

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**
Facultad de Gestión y Alta Dirección



Diagnóstico de nivel de madurez de la Industria 4.0 en una
empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C

Tesis para obtener el título profesional de Licenciada en Gestión con
mención en Gestión Empresarial que presenta
Ariana Ximena Castillo Quiñones

Tesis para obtener el título profesional de Licenciado en Gestión con
mención en Gestión Empresarial que presenta
Luis Manuel Tuesta Cosavalente

Asesor:

Franco Alberto Riva Zaferson

Lima, 2025

La tesis

**Diagnóstico de nivel de madurez de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial:
Caso Lima Expresa S.A.C**

ha sido aprobada por:

Dr. German Adolfo Velásquez Salazar

[Presidente del Jurado]



Mgtr. Franco Alberto Riva Zaferson

[Asesor Jurado]

Mgtr. Gary Al López Rojas

[Tercer Jurado]

INFORME DE SIMILITUD

Yo, Franco Alberto Riva Zaferson, docente de la Facultad de Gestión y Alta Dirección de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “Diagnóstico de nivel de madurez de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C”, de los autores Ariana Ximena Castillo Quiñones y Luis Manuel Tuesta Cosavalente dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 13%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 12/03/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 12 de marzo de 2025

Apellidos y nombres: Franco Alberto Riva Zaferson	
DNI: 45603646	Firma: 
ORCID: 0000-0003-2896-6408	

Este logro representa un hito significativo en mi vida, y lo he alcanzado gracias al apoyo y esfuerzo incondicional de mis padres y hermano, a quienes agradezco su amor inquebrantable y su apoyo moral constante. Su confianza en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido fundamental para alcanzar este objetivo. También agradezco a mis abuelos, quienes siempre estuvieron presentes cuando más los necesitaba. Y, sobre todo, a mi Chloe que nos acompañó con su presencia en las largas noches. Sin todo su apoyo, este logro no habría sido posible.

Asimismo, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis amigas y a mi personita que me acompañaron en los momentos de estrés y de alegría durante este largo y desafiante trayecto. Pero de manera especial, agradezco a mi amigo y compañero Tuesta, con quien hemos logrado finalizar de forma exitosa esta hermosa etapa universitaria. ¡Sigamos celebrando y disfrutando cada paso que damos!

Muchísimas gracias.

Ariana Castillo

Agradezco a mis padres M.y R. porque han sido, son y seguirán siendo mis pilares durante toda mi vida, mi ejemplo y mi orgullo. A mis dos hermanos F. y M., los pequeños que me brindan su cariño y admiración cada día. Por ustedes siempre busco continuar superándome. A mi familia Cosavalente Florido porque me acogieron y brindaron su apoyo para iniciar mi etapa universitaria; sin ellos, no hubiese tenido la oportunidad de empezar a formarme mi historia en la PUCP. A mi tío A. por acogerme varios meses complicados durante la pandemia al estar lejos de casa. A mis dos abus J. y L. que me cuidan desde el cielo. A mi cómplice, C, y su maravillosa familia Malpartida Castillo (RyR) quienes me brindaron confort y calidez en las últimas etapas de mi carrera universitaria. Y a mi amiga y compañera, Ariana, con quién comparto el logro de esta meta y espero compartir más proyectos juntos. Y a todos aquellos los que me dieron la oportunidad y libertad de ser quién soy ahora. Deseo que Dios siempre siga guiándolos en cada uno de sus pasos y los tenga en su cuidado.

Lo conseguimos, ¡familia T.C.!

Luis Tuesta

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar si el nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias actuales propuestas por la empresa. Para ello, se establecieron cuatro objetivos específicos: describir los componentes esenciales de la Industria 4.0, identificar los principales frameworks de madurez de la Industria 4.0 que mejor aplican al caso de Lima Expresa S.A.C., explicar las prácticas que realiza la empresa de concesión vial para la aplicación del enfoque de la Industria 4.0 y evaluar el nivel de madurez de la aplicación de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C.

Para el desarrollo del estudio, se recopiló información secundaria a través de una amplia revisión de literatura y análisis documental; asimismo, se recolectó información primaria por medio de la observación de tipo no participante de las operaciones de la empresa, y por las entrevistas realizadas a colaboradores clave en la gestión operativa y estratégica de Lima Expresa S.A.C. En conclusión, se determinó que el nivel de madurez actual respecto a la Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C sí le permitirá seguir manteniendo las estrategias actuales que propone la empresa en relación a este enfoque de gestión.

Palabras clave: Industria 4.0, concesiones viales – empresa privada, diagnóstico de nivel de madurez, prácticas de la Industria 4.0.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1. Problema empírico de Investigación.....	3
2. Preguntas de Investigación	7
2.1. Pregunta General.....	7
2.2. Preguntas Específicas.....	7
3. Objetivos de Investigación	7
3.1. Objetivo General	7
3.2. Objetivos Específicos	7
4. Justificación del Estudio.....	8
5. Viabilidad	8
6. Aporte a la Gestión	9
CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL.....	10
1. Marco Teórico.....	10
1.1.Hacia la Cuarta Revolución Industrial: Un Enfoque Teórico de la Industria 4.0	10
1.2.Concesiones viales: ideas relevantes y perspectivas futuras	19
1.3. Un Enfoque Teórico de los modelos de madurez de la Industria 4.0	21
2. Estado del Arte	30
CAPÍTULO 3: MARCO CONTEXTUAL.....	33
1. Sector de infraestructura de transportes a nivel mundial.....	33
2. Concesiones viales	35
3. Gestión de Peajes concesionados	40
4. Caso de Estudio.....	43
5. Smart Highways: Gestión de Concesiones Viales a las mejores prácticas de la Industria.....	46
6. Aplicación de la Industria 4.0 en las concesiones viales	50
CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO.....	55
1. Metodología	55
2. Alcance de la investigación	56
3. Enfoque de la investigación	56
4. Estrategia general de la investigación.....	57
5. Horizonte temporal de la investigación.....	57
6. Selección muestral.....	57

7. Técnicas de recolección de información.....	59
7.1. Análisis documental	59
7.2. Entrevistas a profundidad.....	59
7.3. Encuesta.....	60
7.4. Observaciones	60
8. Ética en la Gestión	60
CAPÍTULO 5: HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN	61
1. Análisis de la dimensión de Productos y Servicios Inteligentes	61
2. Análisis de la dimensión de Procesos de Negocio Inteligentes	62
3. Análisis de la dimensión de Estrategia y Organización	66
4. Diagnóstico del nivel de madurez de la Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C.....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
1. Conclusiones	70
2. Recomendaciones	71
REFERENCIAS	73
ANEXO A: Portafolio de países donde opera Vinci Highways	84
ANEXO B: Consentimiento informado.....	86
ANEXO C: Cuestionario del Modelo de Nivel de Madurez de Akdil et al. (2018).....	87
ANEXO D: Parámetros del Modelo de Nivel de Madurez de Akdil et al. (2018) por dimensiones.....	101
ANEXO E: Matriz de consistencia	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Definición de Interconexión: Big Data & Industrial Network.....	14
Tabla 2: Definición de Toma de decisiones descentralizadas	14
Tabla 3: Definición de Factor Humano	15
Tabla 4: Definición de Inteligencia y consciencia.....	15
Tabla 5: Definición de Interoperabilidad	16
Tabla 6: Definición de Transparencia de información	16
Tabla 7: Definición de Tecnología	17
Tabla 8: Definición de Organización	19
Tabla 9: Revisión de modelos de Madurez de la Industria 4.0.....	22
Tabla 10: Niveles de Madurez alcanzado de la Industria 4.0	24
Tabla 11: Valores límite para determinar el nivel de madurez de Industria 4.0	25
Tabla 12: Distribución de entrevistas según el cuestionario del modelo.....	58
Tabla 13: Puntuación de Madurez de Productos y servicios Inteligentes en Lima Expresa S.A.C.....	61
Tabla 14: Puntuación de Procesos de Negocio Inteligentes en Lima Expresa S.A.C	62
Tabla 15: Puntuación de Estrategia y Organización en Lima Expresa S.A.C	66
Tabla 16: Puntuación de Madurez de y tabla de niveles para cada dimensión/subdimensión de una empresa	68
Tabla 17: Puntuación de Madurez de Lima Expresa S.A.C como empresa en general.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa dos principais conceitos em torno da Indústria 4.0	11
Figura 2: Figura 2: Network of industry 4.0.....	12
Figura 3: Industry 4.0 Principles	13
Figura 4: Dimensiones y campos del Modelo de madurez de la Industria 4.0	24
Figura 5: Ecuación para calcular los puntos en el MM de la Industria 4.0	25
Figura 6: Componentes clave de los modelos de madurez para la industria	27
Figura 7: Marco general de apoyo a las empresas manufactureras para avanzar hacia la Industria 4.0.	28
Figura 8: Concesiones con Programa de Generación 4.0	37
Figura 9: Carreteras concesionadas de OSITRAN.....	39
Figura 10: Ruta de la concesionaria Rutas de Lima	40
Figura 11: Ruta de la concesionaria Lima Expresa	44
Figura 12: Componentes importantes de NGSH	47
Figura 13: El primer proyecto free- Flow de España	50
Figura 14: Perspectiva de Sistema de Peaje Free Flow	51
Figura 15: Empresas de transporte que cuentan con una estrategia de transformación	52
Figura 16: Tecnologías utilizadas en las organizaciones del sector de transportes.....	52
Figura 17: Principales tecnologías en Transporte carretero	53
Figura 18: Metodología de Investigación.....	56
Figura 19: Esquema Radar del Modelo de nivel de madurez de Lima Expresa.....	69

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo general analizar si el nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias actuales propuestas por la empresa. Para este estudio, la empresa analizada es Lima Expresa S.A.C. Para ello, el presente trabajo se dividió en seis apartados.

