un túnel de 21 km (13 millas) entre islas artificiales a las que se accede mediante puentes.
- *Channel Expressway*, túneles de carretera de gran diámetro con torres de ventilación de canal medio.

La propuesta de un túnel con acceso directo era muy apoyada por la opinión pública, pero las incertidumbres sobre la ventilación, la gestión de accidentes y la fascinación del conductor llevaron a que la única presentación de ferrocarril preseleccionada fuera la de CTG / FM. Se les adjudicaría el proyecto en enero de 1986 al consorcio de empresas denominado Eurotunnel (50% CTG y 50% FM), lo que se conocería posteriormente como el Tratado de Canterbury (Figura 15).

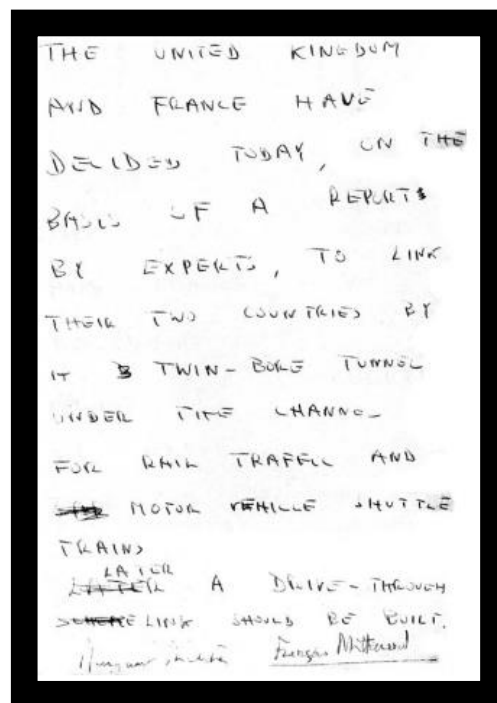


Figura 15. Anuncio firmado de Thatcher y Mitterrand para proceder con el Túnel del Canal, 20 de enero de 1986. Fuente: *The oficial history of Britain and The Channel Tunnel* (Gourvish, 2006).

Tras este acontecimiento se comenzó a realizar lo que hoy conocemos como “Acta de Constitución”, según el PMBOK (Project Management Institute, 2017). Donde se recogieron los principales hitos, entregables, alcance del proyecto, grandes riesgos, tiempo esperado, presupuesto y las principales partes interesadas.

El alcance original del proyecto era la realización de un túnel ferroviario que conectase Reino Unido y Francia. Finalmente, se optó por la estructura en dos túneles ferroviarios principales, donde circularían trenes de alta velocidad y un túnel subsidiario situado entre ellos para posibles

desplazamientos extraordinarios y labores de evacuación (véase Figura 16). Este túnel subsidiario carece de vías férreas y está unido a los otros dos cada 375 metros, por lo que en este pueden circular coches (Inti, 2019).

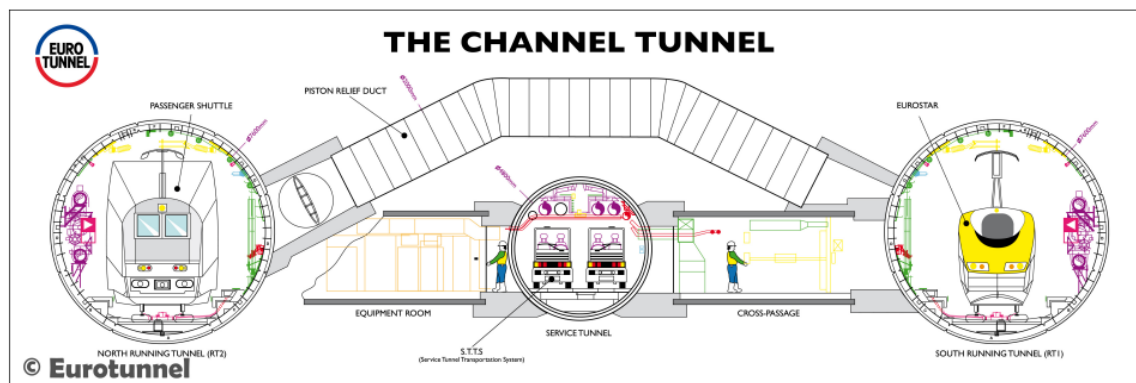


Figura 16. Sección frontal del diseño de los tres túneles. Fuente: Extraído de R. Inti (Inti, 2019).

La longitud de estos túneles es de 50,5 km, de los cuales 37,9 km están bajo el mar, lo que lo constituye como el túnel submarino más largo del mundo. Tiene una profundidad media de entre 40 y 45 metros por debajo del nivel del mar (Mansilla, s.f.).

El presupuesto total del proyecto que se estimó en 1985 fue de 4.800 millones de libras, pero terminó siendo mucho más alto de lo esperado, 9.500 millones de libras en 1994. Debido en gran medida a los costes asociados a la construcción, la entrega de equipos, las dificultades en las pruebas y las modificaciones en el diseño del proyecto (Chen, 2022).

Fue uno de los proyectos de infraestructuras más grandes del mundo financiado por fondos privados provenientes de bancos, fideicomisos, compañías de seguros y empresas constructoras, haciendo a estas partes interesadas de alto nivel. También hubo prestamistas de otras empresas e individuos particulares.

Los principales riesgos recogidos por Hongji Chen (Chen, 2022) en su estudio sobre el proyecto, incorporan riesgos políticos, riesgos de fuerza mayor, riesgos técnicos y riesgos económicos. Algunos de estos incluyen riesgos de construcción, contractuales y relacionados con juicios erróneos y errores en el propósito y el trabajo del túnel, que hacen que este sea inadecuado para su propósito. También destaca el riesgo subyacente de la explotación del túnel.

Uno de los “cisnes negros” que surgieron durante el desarrollo del proyecto fue el de tener que agregar un sistema de aire acondicionado de agua fría al diseño, ya que la fricción del aire causada por los trenes de alta velocidad causaría que el túnel se calentara particularmente. Este fue un error de cálculo que finalmente costó una gran cantidad de dinero. Las demoras o no validaciones en los diseños resultaron en mayores demoras y aumentos del coste total.

El proyecto comenzó en 1987 y se estimó una duración de seis años para completarse (1993), pero finalmente se demoró abriendo al público en 1994. Debido en gran medida a las repercusiones políticas dañinas durante su diseño y construcción.

3.1.1.1 Éxito en la gestión de la integración

El proyecto del Túnel del Canal de la Mancha fue considerado un éxito debido a varios factores importantes dentro de la gestión de la integración en proyectos. Entre ellos, destaca que se establecieron dos equipos de gestión de proyectos que tuvieron en cuenta las necesidades y objetivos de todas las partes interesadas al redactar el informe principal (Acta de Constitución).

También se tuvo en cuenta el factor en la resolución de desafíos técnicos y de gestión, incluyendo la construcción de los túneles submarinos a través de terrenos geológicamente complejos, la coordinación de los equipos de trabajo franceses y británicos, y la gestión de los riesgos asociados con la seguridad y la financiación.

Otra de las claves del éxito fue una gestión de proyecto muy efectiva que incluyó una planificación exhaustiva, una definición clara del alcance y objetivos y una comunicación fluida y eficaz entre los equipos de gestión, las partes interesadas y los proveedores. Todo ello, mientras se realizaba el control y la gestión del trabajo del proyecto durante todas las fases.

El enfoque en la calidad fue otro factor clave del éxito del proyecto. Se realizaron controles de calidad rigurosos en todas las fases del proyecto para garantizar que se cumplieran los estándares y requisitos de calidad. La gestión de los cambios en el coste, alcance, tiempo y en cualquier factor técnico, se llevaron a cabo de forma rápida y eficaz.

Otro de los factores clave fue la composición del equipo de proyecto. El equipo de construcción y diseño del Túnel del Canal de la Mancha estaba compuesto por algunos de los ingenieros más experimentados y cualificados del mundo. Ellos fueron capaces de utilizar tecnologías avanzadas y estrategias innovadoras para superar los desafíos técnicos y de construcción del proyecto.

El proyecto también involucró la creación de alianzas estratégicas entre las empresas y los países involucrados. Esto permitió una mayor colaboración y coordinación entre los equipos de construcción y de gestión y una mejor utilización de los recursos disponibles.

En resumen, la gestión de la integración en este proyecto es considerada un éxito debido a su adaptación, mejora y comunicación continua durante todas las fases del proyecto. Debido también a su buen grado de dirección y control del trabajo del proyecto, a su correcta gestión de los cambios y su gran enfoque en la calidad y en los resultados (Tabla 10).

Además, el proyecto ha demostrado ser rentable, ya que ha generado ingresos significativos desde su apertura, y ha mejorado la conectividad y la eficiencia del transporte entre Reino Unido y Europa. Más de 13.000 millones de euros de fruta fresca son trasladados por el túnel al año, es la vía de importación y exportación del 26% de los bienes que cruzan hacia o desde Reino Unido, lo que representa un valor de 150.000 millones de euros (Eurotunnel, 2018).

El proyecto dio empleo a más de 13.000 personas, y actualmente se encargan de la gestión y buen funcionamiento del sistema más de 4.000 empleados. Permite la conexión entre Reino Unido y Europa y reduce los tiempos de viaje entre Londres y otras capitales europeas (ICE, s.f.).

Una de las mayores controversias del proyecto fue el estallido de un incendio en uno de los túneles que causó la muerte de dos trabajadores y provocó importantes daños. Este incidente puso de relieve deficiencias en los sistemas de seguridad y protección contra incendios.

Otro de los problemas más relevantes durante la construcción del túnel, es que hubo varios conflictos laborales y huelgas que afectaron a la continuidad de los trabajos. Los trabajadores protestaron por las malas condiciones, los bajos salarios y los largos horarios, lo que resultó en interrupciones y retrasos adicionales en la ejecución del proyecto. Aunque cabe destacar que se solventaron con cierta eficacia.

Tabla 10. Aspectos clave de éxito del proyecto Túnel del Canal de la Mancha. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del proyecto Túnel del Canal de la Mancha con escala Likert	
¹ Planificación detallada y rigurosa	9
Gestión eficiente e integrada	8
Beneficios y creación de valor	8
Colaboración con partes interesadas	6
Plazo y presupuesto establecidos	4
Calidad y seguridad	7
Tecnología avanzada	9

3.1.2. Presa de las Tres Gargantas

La Presa de las Tres Gargantas es una enorme estructura hidráulica ubicada en el río Yangtze, en la región central de China. El objetivo principal del proyecto de la presa era generar energía hidroeléctrica para abastecer la creciente demanda de energía en China, así como reducir el riesgo de inundaciones en la región.

La idea de construir una presa de las Tres Gargantas se remonta a principios del siglo XX. El autor del libro *An Outline for the Reconstruction of the Republic of China*, Sun Yat-se, realizó la primera propuesta en 1918 para que se construyera un dique en la sección de las Tres Gargantas del río Changjiang para mejorar la navegación entre Wuhan y Chongqing (como se observa en la Figura 17), lo que reduciría el peligro de inundaciones (Shu, 2007).

No sería hasta la década de 1930 cuando el gobierno chino organizase varias investigaciones para comprobar y evaluar la viabilidad del proyecto. Invitaron tanto a ingenieros extranjeros como ingenieros chinos a participar colaborando con la investigación, lo que condujo a una etapa de diseño preliminar. Sin embargo, el grado de complejidad elevado y las insuficiencias económicas hicieron que el proyecto no se llevara a cabo.

En 1991 se produjeron unas devastadoras inundaciones en Yangtze, que se convirtieron en un factor crucial para que el Comité de Evaluación del Consejo de Estado diera luz verde al proyecto. Ya

¹ Se evaluará el cumplimiento de los aspectos clave mediante una escala de Likert de 1 a 10 puntos, donde 1 representa el extremo negativo de la escala y 10 representa el extremo positivo de la escala. Por lo tanto, cuanto más alto sea el número asignado, mayor será el nivel de cumplimiento percibido. Es importante tener en cuenta que los resultados de estas escalas son subjetivos y deben interpretarse en el contexto adecuado, considerando factores como el sesgo individual y las diferencias culturales.

solo esperaba la decisión final de la Asamblea Popular Nacional para proceder con el desarrollo del proyecto, la cual llegaría en abril de 1992 con la aprobación de la resolución para construir la Presa de las Tres Gargantas (López-Pujol y Ponseti, 2008).

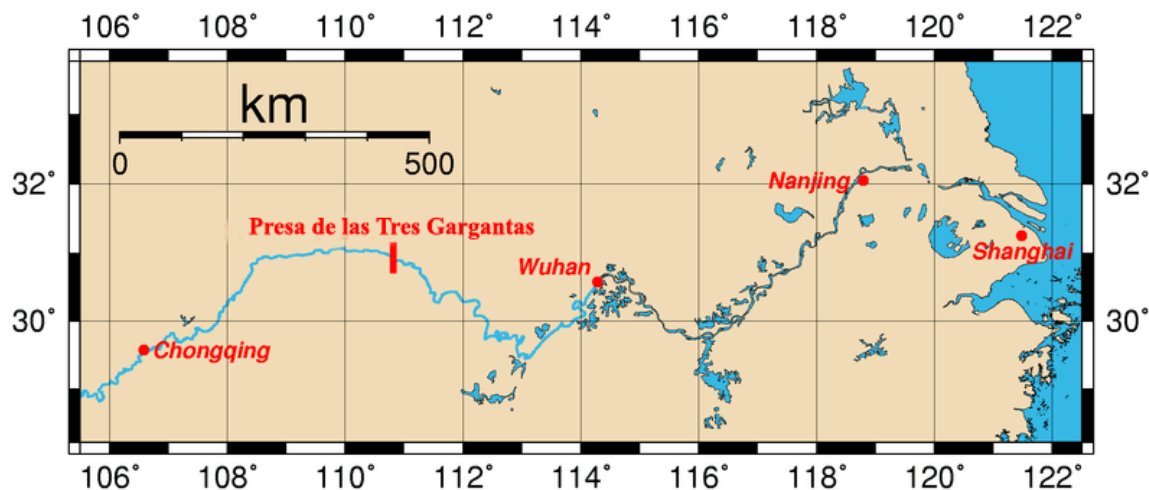


Figura 17. Mapa de la ubicación de la presa de las Tres Gargantas y las ciudades más importantes a lo largo del río Yangtsé. Fuente: Extraído de Wikipedia.

El plan aprobado consistía en una presa multipropósito, la cual serviría para la generación de energía, la navegación y el control de inundaciones, cuya construcción estaba planeada para iniciar en 1994 y terminar en 2013, y se dividiría en tres etapas (véase Tabla 11).

Tabla 11. Plan de construcción de la presa de las Tres Gargantas por etapas. Fuente: Extraído de J. López-Pujol y M. Ponseti (López-Pujol y Ponseti, 2008).

Etapas	Año	Estado de la construcción	Nivel del agua (metros)
Etapas preparatoria	1993		66
	1994	Se inician las excavaciones; ceremonia de inauguración.	66
Etapas I (1994-1997)	1995	Inicia la construcción de la ataguía longitudinal de concreto; arranca el programa de reasentamiento.	66
	1996	Entran en servicio el puente Xiling, la carretera de cuatro carriles desde Yichang y el aeropuerto de Yichang; inicia la construcción de la ataguía transversal.	66
	1997	El río se bloquea y se desvía; para este momento, alrededor de 100.000 personas han sido reubicadas.	66

Etapa	Año	Estado de la construcción	Nivel del agua (metros)
Etapa II (1998-2003)	1998	Una esclusa provisional para embarcaciones entra en funcionamiento.	66
	1999	Se termina la excavación de la esclusa doble; se ha reubicado a cerca de 230.000 personas.	66
	2000	Aproximadamente 295.000 personas han sido reubicadas.	66
	2001	Aproximadamente 325.000 personas han sido reubicadas.	66
	2002	Se cierra el canal de desvío de agua; se completa el vaciado de concreto en la ribera izquierda; cerca de 640.000 personas reubicadas.	66
	2003	El vaso se llena hasta 135 m; primeras pruebas con la esclusa doble; los primeros cuatro generadores se conectan a la red eléctrica.	135 (139)
Etapa III (2004-2009)	2004	Entra en operación la esclusa de doble carril; ya hay 10 turbinas conectadas a la red eléctrica.	139
	2005	Se completa la central de la ribera izquierda (las 14 turbinas están en operación); se ha reubicado a cerca de un millón de personas.	139
	2006	Se termina el vaciado de concreto en la ribera derecha; el vaso se llena hasta 156 m; aproximadamente 1.200.000 personas reubicadas.	156
	2007	Se aprueba el diseño del ascensor de barcos; el plan original indica que en este momento el embalse debe alcanzar 156 m.	156
	2008	Se espera que el vaso se llene hasta 175 m, y que 26 turbinas estén completamente listas para entrar en operaciones.	175
	2009	El objetivo del plan de 1997 es terminar la totalidad de la obra en este año.	175
	2011	Se espera que la planta subterránea sea conectada a la red eléctrica.	175
	2013	De acuerdo con el plan original, el nivel del agua debe subir a 175 m.	175

Tras varios años desde el inicio de la obra, en 1997, las fechas se modificaron parcialmente y se estableció que para maximizar la producción de energía eléctrica en la represa se debía llegar a los 175 metros para el llenado del vaso cuatro años antes (2009).

El presupuesto total del proyecto que se estimó en 1993 fue alrededor de 9.000 millones de dólares, de los cuales 5.000 millones se destinarían a la construcción de la presa y 4.000 millones al reasentamiento de las comunidades desplazadas (1,2 millones de personas). Sin embargo, el

presupuesto fue excedido y terminó costando 32.000 millones de euros aproximadamente, aunque algunas fuentes confirman que llegaron a ser alrededor de 50.000 millones de euros (Berga, s.f.).

La presa cuenta con una capacidad instalada de 22,5 gigavatios y genera alrededor de 100 mil millones de kilovatios hora de electricidad al año, lo que equivale a la producción de 18 reactores nucleares, por lo que reduce las emisiones de dióxido de carbono y es capaz de abastecer al 10% de la demanda energética del país (Lagua, 2014).

Con una altura de 185 metros y una longitud de 2.335 metros, es la presa más grande del mundo en términos de capacidad de generación de energía hidroeléctrica y es considerada como una de las obras de ingeniería más grandes y complejas de la historia. Las tres famosas gargantas que le dan nombre son la Qutang, la Wuxia y la Xiling.

Además de la generación de energía hidroeléctrica, la Presa de las Tres Gargantas también ha ayudado a controlar las inundaciones en la región, que históricamente han sido una amenaza importante para las poblaciones locales. La presa es capaz de regular el flujo del río Yangtze y reducir la probabilidad de inundaciones en un 95%.

También ha contribuido a la mejora de la navegación, gracias al aumento de la profundidad y el ensanchamiento del cauce del río. Ha disminuido la velocidad del torrente del río, lo que ha propiciado un aumento de la capacidad de transporte aguas arriba y a su vez ha disminuido los costes de navegación en un 35% (López-Pujol y Ponseti, 2008).

Sin embargo, la construcción de la presa también ha tenido un impacto significativo en el medio ambiente y en las comunidades locales. La inundación de un área de más de 600 kilómetros cuadrados para crear el embalse ha obligado a la reubicación de más de 1.2 millones de personas y ha afectado el hábitat de muchas especies animales y plantas. Además, el embalse ha causado la erosión del suelo y ha aumentado la frecuencia de los terremotos en la región. También se han observado impactos negativos en la calidad del agua y la biodiversidad en la zona.

Otra consecuencia que el gobierno chino no tomó en cuenta en 1992, son todos los factores arqueológicos. Se contaron más de 1.280 lugares de interés local dentro del área que sería inundada, aunque esta cantidad aumentaría con los trabajos de los arqueólogos. Se dio prioridad a los trabajos arqueológicos y se estableció un importante programa de rescate que incluía un plan de protección detallado para poder dar comienzo con la construcción de la presa.

3.1.2.1 Éxito en la gestión de la integración

La construcción de la Presa de las Tres Gargantas en China es otro ejemplo de éxito en la gestión de la integración de proyectos complejos de infraestructura. El proyecto se inició en 1994 y se completó en 2009, con un coste total de aproximadamente 20.000 millones de euros.

El proyecto involucró a múltiples partes interesadas y desafíos técnicos y ambientales significativos. El gobierno chino estableció un equipo de gestión de proyecto que trabajó en estrecha colaboración con todas las partes interesadas, incluyendo a los habitantes locales y las organizaciones ambientales, para garantizar, en gran medida, que se cumplieran sus necesidades y se respetaran las regulaciones ambientales.

Se cumplieron todos los objetivos marcados en el alcance del proyecto como la generación de energía para mejorar la eficiencia energética del país, la mejora en la navegación en los diferentes tramos del río y la disminución de las posibles inundaciones. Esto fue posible gracias a la integración de los diferentes procesos del proyecto por parte del equipo directivo.

Se tuvieron en cuenta varios factores como los posibles riesgos en el diseño y construcción de la represa, la participación y comunicación activa con las comunidades afectadas y diferentes partes interesadas en el ciclo de vida, se integró el monitoreo y control de todo el proyecto y se gestionaron y efectuaron los cambios en tiempo y forma. Todo ello gracias a la consulta de lecciones aprendidas de otras construcciones de presas en el mismo territorio durante los años anteriores al proyecto (Tabla 12).

Tabla 12. Aspectos clave de éxito del proyecto Presa de las Tres Gargantas. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del proyecto Presa de las Tres Gargantas con escala Likert	
Planificación detallada y rigurosa	8
Gestión eficiente e integrada	9
Beneficios y creación de valor	7
Colaboración con partes interesadas	5
Plazo y presupuesto establecidos	6
Calidad y seguridad	8
Tecnología avanzada	9

Para lograr el éxito en la integración se siguió un plan de gestión riguroso por etapas y se mantuvo la mirada en la calidad y en los resultados durante todo el proyecto. Tras la finalización del gran proyecto, se realizó un registro de lecciones aprendidas donde se recogieron los principales aciertos y errores que se cometieron durante el mismo para no repetirlos en el futuro.

A continuación, se recogen algunas de las lecciones aprendidas a rectificar:

- En el futuro, se intentarán resolver los problemas ambientales y ecológicos con ciencia y tecnología avanzadas.
- La presa en sí puede convertirse en un lugar atractivo para los turistas.
- Es necesario un esfuerzo conjunto de la ciudadanía, el gobierno y la comunidad científico-tecnológica para resolver los diversos problemas.
- La compensación a las comunidades desplazadas fue insuficiente desde un punto de vista monetario. En un futuro próximo, se brindará apoyo financiero adicional para el reasentamiento de las comunidades.
- Se requiere más investigación para evaluar este impacto ecológico en los estuarios y aguas costeras.

Durante el proyecto se emplearon más de 27.000 personas y actualmente es capaz de generar 100 TWh/año, lo que supone alrededor del 10% del consumo de energía en la región de China. Ha reducido el consumo de dióxido de carbono en más de 100 millones de toneladas y se ha establecido

un programa de seguimiento de las especies marinas amenazadas y una estación de investigación y cría artificial en la ciudad de Yichang.

3.1.3. Tren de alta velocidad La Meca – Medina (Proyecto Haramain)

El tren de alta velocidad de La Meca - Medina, también conocido como Línea de Alta Velocidad Ferroviaria Haramain, es un sistema ferroviario de alta velocidad ubicado en Arabia Saudita. Fue construido para conectar las ciudades sagradas islámicas de La Meca y Medina (Figura 18). El objetivo principal de su construcción era mejorar el transporte y la accesibilidad para los millones de peregrinos que visitaban estas ciudades (Wikipedia, s.f.). Además, buscaba desarrollar una infraestructura moderna y avanzada con la que promover el turismo y desarrollar la economía en la región.



Figura 18. Mapa de la ubicación del Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina. Fuente: Extraído de Renfe.

Antes de la construcción del tren de alta velocidad, los visitantes dependían principalmente de autobuses y automóviles para viajar entre las dos ciudades, lo que a menudo resultaba en tráfico congestionado y tiempos de viaje prolongados.

La idea de construir un tren de alta velocidad en esta ruta se remonta a principios de la década de 2000, cuando el gobierno saudita expresó su interés en desarrollar un sistema de transporte rápido y eficiente para los peregrinos que visitan los lugares sagrados del islam. El proyecto fue impulsado por el Rey Abdullah bin Abdulaziz, del que la justicia sospechaba casos de corrupción junto al rey emérito Juan Carlos I, y se convirtió en una de las mayores iniciativas de infraestructura en el país (Carrión, 2022).

El proyecto se dividió en tres fases. La Fase 1.1, que consistiría en la construcción de la plataforma ferroviaria; la Fase 1.2, donde radicaría el diseño y construcción de las estaciones; y la Fase 2, que tendría la misión de suministrar y mantener los trenes de alta velocidad.

La construcción del tren de alta velocidad comenzó en 2009, con la Fase 1.1, y se completó en 2018 (ver Tabla 13), aunque su fecha inicial de finalización estaría a finales de 2016. El proyecto involucró a numerosas compañías de construcción y consultoría de todo el mundo, y se estima que el coste total superó los 16 mil millones de dólares americanos.

Tabla 13. Fechas relevantes del Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina. Fuente: Elaboración propia con datos de Wikipedia.

Fecha	Descripción
2009	Comienzo de la construcción del proyecto del Tren de Alta Velocidad de la Meca.
2013	Inicio de las pruebas en la línea ferroviaria entre La Meca y Medina.
2014	Se realizan las primeras pruebas exitosas del tren de alta velocidad entre las estaciones de Rabigh y Medina.
2016	Inauguración parcial del tren de alta velocidad, permitiendo a los peregrinos utilizar el tren durante la peregrinación del Hajj.
2018	Finalización de la construcción del proyecto del Tren de Alta Velocidad de la Meca.
2018	El tren de alta velocidad Haramain recibe la certificación para operar comercialmente.
2018	Inauguración oficial del tren de alta velocidad de la Meca con la presencia de líderes sauditas y dignatarios internacionales.
2019	La línea completa del tren de alta velocidad entre La Meca y Medina se abre al público.

Los trenes fueron diseñados para operar a una velocidad máxima de 300 kilómetros por hora, a lo largo de una distancia de aproximadamente 450 kilómetros de vías ferroviarias, lo que los convierte en uno de los sistemas de alta velocidad más rápidos del mundo. Estos trenes utilizan el diseño y fabricación española de los trenes de alta velocidad AVE, que son conocidos por su comodidad, seguridad y eficiencia energética. Cada tren tiene capacidad para alrededor de 400 pasajeros y cuenta con características modernas, como pantallas de entretenimiento a bordo y conexiones a internet.

Igualmente, los trenes de Haramain se diseñaron para soportar temperaturas extremas en el desierto, con sistemas de aislamiento especiales, protecciones en ventanas y equipos de aire acondicionado

de gran rendimiento. Asimismo, para intentar combatir la arena, los trenes dispondrían de deflectores de arena, una pintura más gruesa y unas ruedas con un diámetro mayor (Gusiluz, 2023).

3.1.3.1 Éxito en la gestión de la integración

Desde el punto de vista de la conectividad y la mejora del transporte, el Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina ha sido ampliamente considerado como un éxito. Ha mejorado significativamente la experiencia de viaje para los peregrinos y visitantes, reduciendo el tiempo de viaje entre ambas ciudades, de bastantes horas en automóvil a aproximadamente dos horas y media en tren. Esto ha permitido un desplazamiento más rápido y cómodo, descongestionando las carreteras y facilitando la logística de los peregrinos durante el Ramadán.

Si bien el proyecto tuvo una planificación inicial rigurosa, también enfrentó retrasos y desafíos técnicos durante su ejecución, que llevaron a un tiempo de construcción más largo y posiblemente a costes adicionales. Tuvo que involucrar a múltiples actores, incluyendo al gobierno saudita, empresas constructoras, fabricantes de trenes y otros proveedores de servicios, tanto nacionales como internacionales.

El tren de alta velocidad Haramain se diseñó y construyó siguiendo estándares internacionales de calidad y seguridad, incorporando tecnología de vanguardia en los trenes, sistemas de señalización y gestión de la infraestructura ferroviaria. Se implementaron medidas y sistemas de seguridad adecuados para garantizar la seguridad de los pasajeros y el funcionamiento confiable del sistema.

A pesar de que el proyecto es considerado un éxito desde el punto de vista de la gestión de la integración, para su construcción se tuvieron que deshabitar y derribar más de 5000 viviendas. A su vez, se abrieron investigaciones por casos de corrupción en la adjudicación de las licitaciones y algunas comunidades locales no estaban de acuerdo con el desarrollo del proyecto.

Con los datos expuestos, el autor de este trabajo ha elaborado una tabla en la que se clasifican y evalúan los aspectos principales para la consideración de este proyecto como un caso de éxito desde la perspectiva de la gestión de la integración en proyectos complejos de infraestructura (Tabla 14).

Tabla 14. Aspectos clave de éxito del proyecto Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del proyecto Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina con escala Likert	
Planificación detallada y rigurosa	8
Gestión eficiente e integrada	9
Beneficios y creación de valor	8
Colaboración con partes interesadas	6
Plazo y presupuesto establecidos	6
Calidad y seguridad	7
Tecnología avanzada	8

3.2 Casos de fracaso

Los casos de fracaso en grandes proyectos de infraestructura se caracterizan por una serie de problemas y desafíos a gran escala que no han permitido lograr el éxito deseado del proyecto. Estos fracasos pueden ocurrir en diferentes etapas del proyecto, desde la planificación y diseño hasta la construcción y operación, e incluso después de su terminación.

Al describir casos de fracaso en grandes proyectos de infraestructura, se pueden destacar algunos aspectos clave. A continuación, se resaltan los que para el autor de este trabajo tienen una mayor relevancia:

Primero, destacan las **deficiencias en la planificación inicial del proyecto**, como una inadecuada falta de análisis de viabilidad, unas malas estimaciones de los costes y plazos, la falta de consideración de algunos grandes riesgos y una falta de alineación con las necesidades y expectativas de los interesados, entre otros.

Segundo, se señala una **gestión de la integración inadecuada** durante la ejecución del proyecto, como falta efectiva tanto de supervisión y como de control, una mala comunicación entre los equipos y partes interesadas, una inadecuada asignación de recursos y una falta de coordinación entre los diferentes actores involucrados.

Tercero, merece la pena tener en cuenta los **impactos negativos** en las **comunidades locales** y el **medio ambiente**. La falta de consulta y participación junto a la comunidad, la destrucción de hábitats naturales, la contaminación y la degradación ambiental. Estos efectos pueden generar tensiones sociales, protestas y una mala reputación para el proyecto y los responsables.

Cuarto, se enfatizan los problemas relacionados con la **gestión financiera del proyecto y los retrasos** significativos en la ejecución de este. Una mala estimación de los costes, haber realizado un insuficiente presupuesto inicial, aparición de problemas técnicos o de diseño, así como disputas legales o falta de capacidad en la gestión, pueden generar un aumento de los costes, pérdida de confianza de los interesados y un impacto negativo en la economía local.

Quinto, se remarcan los problemas relacionados con los **errores en la calidad de la construcción**, los diseños defectuosos, el uso de materiales inadecuados o insuficientes y la falta de mantenimiento. Estos errores pueden comprometer la seguridad del proyecto, provocar colapsos o daños estructurales y generar costes adicionales para corregir las posibles desviaciones.