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema identificado que da inicio a la presente investigación el cual está relacionado con las restricciones existentes en el contexto peruano que impiden la eficiente aplicación de la industria 4.0 en las concesiones viales. Asimismo, se presentan los objetivos y preguntas de investigación. Adicionalmente, se explica la hipótesis de investigación, la viabilidad y la justificación del presente estudio. Finalmente, se incluye el aporte de la investigación para las ciencias de la gestión.

En el segundo capítulo, por un lado, a través de un marco teórico, se definen los conceptos más relevantes que guiarán el presente estudio. Este apartado se divide en dos secciones. En primera instancia, se brindan las definiciones del enfoque de gestión de la Industria 4.0 y sus principales elementos como el internet de las cosas (IoT), realidad aumentada, realidad virtual, computación en la nube y ciberseguridad. En segunda instancia, se explican aspectos relevantes referente a la concesión vial como la definición del concepto, ventajas y desventajas de las concesiones, y los principales aspectos del marco legal y regulatorio de las concesiones viales. Y finalmente, se definen los enfoques de nivel de madurez de la Industria 4.0 y su importancia en la gestión, junto con las estrategias de mejora que requiere la misma. Por otro lado, se presenta un estado del arte en donde se explican las investigaciones pasadas y/o actuales similares al presente trabajo de investigación.

En el tercer capítulo, se presenta el marco contextual donde se describe el entorno en el que se desarrolla el caso de estudio. Por un lado, se verifica la situación en la que se encuentra el sector infraestructura de transporte a nivel mundial, y posteriormente a nivel latinoamericano. Por otro lado, el desarrollo y principales concesiones viales en Latinoamérica y cómo se encuentran las concesiones que se encuentran en Perú- Lima Metropolitana. Seguidamente, se contextualiza la gestión de peajes concesionados; además, de la descripción del grupo Vinci y Lima Expresa. Finalmente, la aplicación de la Industria 4.0 en las concesiones viales.

En el cuarto capítulo, se desarrolla el marco metodológico del presente trabajo. Como primera instancia, se presenta la metodología de investigación; además, del alcance, el enfoque, la estrategia, el horizonte de la investigación, la selección muestral y las principales técnicas de recolección de información. Dicho esto, la presente investigación tiene un enfoque

mixto, con un alcance descriptivo. Por otro lado, la investigación se trata de selección muestral que por medio de entrevistas a Francisco Chenguayén (Gerente de Operaciones), Roberto Huaro (Jefe de Tecnología e Información) y Javier León (Gerente de Tecnología, Procesos e Innovación), colaboradores claves de Lima Expresa S.A.C.

En el quinto capítulo, se desarrollan los hallazgos de la presente investigación, donde se describen el análisis de las dimensiones de Productos y Servicios Inteligentes, Procesos de Negocio Inteligente, y Estrategia y Organización. Asimismo, se explica el diagnóstico del nivel de madurez en el que se encuentra Lima Expresa S.A.C.

Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones acorde a los resultados obtenidos a lo largo de la presente investigación.



CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el primer capítulo, se presenta el problema de investigación, los objetivos, las preguntas que guían la investigación, la justificación y los alcances de esta. El problema identificado se relaciona con la ausencia de investigación en el diagnóstico de la Industria 4.0 enfocada organizaciones de concesiones viales que operan dentro del contexto peruano.

1. Problema empírico de Investigación

En el contexto global actual, las organizaciones buscan generar más ventajas competitivas tales como una eficiencia operativa, reducción de tiempos de servicio, innovación en la cadena de valor, entre otros. Las ventajas competitivas pueden definirse como la cartera de características que desarrolla la empresa para obtener mayor velocidad, tiempo de respuesta y adecuación a los cambios de su sector con la finalidad de que los competidores no puedan o les sea difícil de replicar sus estrategias (Pacheco, 2005). Debido a esto, varias organizaciones suelen modificar, actualizar u optar por diferentes modelos de gestión más eficientes. Uno de estos es el enfoque de gestión de la Industria 4.0. Según Deloitte (como se citó en Varón, 2020), este concepto se refiere a un modelo de gestión que puede utilizar cada empresa con la finalidad de generar integración entre la tecnología digital y física, y la cadena de valor de la organización; esto termina aportando al crecimiento de mayores utilidades, reducción de costos innecesarios, desarrollo y transformación de mejores productos, y una mejor experiencia del cliente.

En el año 2020, el mercado de la Industria 4.0 se valoró en 86 030 millones de dólares; y se espera que este valor se eleve hasta 267 010 millones de dólares hasta el año 2026. Asimismo, en el año 2022, la tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) de la adopción del mercado de la Industria 4.0 era de 20.71% (Mordor Intelligence, s/f.). Esta información muestra un claro crecimiento de las empresas que incorporan un modelo de gestión 4.0 en los últimos años. Esto debido a que, según el diario internacional *Expansión* (2017), en el año 2017, solo el 13% de las organizaciones internacionales habían desarrollado un plan de implementación estructurado de la Industria 4.0.

Estos índices de crecimiento previamente expuestos son explicados en parte por los beneficios que ofrece la Industria 4.0 para las organizaciones. Este enfoque contribuye a una mayor productividad, mejor diseño o generación del producto y/o servicio, mejor gestión del manejo de recursos y mermas en la producción, mejor comunicación entre el cliente o usuario final del producto y/o servicio, y las organizaciones (Varela et al., 2019, citado en Lascano, 2022).

En este sentido, es de vital importancia medir el nivel de madurez de dicho enfoque. De acuerdo a Martinho (2019, como se citó en Paéz- Quinde et al. 2022) el indicador de madurez de la Industria 4.0 se basa en dos dimensiones: la intensidad digital y la intensidad

degestión transformacional. Respecto al primero, Zapata & Laurent (2019, como se citó en Páez-Quinde et al. 2022) menciona que se basa en la inversión tecnológica que se puede mejorar en la operación de la empresa y con ello, aumentar la eficiencia y competitividad. Respecto al segundo, es el impulso de la transformación digital; sin embargo, como menciona Ali-Osman & Baboucarr (2022, como se citó en Páez-Quinde et al. 2022), este último no es muy común en países desarrollados a pesar de mantener la competitividad en el mercado.

No obstante, en caso las empresas no realicen un indicador donde se evidencie el nivel de madurez de la Industria 4.0, puede generar diversos problemas tales como falta de dirección estratégica, ya que la compañía carecería de una comprensión en la adopción de tecnologías y eficiencia operativa. Además, la incapacidad para establecer metas con objetivos alcanzables para su transformación digital y mejorar su competitividad (Páez-Quinde et al., 2022). Este enfoque es empleado en empresas de diferentes sectores. Por ejemplo, por un lado, se presenta la digitalización de las empresas del sector manufacturero que genera una producción más flexible, de menor costo y más sustentable, la cual contribuye en una mayor eficiencia operacional y competitividad (Ynzunza et al., 2017).

Por otro lado, en los últimos años, las empresas de concesión vial han sido el sector más importante que ha utilizado el enfoque de la Industria 4.0 por la agilización de procesos, especialmente para la disminución del tiempo de espera de los automóviles, fluidez de tránsito, entre otros factores importantes para el sector. Así pues, las empresas de concesión vial a nivel internacional han implementado tecnologías de la Industria 4.0. Uno de los países en donde más se destaca esta adopción es Alemania, debido a que su objetivo principal es mejorar la eficiencia y gestión de la infraestructura vial dentro del país. Según, Springer & Schnelzer (2019) “la iniciativa de la Industria 4.0 tenía como objetivo consolidar la tecnología alemana con la ingeniería mecánica” (p. 14), ya que la combinación de ambas ha permitido que Alemania sea más eficiente, gracias a la tecnología de este enfoque de gestión en sus carreteras.

Las características de suma importancia que el país alemán ha implementado para la eficiencia y fluidez en sus vías son las siguientes. En primer lugar, se emplea el sistema de monitoreo avanzado, el cual utiliza sensores con la tecnología IoT para obtener datos a tiempo real sobre sus carreteras, tráfico y condiciones climáticas (Vargas, 2021), lo que permite la prevención de problemas y la solución eficaz. En segundo lugar, se promueve la gestión de tráfico inteligente, con el fin de obtener información del flujo vehicular; además, incluye la gestión de carriles y adaptación de tráfico para minimizar la congestión. Finalmente, Alemania utiliza la tecnología GIS (Sistema de Información Geográfica). Esta permite la visualización e interpretación de datos que facilita la planificación y mantenimiento de red de carreteras.

Por otro lado, según Land Transport Authority (LTA) (2014), Singapur es uno de los países conocidos por la transformación digital y creación de “Smart Nation”, por lo que la

implementación en las empresas de concesión vial en dicho país, su objetivo principal es mejorar la eficiencia, sostenibilidad y experiencia con el usuario en la infraestructura vial.

Al igual que Alemania, Singapur mantiene el sistema de gestión de tráfico inteligente para poder monitorear el flujo vehicular, lo cual permite evitar accidentes y congestiones. Además, contiene peajes electrónicos y cobros automatizados, lo que facilita el tránsito de vehículos sin detenerse en los peajes y reduce la congestión en carreteras. De esta manera, contodo lo mencionado, se espera que los países latinoamericanos adopten éstas prácticas para la fluidez vehicular y mejoramiento en la infraestructura vial. A nivel mundial, las empresas europeas de concesión vial poseen un nivel 4 de madurez de la Industria 4.0 que cuentan con estrategias que desarrollan y aplican tecnologías dedicadas a la gestión operativa.

No obstante, en el contexto peruano existen ciertos factores que impiden la implementación eficiente de la Industria 4.0 en las empresas, tales como falta de regulaciones como por ejemplo la falta de implementación del cobro de peaje electrónico; asimismo, las leyes y regulaciones tradicionales. Algunos de estos factores, según Gatúa y Ramos (como se citó en Vargas, 2020) son la carencia de una infraestructura fuerte y la falta de inversión en recursos de implementación de la Industria 4.0 por parte de las organizaciones gubernamentales.

De esa manera, según el Global Competitiveness Index 4.0., indicador que mide el avance de la implementación de la Industria 4.0 en un país, el Perú se encuentra rezagado en los pilares que evalúa el indicador. Principalmente, se muestra un bajo nivel en el pilar de adopción de TIC's y capacidad de innovación (Challco & Salas, 2020).

En consecuencia, debido a estas restricciones y otras no mencionadas, se manifiesta que la adopción del enfoque de la Industria 4.0 podría resultar complicada para las empresas del territorio tales como el sector de la manufactura, minería, sector agropecuario, sector de transporte y servicios, etc. Dentro de este último sector, se encuentran las empresas peruanas de concesión vial que actualmente implementan o buscan implementar el enfoque de la Industria 4.0. Una de las organizaciones en este sector con mayor renombre en el territorio peruano es Lima Expresa S.A.C.

Lima Expresa es una empresa de concesión vial, que forma parte del grupo Vinci Highways. Vinci Concessions es un líder global en infraestructura de movilidad que utiliza su modelo integrado para diseñar, financiar, construir, operar y mantener más de 90 proyectos de aeropuertos, carreteras y ferrocarriles en 23 países a través de las subsidiarias VINCI Airports, VINCI Highways y VINCI Railways. Además, mediante la aplicación de la Industria 4.0, Vinci garantiza la excelencia operativa de la infraestructura mediante procesos innovadores para optimizar la huella de carbono, limitar los residuos, mejorar la experiencia del cliente, facilitar el mantenimiento y aumentar la competitividad (Vinci Concessions, s/f).

Lima Expresa gestiona las vías alternas de Lima Metropolitana, Vía Evitamiento y Vía Línea Amarilla. Su misión es buscar la seguridad, fluidez y calidad de vida a través de una gestión eficiente de la vía; por otro lado, su visión es hacer de una Lima, una ciudad más conectada y sostenible. Asimismo, Lima Expresa busca brindar una experiencia satisfactoria a los clientes, en términos de ahorro de tiempo y seguridad (Lima Expresa, s/f.).

En relación a la implementación del enfoque de la Industria 4.0, la empresa realiza proyectos en búsqueda de evitar la congestión vehicular, para ello, utiliza tecnología de última categoría, tales como ciberseguridad, Big Data, IoT's, entre otros. Asimismo, Lima Expresa mantiene aliada con PEX, medio de pago vehicular, que permite a los clientes pagar de forma automatizada y sin contacto en las vías alternas que gestiona. De igual modo, en el último mes de julio, se ha implementado el pago el cobro automatizado, donde los vehículos pueden acercar sus tarjetas sin contacto a la máquina de cobro; y de esa manera, se facilita el tránsito vehicular. Además, la organización ha implementado un nuevo proyecto llamado "App Móvil", por lo que de acuerdo con estudios se ha identificado la reducción de la congestión vehicular en ambos casos (Lima Expresa, s/f.).

En este sentido, se colige que actualmente Lima Expresa como empresa de concesión vial no ha realizado un modelo de madurez de la Industria 4.0, debido a diversos factores tanto internos como externos de la organización. De acuerdo con las jefaturas de Planeamiento Estratégico y Riesgos, y Operaciones de la empresa, los factores internos que generan una problemática en particular son que, en primera instancia, menciona que el 80% de las casetas son manuales, y 20% son casetas automáticas o pistas AVI (Automate Vehicle Identification). En segunda instancia, el equipo de PEX ha realizado una tecnología en el que tiene diversos errores en el sistema por generar una mala tabulación de los vehículos, no validar que los vehículos registrados en el sistema son los mismos que transitan (diferencias en tabulación); es decir, PEX ha sido implementado, pero no ha realizado estudios de la cultura de Lima Metropolitana y de la organización, esto es que la tecnología debe ser permanente y moldearse a la cultura peruana.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, en el Perú, no se encuentra regulado el sistema de peaje electrónico. Asimismo, la diferencia de países latinoamericanos con una alta presencia de nivel de madurez de la Industria 4.0 se debe a que estas están gestionadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) respectivo para cada uno de sus países de manera directa, mientras que Lima Expresa se encuentra regulada por la Municipalidad de Lima. En consecuencia, Lima Expresa tiene una barrera para el desarrollo de tecnologías y el avance tecnológico del sistema de peaje en el Perú, además de tener un contrato de concesión con la municipalidad de Lima Metropolitana. Finalmente, se ha identificado la ausencia de literatura y/o investigaciones que diagnostiquen el nivel de

madurez de la Industria 4.0 en empresas que se dedican a la gestión y operación de concesiones viales en el Perú.

De esta manera, estos vacíos de conocimiento ofrecen una gran oportunidad para avanzar en la comprensión teórica y práctica de cómo la Industria 4.0 puede estar funcionando en este contexto nacional y sector empresarial en particular. Además, se establece que Lima Expresa se encuentra preparada organizacionalmente para aplicar el modelo de diagnóstico elegido para esta investigación (Angelino, 2024). En consecuencia, se propone realizar un caso de estudio detallado en Lima Expresa S.A.C., una empresa líder en el sector de concesiones viales, con el fin de abordar esta laguna en la literatura y proporcionar una contribución valiosa al campo de la investigación actual y futura, ya que el estudio también busca generar aportes significativos que no solo beneficien a la empresa en cuestión respecto a su diagnóstico de madurez de la adopción de la Industria 4.0 y posibles acciones de mejora para una mayor implementación, sino que también se espera contribuir al desarrollo de marcos teóricos y prácticos para la identificación de una posible implementación exitosa de la Industria 4.0 en el sector de concesiones viales a nivel nacional e internacional.

2. Preguntas de Investigación

2.1. Pregunta General

¿El nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias propuestas por la empresa?

2.2. Preguntas Específicas

- ¿Cuáles son los principales elementos que conforman la Industria 4.0?
- ¿Cuáles son los principales frameworks de madurez de la Industria 4.0 que pueden ser aplicados en Lima Expresa S.A.C.?
- ¿Qué prácticas de la Industria 4.0 está implementando Lima Expresa S.A.C. en su operación como empresa de concesión vial?
- ¿Cuál es el nivel de madurez de la aplicación de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial Lima Expresa S.A.C?

3. Objetivos de Investigación

3.1. Objetivo General

Analizar si el nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias actuales propuestas por la empresa

3.2. Objetivos Específicos

- Describir los componentes esenciales de la Industria 4.0
- Identificar los principales frameworks de madurez de la Industria 4.0 que mejor aplican al caso de Lima Expresa S.A.C.

- Explicar las prácticas que realiza la empresa de concesión vial para la aplicación del enfoque de la Industria 4.0
- Evaluar el nivel de madurez de la aplicación de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C.

4. Justificación del Estudio

La presente investigación será de vital importancia, ya que aborda una de las problemáticas en la actualidad que es conocer el nivel de madurez de la implementación del enfoque de la Industria 4.0 en un sector empresarial poco investigado en el contexto nacional: concesión vial. Además, en relación al valor teórico, la presente investigación permitirá identificar si el nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias propuestas por la empresa. Para ello, se describirán los componentes esenciales de la Industria 4.0; además, se identificarán los principales frameworks de madurez de la Industria 4.0 que mejor aplican al caso de Lima Expresa S.A.C. Asimismo, determinar las prácticas que realiza la empresa de concesión vial para la aplicación del enfoque de la Industria 4.0; y, finalmente, evaluar el nivel de madurez de la aplicación de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C

Por todo lo argumentado, esta investigación brindará valor para la empresa estudiada, ya que le permitirá a la organización evaluar el nivel de madurez en la que se encuentran, y también a otras empresas de concesión vial del Perú que buscan la seguridad y fluidez a través de la gestión eficiente en la vía mediante la aplicación del enfoque de la Industria 4.0.