Sexto, apuntar como uno de los aspectos clave para determinar el fracaso de un proyecto los **posibles casos de corrupción**. Cuando se presentan casos de corrupción en estos proyectos, generalmente implica la malversación de fondos, sobornos, nepotismo y falta de transparencia. Estos pueden comprometer al proyecto en forma de pérdida de confianza de las partes interesadas, daño a la reputación de las organizaciones, desvíos de recursos y grandes impactos en la calidad.

Por último, se menciona la importancia de **analizar y aprender de los casos de fracaso** en proyectos de infraestructura para evitar cometer los mismos errores en el futuro. Hay que destacar la necesidad de mejorar la gestión integrada del proyecto y la creación de lecciones aprendidas.

Es importante describir estos casos de fracaso con hechos y ejemplos concretos para respaldar los puntos mencionados. Además, enfatizar la importancia de aprender de estos fracasos para mejorar la forma en que se abordan y ejecutan futuros proyectos de infraestructura.

3.2.1. Aeropuerto de Berlín-Brandeburgo

El aeropuerto de Berlín-Brandeburgo Willy Brandt (BER) es una infraestructura aeroportuaria ubicada cerca de Berlín, en el estado de Brandeburgo, Alemania. El proyecto fue concebido para servir como punto de entrada y salida para viajeros de todo el mundo. El objetivo principal de este era el de reemplazar los aeropuertos ya existentes de Tempelhof, Schönefeld y Tegel, buscando una mejora en la eficiencia, sostenibilidad y conectividad.

También buscaba un impulso económico y turístico de la región. Al proporcionar una infraestructura aeroportuaria moderna y mejorada, se esperaba atraer a más aerolíneas, aumentar la conectividad internacional y estimular el crecimiento económico en el área.

En 2006, el número de pasajeros en los tres aeropuertos de Berlín (Tempelhof, Schönefeld y Tegel) fue de 18 millones y medio, muy por detrás de otras capitales europeas y por detrás de otras ciudades alemanas como Frankfurt y Múnich. La capacidad prevista para el nuevo aeropuerto era de 30 millones de pasajeros anuales con previsiones de crecer en poco tiempo hasta los 50 millones (Wikipedia, s.f.).

El proyecto se empezó a pensar por primera vez en 1990, poco tiempo después de la caída del Muro de Berlín y la esperada reunificación de Alemania, pero tardaron más de seis años reflexionando el lugar idóneo para llevar a cabo su construcción. Aunque no fue hasta 2006 que se solicitó la expansión del antiguo aeropuerto de Schönefeld, para dar luz verde a la creación del BER (Glucroft, 2020).

En el momento de planificación, se estimaron unos costes de alrededor de 3 mil millones de euros, y estaba previsto que una vez comenzado en 2006, el proyecto finalizase y estuviese completado en 2011, concluyendo así con una duración de 5 años, además de brindar unas instalaciones mejoradas y una mayor capacidad de pasajeros para un creciente tráfico aéreo.

El proyecto fue financiado por los estados de Berlín y Brandeburgo y por el gobierno federal de Alemania, cada uno con un porcentaje de participación de 37%, 37% y 26% respectivamente, lo que significaba indirectamente que el proyecto estaría financiado con el dinero de los contribuyentes (Sullivan, 2019).

Tras un pequeño retraso, se esperaba la apertura al público para el 2 de junio de 2012, con la presencia la canciller Angela Merkel. Todo estaba preparado para la inauguración, mientras, unos técnicos de seguridad simulaban casos de incendio para probar los sistemas de alarmas contra estos. Dichas alarmas no sonaban. Además, se habían colocado los conductos de evacuación de humos por el suelo, aunque el humo se eleva. Se extendieron centenares de metros de cableado defectuosos y líneas de alto voltaje junto a los cables de datos, lo que representa un riesgo de incendio (Roopinder, 2020).

Después de estos descubrimientos se descartaron los planes para la apertura en junio de 2012. La persona responsable de todo el sistema de seguridad contra incendios hasta ese momento era

Alfredo di Mauro, al que todos consideraban un ingeniero, aunque solo era un aprendiz de dibujante.

Luego, continuaron los desbarajustes con la decisión de contratar cerca de 800 empleados temporales con chalecos reflectantes para que estuvieran expectantes por si ocurría un incendio para, a continuación, proceder a comunicarlo a través de cobertura telefónica y abrir las puertas contra incendios. El comisionado de seguridad no confiaba en este sistema y negó la licencia al aeropuerto.

Posteriormente se encontraron más defectos con las pruebas en vivo con personas. Existían puertas automáticas que no se abrían y falsos techos a punto de hundirse. Algunas luces no se encendían y otras no se apagaban (Figura 19). Se diseñó y construyó un carril para trenes que iba desde el centro de la ciudad de Berlín hasta el aeropuerto. Para que no se llegara a oxidar se utilizó un tren que realizaba el recorrido a diario. Todos estos problemas suponían a los contribuyentes alrededor de 16 millones de euros mensuales (Roopinder, 2020).



Figura 19. Luces encendidas del Aeropuerto en desuso de BER. Fuente: Extraída de engineering.com (Roopinder, 2020).

Tras el paso de los años, muchos son los que pensaron que era mejor realizar un derribo y volver a levantar un nuevo aeropuerto. Finalmente, el Aeropuerto de Berlín-Brandemburgo abrió sus puertas el 31 de octubre de 2020, casi una década después de lo previsto inicialmente (Figura 20). El primer vuelo en el nuevo aeropuerto fue un vuelo de la compañía nacional Lufthansa, realizado desde Berlín a Múnich.

Cuenta con una terminal principal, conocida como Terminal 1, y dos terminales adicionales, Terminal 2 y Terminal 5. La Terminal 1 es la más grande y está destinada a vuelos internacionales y nacionales, mientras que la Terminal 2 se utiliza principalmente para vuelos de bajo coste. La Terminal 5, que era la terminal principal del antiguo Aeropuerto de Schönefeld, se integró en el Aeropuerto de Berlín-Brandemburgo para vuelos chárter y de temporada (Flughafen Berlin Brandenburg, 2023).



Figura 20. Aeropuerto BER en funcionamiento. Fuente: Extraído de la web oficial de BER (Flughafen Berlin-Brandenburg, 2023).

El Aeropuerto de Berlín-Brandemburgo ha sido aclamado por su diseño moderno y eficiente, y se espera que impulse el turismo y la economía en la región de Berlín-Brandeburgo. También se espera que mejore la conectividad y la eficiencia de los viajes aéreos en la capital alemana. Sin embargo, los retrasos y los costes adicionales asociados con la construcción y la puesta en marcha del aeropuerto han sido objeto de críticas y controversias.

3.2.1.1 Fracaso en la gestión de la integración

La construcción del Aeropuerto de Berlín-Brandenburg, en Alemania, es un ejemplo de fracaso en la gestión de la integración en proyectos de infraestructura. Los problemas de coordinación entre las diferentes partes interesadas y la falta de gestión adecuada de riesgos y cambios en el proyecto contribuyeron a múltiples retrasos y a un aumento significativo en los costes. La falta de comunicación efectiva entre los contratistas y los órganos de gobierno también fue un factor importante.

El proyecto del Aeropuerto de Berlín-Brandenburg ha enfrentado muchos desafíos y retrasos que lo han llevado a ser considerado como uno de los mayores fracasos de la historia de la construcción de aeropuertos, especialmente al haber sido desarrollado por supuestos profesionales y expertos ingenieros alemanes.

Desde el inicio del proyecto, se identificaron problemas en la gestión del proyecto. Se cometieron errores en la planificación, se realizó una inadecuada definición del alcance y no se gestionaron adecuadamente las comunicaciones. Esto llevó a una serie de retrasos y aumentos de costes en el proyecto.

Durante la construcción del aeropuerto, se encontraron problemas técnicos y de construcción que hicieron que se tuvieran que hacer cambios significativos en el diseño original. Las deficiencias en el sistema de seguridad contra incendios, por ejemplo, fueron el resultado de una falta de integración adecuada entre los diferentes componentes del sistema. También provocaron retrasos en la inauguración debidos, especialmente, a una inadecuada gestión de los recursos materiales y un deficiente liderazgo de los recursos humanos.

El proyecto del Aeropuerto de Berlín-Brandenburgo también ha enfrentado muchas críticas provenientes de las partes interesadas, incluyendo los ciudadanos, los políticos y algunas de las aerolíneas nacionales e internacionales. Se han presentado numerosas demandas y quejas relacionadas con los problemas de ruido, el impacto ambiental y los cambios en los planes de vuelo, así como el coste que representaba para los contribuyentes tener el aeropuerto en funcionamiento y sin tráfico.

Los posibles casos de corrupción en el proyecto han sido otro factor clave en su fracaso. Hubo una falta de comunicación efectiva entre los diferentes equipos de gestión, así como con las partes interesadas y los proveedores, por parte tanto de la dirección del proyecto como por el gobierno federal. Esto llevó a malentendidos y descontentos por parte de las personas afectadas por los desplazamientos para la construcción del aeropuerto y a una falta de coordinación que contribuyó a los retrasos y aumentos de costes en el final del proyecto.

Todo ello, lleva al autor de este trabajo a considerar el proyecto como un fracaso desde el punto de vista de la gestión de la integración de grandes proyectos de infraestructura. En la Tabla 15, se exponen los principales aspectos clave para determinar esto y su evaluación por parte del autor.

Tabla 15. Aspectos clave de fracaso del proyecto Aeropuerto Berlín-Brandenburgo. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del proyecto Aeropuerto Berlín-Brandenburgo con escala Likert	
Planificación detallada y rigurosa	7
Gestión eficiente e integrada	3
Impactos positivos en comunidades locales y medio ambiente	5
Gestión eficaz de plazo y presupuesto	4
Análisis de la calidad y seguridad	5
Casos de corrupción ²	3
Análisis de errores	8

A pesar de las dificultades, el Aeropuerto de Berlín-Brandenburgo ahora está en funcionamiento, y se espera que desempeñe un papel importante en el sistema de transporte aéreo de Berlín, y Alemania en general.

De cara al futuro, se tienen varias expectativas para el Aeropuerto de Berlín-Brandenburgo:

- Aumento del tráfico aéreo. Con su capacidad mejorada y modernas instalaciones, el aeropuerto está preparado para manejar un mayor número de pasajeros y vuelos.
- Conectividad internacional. Se espera que atraiga a más aerolíneas y rutas, ofreciendo una mayor conectividad a diferentes destinos en todo el mundo.

² Se entenderá que puntuaciones bajas en los casos de corrupción supondrán niveles altos del mismo, mientras que niveles altos de puntuación, se comprenderán como que no hay posibles casos de corrupción. (Ejemplo: 1 → niveles altos de posibles casos de corrupción; 10 → inexistencias de posibles casos de corrupción).

- Desarrollo económico regional. La apertura del Aeropuerto de Berlín-Brandemburgo puede atraer inversiones y generar empleos directos e indirectos en sectores como el turismo, la hostelería y el transporte.
- Innovación y desarrollo tecnológico. Puede adoptar nuevas soluciones tecnológicas para mejorar la experiencia del pasajero, la seguridad y la eficiencia operativa.
- Compromiso con la sostenibilidad. Puede implementar medidas ecológicas, como el uso de energías renovables, la gestión eficiente de residuos y la reducción de su huella de carbono.

3.2.2. Línea de alta velocidad California

El proyecto del tren de alta velocidad de California (conocido también como CAHSR o CHSR) fue una iniciativa para la construcción de un sistema de transporte ferroviario de gran velocidad que conectase las principales ciudades del estado de California, desde San Francisco hasta Los Ángeles, en la costa oeste de Estados Unidos. El objetivo principal era proporcionar una alternativa de transporte más eficiente, más sostenible y aún más rápido que los medios de transporte existentes hasta ese momento, como los automóviles y los aviones.

Otros objetivos son: fomentar el desarrollo económico en las áreas servidas por el tren y con ello conseguir una mayor demanda de trabajadores y proveedores de servicios que puedan impulsar la creación de empleo a corto y largo plazo; impulsar el turismo local, incluyendo hoteles, restaurantes, atracciones y comercios; estimular el desarrollo urbano y de infraestructura; y mejorar la accesibilidad, al ofrecer un medio de transporte más rápido y eficiente.

El estado de California ha perseguido la idea de un carril ferroviario de alta velocidad o HSR (*High Speed Rail*) en colaboración con socios japoneses desde 1981. Aunque era una idea muy remota al no contar con ninguna idea de proyecto ni recursos para llevarlo a cabo (CAHSR, 2023).

El proyecto se concibió por primera vez en 1996, cuando los votantes de California aprobaron una medida para desarrollar un sistema de tren de alta velocidad en el estado y, con ello, la legislatura estatal creó la Autoridad del Ferrocarril de Alta Velocidad de California. Aunque no sería hasta 2008, cuando los votantes de California aprobaron la emisión de bonos por valor de 9,95 mil millones de dólares americanos para su construcción (Zukowski, 2022).

La Autoridad del Ferrocarril de Alta Velocidad de California estimó unos costes totales para el desarrollo de todo el proyecto de alrededor de 33 mil millones de dólares y que todo el sistema ferroviario de alta velocidad de California estaría funcionando para 2030. Sin embargo, la construcción real del proyecto comenzó en 2015, después de obtenerse los fondos necesarios y superar varios desafíos legales y ambientales.

El plan inicial del proyecto incluía la construcción de una línea ferroviaria de aproximadamente 800 millas (1,300 kilómetros) de longitud, que conectaría las principales áreas metropolitanas de California, de San Francisco y de Los Ángeles, pasando por el Valle Central. La velocidad máxima de los trenes que pasarían por estas líneas se estimaba que estuviera en más de 350 km/h, lo que permitiría tiempos de viaje considerablemente más cortos en comparación con los medios de transporte actuales (Wikipedia, 2023).

A lo largo del desarrollo del proyecto, se han producido aumentos significativos en el presupuesto. En 2018, la Autoridad del Tren de Alta Velocidad de California anunció que el coste total se había

revisado y aumentado a aproximadamente 77 mil millones de dólares americanos y el auditor del estado de California incrimina a la Autoridad del Ferrocarril de Alta Velocidad por ello (Zukowski, 2022). Posteriormente, en 2020, se informó que el coste total podría ascender a más de \$100 mil millones.

En 2022, continúa el proyecto de construcción de las vías para el ferrocarril en el Valle Central de California, y hoy se encuentra actualmente activa. Una obra para un tramo de 119 millas y que se estima que la misma tenga fin en 2031, para el segmento entre Merced y Backersfield (Figura 21). Durante el mismo periodo de tiempo, han sido limpiadas ambientalmente alrededor de 422 millas desde San Francisco a Los Ángeles (CAHSR, 2023).



Figura 21. Plano del proyecto que muestra los Paquetes de Construcción del Central Valley. Fuente: Extraído de Wikipedia (Wikipedia, 2023).

En la Tabla 16 se representan las fechas claves en la planificación y desarrollo del proyecto con una breve descripción de cada una de ellas. También, se añade un comentario final con lo que se podría esperar del futuro de este proyecto.

Tabla 16. Fechas relevantes del proyecto Tren de Alta Velocidad California y su descripción. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Descripción
1996	Los votantes de California aprueban una medida para desarrollar un sistema de tren de alta velocidad en el estado.
2008	Se aprueba la Proposición 1A, que destina fondos estatales para el proyecto de tren de alta velocidad de California.
2012	El gobernador de California, Jerry Brown, rompe el suelo en la ceremonia de inicio de la construcción del proyecto.
2014	Se enfrentan desafíos legales y ambientales en relación con el trazado y la planificación del proyecto.
2015	Comienza la construcción física del proyecto con la construcción de segmentos en el Valle Central.
2018	La Autoridad del Tren de Alta Velocidad de California anuncia que el coste total del proyecto se ha revisado a aproximadamente \$77 mil millones.
2020	Se informa que el coste total del proyecto podría ascender a más de \$100 mil millones.
2021	Continúan los desafíos en la financiación y la planificación del proyecto, sin una fecha de finalización definitiva establecida.
2022	La construcción en el Valle Central continua activa y se estima su finalización para este pequeño tramo en 2031.
Futuro	El proyecto continúa en desarrollo, con avances en la construcción de segmentos y la búsqueda de fuentes adicionales de financiamiento. Actualmente no existen fechas determinadas para su terminación completa. Se espera que la construcción se inicie en otros tramos simultáneamente.

3.2.2.1 Fracaso en la gestión de la integración

La construcción de la línea de alta velocidad en California, en Estados Unidos, es otro ejemplo de fracaso en la gestión de la integración de proyectos complejos de infraestructura. El proyecto se ha suspendido en varias ocasiones debido principalmente a la falta de financiación y de comunicación efectiva. Los problemas de coordinación entre las diferentes partes interesadas y la falta de gestión adecuada de los riesgos y cambios en el proyecto contribuyeron a los retrasos y el aumento en los costes.

El proyecto ha enfrentado críticas y desafíos a lo largo de su desarrollo. Uno de los principales desafíos han sido los políticos, ya que el coste total del proyecto se ha aumentado significativamente desde su concepción inicial. También ha habido preocupaciones sobre los impactos ambientales y los derechos de propiedad, ya que la construcción del tren de alta velocidad requeriría la adquisición de terrenos y la reubicación de comunidades existentes en algunos casos.

El desarrollo del tren de alta velocidad tenía como objetivos principales mejorar la movilidad en el estado, reducir la congestión del tráfico, disminuir las emisiones de carbono y fomentar el desarrollo económico en las áreas servidas por el tren. Debido a los retrasos y los problemas en el diseño y construcción durante el desarrollo del proyecto estos objetivos no se han cumplido, aunque se espera que a medida que el proyecto avance tenga un impacto positivo en la forma en que las personas viajan por California y en la infraestructura de transporte del estado en general.

Otro de los desafíos a los que se ha enfrentado el proyecto, y condicionados por los excesivos retrasos en su desarrollo, es algún posible caso de corrupción. Se han planteado preocupaciones sobre posibles casos de corrupción relacionados con el proyecto, incluyendo el proceso de licitación y la asignación de contratos. Sin embargo, es importante destacar que estos casos no han sido confirmados ni probados.

Algunas críticas han señalado que no se realizaron análisis adecuados de proyectos similares que han fracasado en otros lugares anteriormente, ya que esto podría haber proporcionado lecciones aprendidas importantes para el proyecto del tren de alta velocidad de California.

Tras el análisis de los posibles aspectos que han podido llevar al proyecto al fracaso, llevan al autor de este trabajo a pensar que este se haya convertido en un potencial proyecto fracasado desde la perspectiva de la gestión de la integración de complejos proyectos de infraestructura. En la Tabla 17, se exponen los principales aspectos clave para determinar esto y su evaluación por parte del autor.

Tabla 17. Aspectos clave de fracaso del proyecto Tres de Alta Velocidad de California. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del proyecto Tren de Alta Velocidad de California con escala Likert	
Planificación detallada y rigurosa	5
Gestión eficiente e integrada	4
Impactos positivos en comunidades locales y medio ambiente	4
Gestión eficaz de plazo y presupuesto	3
Análisis de la calidad y seguridad	7
Casos de corrupción	8
Análisis de errores	5

3.2.3. Puente de Tacoma Narrows

El Puente de Tacoma Narrows fue un puente colgante ubicado en el estrecho de Tacoma Narrows en el estado de Washington, EE. UU. El objetivo principal de la construcción era proporcionar una conexión vial más directa y eficiente entre la ciudad de Tacoma y la península de Kitsap. En ese momento, el transporte entre estas áreas se realizaba principalmente en transbordadores, que eran más lentos y menos convenientes (Ammann et al, 1941).

Durante la década de 1920, se reconoció la necesidad de una conexión por carretera entre estas dos áreas, aunque las primeras ideas se remontaban a 1889. En 1923 se comenzaron estudios y campañas para la financiación del puente, y se nombraron ingenieros y constructores para su ejecución. Sin embargo, en 1931 la cámara suspendió el proyecto debido a la poca financiación encontrada (Wikipedia, 2023).

No sería hasta 1937, cuando retomaron la idea de construir el puente. Llegados a 1938, el diseñador del Puente de Manhattan y del Golden Gate, Leon Moisseiff, presentaría una idea donde, reduciendo algunas especificaciones en el diseño del puente, se podría construir relativamente más barato (Rus, 2019). La construcción del puente comenzó oficialmente en septiembre de 1938, y finalmente, se contrataría al ingeniero de puentes Leon Moisseiff para diseñar y supervisar la construcción de este.

Inicialmente se contempló un presupuesto de alrededor de 11 millones de dólares estadounidenses para el desarrollo de todo el proyecto; sin embargo, tras la sugerencia presentada por Moisseiff, se aprobaría un presupuesto final de 8 millones de dólares. El puente tendría una longitud de 1600 metros y una distancia entre los puntales de soporte de 850 metros, y estaba pensado para tener un tráfico de más de 60 mil coches diarios. Esto lo convertiría en el tercer puente colgante más grande del mundo (Rus, 2019).

El día 1 de julio de 1940 tuvo lugar la inauguración oficial del Puente de Tacoma Narrows, y fue recibido con entusiasmo por la comunidad local y el público en general (Figura 22). En poco tiempo fue apodado el "puente galopante", debido a su movimiento visible bajo ciertas condiciones de viento. Las personas se dirigían a este lugar para visualizar las oscilaciones del puente durante los días de mayor viento.



Figura 22. Inauguración del primer Puente de Tacoma Narrows el 1 de julio de 1940. Fuente: Extraído de Wikipedia (Wikipedia, 2023).

Los ingenieros y constructores responsables del proyecto aseguraban que el movimiento del puente sufrido por las rápidas ráfagas de aire no afectaba a la estructura de este, y que, por lo tanto, debía de seguir abierto al tráfico. Sin embargo, la predicción que auguraban otros de que el puente no tardaría en derrumbarse no tardaría en llegar.

El 7 de noviembre de 1940, tan solo 4 meses después de su inauguración, comenzaría a soplar un viento que impactaba lateralmente al diseño del puente, que hacía que éste se retorciera. Unas horas después, el puente se vino abajo por completo (Velasco, 2012).

El colapso fue causado por oscilaciones torsionales, también conocidas como "efecto resonante". Bajo ciertas condiciones de viento, las oscilaciones se volvieron cada vez más violentas y la estructura no pudo resistir las fuerzas dinámicas a las que estaba expuesta (Figura 23). Ese día los vientos eran de 68 km/h, pero los principales señalados como culpables en ese momento fueron los diseñadores y constructores del puente, al haber reducido en casi tres veces el canto de las vigas que sujetaban el puente, con el objetivo de reducir costes y hacerlo más elegante.



Figura 23. Derrumbe del Puente de Tacoma Narrows el 7 de noviembre de 1940. Fuente: Extraído de Wikipedia (Wikipedia, 2023).

3.2.3.1 Fracaso en la gestión de la integración

El proyecto del Puente de Tacoma Narrows se considera un fracaso desde diferentes perspectivas, debido a su colapso catastrófico poco después de su inauguración. El colapso ocurrió el 7 de noviembre de 1940, aproximadamente cuatro meses después de la apertura oficial del puente. Esta tragedia tuvo un impacto significativo tanto a nivel humano como financiero.

Las condiciones atmosféricas extremas desencadenaron resonancias en la estructura del puente, lo que llevó a su colapso y destrucción. Afortunadamente, no se reportaron víctimas mortales directamente relacionadas con el colapso, ya que se evacuó el puente antes de su caída.

Desde el punto de vista financiero, el colapso del puente representó una pérdida significativa de la inversión realizada. Los recursos invertidos en el diseño, construcción y apertura del puente se perdieron por completo. Además, el colapso causaría una interrupción importante de la conectividad vial en la región y generaría costes adicionales para construir un nuevo puente de reemplazo (en 1950).

En su planificación inicial, no se tuvieron en cuenta adecuadamente los riesgos asociados con las oscilaciones torsionales y las fuerzas del viento, lo que llevó a un diseño inadecuado y al colapso del puente. Igualmente, la falta de control de calidad y pruebas adecuadas resultó en la utilización de materiales y técnicas de construcción deficientes para este proyecto.

Aunque en conjunto el proyecto del Puente de Tacoma Narrows fue considerado como un fracaso, proporcionó valiosas lecciones que influyeron en la ingeniería de puentes y la gestión de proyectos en general.

El colapso del puente resaltó la importancia de comprender y tener en cuenta las fuerzas naturales en el diseño y la construcción de estructuras. Desde entonces, se han realizado avances significativos en la comprensión y el modelado de estas fuerzas para garantizar la seguridad y estabilidad de los puentes.

También se reconoció la necesidad de realizar análisis y pruebas más exhaustivas durante el proceso de diseño y construcción de puentes. Además, resaltó la importancia de una gestión adecuada de los riesgos y se enfatizó en el valor de la colaboración y la comunicación efectiva entre los diferentes equipos y partes involucradas en un proyecto.

A través de la Tabla 18, se presentan y evalúan cada uno de los aspectos negativos que han llevado al autor a determinar el proyecto como un fracaso desde el punto de vista de la gestión de la integración.

Tabla 18. Aspectos clave de fracaso del proyecto del Puente de Tacoma Narrows. Fuente: Elaboración propia

Evaluación del proyecto Tren de Alta Velocidad de California con escala Likert	
Planificación detallada y rigurosa	6
Gestión eficiente e integrada	6
Impactos positivos en comunidades locales y medio ambiente	2
Gestión eficaz de plazo y presupuesto	6
Análisis de la calidad y seguridad	2
Casos de corrupción	7
Análisis de errores	8

Posteriormente, se construyeron dos puentes paralelos en la misma ubicación, en 1950 y 2007, respectivamente. Estos puentes se elaboraron con unas vigas más robustas y macizas, y se estructuraron para evitar la fuerza lateral del viento. Con la construcción de ambos puentes se buscaba absorber el creciente tráfico de coches y vehículos, y fomentar la economía de las dos regiones.

Capítulo 4 MARCO DE REFERENCIA

En el ámbito de la construcción de grandes proyectos de infraestructura, la gestión efectiva de la integración se convierte en un factor crítico para el éxito global del proyecto. Estas iniciativas, que abarcan desde la construcción de puentes y carreteras hasta la implementación de complejas redes de transporte y sistemas urbanos, involucran múltiples disciplinas, partes interesadas y etapas de desarrollo. En este contexto, la necesidad de una sólida gestión de la integración se vuelve esencial para garantizar la coordinación adecuada de todos los componentes del proyecto, desde la planificación inicial hasta la entrega final.

El **objetivo** de este marco de referencia es proporcionar una guía integral que permita a los gestores de proyectos de infraestructura abordar los desafíos inherentes a la integración en estas grandes iniciativas. Al ofrecer una estructura sólida y práctica, se pretende facilitar la identificación, el análisis y la gestión de los aspectos críticos de la integración, fomentando así una toma de decisiones informada y una ejecución efectiva.

A través de este marco de referencia, se explorarán los elementos fundamentales que intervienen en la gestión de la integración en grandes proyectos de infraestructura. Se abordarán aspectos como la planificación estratégica, la creación de valor, la medición de impactos, la gestión de cambios y riesgos, la gestión integral de costes, plazos y tiempo, así como la comunicación efectiva con las partes interesadas. Cada uno de estos elementos y otros relevantes serán analizados detalladamente, proporcionando directrices y prácticas recomendadas para su implementación exitosa.

Es importante destacar que este marco de referencia no pretende ser una solución universal, sino más bien un recurso adaptable a las particularidades de cada proyecto y a las necesidades específicas de la organización responsable de su ejecución. Su objetivo principal es servir como una base sólida sobre la cual los gestores de proyectos puedan construir y adaptar sus estrategias de integración, teniendo en cuenta los desafíos y oportunidades únicas que surgen en el contexto de los grandes proyectos de infraestructura.

4.1 Creación de valor

La creación de valor en los grandes proyectos de infraestructura está definida como la capacidad que disponen las empresas para producir utilidades a través de una actividad económica, para así satisfacer algunas necesidades de las partes involucradas (Porter y Kramer, 2006). Esto implica ir más allá de la simple entrega de la infraestructura física y considerar aspectos como la eficiencia, la sostenibilidad, la rentabilidad, el impacto social y ambiental, y la satisfacción de las necesidades a largo plazo de la comunidad.

Para lograr que este aspecto clave tenga éxito en la planificación, desarrollo y cierre de un proyecto hay que seguir una serie de pasos que se detallan a continuación:

1. Identificación de necesidades y expectativas de las partes interesadas:

En primer lugar, hay que realizar un análisis exhaustivo de las necesidades de las partes interesadas, tanto internas como externas al proyecto, para comprender sus objetivos, requerimientos y expectativas. Con esto se busca alinear los intereses del equipo de proyecto con los objetivos de los

usuarios finales, los accionistas e inversores, la comunidad local, el gobierno y demás partes interesadas

Al mismo tiempo, es recomendable, en todos los casos, realizar consultas y entrevistas con las partes interesadas clave al inicio y durante las diferentes fases del ciclo de vida, para recopilar información sobre sus necesidades y obtener retroalimentación sobre el proyecto.

2. Criterios de valor y evaluación de impacto económico:

En este punto, se deben establecer criterios claros para evaluar el valor del proyecto, que pueden incluir aspectos económicos, sociales y medioambientales. Se necesita determinar unos valores mínimos, unos valores objetivos y unos imposibles para determinar la forma de actuar ante posibles variaciones en el plan.

Siguiendo con esto, se insta a determinar métricas y métodos para evaluar y cuantificar los beneficios y el impacto económico del proyecto, como el retorno de la inversión (ROI), el valor neto presente y la tasa interna de retorno (TIR). Además de realizar un análisis de coste-beneficio y un análisis de impacto económico para evaluar la viabilidad y el valor agregado del proyecto.

3. Estrategia de creación de valor y evaluación continua del valor:

En esta etapa se busca desarrollar una estrategia clara para maximizar el valor generado por el proyecto, identificando las principales oportunidades de mejora y la optimización de los recursos en la ejecución del proyecto que pueden generar valor adicional.

Luego se pretenden realizar evaluaciones periódicas para medir y evaluar el valor creado durante el desarrollo y ejecución del proyecto, además de realizar revisiones y ajustes en función de los resultados obtenidos, y tomar medidas correctivas si es necesario. Con esto se busca mantener el foco en los objetivos estratégicos del proyecto durante todo su ciclo de vida.

La Tabla 19 proporciona una visión general de los aspectos más importantes de los grandes proyectos de infraestructura, los beneficios asociados, los destinatarios involucrados y las herramientas utilizadas para lograrlos. Cabe destacar que los beneficios y destinatarios pueden variar según el proyecto específico y su contexto.