5. Viabilidad

La presente investigación se realizará en la empresa de concesión vial Lima Expresa S.A.C. Así pues, se utilizarán plataformas digitales, ya que a través de éstas se recogerá información de los modelos de madurez de la Industria 4.0 en empresas de concesión vial. Adicionalmente, se recogerá información de la empresa Lima Expresa brindada por el área de Operaciones y Planeamiento Estratégico y Riesgos de la misma. Cabe resaltar que el Gerente de Operaciones brindó la autorización necesaria para realizar las investigaciones correspondientes para el trabajo de investigación.

En consecuencia, la presente investigación resultará financieramente viable, ya que tanto las fuentes primarias y secundarias son de acceso público y de acceso bajo consentimiento por la empresa. Asimismo, las fuentes de información que se utilizarán en la investigación son libros, artículos, *papers* de investigación y ensayos, de manera virtual. De la misma manera, la investigación será desarrollada a partir de los conocimientos de los investigadores durante su formación académica.

6. Aporte a la Gestión

La presente investigación parte del análisis del enfoque de la Industria 4.0 y los modelos de madurez en empresas de concesión vial del sujeto de estudio, a través del compromiso de la Alta Dirección, visión estratégica, inversiones en tecnologías, integración de sistemas, participación ciudadana y transparencia. De esa manera, con todo lo mencionado, la evaluación del nivel de madurez de la Industria 4.0 del sujeto de estudio se realizará a partir de la incorporación de beneficios que pueda brindar la tecnología adquirida por la Industria 4.0, con el fin que los principales stakeholders de Lima Expresa utilicen el servicio con la fluidez y seguridad vial que se necesita en la ciudad.

Como se mencionó anteriormente, Lima Expresa está a cargo de la buena gestión y mantenimiento de dos vías alternas en la ciudad de Lima: la Vía de Evitamiento y de la Vía Línea Amarilla. Por lo que la gestión operativa de las empresas de concesión vial es un factor de excelencia, representando una ventaja competitiva con la adquisición de la nueva tecnología.

De esa manera, la presente investigación permite identificar el posicionamiento de madurez de la Industria 4.0 en la que se encuentra la empresa en estudio. Siendo posible, considerar la información hallada en la investigación en los procesos operativos para las empresas de concesión vial a nivel nacional.

CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL

1. Marco Teórico

1.1. Hacia la Cuarta Revolución Industrial: Un Enfoque Teórico de la Industria 4.0

1.1.1. Definición de la Industria 4.0

Ghadge et al. (2020) sostiene que “la cuarta revolución industrial, llamada Industria 4.0, es caracterizada por la integración de tecnologías digitales avanzadas en los procesos de producción y fabricación” (p.4). Los sistemas ciberfísicos, la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y el análisis de datos en tiempo real se utilizan en fábricas inteligentes y conectadas para optimizar la producción, mejorar la eficiencia y reducir los costos. La Industria 4.0 también facilita la colaboración y la comunicación entre los sistemas de producción, los proveedores y los clientes, lo que aumenta la flexibilidad y la personalización.

Asimismo, Gao et al. (2019) define a la Industria 4.0 como “la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas, la robótica avanzada, la nube y la realidad aumentada, entre otras, en los procesos de producción y fabricación” (p.1). Los sistemas inteligentes y autónomos que pueden comunicarse entre sí y tomar decisiones en tiempo real mejoran la eficiencia, la productividad y la calidad de los productos gracias a esta integración.

Por otro lado, la industria 4.0 se define como una nueva revolución industrial impulsada por la conexión en tiempo real entre sistemas digitales y físicos y la convergencia de tecnologías como la fabricación aditiva, el internet de las cosas, blockchain, la robótica avanzada y la inteligencia artificial. El objetivo de esta conexión digital-física es aumentar la eficiencia, la flexibilidad y la calidad de la producción, y tiene el potencial de cambiar la forma en que las cosas se hacen en la industria manufacturera y agrícola (Olsen, 2020).

Con todo lo mencionado, se concluye que la Industria 4.0 representa un cambio significativo en la actualidad, ya que al integrar tecnologías digitales y físicas en los diferentes sectores, para poder crear entornos de producción más eficientes, flexibles y orientados al cliente.

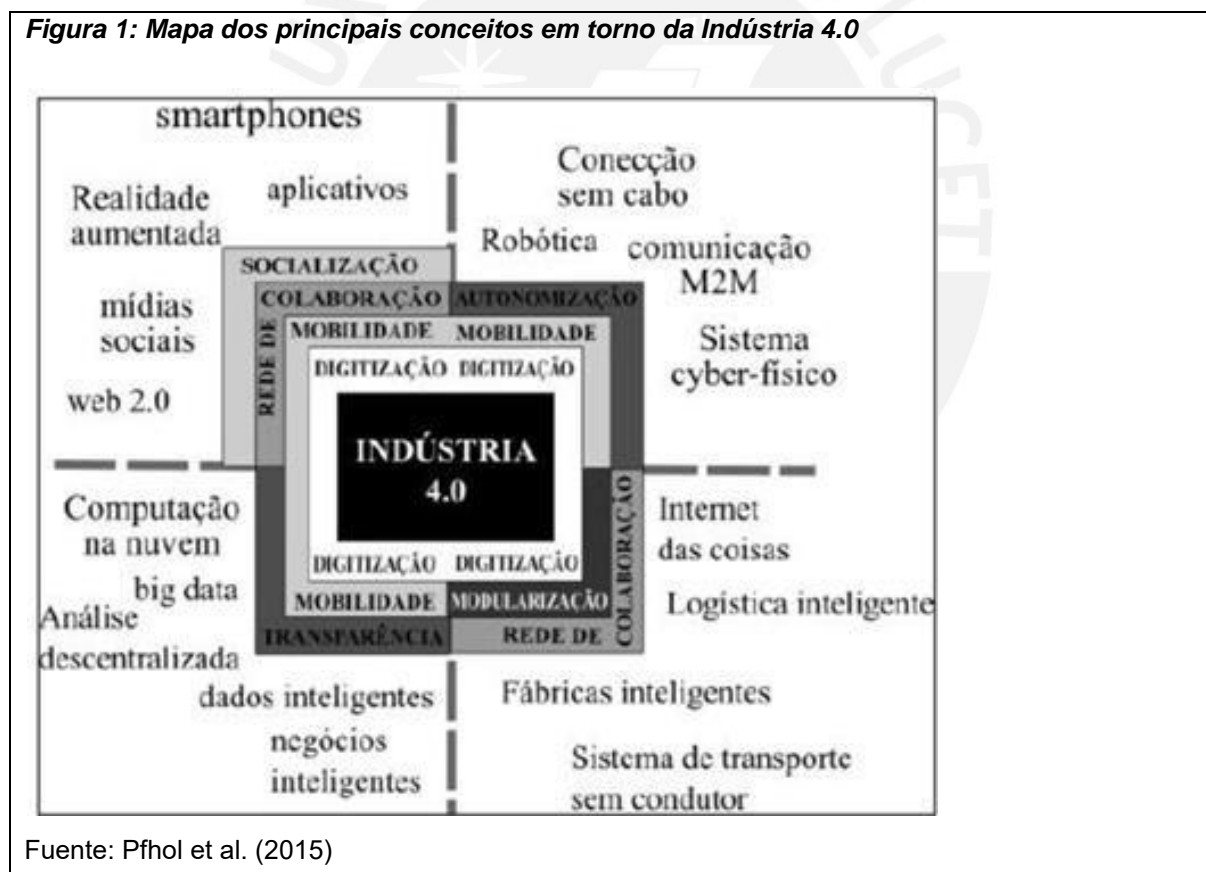
1.1.2. Modelo de principios y factores de la Industria 4.0

En esta sección, se presentará una revisión de los modelos teóricos referente a la identificación de principios y/o factores de la Industria 4.0. Inicialmente, se explicarán los dos modelos revisados preliminarmente como candidatos para la presente investigación: el “Mapa dos principais conceitos em torno da Indústria 4.0” presentado por Pfohl et al. (2015) y el “Network of industry 4.0 technologies” presentado por Becker et al. (2019). Finalmente, se explicará el modelo elegido para el presente estudio: “Industry 4.0 Principles” presentado por Cañas et al. (2021).

En primer lugar, la adaptación de Pffhol et al (2015) describe la Industria 4.0 como un fenómeno de la digitalización que ha generado una velocidad exponencial en los procesos. Los autores realizan un análisis del impacto que suman estas tecnologías digitales con el objetivo final de virtualizar y absorber los procesos productivos de cada empresa; y se tiene en consideración como principal factor la interconectividad entre las personas, las innovaciones tecnológicas a través de nuevas plataformas, que, en conclusión, desafían las estructuras de mercado actual creando formas nuevas de consumir bienes y servicios en el proceso.