Tabla 19. Aspectos Relevantes y Beneficios de los Proyectos Complejos de Infraestructura. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos más relevantes	Beneficios	Destinatarios	Herramientas
Mejora de la infraestructura física	Mayor conectividad y movilidad	Comunidad local, usuarios finales	Ingeniería y diseño, construcción

Aspectos más relevantes	Beneficios	Destinatarios	Herramientas
Generación de empleo	Creación de puestos de trabajo	Comunidad local, trabajadores	Contratación y selección de personal
Desarrollo económico	Estímulo de la actividad económica, aumento de la inversión	Comunidad local, empresas, inversores	Análisis económico, promoción de la inversión
Mejora de la calidad de vida	Acceso a servicios básicos, comodidad y bienestar	Comunidad local, usuarios finales	Diseño centrado en el usuario, servicios integrados
Protección del medio ambiente	Sostenibilidad y mitigación del impacto ambiental	Comunidad local, medio ambiente	Evaluación ambiental, tecnologías verdes
Cumplimiento normativo y regulaciones	Conformidad con las leyes y estándares	Gobierno, reguladores	Estudios legales y normativos, auditorías
Optimización del uso de los recursos	Eficiencia en el uso de recursos naturales y financieros	Comunidad local, inversores	Gestión de recursos, análisis de costes
Mejora de la imagen y reputación	Fortalecimiento de la confianza y credibilidad	Gobierno, empresas, inversores	Comunicación y relaciones públicas

Estos aspectos clave son solo algunos ejemplos de cómo se puede crear valor para diferentes interesados en un proyecto de infraestructura y están diseñados para que la dirección del proyecto tenga una base confiable en la que basarse. La clave es identificar las necesidades y expectativas de cada grupo y desarrollar estrategias para satisfacerlas de manera efectiva.

4.2 Planificación estratégica rigurosa

La planificación estratégica rigurosa en los proyectos complejos de infraestructura implica el desarrollo de un enfoque detallado y sistemático para garantizar el éxito de dichos proyectos. Se trata de un proceso realizado por el equipo de proyecto que busca maximizar la eficiencia y la efectividad en la ejecución de las actividades, teniendo en cuenta los recursos disponibles, los plazos establecidos, el presupuesto disponible y los objetivos del proyecto. Todo ello, manteniendo una visión en los resultados y en la creación de valor para las partes interesadas.

Para llevar a cabo este aspecto, los directores/as de proyectos deben seguir una serie de características clave. A continuación, se presentan las principales:

En primer lugar, se deben establecer unas **metas y objetivos claros**, que sirvan de guía para todas las actividades del proyecto y aseguren su alineación con la visión estratégica de la organización.

Seguido, se realizará un **análisis detallado de los requisitos del proyecto**, considerando las necesidades de los usuarios, las restricciones técnicas y los factores externos que puedan afectar a su correcta ejecución.

También se encuentra el **desarrollo de un plan de trabajo**. Consiste en crear un plan completo que identifique todas las actividades necesarias como el diagnóstico actual, la identidad organizacional, un análisis del entorno, descubrir objetivos estratégicos, realizar un plan de acción u operativo y tener un plan de seguimiento.

Por último, se debe **probar y adaptar la estrategia con mejora continua**. Hay que realizar un seguimiento, evaluación y adaptación de la ejecución, esto es crucial para que la planificación estratégica permita cumplir los objetivos marcados.

Existen múltiples herramientas para llevar a cabo un análisis estratégico riguroso en los grandes proyectos de infraestructura. Seguidamente, se presentan los que para el autor de este trabajo son más beneficiosos y útiles a la hora de realizarlo:

4.2.1. Análisis DAFO

Esta herramienta se basa en realizar un análisis tanto interno (Debilidades y Fortalezas) como externo (Oportunidades y Amenazas), que permite conocer la situación real de la empresa u organización y el posible planteamiento de una estrategia futura (Figura 24).

Los factores más relevantes para analizar internamente en una organización serían: la producción, con aspectos como el punto de equilibrio, los costes de producción y la capacidad productiva; los recursos humanos, con temas como la productividad de los empleados, la formación y retención de estos, el organigrama y la cultura organizacional; las finanzas, con ratios financieros como el endeudamiento o el margen neto; y el marketing y distribución, con datos como la cuota de mercado, canales de promoción y los canales de distribución.

Para realizar el análisis externo, es recomendable estudiar los clientes y el mercado, incluyendo la evolución de la demanda o el público objetivo del proyecto. También se recomienda examinar el sector y la competencia, con un estudio de las tendencias, políticas de precios y crecimiento de los segmentos afectados. Por último, se deben observar y recopilar factores económicos, sociales, ambientales, políticos, tecnológicos y ambientales que puedan influir en el correcto desarrollo de la organización.



Figura 24. Análisis DAFO. Fuente: Pensemos (Roncancio, s.f.).

4.2.2. Análisis PESTEL

EL análisis PESTEL (Políticos, Económicos, Sociocultural, Tecnológicos, Ambientales y Legales) se basa en una descripción del contexto de la empresa. Su aplicación permite la evaluación de la perspectiva, crecimiento y la orientación de las operaciones del proyecto u organización, e identifica los elementos externos que puedan afectar a su correcto desempeño (Figura 25).



Figura 25. Análisis PESTEL. Fuente: Pensemos (Roncancio, s.f.).

Es importante destacar los factores que afectan al negocio y analizarlos, ya que no necesariamente todos lo hacen. Posteriormente, se recomienda definir unas variables y la situación que pudiera darse con cada una de ellas en el proyecto (cambios gubernamentales, política fiscal del país, cambio climático, etc.).

4.2.3. Análisis de las 5 fuerzas de Porter

Este análisis de las 5 fuerzas de Porter sirve para medir la competitividad y el atractivo de un sector o un proyecto. Se mide a través de un diagrama que recoge (Figura 26): 1) **poder de negociación de los clientes**, con el fin de evitar situaciones que afecten al negocio, se estudia si hay gran volumen de público objetivo, si la oferta es pequeña o grande y si la demanda es latente, entre otros factores; 2) **poder de negociación de los proveedores**, que juegan un papel fundamental y pueden influir en el precio del producto o en la calidad del mismo y se mide con el grado de concentración, costes de cambio y si existen muchos ofreciendo lo mismo; 3) **amenaza de productos sustitutivos**, con el análisis de productos que satisfacen las mismas necesidades que el del negocio; 4) **amenaza de nuevos competidores**, estudiando las barreras de entrada y las posibles economías de escala que ofrece el proyecto; 5) **rivalidad entre competidores**, observando posibles bajadas de precios, campañas de marketing o nuevos productos desde la competencia.



Figura 26. Análisis 5 fuerzas de Porter. Fuente: Pensem (Roncancio, s.f.).

Existen otras muchas herramientas para llevar a cabo una planificación estratégica como la “*Blue Ocean Strategy*”, que propone que las entidades o proyectos se ejecuten dentro de un mercado que esté poco disputado (mercado del océano azul) y se aleje de mercados muy desarrollados o con altos niveles de saturación (mercado del océano rojo) o una herramienta visual llamada “Mapa Estratégico”, que ofrece la posibilidad de realizar la planificación estratégica desde la gerencia hacia el equipo.

La planificación estratégica rigurosa en los proyectos establece los quehaceres de cada miembro, garantiza que las acciones estén direccionadas al cumplimiento de las metas futuras y brinda numerosos beneficios para su éxito (Roncancio, s.f.), algunos de los cuales se representan a continuación:

- Permite a la entidad actuar de forma proactiva
- Da al equipo un sentido de dirección
- Posibilita incrementos de rentabilidad y cuota de mercado
- Aumenta la satisfacción laboral y la longevidad del negocio
- Reduce el tiempo, alinea y mejora la toma de decisiones organizacionales
- Promueve una buena actitud hacia el cambio y un alto grado de disciplina

4.3 Gestión de cambios y riesgos

La gestión de cambios y riesgos en un proyecto de infraestructura es fundamental para asegurar que se aborden de manera adecuada las preocupaciones y expectativas de todas las partes involucradas.

En cuanto a la gestión de cambios, se refiere al proceso de identificar, evaluar y gestionar los cambios que ocurren durante el ciclo de vida del proyecto. Los cambios pueden surgir debido a diversas razones, como requisitos modificados, nuevos descubrimientos, avances tecnológicos o cambios en las condiciones externas. Implica el análisis de los impactos de estos cambios en el proyecto, evaluando su viabilidad, coste, plazo y calidad, para posteriormente actualizar la documentación, ajustar los planes y coordinar a los interesados implicados.

Para llevar a cabo una correcta gestión del cambio es necesario definir de antemano una serie de aspectos: 1) Desarrollo de tácticas que se utilizarán al momento de realizar cambios; 2) Definir las funciones y recursos del equipo destinados a la administración del cambio; 3) Establecer una integración y coherencia con el resto del proyecto.

Todos los cambios deben ser analizados, evaluados y autorizados por la dirección del proyecto y seguir un esquema jerárquico para su integración final en el proyecto. En el Anexo C se muestra un ejemplo simplificado de la gestión de cambios.

Por otro lado, está la gestión de riesgos que se encarga de identificar, analizar y crear acciones para mitigar las amenazas o incrementar las oportunidades que pueden afectar el éxito del proyecto. Los riesgos son eventos o circunstancias inciertas que, si ocurren, pueden tener un impacto positivo o negativo en los objetivos del proyecto. Se debe llevar a cabo un proceso sistemático para identificar y evaluar los riesgos potenciales, determinar su probabilidad e impacto, y desarrollar estrategias de respuestas adecuadas para reducir su probabilidad o impacto, o para manejar sus consecuencias. Esto implica establecer planes de contingencia, asignar responsabilidades y monitorear continuamente los riesgos a lo largo del proyecto (Martins, 2023).

En este punto, se tienen que integrar los riesgos más relevantes, en función de su posible impacto y de su probabilidad de ocurrencia, para la consecución de los objetivos estratégicos tanto del proyecto como de la organización y realizar una planificación de respuestas en caso de que sucedan. Asimismo, se necesita asignar las responsabilidades que tiene cada integrante del equipo para actualizar regularmente dicho análisis.

En la Tabla 20 se exponen los beneficios, herramientas y una serie de consideraciones adicionales en el ámbito de la administración de cambios y de riesgos en la gestión de la integración de grandes proyectos de infraestructura.

Tabla 20. Aspectos Relevantes de la Gestión de Cambios y Riesgos. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos	Beneficios	Herramientas de gestión	Consideraciones adicionales
Gestión de cambios	<p>Permite adaptarse a requisitos cambiantes.</p> <p>Mejora la calidad del proyecto al abordar errores y deficiencias.</p> <p>Incrementa la satisfacción de los interesados.</p>	<p>Evaluación de impacto y viabilidad del cambio.</p> <p>Procedimientos de aprobación y control de cambios.</p> <p>Herramientas de documentación y seguimiento de cambios.</p>	<p>Comunicación efectiva con los interesados involucrados en los cambios.</p> <p>Considerar los recursos y el cronograma necesarios para implementar los cambios.</p>
Gestión de riesgos	<p>Minimiza los impactos negativos y maximiza las oportunidades.</p> <p>Aumenta la probabilidad de éxito del proyecto.</p> <p>Mejora la toma de decisiones basada en la identificación y análisis de riesgos.</p>	<p>Identificación y evaluación de riesgos.</p> <p>Planificación de respuestas a los riesgos.</p> <p>Monitoreo y control continuo de riesgos.</p>	<p>Asignar responsabilidades claras para la gestión de riesgos.</p> <p>Actualizar regularmente el análisis de riesgos a lo largo del proyecto.</p>

4.4 Gestión integral de costes, alcance y tiempo

La gestión integrada de costes, alcance y tiempo en los grandes proyectos de infraestructura se refiere a un enfoque holístico para gestionar y coordinar estos tres elementos clave del proyecto de manera conjunta. Se reconoce que el coste, el alcance y el tiempo son interdependientes y que cualquier cambio en uno de estos elementos afectará de forma irremediable a los otros dos.

En primer lugar, la gestión integrada de costes implica la identificación, estimación y control de los costes asociados en el proyecto. Esto conlleva desarrollar un presupuesto detallado y realizar un seguimiento continuo del gasto para garantizar que se mantenga dentro de los límites establecidos. Además, se deben realizar análisis de coste-beneficio para evaluar las opciones y tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos, la ampliación o recorte de plazos y/o alcance.

En segundo lugar, la gestión integrada del alcance supone definir y controlar el alcance del proyecto de infraestructura. Esto contiene identificar y documentar todos los entregables, actividades y tareas necesarias para completar el proyecto con éxito. También implica establecer mecanismos para gestionar los cambios en el alcance, como el proceso de solicitud de cambio y la evaluación de su impacto en los costes y el tiempo.

En tercer lugar, la gestión integrada del tiempo trae consigo la planificación y programación detallada de todas las actividades y tareas del proyecto de infraestructura. Esto contiene la creación de un cronograma que establezca las fechas de inicio y finalización de cada actividad, así como las dependencias entre ellas. Además, implica realizar un seguimiento continuo del progreso del proyecto y ajustar el cronograma según sea necesario para mantener el proyecto en la senda correcta.

Al integrar el alcance, el coste y el tiempo, se obtiene una visión más completa y precisa del proyecto en su conjunto. Esto facilita la toma de decisiones informadas, ya que se evalúa y se comprende el impacto que tienen los cambios en una variable sobre las demás. Se pueden evaluar diferentes opciones y seleccionar la mejor estrategia para optimizar los resultados y minimizar los riesgos.

En general, la gestión integrada de costes, alcance y tiempo en los grandes proyectos de infraestructura proporciona una estructura sólida y coherente para gestionar eficientemente los recursos, cumplir con los plazos y alcanzar los objetivos del proyecto de manera exitosa.

4.5 Colaboración y comunicación efectiva y continua con las partes interesadas

La colaboración y la comunicación efectiva y continua con las partes interesadas son esenciales en los grandes proyectos de infraestructura y en la gestión de la integración, ya que estas fomentan el trabajo en equipo, la transparencia, la confianza y la alineación, lo que conduce a un mejor rendimiento del proyecto y a una mayor satisfacción de todas las partes involucradas.

La colaboración trae consigo una manera de trabajar conjuntamente y cooperar con todas las partes interesadas en un proyecto, incluyendo a los propietarios, patrocinadores, equipo de proyecto, usuarios, comunidades locales, agencias gubernamentales y contratistas, entre otros grupos. La colaboración efectiva comprende establecer relaciones sólidas, construir confianza mutua y trabajar juntos para alcanzar los objetivos comunes del proyecto. Esto supone compartir información, ideas y recursos, y tomar decisiones de manera colaborativa.

La comunicación continua es fundamental para garantizar que todas las partes interesadas estén informadas, involucradas y alineadas durante todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto. Significa realizar una transmisión clara y oportuna de la información relevante, incluyendo los objetivos, el alcance, los plazos, los riesgos, los avances y las decisiones importantes.

La comunicación debe ser bidireccional, lo que significa que no solo se trata de transmitir información, sino también de escuchar y entender las inquietudes, sugerencias y comentarios de las partes con las que se está trabajando. Además, la comunicación debe mantenerse de manera continua a lo largo del proyecto, adaptándose a medida que evoluciona y requiriendo canales de comunicación efectivos, como reuniones, informes, llamadas telefónicas, correos electrónicos, boletines y plataformas colaborativas.

En la Tabla 21 se identifican herramientas, beneficios y condiciones adicionales asociadas a una relación positiva y productiva con las partes interesadas, con el objetivo de destacar los aspectos más relevantes de la colaboración y comunicación efectiva. Cada aspecto tiene su relevancia en el contexto de los proyectos de infraestructura, donde la participación activa de las diferentes partes

contribuye al desarrollo exitoso de la iniciativa, promoviendo la transparencia, la confianza y el compromiso mutuo.

Tabla 21. Aspectos Clave de la Colaboración y Comunicación Efectiva. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos	Herramientas	Beneficios	Condiciones adicionales
Identificación temprana y participación	Encuestas, entrevistas, reuniones	Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	Proactividad en la identificación de las partes interesadas
		Mayor aceptación y apoyo al proyecto	
		Reducción de conflictos y resistencia	
Comunicación bidireccional	Reuniones, foros de discusión, plataformas en línea	Mayor transparencia en el proceso de toma de decisiones	Apertura a escuchar diferentes perspectivas
		Resolución más efectiva de problemas	
		Mejora de la toma de decisiones	
Uso de plataformas de colaboración en línea	Sitios web, redes sociales, herramientas de gestión de proyectos	Promoción de la participación activa de las partes interesadas	Disponibilidad de tecnología y recursos para implementar y mantener las plataformas en línea
		Mayor eficiencia y productividad en la comunicación y colaboración	
Evaluación y respuesta a comentarios	Encuestas, buzones de sugerencias, líneas de atención al cliente	Fomento de la confianza y la satisfacción de las partes interesadas	Capacidad de respuesta y seguimiento activo a los comentarios y sugerencias
		Identificación de áreas de mejora	
		Mantenimiento de una buena reputación	
Gestión de conflictos	Mediación, negociación, facilitación de diálogos	Resolución efectiva de diferencias y conflictos	Habilidades de gestión de conflictos y negociación
		Mantenimiento de relaciones positivas	
		Evita la escalada de conflictos	
Monitoreo de la satisfacción	Encuestas, entrevistas,	Identificación de áreas de mejora	Recolección sistemática de datos

Aspectos	Herramientas	Beneficios	Condiciones adicionales
de las partes interesadas	seguimiento de indicadores de satisfacción	Ajustes oportunidad en las estrategias de comunicación y colaboración	sobre la satisfacción de las partes interesadas
		Mejora continua del proceso y resultados	

4.6 Gestión del conocimiento del proyecto

La gestión del conocimiento alude al proceso de capturar, organizar, compartir y aplicar el conocimiento generado durante todo el ciclo de vida del proyecto. Consiste en identificar, adquirir y utilizar el conocimiento necesario para ejecutar y completar con éxito el proyecto, así como para garantizar que el conocimiento se conserve y esté disponible para proyectos futuros.

Dicha gestión del conocimiento debe asegurarse de que toda la información relevante se integre de manera efectiva y eficiente para garantizar una toma de decisiones adecuada y una ejecución coherente del proyecto, reuniendo y sintetizando el conocimiento disperso en diferentes áreas o disciplinas, y asegurarse de que esté disponible para los miembros del equipo de proyecto y otras partes involucradas. Puede incluir varias actividades, como:

1. Captura de conocimiento: Recopilación y documentación sistemática de conocimientos clave, mejores prácticas y otros aspectos relevantes del proyecto.
2. Organización y almacenamiento de conocimiento: Estructurar y clasificar la información recopilada de manera que sea fácilmente accesible y comprensible para quienes la necesiten.
3. Compartir y difundir conocimiento: Establecer mecanismos para compartir el conocimiento entre los miembros del equipo de proyecto y otras partes interesadas relevantes. Esto puede incluir el uso de canales descritos en la gestión de la comunicación como la celebración de reuniones, la realización de talleres o el uso de herramientas en línea.
4. Aplicación del conocimiento: Utilizar el conocimiento adquirido para tomar decisiones informadas, resolver problemas y mejorar la eficiencia en la ejecución del proyecto para asegurarse de que el conocimiento esté disponible y sea utilizado de manera efectiva en todas las etapas del proyecto.

Uno de los aspectos más importantes en este punto es la recogida y gestión de lecciones aprendidas en cada etapa. Estas lecciones son conocimientos y experiencias adquiridas durante la ejecución de cada etapa de un proyecto que se consideran valiosos para futuros ciclos, como lecciones extraídas de los éxitos, los fracasos, los desafíos y las mejores prácticas identificadas durante el desarrollo del proyecto.

4.6.1. Adaptación y flexibilidad

La adaptación y la flexibilidad en los grandes proyectos de infraestructura se refieren a la capacidad de responder y ajustarse a los cambios y desafíos que puedan surgir durante la planificación o ejecución de un proyecto, además de gestionar de manera efectiva las interdependencias y las interfaces entre las diferentes partes del proyecto, así como de ajustar las actividades y los recursos en función de los cambios en los requisitos, las condiciones o las expectativas.

Esto hace alusión a las metodologías ágiles en dirección de proyectos que ayudan a abordar la incertidumbre, respondiendo a los cambios y garantizando que los proyectos se mantengan alineados con los objetivos y las necesidades en constante evolución, manteniendo la integración y coherencia del proyecto en su conjunto.

4.7 Desarrollo y coordinación de modelos BIM

El desarrollo de modelos BIM en complejos proyectos de infraestructura se refiere a la creación de modelos virtuales tridimensionales que representan de manera precisa y detallada los elementos y características de una construcción. Estos modelos contienen información no solo sobre la geometría de los elementos, sino también sobre su comportamiento, atributos y relaciones con otros componentes. Es decir, que pueden prevenir errores en el diseño o construcción virtualmente y antes de que se ejecuten en la realidad.

En cuanto a la coordinación de modelos BIM, esta se refiere al proceso de asegurar que los diversos modelos creados por los diferentes equipos de diseño y disciplinas en un proyecto estén alineados y encajen correctamente entre sí, lo que trae consigo la resolución de cualquier conflicto o incompatibilidad que pueda surgir entre los elementos de los diferentes modelos.

La coordinación se puede realizar a través de reuniones de coordinación, revisiones y análisis de los modelos para garantizar la coherencia y evitar errores o conflictos durante la construcción. También se puede hacer uso de software potente para que todas las partes como el propietario del proyecto, los arquitectos y diseñadores, así como los ingenieros, consultores, constructores y contratistas puedan visualizar cualquier cambio en el modelo de forma inmediata.

Algunos aspectos relevantes que mejoran con el uso de modelos BIM son:

- **Eficiencia.** Optimización de recursos y reducción de costes y tiempos en todas las etapas del proyecto. El uso de estas herramientas permite planificar y controlar de manera más efectiva el desarrollo y la operación de la infraestructura, maximizando su rendimiento y minimizando las amenazas.
- **Colaboración.** Los arquitectos, ingenieros, contratistas y subcontratistas deben trabajar en conjunto para coordinar y sincronizar sus esfuerzos, compartir información y tomar decisiones informadas. Estas herramientas facilitan la comunicación en tiempo real y la gestión eficiente de la información.
- **Coordinación.** Los modelos BIM permiten identificar posibles interferencias y resolver problemas antes de que ocurran en el campo de construcción., lo que reduce los errores y repetición de trabajos.

- **Calidad.** La mejora de la calidad y precisión de los diseños y modelos de construcción se logra a través del uso de modelos BIM, lo que permite una mayor eficiencia energética y una mejor planificación de los recursos.

4.8 Monitoreo y evaluación

El monitoreo y la evaluación son componentes clave de la gestión de la integración y hacen referencia a los procesos y actividades diseñados para garantizar que el proyecto se esté llevando a cabo según lo planificado, y para evaluar su desempeño y resultados.

El monitoreo consiste en la recopilación continua de datos y la supervisión del progreso del proyecto en relación con los objetivos establecidos, lo que significa seguir de cerca las actividades, los plazos, los hitos y los recursos utilizados. También puede incluir el seguimiento del avance físico de la construcción, el control del presupuesto, la revisión de los informes de avance, la identificación de posibles desviaciones y la toma de acciones correctivas cuando sea necesario.

El monitoreo proporciona información en tiempo real sobre el estado del proyecto y permite a los responsables de este tomar medidas oportunas para resolver problemas y mantener el proyecto en curso.

En su caso, la evaluación se centra en analizar y valorar el desempeño del proyecto una vez que se ha completado, lo que conlleva medir el logro de los objetivos, la calidad del trabajo realizado, el cumplimiento de los requisitos y estándares establecidos, y el impacto del proyecto en términos de beneficios esperados o creación de valor.

La evaluación incluye la revisión de informes técnicos, la realización de auditorías, la recopilación de comentarios de los interesados y la comparación de los resultados con las expectativas iniciales. La evaluación proporciona una retroalimentación valiosa que ayuda a aprender lecciones y mejorar la planificación y ejecución futuras de proyectos similares.

4.9 Recopilación del Marco de Referencia

En la ilustración del Anexo D, se representa de manera concisa un esquema del modelo de gestión de la integración para grandes proyectos de infraestructura. Este modelo se ha desarrollado con el objetivo de facilitar una planificación y ejecución exitosa y eficiente de proyectos complejos, abordando los desafíos inherentes a la integración de múltiples componentes, partes interesadas y actividades interdependientes.

Este marco ha sido diseñado por el autor de este trabajo para combinarse con metodologías en dirección de proyectos, especialmente con las elaboradas por PMI, IPMA y PM2. También se concibió como un modelo de apoyo para integrar con cualquier metodología fuera de las anteriores y que desarrollen proyectos especialmente complejos.

En resumen, este modelo de referencia intenta proporcionar una guía completa y estructurada para la gestión exitosa de la gestión de la integración en grandes proyectos de infraestructura, abarcando aspectos como la creación de valor, planificación estratégica, gestión de cambios y riesgos, gestión integral de costes, colaboración con las partes interesadas, gestión del conocimiento, adaptación y

flexibilidad, desarrollo y coordinación de modelos BIM, y monitoreo y evaluación. Al seguir este modelo, los proyectos podrán alcanzar sus objetivos de manera más eficiente y generar resultados satisfactorios.

Seguidamente, se muestra una tabla resumen donde se exponen los aspectos clave de este marco de referencia y los puntos principales de cada uno de ellos (Tabla 22):

Tabla 22. Resumen del Marco de Referencia para la Gestión de la Integración de Proyectos Complejos de Infraestructura. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos clave	Puntos principales	Otros aspectos necesarios
Creación de valor	Identificar necesidades y expectativas de las partes interesadas Establecer criterios de valor y evaluar impacto económico Estrategia y evaluación continua	Análisis de viabilidad y factibilidad del proyecto Evaluación de impacto social y medioambiental.
Planificación estratégica rigurosa	Definir objetivos y alcance claros Desarrollar un plan detallado y análisis requisitos del proyecto Probar y adaptar la estrategia	Análisis DAFO PESTEL 5 Fuerzas de Porter
Gestión de cambios y riesgos	Identificar, evaluar y gestionar cambios y riesgos del proyecto Implementar sistemas y procesos para una gestión integrada y efectiva	Plan de comunicación y manejo de expectativas durante los cambios Resiliencia y adaptabilidad ante los riesgos
Gestión integral de costes, alcance y tiempo	Gestionar eficientemente los recursos Cumplir con los plazos, alcanzar los objetivos del proyecto y obedecer el presupuesto	Control de costes y presupuestos Administración del alcance y la gestión del cambio
Colaboración y comunicación efectiva y continua	Fomentar la participación activa de las partes interesadas Mantener una comunicación efectiva y tomar decisiones conjuntas	Gestión de conflictos y negociación con las partes interesadas Promoción de la transparencia y confianza

Aspectos clave	Puntos principales	Otros aspectos necesarios
Gestión del conocimiento del proyecto	Capturar y documentar el conocimiento adquirido Transferir el conocimiento entre proyectos Ajustar y reevaluar estrategias y ser flexible frente a circunstancias cambiantes	Creación de una base de conocimiento compartida y accesible Implementación de herramientas de gestión del conocimiento Cultura de aprendizaje continuo y mejora adaptativa
Desarrollo y coordinación de modelos BIM	Establecer estándares y directrices de modelado BIM Coordinar multidisciplinariamente y gestionar cambios en los modelos	Capacitación y desarrollo de habilidades en modelado BIM Uso de herramientas de colaboración y coordinación en BIM
Monitoreo y evaluación	Realizar revisiones y ajustes periódicos Evaluar el cumplimiento de los objetivos y realizar mejoras continuas	Implementación de indicadores clave de rendimiento Evaluación de impacto y beneficios a largo plazo Elaborar documento con las lecciones aprendidas clave

Capítulo 5 CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo de fin de máster se ha explorado y analizado la gestión de la integración en proyectos complejos de infraestructura. El objetivo principal fue desarrollar un modelo de referencia en este ámbito, y se ha logrado alcanzar este objetivo a través del análisis de casos de éxito y de fracaso.

Los resultados y hallazgos obtenidos demuestran que la aplicación del modelo de referencia puede conducir a mejoras significativas en la gestión de la integración y, en última instancia, al éxito del proyecto. Estos resultados respaldan la idea de que la gestión de la integración es de vital importancia y merece una mayor atención en el campo de la dirección de proyectos.

Además, se han identificado algunas áreas de mejora y recomendaciones para futuras investigaciones en este campo. Por ejemplo, sería beneficioso explorar más a fondo los grandes proyectos de infraestructura para comprender mejor los impactos que tienen en la sociedad, medioambiente y en las comunidades locales. Asimismo, se podría considerar la ampliación o mejora del marco de referencia propuesto, para abordar e integrar aspectos que no hayan sido analizados y obtener una visión más completa del tema.

En resumen, este trabajo ha proporcionado una visión integral y práctica sobre la gestión de la integración en proyectos complejos de infraestructura. El marco de referencia propuesto ofrece una guía valiosa para profesionales y responsables de proyectos, contribuyendo a un enfoque más efectivo y exitoso en proyectos futuros en este ámbito.

Las conclusiones del trabajo de fin de máster subrayan la relevancia y el impacto del estudio realizado, destacando la importancia de aplicar el modelo de referencia propuesto en proyectos de infraestructura similares. Asimismo, se resalta la necesidad de continuar investigando y mejorando las prácticas de gestión de la integración para abordar los desafíos cambiantes en este campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ammann, O. et al, (1941). *The failure of the Tacoma Narrows Bridge*. A Report to the Honorable John M. Carmody Administrator, Federal Works Agency Washington, D. C. Recuperado el 22 de junio de 2023 de: <https://authors.library.caltech.edu/45680/>
- Anderson, G. y Roskrow, B. (1994). *The Channel Tunnel Story*. Published by E & F N Spon, an imprint of Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN.
- Arencibia, J. M. (2007). *Conceptos fundamentales sobre el mantenimiento de edificios*. Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 1, núm. 1, abril, 2007, pp. 1-8. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba. Recuperado el 3 de abril de 2023 de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193915927005>
- Baccarini, D. (1996). *The concept of project complexity-a review*. International Journal of Project Management, 14(4), pp. 201-204.
- Berga, L. (s.f.). *TRES GARGANTAS. Adéntrate en esta colosal obra de ingeniería. Para su construcción hubo que desviar el río Yangtsé y desplazar a más de un millón de personas*. Fundación Aquae, Aquaexplore. Recuperado el 17 de mayo de 2023 de: https://www.fundacionaquae.org/aquaexplore/tresgargantas_html/index.html
- Building Smart (s.f.). *¿Qué es BIM?* / Building Smart Spain. Recuperado el 28 de abril de 2023 de: <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- CAHSR, (2023). *About California High-Speed Rail*. California High-Speed Rail Authority. Recuperado el 2 de junio de 2023 de: <https://hsr.ca.gov/about/high-speed-rail-authority/>
- Carrión, F. (2022). *A bordo del Ave a La Meca, una ruta sagrada y unos raíles con cuidados diarios*. El Independiente. Recuperado el 21 de junio de 2023 de: <https://www.elindependiente.com/espana/2022/01/04/a-bordo-del-ave-a-la-meca-una-ruta-sagrada-y-unos-railes-con-cuidados-diaris/>
- CEPAL, (2021). *Invertir en infraestructura sostenible, resiliente e inclusiva para la recuperación económica*. Boletín 389, nº 5/2021, ISSN: 1564-4227. Facilitación, comercio y logística en América Latina y El Caribe. Recuperado el 2 de mayo de 2023 de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47573/1/S2100705_es.pdf
- Chen, H. (2022). *An Analysis of the Success of the Channel Tunnel Project*. Universidad de Lancaster, Ciudad de Lancaster, Reino Unido.
- Choclán, F. et al, (2014). *Introducción a la Metodología BIM*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 28 de abril de 2023 de: https://www.researchgate.net/publication/284159764_INTRODUCCION_A_LA_METODOLOGIA_BIM
- Cobb, C. G. (2015). *The Project Manager`s Guide to Mastering Agile | Principles and Practices for an Adaptive Approach*.