En la figura 1, se resumen los elementos que caracterizan a la Industria 4.0 a través de estructuras industriales modulares, fábricas inteligentes, sistemas logísticos inteligentes, además del Internet. La Industria 4.0 desarrolla una red entre las personas interesadas para su colaboración a través de digitalización, movilidad, modularización, red de colaboración, transparencia, red de colaboración y socialización para moldear la red de colaboración y arribar a la Industria 4.0 (Pffhol et al., 2015).

Figura 1: Mapa dos principais conceitos em torno da Indústria 4.0

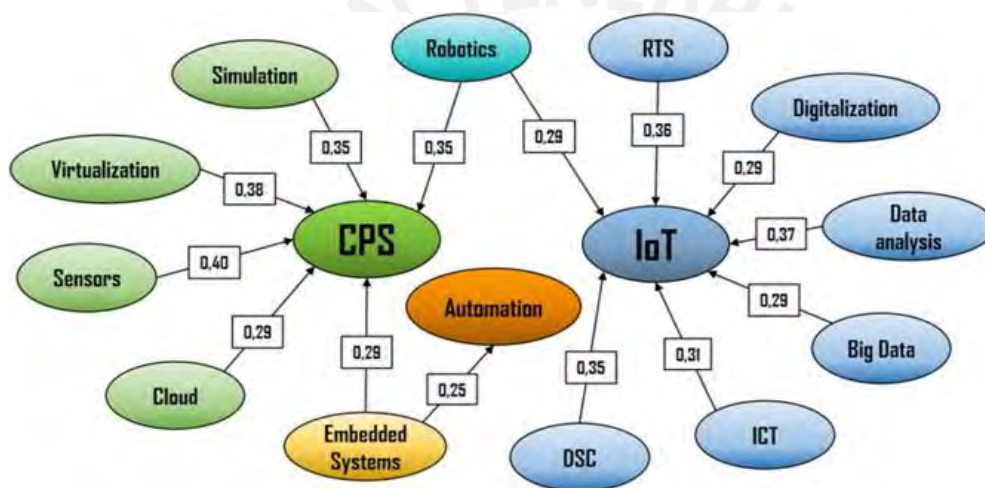


En segundo lugar, Becker et al. (2019) logra identificar características relacionadas a las tecnologías de la Industria 4.0. Los autores definen como principales características a la vinculación de los pilares tecnológicos que se consideran plataformas fundamentales para el desarrollo de otras tecnologías relacionadas a la Industria 4.0. Las identificadas como más

frecuentes y relevantes son dos: los CPS (sistemas ciberfísicos) y el IoT (red caracterizada por dispositivos físicos capaces de conectarse a internet, como sensores y sistemas de transmisión).

En la siguiente figura, se puede observar que el desarrollo de tecnologías relacionadas a simulación, virtualización y nube fueron vinculados a la implementación de CPS y las IoT, las cuales son la base de la arquitectura para el desarrollo de tecnologías como digitalización, bigdata, RTS y otros, etc. (Becker et al., 2019). Así pues, este estudio permite cuantificar las tecnologías de la Industria 4.0 a otros estudios de bibliometría relacionados con este tema planteando una red tecnológica central para asegurar una visión de conexiones entre los temas.

Figura 2: Figura 2: Network of industry 4.0

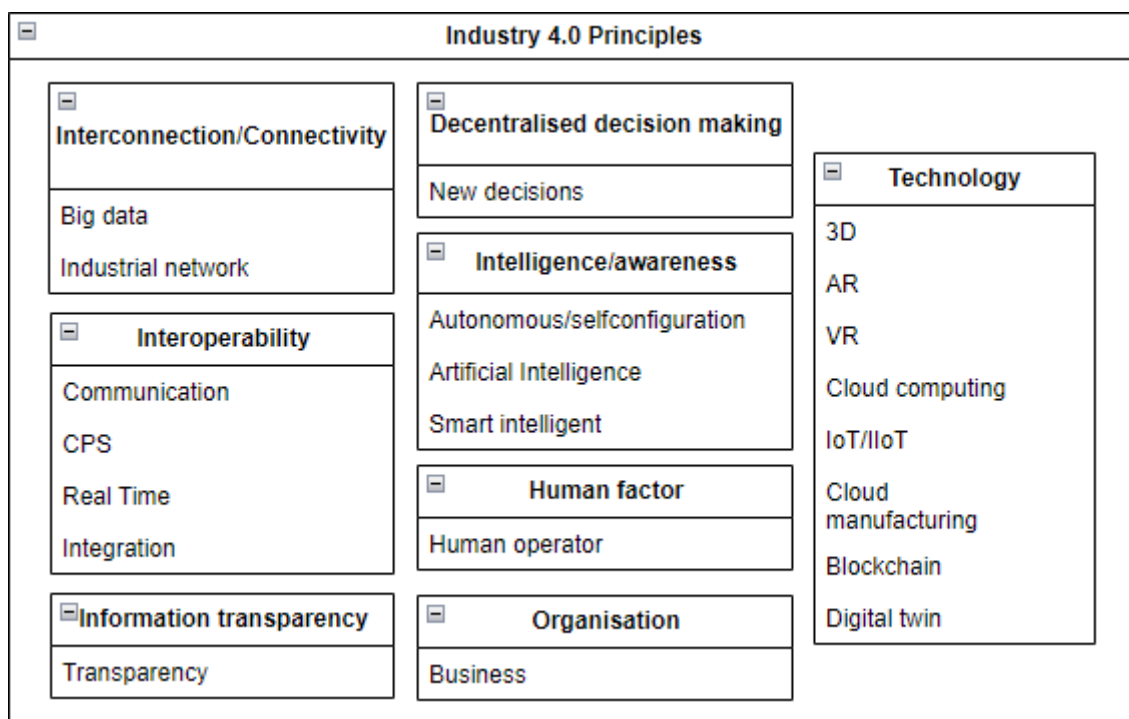


Fuente: Becker et al. (2019)

Finalmente, el modelo elegido para la presente investigación es el propuesto por Cañaset al. (2021): Industry 4.0 Principles. Los motivos de la elección se deben principalmente a tres motivos. Por un lado, el modelo brinda una aproximación general de los principios que se puede identificar en el enfoque de gestión de la Industria 4.0 independientemente del rubro de la empresa que la implemente. Por otro lado, el orden y la variedad en la identificación de principios y factores de la Industria 4.0 son más completos en comparación a los modelos de Pfohl et al. (2015) y Becker et al. (2019). Y el último motivo es la cobertura del estudio de Cañas et al. (2021). La investigación es citada más de 88 veces en investigación de años posteriores a su publicación (2022 y 2023) en trabajos de la industria 4.0 en determinados sectores empresariales según las visualizaciones en el software de búsqueda Google Scholar.

Así pues, la finalidad del modelo teórico de Cañas et al. (2021) es identificar inicialmente, a partir de una revisión de literatura exhaustiva, cuáles son aquellos elementos o factores de la industria 4.0 que más se describen en los diferentes estudios científicos, enfocados principalmente de ingeniería y gestión de las empresas. Luego, los autores agruparon los diferentes factores de la Industria 4.0 en ocho principios: interconexión, toma de decisiones descentralizadas, factor humano, inteligencia y consciencia, interoperabilidad, transparencia de información, tecnología y organización.

Figura 3: Industry 4.0 Principles



Adaptado de Cañas et al. (2021)

A continuación, se definirán los ocho principios identificados por los autores y algunos de los factores identificados en cada uno de ellos tales como big data, CPS, AR, VR, cloud computing, etc, como es señalado en la figura 3.

a. Interconexión

Este principio se refiere principalmente a la capacidad de conectividad existente en las tecnologías de comunicación habilitantes entre diferentes dispositivos electrónicos (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 1, se explican los factores relevantes que los autores identifican para este principio.

Tabla 1: Definición de Interconexión: Big Data & Industrial Network

Interconnection/Connectivity	
Big data	Es el proceso de recopilación, compilación, limpieza y análisis de grandes cantidades de datos. El objetivo principal de este proceso es convertir los datos sin procesar en información útil para la toma de decisiones (Fei et al., 2019, citado en Suleiman et al., 2022).
Industrial network	Se considera un conjunto de procesos de transformación mutuamente dependientes que son un componente interconectado de un todo mayor, que funciona de manera "análoga a una comunidad de organismos biológicos y su entorno" (Cañas et al., 2021)

b. Toma de decisiones descentralizadas

Este principio se refiere a la reducción de presencia humana en las decisiones operativas de la organización. En este sentido, se espera una mayor capacidad de decisiones autónomas por parte de las nuevas implementaciones tecnológicas en la empresa (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 2, se explican los factores relevantes que los autores identifican para este principio.

Tabla 2: Definición de Toma de decisiones descentralizadas

Decentralised decision making	
New decisions	Principalmente, este aspecto hace referencia a que los diferentes sistemas implementados por la industria 4.0 tales como máquinas para procesos de automatización, IoT, inteligencia artificial, etc., puedan tomar decisiones propias de manera autónoma sin la necesidad de intervención humana de forma obligatoria (Cañas et al., 2021)

c. Factor humano

Este principio se refiere al papel que representan los colaboradores de las organizaciones ante las implementaciones de los elementos de la Industria 4.0 (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 3, se explica el factor relevante que los autores identifican para este principio.

Tabla 3: Definición de Factor Humano

Human factor	
Human operator	Nelles, Kuz, Mertens y Schlick (como se citó en Cañas et al., 2021) consideran que el rol humano en I4.0 es la toma de decisiones sobre el control y la planificación de los procesos operativos de la empresa. Por lo tanto, el factor humano debe cumplir con los requisitos para implementar métodos organizativos y tecnológicos. Esto hace referencia principalmente a las habilidades y conocimientos duros para manejar las nuevas tecnologías de la industria 4.0.

d. Inteligencia y consciencia

Este principio se refiere principalmente a la incorporación de sistemas más sofisticados para la lectura y ejecución de los análisis de los procesos tales como la inteligencia artificial, entre otros. (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 4, se explican los factores relevantes que los autores identifican para este principio.

Tabla 4: Definición de Inteligencia y consciencia

Intelligence/awareness	
Autonomous/self configuration	Este concepto está relacionado con la reducción de procesos operativos realizados por las personas de la empresa a través de una mayor incorporación de máquinas y sistemas tecnológicos como el uso de robótica mediante robots móviles y colaborativos (Suleiman et al., 2022).
Artificial Intelligence	Los modelos de simulación y control para la Industria 4.0 basados en inteligencia artificial se refieren a sistemas expertos, teoría de conjuntos difusos, lógica difusa, redes neuronales, algoritmos genéticos, aprendizaje por refuerzo y sistemas multiagente que buscan crear y controlar patrones en los procesos de las empresas (Cañas et al., 2021)

e. Interoperabilidad

La interoperabilidad es un principio clave en el desarrollo de la industria 4.0. Este se basa en la capacidad de comunicación que puede haber entre los elementos implementados del enfoque de gestión de la I4.0. (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 5, se explican los factores relevantes que los autores identifican para este principio.

Tabla 5: Definición de Interoperabilidad

Interoperability	
Comunication	La interoperabilidad entre máquinas y humanos se logra mediante la comunicación. Wollschlaeger et al. (como se citó en Cañas et al., 2021) analizó los cambios tecnológicos y cómo la comunicación industrial, el Internet de las cosas y el CPS podrían afectar la automatización industrial en I4.0
CPS	Los CPS se tratan principalmente de sistemas que buscan implementar más información y automatización en los procesos productivos y/o operativos en tiempo real. Asimismo, las comunicaciones de estos sistemas se dan en tiempo real y en un ambiente virtual, lo cual representa una interacción entre el ser humano (mundo físico) y el monitoreo de datos y recolección de información (mundo virtual) (Sacomano, 2018, citado en Silva et al.,2020).
Real time	Este aspecto es necesario que esté presente en cada uno de los demásfactores, debido a que el monitoreo de datos en tiempo real hace que los datos de la organización sean más transparentes en todo momento(Suleiman et al., 2022)
Integration	Según Gershwin (como se citó en Cañas et al., 2021), considera que la implementación de I4.0 requiere del concepto de integración de tecnologías como Internet de las cosas, CPS, sistemas de integraciónvertical y horizontal, fabricación aditiva 3DP, big data y análisis de datos, ciberseguridad, computación en nube, etc.

f. Transparencia de información

Este principio hace referencia principalmente a que la combinación del mundo físico y virtual permite una nueva forma de transparencia de la información debido a que la interacción se lleva a cabo en tiempo real. (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 6, se explican los factores relevantes que los autores identifican para este principio.

Tabla 6: Definición de Transparencia de información

Information transparency	
Transparency	Este factor principalmente surge como consecuencia de la implementación de los otros factores como el IoT, CPS, CTS, etc., ya que la mayor visibilidad y transparencia de la información es debido a que estas herramientas crean datos más precisos y con errores mínimos por ser en tiempo real (Suleiman et al., 2022).

g. Tecnología

Este principio se refiere a las herramientas tecnológicas que la Industria 4.0 suele incorporar en su implementación a las organizaciones. Asimismo, estas varían en su grado de aplicación dependiendo posteriormente del rubro de la empresa (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 7, se explican los factores relevantes que los autores identifican para este principio.

Tabla 7: Definición de Tecnología

Technology	
3D	Este concepto se desarrolla en determinados sectores industriales como los de producción masiva. Según Kang et al. (como se citó en Cañas et al., 2021), se relaciona con la fabricación aditiva, ya que es un proceso de fabricación de objetos físicos basado en la impresión de modelos 3D mediante la unión de capas.
AR	Según Xu et al. (2022), la realidad aumentada (AR) forma parte de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0), fusionando información digital con el entorno real y encontrando diversas aplicaciones en diversos sectores. Villami et al. (como se citó en Xu et al., 2022), propone pautas para la automatización de procesos adaptativa, destacando la realidad aumentada como una tecnología clave. Asimismo, Gavish et al. (como se citó en Ghobakhloo, 2020) evaluó AR y realidad virtual en la enseñanza de tareas operativas, revelando que la realidad aumentada superó a la virtual en eficiencia y precisión. En consecuencia, la realidad aumentada muestra un gran potencial para mejorar la eficiencia y productividad.
VR	La realidad virtual o virtual reality (VR) es un conjunto de procesos creados a través de tecnología informática con la finalidad de ofrecer a los usuarios la sensación de estar inmerso en un entorno de escenas y objetos de apariencia real (Ozkose & Guney, 2022). Asimismo, esta tecnología de la Industria 4.0 ha sido investigada por el nivel de impacto que pueda tener para mejorar el aprendizaje, desarrollo y operatividad de procesos respecto a temas como Lean Manufacturing, diseño efectivo de aplicaciones de vanguardia, procesos de diseño industrial, etc. (Pignatelli & Brevi, 2019, citado en Ozkose & Guney, 2022).
Cloud computing	La computación en la nube permite que los usuarios puedan almacenar y acceder a datos y aplicaciones a través del Internet. Es menester mejorar el intercambio de información entre los departamentos de la organización, cadenas de valor, sitios y límites organizacionales (Ghadge et al., 2020). En este sentido, Sacomano (como se citó en Silva et al., 2020) comenta que la computación en la nube es fundamental para que la información dada pueda ser procesada y controlada de manera rápida desde cualquier parte del mundo con la finalidad de mejorar los sistemas productivos de manera inmediata.

Technology	
IoT	Según Sacomano (como se citó en Silva et al, 2020), el internet de las cosas se ve reflejado en los aspectos de la comunicación y la creación de un smart product o un service product. Estos son definidos como aquellos capaces de tener la capacidad de generar un procesamiento en conexión con el internet. En este sentido, en las diferentes industrias, el IoT provee muchas oportunidades para la mejora de servicios y/o productos: ciudades más inteligentes, nuevos modelos de negocio, mejoramiento en los sistemas y control de transporte, etc.
Cloud manufacturing	Este concepto surge de la computación en la nube. Thames y Schaefer (como se citó en Cañas et al., 2021) proponen una arquitectura de fabricación en la nube definida por software (SDCM) para lograr características de sistemas I4.0. Según ellos, un sistema de software debe ser programable, manejable, configurable, interoperable, adaptable y protegible. Para estos autores, la fabricación basada en la nube (CBM) contribuirá significativamente a la I4.0 al poseer las características de ser un modelo de fabricación en red, infraestructura y plataforma, entre otras.
Blockchain	Se refiere a una implementación de control de base de datos que crea un libro de contabilidad digital distribuido e inmutable de transacciones o acuerdos relacionados con una actividad específica. Se registran y almacenan en bloques de datos, se les marca la hora, se cifran y se comparten con otras entidades las actividades acordadas. (Mohamed et al., 2019, citado en Cañas et al., 2021)
Digital twin	El DT integra modelos de eventos discretos y modelos de dinámica de sistemas. El Digital twin ofrece un diseño con simulación inteligente y optimización, lo cual propone una arquitectura para integrar datos en tiempo real en un sistema de productos-servicios y un algoritmo de optimización para crear un sistema de optimización dinámica (Liu et al., 2019, citado en Cañas et al., 2021).

h. Organización

Este principio se refiere principalmente a la capacidad de la dirección de la empresa para incorporar el enfoque de gestión de la Industria 4.0 a sus operaciones (Cañas et al., 2021). Asimismo, en la tabla 8, se explican los factores relevantes que los autores identifican para este principio.

Tabla 8: Definición de Organización

Organisation	
Business	Según Fraga Lamas et al. (2018), este concepto surge por la importancia de adquirir la capacidad de inteligencia de negocio para poder adecuar y dirigir de una manera correcta la implementación de la Industria 4.0 según el rubro de las organizaciones, debido a que este enfoque generará cambios significativos en toda la empresa y su forma de operar (Cañas et al., 2021).