- Da Vinci Ingeniería, (2023). *Estrategia BIM para Colombia*. Recuperado el 29 de abril de 2023 de: <https://www.davinci.com.co/innovacion/estrategia-bim-en-colombia/>
- De Toro, Á. (2022). *¿Qué es Scrum? Conoce el Framework que agiliza el trabajo en equipo*. Escuela de Negocios y Dirección. Universidad Europea Miguel de Cervantes. Recuperado el 28 de abril de 2023 de: <https://www.escueladenegociosydireccion.com/revista/business/scrum-framework-agiliza-trabajo-equipo/>
- Durán, A. (2018) *Manifiesto Agile, ¿qué es?, BBVA | Transformación Digital*. Recuperado el 26 de abril de 2023 de: <https://www.bbva.com/es/innovacion/agile-manifiesto-que-es/>
- Eriksson, D. (2022). *Corruption perceptions index*. Transparency International, the global coalition against corruption. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: <https://www.transparency.org/en/cpi/2022>
- Eurotunnel. (2018). *Eurotunnel: A wonder of the modern world*. Eurotunnel Le Shuttle. Recuperado el 11 de mayo de 2023 de: <https://www.eurotunnel.com/uk/build/>
- Flughafen Berlin Brandenburg, (2023). *Orientación. Cómo orientarse en el BER*. Página web oficial del Aeropuerto de BER. Recuperado el 31 de mayo de 2023 de: <https://ber.berlin-airport.de/es/orientation.html>
- Flyvbjerg, B. (2007). *Policy and Planning for Large Infrastructure Projects: Problems, Causes, Cures*. Environment and Planning B: Planning and Design, 34(4), pp. 578-597. Recuperado el 15 de mayo de 2023 de: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1068/b32111>
- Glucroft, W. (2020). *Abre el nuevo aeropuerto de Berlín: una historia de fracaso*. DW, Made for minds. Recuperado el 30 de mayo de 2023 de: <https://www.dw.com/es/abre-el-nuevo-aeropuerto-de-berl%C3%ADn-una-historia-de-fracaso/a-55459050>
- Gourvish, T. (2006). *The oficial history of Britain and The Channel Tunnel*.
- Grimsey, D. y Lewis, M. K. (2002). *Evaluating the risks of public private partnerships for infraestructura projects*. International Journal of Project Management 20 (2002) pp. 107-118.
- Gusiluz, (2023). *Haramain, el AVE del Desierto*. Geotren, Otra Forma De Ver El Ferrocarril. Recuperado el 24 de junio de 2023 de: <https://www.geotren.es/blog/haramain-el-ave-del-desierto/>
- Historiasdelaempresa.com, (s.f.). *9 tipos de infraestructura (con ejemplos)*. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: <https://historiadelaempresa.com/tipos-de-infraestructuras>
- Iagua, (2014). *La Presa de las Tres Gargantas, la hidroeléctrica más grande del mundo*. Recuperado el 16 de mayo de 2023 de: <https://www.iagua.es/blogs/megaestructuras/presa-tres-gargantas-hidroelectrica-mas-grande-mundo>
- ICB 4.0 (2015). *Base para la Competencia Individual en Dirección de Proyectos, Programas y Carteras de Proyectos* (2015). IPMA.

- ICE (s.f.). *The channel tunnel*. Institution of Civil Engineers. Recuperado el 12 de mayo de 2023 de: <https://www.ice.org.uk/what-is-civil-engineering/what-do-civil-engineers-do/the-channel-tunnel>
- Inti, R. (2019). *El Túnel del Canal de la Mancha. Entre el Continente y el Océano*. Trabajo Científico. Recuperado el 11 de mayo de 2023 de: <https://www.rutainti.com/wp-content/uploads/Ci-1.pdf>
- Kermanshachi, S., Dao, B., Shane, J. y Anderson, S. (2016). *Project Complexity Indicators and Management Strategies – A Delphi Study*. *Procedia Engineering*, vol. 145, pp. 587-594, ISSN 1877-7058. https://www.researchgate.net/publication/303398426_Project_Complexity_Indicators_and_Management_Strategies_-_A_Delphi_Study
- Korytárová, J. y Hromádka, V. (2020). *Risk Assessment of Large-Scale Infrastructure Projects—Assumptions and Context*. ResearchGate – Brno University of Technology. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: https://www.researchgate.net/publication/347959599_Risk_Assessment_of_Large-Scale_Infrastructure_Projects-Assumptions_and_Context
- Kumar, L., Jindal, A. y Velaga, N. R. (2018). *Financial risk assessment and modelling of PPP based Indian highway infrastructure projects*. *Transport Policy*, Volume 62, 2018, Pages 2-11.
- López-Pujol, J. y Ponseti, M. (2008). *El Proyecto de las Tres Gargantas de China: Su Historia y sus Consecuencias*. *Estudios de Asia y África*, vol. XLIII, núm. 2, mayo-agosto, 2008, pp. 255-324. El Colegio de México, A.C. Distrito Federal, México. Recuperado el 15 de mayo de 2023 de: <https://www.redalyc.org/pdf/586/58611186001.pdf>
- Mansilla, J. (s.f.). *El túnel del Canal de la Mancha: Historia, construcción y problemática*. Geotecnia Fácil. Recuperado el 11 de mayo de 2023 de: <https://geotecniafacil.com/tunel-canal-de-la-mancha/>
- Martín, R., González, J. y Arguedas, R. (2012). *Estructura de costes en el sector de la construcción en España*. *Revista de la Construcción* vol.11 no.3 Santiago diciembre 2012. Recuperado el 2 de abril de 2023 de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2012000300003
- Martínez, C. (2018). *Desarrollo Sostenible y la proyección de una mejor calidad de vida*. Universidad Galileo. Recuperado el 29 de marzo de 2023 de: <https://www.galileo.edu/ids/historias-de-exito/desarrollo-sostenible-y-la-proyeccion-de-una-mejor-calidad-de-vida/>
- Martins, J. (2023). *Qué es la gestión de riesgos y cómo aplicarla a tu proyecto en solo 6 pasos*. Asana. Recuperado el 15 de junio de 2023 de: <https://asana.com/es/resources/project-risk-management-process>
- Metodología de Gestión de Proyectos PM2 | Síntesis* (2017). Comisión Europea.
- Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1* (2021). Comisión Europea.

- Naciones Unidas, (s.f.). *Objetivo 9 - Infraestructuras con un futuro sostenible*. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: <https://www.un.org/es/chronicle/article/objetivo-9-infraestructuras-con-un-futuro-sostenible>
- Porter, M. & Kramer, M. (2006). *Strategy and Society: The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility*. Harvard Business Review. 84 (12). pp. 78-92. Recuperado el 14 de junio de 2023 de: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/sd.2007.05623ead.006/full/html>
- Postgrado UCSP, (s.f.). *Descubre qué tipos de proyectos de infraestructura existen*. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: <https://postgrado.ucsp.edu.pe/articulos/tipos-proyectos-infraestructura/>
- Project Management Institute (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) Sexta edición*.
- Raffo, E. (2015). *Valoración económica ambiental: el problema del costo social*. Industrial Data, vol. 18, núm. 1, 2015, pp. 108-118. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado el 3 de abril de 2023 de: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81642256013.pdf>
- Renfe. *Proyecto Haramain. El desarrollo de la Alta Velocidad en Arabia Saudí*. Recuperado el 20 de junio de 2023 de: <https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/grupo-renfe/conocenos/renfe-en-el-mundo/proyecto-haramain>
- Rodríguez, M. (2010). *La problemática del riesgo en los proyectos de infraestructura y en los contratos internacionales de construcción*. Dialnet – externado Univerdity of Colombia. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3625980>
- Roncancio, G. (s.f.). *¿Qué es la Planeación Estratégica y para qué sirve?* Pensemos. Recuperado el 15 de junio de 2023 de: <https://gestion.pensemos.com/que-es-la-planeacion-estrategica-y-para-que-sirve>
- Roopinder, T. (2020). *Germany's Ghost Airport: Berlin's Brandenburg*. Engineering.com. Recuperado el 30 de mayo de 2023 de: <https://www.engineering.com/story/germanys-ghost-airport-berlins-brandenburg>
- Rus, C. (2019). *El colapso del puente Tacoma Narrows: cuando la naturaleza nos dio una ejemplar lección de física*. Xataka. Recuperado el 22 de junio de 2023 de: <https://www.xataka.com/otros/colapso-puente-tacoma-narrows-cuando-naturaleza-nos-dio-ejemplar-leccion-fisica>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. y Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*.
- Sagarduy, R. (2006). *Infraestructura y medio ambiente: una interrelación compleja*. Ekonomiaz Nº 63, 3.º trimestre, 2006. IDOM, Ingeniería y Consultoría, S.A. Recuperado el 18 de mayo de 2023 de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2326274>

- Sullivan, P (2019). *BER: A brief history of how not to build an airport*. TipBerlin, Tip English. Recuperado el 30 de mayo de 2023 de: <https://www.tip-berlin.de/tip-english/ber-a-brief-history-of-how-not-to-build-an-airport/>
- Schwaber, K. y Sutherland, J. (2020). *La Guía de Scrum / La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego*. Recuperado el 28 de abril de 2023 de: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-Latin-South-American.pdf>
- Segurosnews (2020). *La inversión en infraestructura será clave en el crecimiento de mercados emergentes tras la crisis sanitaria*. Recuperado el 24 de marzo de 2023 de: <https://segurosnews.com/ultimas-noticias/la-inversion-en-infraestructura-sera-clave-en-el-crecimiento-de-mercados-emergentes-tras-la-crisis-sanitaria>
- Shu, G. (2007). *The Three Gorges Project: Development and Environmental Issues*. Macalester International: Vol. 18 Chinese Worlds: Multiple Temporalities and Transformations, Article 14. Recuperado el 15 de mayo de 2023 de: <https://segurosnews.com/ultimas-noticias/la-inversion-en-infraestructura-sera-clave-en-el-crecimiento-de-mercados-emergentes-tras-la-crisis-sanitaria>
- Soriano, D. y Llamas, M. (2014). *El 90% de las grandes obras públicas en todo el mundo termina con sobrecoste*. LibreMercado. Recuperado el 2 de abril de 2023 de: <https://www.libremercado.com/2014-01-14/el-90-de-las-grandes-obras-publicas-en-todo-el-mundo-termina-con-sobrecoste-1276508191/>
- Transparency International, (2022). *The global coalition against corruption*. Recuperado el 2 de mayo de 2023 de: <https://www.transparency.org/es/press>
- Urgilés, P. (2019). *Metodología para el seguimiento y control de proyectos complejos de construcción. Aplicación en el sector hidroenergético*. Escuela Internacional de Doctorado (EIDUNED), pp. 152-161.
- Velasco, J. (2012). *El puente de Tacoma, el viento y la resonancia*. Hipertextual. Recuperado el 23 de junio de 2023 de: <https://hipertextual.com/2012/02/puente-de-tacoma-viento-resonancia>
- Wikipedia, (2023). *Presa de las Tres Gargantas*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Recuperado el 17 de mayo de 2023 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Presa_de_las_Tres_Gargantas
- Wikipedia, (s.f.). *Aeropuerto de Berlín-Brandeburgo Willy Brandt*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Recuperado el 30 de mayo de 2023 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_de_Berl%C3%ADn-Brandeburgo_Willy_Brandt
- Wikipedia, (2023). *California High-Speed Rail*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Recuperado el 1 de junio de 2023 de: [https://en.wikipedia.org/wiki/California_High-Speed_Rail#:~:text=California%20High%2DSpeed%20Rail%20\(also,California%20in%20the%20United%20States](https://en.wikipedia.org/wiki/California_High-Speed_Rail#:~:text=California%20High%2DSpeed%20Rail%20(also,California%20in%20the%20United%20States)
- Wikipedia, (s.f.). *Línea de alta velocidad ferroviaria Haramain*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Recuperado el 20 de junio de 2023 de: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_de_alta_velocidad_ferroviaria_Haramain

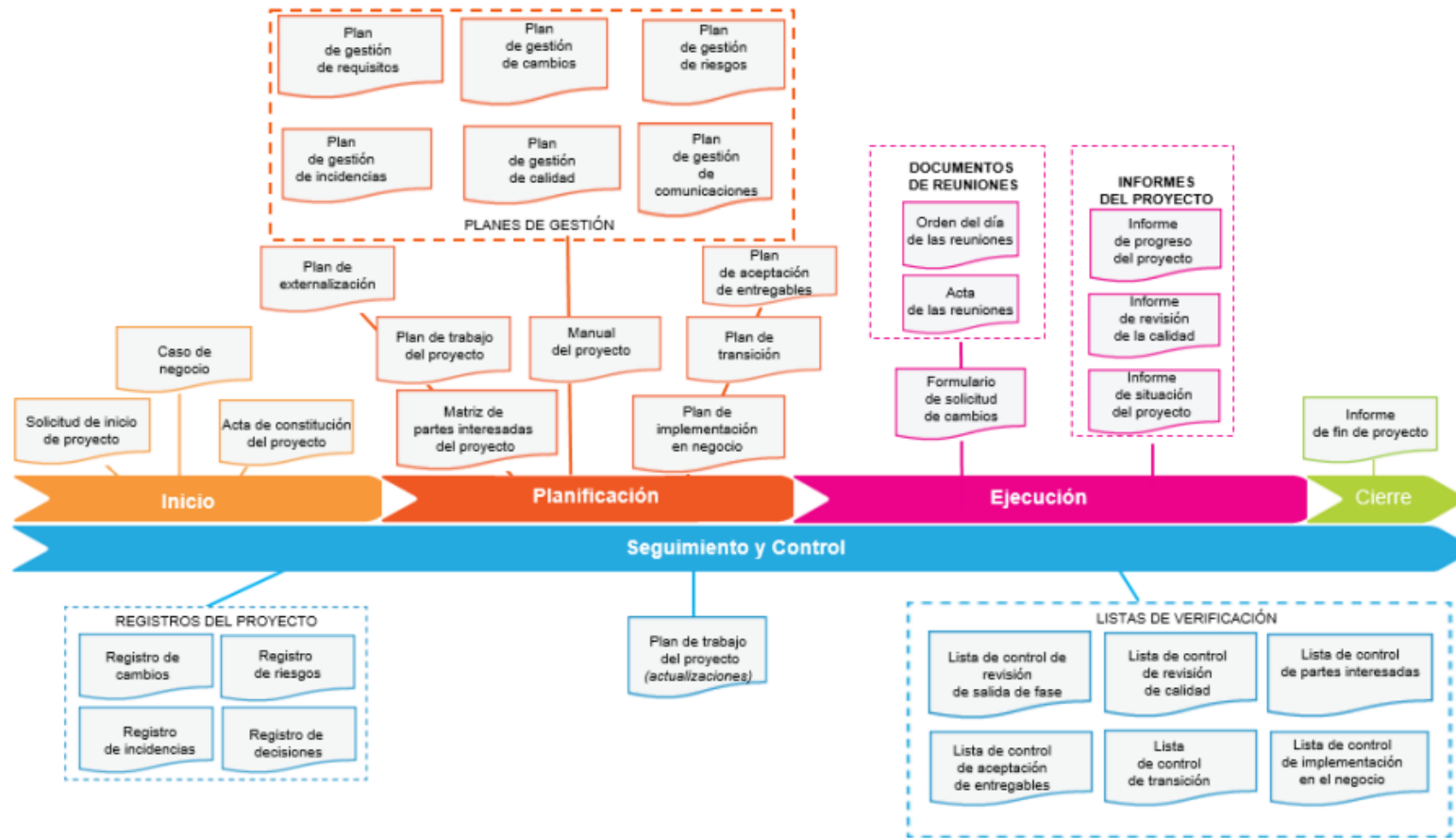
Wikipedia, (2023). *Puente de Tacoma Narrows*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Recuperado el 22 de junio de 2023 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_Tacoma_Narrows