1.1.3. Beneficios y desafíos de la Industria 4.0

En primera instancia, algunos de los beneficios de la Industria 4.0 que presentan los autores a nivel general, a través de la automatización e intercambio de datos mejoran la eficiencia operativa y productividad de la empresa. Asimismo, el uso de la tecnología de la Industria 4.0 mejora la velocidad y seguridad, mediante el uso de sensores inteligentes. Por otro lado, uno de los más grandes desafíos que presenta la Industria 4.0 es el costo elevado de inversión para la implementación de nuevas tecnologías y actualizaciones de los sistemas ya utilizados (Olsen, 2020).

De esa manera, Olsen (2020) agrega que las tecnologías de la Industria pueden habilitar nuevos modelos y flujos de negocios. Además, por medio de la conexión de sistemas físicos y digitales en tiempo real, las compañías optimizan sus operaciones y toman decisiones de manera eficaz. Sin embargo, Olsen también considera que debido a las grandes inversiones que debe realizar la empresa para la adquisición de nuevas tecnologías y actualizaciones de las existentes, los colaboradores podrán sentir el desplazamiento de los empleos debido a la automatización.

1.1.4. Perspectivas futuras de la Industria 4.0 y su impacto en la economía global

En un ámbito general, se espera que la Industria 4.0 y su impacto en la economía global sea significativo y fructífero para la sociedad. Sin embargo, todo dependerá de la capacidad de las empresas en los diferentes países para abordar los desafíos que se presentaron anteriormente; y con ello, aprovechar las oportunidades que ofrece la tecnología. En consecuencia, Olsen (2020) propone que la Industria 4.0 plantee desafíos teniendo en cuenta a la seguridad, privacidad de datos, por medio de nuevas habilidades y conocimientos por parte de los trabajadores.

1.2. Concesiones viales: ideas relevantes y perspectivas futuras

1.2.1. Definición y características

El concepto de concesiones viales es desarrollado por múltiples autores en la actualidad. Entre algunas de estas definiciones se exponen las siguientes. Según Pereira et

al. (2020), las concesiones viales se pueden definir como acuerdos entre entidades públicas y privadas para construir, operar y mantener carreteras y autopistas. Asimismo, como principales características, se destaca que estos acuerdos suelen tener una duración específica y en la mayoría de los casos son financiados por peajes y otros ingresos generados por el uso de las carreteras. Además, es posible que las concesiones viales incluyan cláusulas específicas relacionadas con la calidad del servicio, la seguridad vial y la protección ambiental. Asimismo, para Bonifaz (2020), las concesiones viales son un mecanismo de financiamiento y gestión de infraestructura que permiten que el sector privado participe en la construcción, operación y mantenimiento de carreteras y autopistas. Este modelo de gestión se basa en la transferencia de riesgos del Estado al sector privado, que financia, construye y opera la infraestructura vial a cambio de remuneración. Adicionalmente, la autora propone que algunas de las características principales de las concesiones viales es que suelen incluir la participación del sector privado, la transferencia de riesgos, la duración del contrato, y consideran la calidad de la infraestructura vial.

En este sentido, se puede definir a las concesiones viales como la relación entre un agente y principal, ubicado en la interconexión entre el sector público y el privado. En este vínculo el sector público le transfiere al sector privado la opción de gestionar, operar, construir y mantener las carreteras. Estos acuerdos finalmente suelen estar financiados por el cobro de peajes entre otros ingresos, los cuales están sujetos al periodo límite figurado en el contrato de concesión. Normalmente, estas concesiones surgen para compartir los riesgos de los proyectos y mejorar el sistema de operación y calidad del servicio respecto a cómo manejar las carreteras por el sector privado (Yescombe 2007, citado en Bonifaz 2020).

1.2.2. Ventajas y desventajas de la concesión vial

En la mayoría de situaciones, antes de decidir si se opta por generar convocatorias de licitaciones para otorgar o generar una concesión vial, el Estado debe evaluar las ventajas y ciertas desventajas que presentan las concesiones viales.

Por un lado, en el caso de las ventajas se presentan tres principales. En primer lugar, Makosev (2019), citado en Osman (2022) comenta que las concesiones viales permiten obtener una mayor eficiencia en la construcción y operación de las carreteras por parte del sector privado. Esto se debe principalmente porque las empresas poseen mayores incentivos por reducir costos y maximizar beneficios a través de ofrecer un mejor servicio como entidad al público que transita por las vías. En segundo lugar, Athias & Saussier (2018) comentan que las principales ventajas que ofrece las concesiones viales es la reducción de riesgo financiero y operativo en relación a la construcción, operación y soporte de infraestructura vial que dejaría de soportar el Estado porque estos son transferidos al sector privado. En este sentido, se generó una menor exposición del Estado a la sociedad (Ubbes & Verhoef, 2008 citado en Wang et al., 2022).

Finalmente, las concesiones viales permiten obtener mayor capacidad de financiamiento para el inicio de la construcción y operación de las vías. Esto debido a que el Estado puede acceder a los fondos propios y también apoyarse en las fuentes de financiamiento privadas (Wang et. al, 2022).

Por otro lado, dentro de las principales desventajas, se exponen tres. En primer lugar, dado que los concesionarios tienen incentivos económicos para maximizar la rentabilidad de la inversión y recuperar los costos de construcción y operación de la infraestructura vial, las concesiones viales pueden resultar en un aumento de los costos para los usuarios (Hensher y Houghton (2004), citado en Wang et. al. 2022). Esto finalmente puede generar una limitación en el uso de la vía. En segundo lugar, debido a que los contratos de concesión pueden contener cláusulas confidenciales y los concesionarios pueden tener más poder de negociación que el Estado, las concesiones viales pueden resultar en una falta de transparencia y rendición de cuentas para las partes interesadas (Álvarez et al. 2018, citado en Athias & Saussier, 2018). Finalmente, para Harvey (como se citó en Wang et al., 2022), debido a la naturaleza contractual de las concesiones respecto a que suelen tener una duración fija y los concesionarios pueden tener limitaciones en la toma de decisiones que afectan la calidad del servicio, las concesiones viales pueden resultar en una falta de flexibilidad en la gestión de la infraestructura vial.

1.3. Un Enfoque Teórico de los modelos de madurez de la Industria 4.0

1.3.1. Definición de los modelos de madurez en la Industria 4.0 y su importancia en la gestión

Los modelos de madurez son modelos que ayudan a un individuo o entidad a alcanzar un nivel de madurez más sofisticado (es decir, capacidad) en personas/cultura, procesos/estructuras y/u objetos/tecnologías siguiendo un proceso de mejora continua paso a paso (Mettler, 2011). El MM destinado a la implementación de la Industria 4.0 también podría proporcionar un amplio conocimiento sobre el estado actual de las empresas y un camino a seguir para implementar estrategias de la Industria 4.0 (Akdil et al., 2018; Schumacher et al., 2016).

La siguiente table presenta los modelos planteados en la literatura categorizados por denominación, año, descripción. Los autores no lograron desarrollar una revisión sistemática de la literatura, aunque ya existen algunos trabajos bien valorados sobre este tema, como (Modrák & Šoltysová, 2020, Dalenogare et al., 2018). Los dos primeros (IMPULS y PwC) son ya más conocidos por provenir de consultorías tradicionales. Otro punto que contribuye es que los cuestionarios están disponibles en línea.

El Modelo de Madurez de Industria 4.0 y SIMMI 4.0, ambos publicados en 2016, son los pioneros en el acercamiento académico de los modelos de madurez a I4.0. Los modelos secuenciales presentados en la tabla 9, (Ganzarain & Errasti, 2016, Akdil et al., 2018), los citan como referencia, especialmente cuando se trata de las etapas de evolución para categorizar la empresa. Sin embargo, existen distinciones entre ellos cuando se menciona el dominio de acción. Por ejemplo, SIMMI 4.0 tiene más elementos técnicos enfocados al área de TI. Los demás tienen una visión más general del concepto que permite comprenderlo para hacerlo más accesible al público. Sin embargo, estos modelos se encuentran en un entorno de discusión académica y no están abiertos a todas las empresas. Este hecho limita su expansión a diferentes entornos interesados en conocer y adoptar I4.0 (Elhousseiny & Crispim, 2024).

Tabla 9: Revisión de modelos de Madurez de la Industria 4.0

Modelo de madurez	Año	Descripción	Aplicación
IMPULS - Preparación para la Industria 4.0 (Mittal et al., 2018, Pierin et al., 2020)	2015	El modelo contiene 5 etapas con 6 dimensiones y 18 criterios de evaluación. Cada paso tiene una descripción muy clara y detallada. La evaluación tiene un perfil más técnico; sin embargo, logra ser claro para distintos tipos de público	Dirigido a la fabricación y la ingeniería industrial. Dominio técnico más aparente.
Industria 4.0/Digital operaciones autoevaluación (PwC) (Geissbauer et al., 2016)	2016	El modelo contiene 4 etapas de madurez con 7 dimensiones. Presenta la opción de medir el estado actual (AS-IS) y el estado futuro (TO-BE). Se proporcionan instrucciones después de la evaluación para guiar al usuario	El modelo genérico se aplica a toda la empresa
Modelo de Madurez de la Industria 4.0 (Schumacher et al., 2016)	2016	El modelo contiene 5 etapas con 9 dimensiones y 62 criterios de evaluación. Clasifique los parámetros utilizando una escala Likert de 5 puntos.	El modelo genérico se aplica a toda la empresa
SIMMI 4.0 (Sistema Madurez de la integración Modelo para I4.0) (Leyh et al., 2016)	2016	El modelo contiene 5 etapas con 4 dimensiones incluidas. No está disponible online, sólo en artículos académicos	El modelo se centró en el área de TI
Modelo de madurez en Pymes hacia la Industria 4.0 (Ganzarain & Errasti, 2016)	2016	El modelo contiene 3 etapas y 5 dimensiones. Está más dirigido a su aplicación en las PYME. No está disponible online, sólo en artículos académicos.	El modelo genérico Indicador para PYMES.