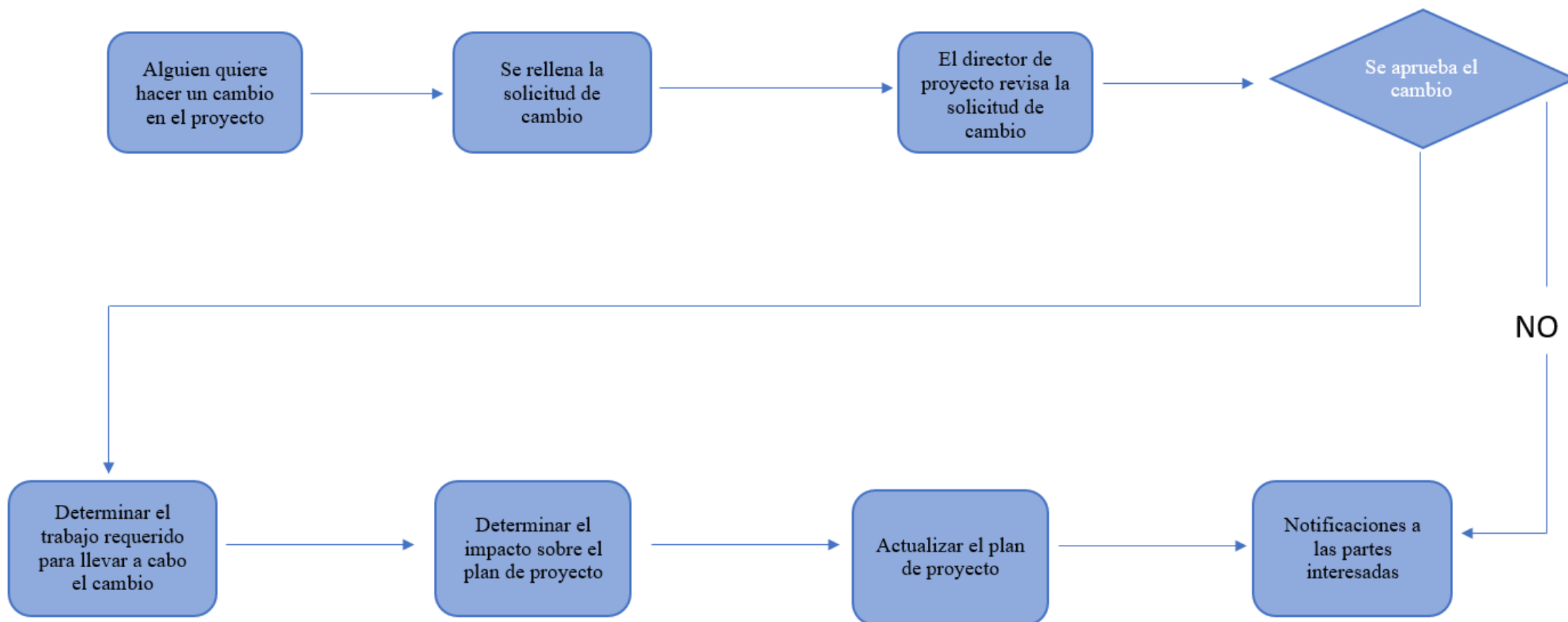
Zulowski, D. (2022). *High-speed rail efforts in the US: a history*. SmartcitiesDive.com. Recuperado el 1 de junio de 2023 de: <https://www.smartcitiesdive.com/news/high-speed-rail-united-states-timeline-california-texas-las-vegas/628367/>

ANEXO A: Acciones que pueden condicionar la intensidad de los impactos ambientales generados según las fases de desarrollo de una infraestructura. Fuente: Extraído del texto de Sagarduy (Sagarduy, 2006).

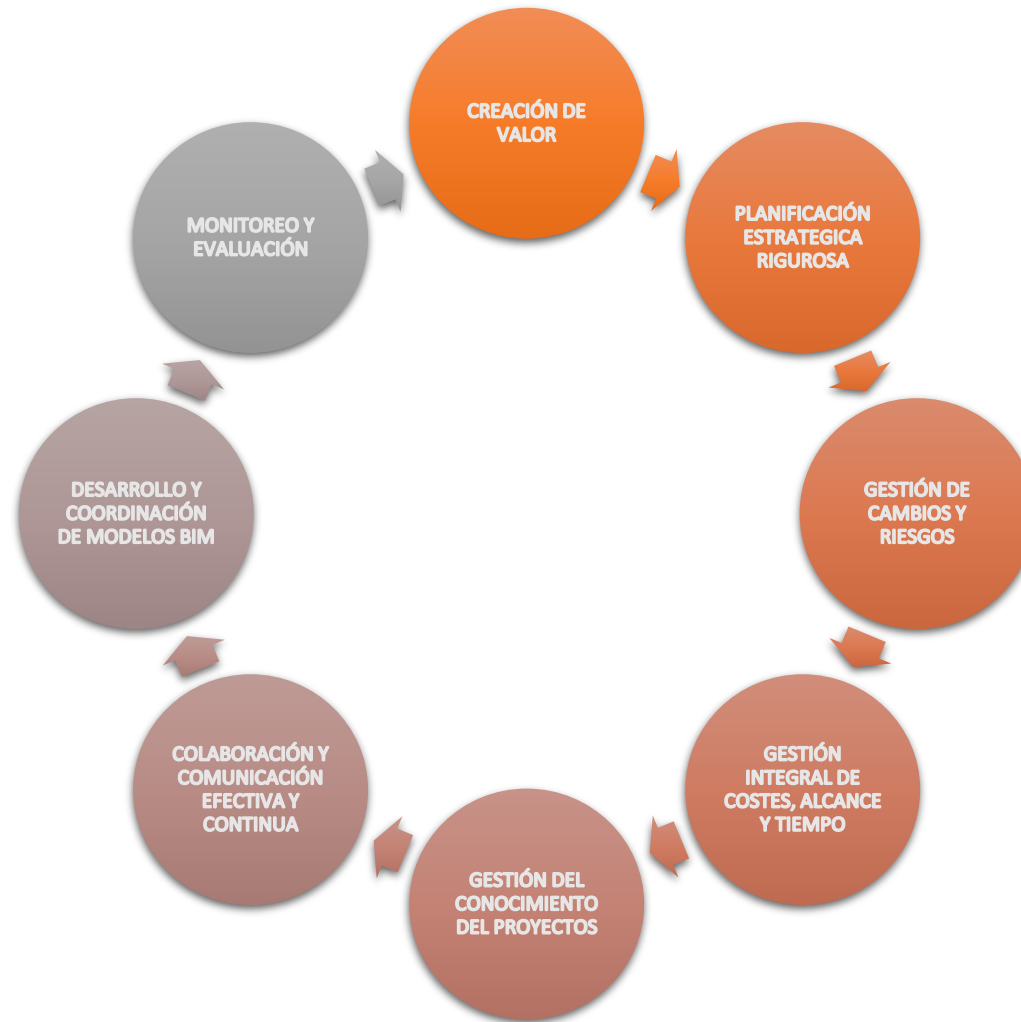
FASE	TAREAS
Planificación	Definición de corredores o zonas de acogida de las infraestructuras.
	Categorización de las infraestructuras.
	Parámetros técnicos de funcionamiento: anchuras, velocidad de tránsito, servidumbres...
Diseño	Definición geométrica.
	Optimización de los balances de tierras.
	Diseño de soluciones constructivas.
	Definición de taludes y terraplenes.
	Definición de vertederos de tierras.
	Diseño de medidas de restauración.
Construcción	Implantación de obra: parque de servicios de obra y parque de maquinaria.
	Acopio de materias primas.
	Desbroces, eliminación de suelo y de cubierta vegetal.
	Ocupación irreversible del ámbito del proyecto, con o sin impermeabilización asociada.
	Excavaciones, rellenos y movimientos de tierra en general. Conformación de taludes y terraplenes.
	Construcción de drenajes.
	Vallado.
	Obra civil, urbanización, edificación, colocación de equipos e instalaciones.
	Siembras y plantaciones, con o sin carácter estético.
Explotación	Presencia de taludes y terraplenes.
	Flujo de vehículos. Emisiones de los motores de combustión.
	Intervenciones sobre la dinámica fluvial o litoral.
	Presencia de zonas selladas e impermeabilizadas.
	Mantenimiento de servidumbres y superficies vegetales.

ANEXO B: Herramientas y artefactos que propone la metodología PM2 para cada etapa del Proyecto. Fuente: Extraído de *Metodología de Gestión de Proyectos PM2 / Síntesis (2017)*.



ANEXO C: Esquema para la gestión de cambios en un proyecto. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO D: Marco de Referencia para la Gestión de la Integración en Grandes Proyectos de Infraestructura. Fuente: Elaboración propia.



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de Percepción de la Corrupción de 2022. Fuente: Transparency International, the global coalition against corruption (Eriksson, 2022).	8
Figura 2. Estimaciones de inversión en infraestructura y brecha en los mercados emergentes, 2021-2040, en billones de USD. Fuente: Seguros news (Seguros news, 2020).....	9
Figura 3. Número total de proyectos sostenibles anunciados a nivel mundial (desde 2016). Fuente: Adaptado Refinitiv Infrastructure 360.....	10
Figura 4. Interrelación entre los componentes Clave de los proyectos. Fuente: PMBOK 6ª Edición.....	17
Figura 5. Descripción General de la Gestión de la Integración del Proyecto. Fuente: Extraído del PMBOK 6ª Edición.....	18
Figura 6. Estructura PM2 (La Casa de PM2). Fuente: Extraído de Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1 (European Commission, 2021).....	20
Figura 7. Ciclo de vida del proyecto PM2. Fuente: Extraído de Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1 (European Commission, 2021).....	20
Figura 8. Marco de Gestión de la Integración para PM2. Fuente: Elaboración propia con datos de Metodología de Gestión de Proyectos PM2 Guía 3.0.1.	22
Figura 9. Áreas de Competencias ICB 4.0. Fuente: Extraído de la ICB 4.0 (IPMA, 2015).....	23
Figura 10. Marco de Gestión de la Integración para ICB 4.0. Fuente: Elaboración propia con datos de la Base para la Competencia Individual en Dirección de Proyectos, Programas y Carteras de Proyectos (IPMA, 2015)	25
Figura 11. Interacción entre roles, eventos y artefactos de Scrum. Fuente: Extraído de Escuela de Negocios y Dirección (De Toro, 2022).....	29
Figura 12. Ciclo de vida BIM. Fuente: Extraído de Building Smart Spain (Building Smart, s.f.).....	31
Figura 13. Dimensiones en BIM. Fuente: Extraído de Da Vinci Ingeniería (2023).	32
Figura 14. Participantes o equipo de proyecto BIM. Fuente: Academia de Diseño (2019).....	33
Figura 15. Anuncio firmado de Thatcher y Mitterrand para proceder con el Túnel del Canal, 20 de enero de 1986. Fuente: The official history of Britain and The Channel Tunnel (Gourvish, 2006).	38
Figura 16. Sección frontal del diseño de los tres túneles. Fuente: Extraído de R. Inti (Inti, 2019).....	39
Figura 17. Mapa de la ubicación de la presa de las Tres Gargantas y las ciudades más importantes a lo largo del río Yangtsé. Fuente: Extraído de Wikipedia.	42
Figura 18. Mapa de la ubicación del Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina. Fuente: Extraído de Renfe.	46
Figura 19. Luces encendidas del Aeropuerto en desuso de BER. Fuente: Extraída de engineering.com (Roopinder, 2020).....	51
Figura 20. Aeropuerto BER en funcionamiento. Fuente: Extraído de la web oficial de BER (Flughafen Berlin-Brandenburg, 2023).....	52
Figura 21. Plano del proyecto que muestra los Paquetes de Construcción del Central Valley. Fuente: Extraído de Wikipedia (Wikipedia, 2023).....	55
Figura 22. Inauguración del primer Puente de Tacoma Narrows el 1 de julio de 1940. Fuente: Extraído de Wikipedia (Wikipedia, 2023).....	58
Figura 23. Derrumbe del Puente de Tacoma Narrows el 7 de noviembre de 1940. Fuente: Extraído de Wikipedia (Wikipedia, 2023).....	59
Figura 24. Análisis DAFO. Fuente: Pensemos (Roncancio, s.f.).....	65
Figura 25. Análisis PESTEL. Fuente: Pensemos (Roncancio, s.f.).	65
Figura 26. Análisis 5 fuerzas de Porter. Fuente: Pensemos (Roncancio, s.f.).....	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores de complejidad y sus categorías. Fuente: Adaptación de Kermanshachi (Kermanshachi et al, 2016).	6
Tabla 2. Estructura de costes de la construcción por actividades. Fuente: Extraído de Estructura de costes en el sector de la construcción en España (Martín et al, 2012).	11
Tabla 3. Externalidades negativas o coste externo de la contaminación. Fuente: Elaboración propia con datos del trabajo de Raffo, E. (Raffo, 2015).	12
Tabla 4. Registro de riesgos. Fuente: Elaboración propia con datos de Korutárová, J. et al, (Korutárová et al, 2020).	13
Tabla 5. Descripción de los Componentes Clave del PMBOK. Fuente: Extraído del PMBOK 6ª Edición (Project Management Institute, 2017).	16
Tabla 6. Elementos de Competencias ICB 4.0. Fuente: Elaboración propia con datos de la ICB 4.0 (IPMA, 2015).	24
Tabla 7. Marco de Gestión de la Integración para Agile. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 8. Marco de Gestión de la Integración para Scrum. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 9. Lista selecta de las primeras propuestas para un enlace de canal fijo, 1803-1889. Fuente: Extraído de The official history of Britain and The Channel Tunnel (Gourvish, 2006).	37
Tabla 10. Aspectos clave de éxito del proyecto Túnel del Canal de la Mancha. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 11. Plan de construcción de la presa de las Tres Gargantas por etapas. Fuente: Extraído de J. López-Pujol y M. Ponseti (López-Pujol y Ponseti, 2008).	42
Tabla 12. Aspectos clave de éxito del proyecto Presa de las Tres Gargantas. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 13. Fechas relevantes del Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina. Fuente: Elaboración propia con datos de Wikipedia.	47
Tabla 14. Aspectos clave de éxito del proyecto Tren de Alta Velocidad La Meca - Medina. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 15. Aspectos clave de fracaso del proyecto Aeropuerto Berlín-Brandeburgo. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 16. Fechas relevantes del proyecto Tren de Alta Velocidad California y su descripción. Fuente: Elaboración propia.	56
Tabla 17. Aspectos clave de fracaso del proyecto Tres de Alta Velocidad de California. Fuente: Elaboración propia.	57
Tabla 18. Aspectos clave de fracaso del proyecto del Puente de Tacoma Narrows. Fuente: Elaboración propia.	60
Tabla 19. Aspectos Relevantes y Beneficios de los Proyectos Complejos de Infraestructura. Fuente: Elaboración propia.	62
Tabla 20. Aspectos Relevantes de la Gestión de Cambios y Riesgos. Fuente: Elaboración propia.	68
Tabla 21. Aspectos Clave de la Colaboración y Comunicación Efectiva. Fuente: Elaboración propia.	70
Tabla 22. Resumen del Marco de Referencia para la Gestión de la Integración de Proyectos Complejos de Infraestructura. Fuente: Elaboración propia.	74