Modelo de madurez	Año	Descripción	Aplicación
Madurez de la Industria 4.0 y modelo de preparación (Akdil et al., 2018)	2017	El modelo contiene 4 etapas con 3 dimensiones asociadas a 13 campos de acción. En total, son 65 preguntas aplicadas a todas las áreas de la empresa. No es en línea siendonecesario automatizar el proceso si se aplica	El modelogenérico se aplica a toda la empresa
Modelo de madurez para Transformación Digital (Klötzer & Pflaum, 2017)	2017	El modelo consta de 5 etapas, 2 dimensiones y 9 criterios. Está más asociado al área de manufactura y a la cadena de suministro de las empresas.No está disponible online, sólo en artículos académicos.	El modelo genérico con elementos destinados a cadena de fabricación y suministro
Modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana (Challca & Salas, 2020)	2022	El modelo toma en cuenta 5 niveles de madurez, desde 1 muy bajo a 5 muy alto, además, de 6 dimensiones	Modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a organizaciones peruana

De acuerdo con la literatura, existen varios modelos para evaluar la madurez de la Industria 4.0 en una organización, sin embargo, la mayoría de los modelos propuestos se centran en el sector manufacturero. Por tanto, la aplicabilidad de los modelos de madurez al sector de servicios es muy limitada. En ese sentido, se tomó el modelo Akdil et al. (2018) que se encuentra compuesto por 3 dimensiones que agrupan un total de 13 campos, tales como producción, servicios inteligentes, recursos humanos, tecnología de la información, estructura organizacional y liderazgo, etc. (véase **figura 04**).

Figura 4: Dimensiones y campos del Modelo de madurez de la Industria 4.0

Dimensions	Sub-dimension	Associated fields
Smart products and services		Smart products and services
Smart business processes	Smart production and operations	Production, logistics and procurement
		R&D—Product development
	Smart marketing and Sales operations	After sales service
		Pricing/Promotion
		Sales and Distribution channels
	Supportive operations	Human resources
		Information technologies
Smart finance		
Strategy and Organization		Business models
		Strategic partnerships
		Technology investments
		Organizational structure and leadership

Fuente: Akdil et al. (2018)

Además, el presente modelo es evaluado mediante un cuestionario de 65 preguntas relacionadas que se agrupan en las 3 dimensiones y campos mencionados (véase en el Anexo G). Para diagnosticar el nivel de madurez de la Industria 4.0 en una empresa se utilizan cuatro etapas, las cuales también corresponden a cada dimensión del modelo de Akdil et al. (2018): ausencia, existencia, supervivencia y madurez. En esta misma línea, las preguntas para cada campo son ponderadas entre 0- Ausencia y 3- Madurez, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 10: Niveles de Madurez alcanzado de la Industria 4.0

Niveles	Descripción
Nivel 0- Ausencia	Identifica que una empresa que no cumple ninguno de los requisitos de la Industria 4.0.
Nivel 1- Existencia	Es un nivel de madurez en el que la empresa tiene algunas iniciativas piloto en sus departamentos funcionales. Los niveles de automatización e integración son bajos y los niveles de recopilación y uso de datos no alcanzan el objetivo de transformar la industria 4.0.
Nivel 2- Supervivencia	Es un nivel de madurez donde los productos y/o servicios de la empresa tienen la capacidad de gestionar datos en tiempo real y rastrearlos a través de varios sitios; además, la oferta de servicios basados en datos es de nivel medio. El

Niveles	Descripción
	liderazgo ha invertido en algunas áreas y está creando planes para la Industria 4.0.
Nivel 3- Madurez	Es un nivel de madurez en el que la empresa ofrece productos inteligentes y servicios basados en datos de alta calidad. Los procesos comerciales de alto nivel en términos de integración, intercambio, recopilación y uso de datos y rapidez. Casi todos los procesos se pueden descentralizar y, con el apoyo de tecnologías digitales avanzadas, el principio de interoperabilidad se implementa en muchas áreas de la empresa.

Nota: Adaptado de Akdil et al. (2018).

Finalmente, una vez calificada la encuesta por cada campo y pregunta, los puntos se calculan y se agrupan en dimensiones y subdimensiones con la finalidad de identificar los niveles de madurez individual y global para la empresa. Para calcular los niveles de madurez para cada campo, dimensión y madurez global o general, el modelo utiliza las siguientes ecuaciones propuestas en la Figura 5. Asimismo, los autores identifican ciertos valores límites a considerar al momento de determinar los niveles de madurez respectivos (véase en la Tabla 11). Finalmente, el modelo también proporciona ciertos parámetros de prácticas que una empresa debe considerar por cada dimensión evaluada para colocarse en cierto nivel de madurez: Ausencia, Existencia, Supervivencia y Madurez (Véase en el Anexo G).

Figura 5: Ecuación para calcular los puntos en el MM de la Industria 4.0

$$M_{DAi} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{Aij}}{n}$$

$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^m M_{DAi}}{m}$$

$$M_O = \min(M_1, M_2, M_3)$$

M= Madurez// D= Dimensión// A= Campo asociado// Q= Número de pregunta//O= en general// n= Número de preguntas totales// m= Número de campos asociados

Fuente: Akdill et al. (2018).

Tabla 11: Valores límite para determinar el nivel de madurez de Industria 4.0

Niveles de madurez	Valores límite	
	Límite Bajo	Límite Alto
Nivel 0: Ausencia	0	0,9
Nivel 1: Existencia	0,9	1,8
Nivel 2: Supervivencia	1,8	2,7
Nivel 3: Madurez	2,7	3

1.3.2. Estrategias para mejorar la adopción de la Industria 4.0 según el nivel de madurez

Los principales elementos del MM se describen a continuación (Marx et al., 2012, Lasrado, 2018).

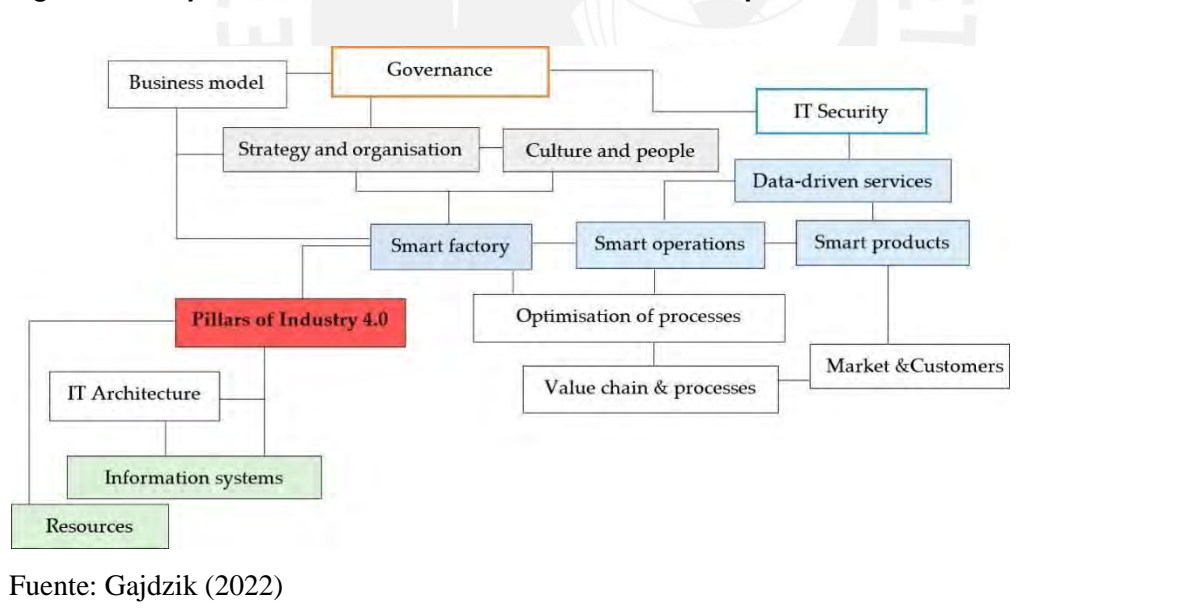
- Dimensiones: son áreas de capacidad específicas, áreas de proceso u objetos de diseño que estructuran el campo de interés. Deben ser exhaustivos y distintos. Cada dimensión se especifica además mediante una serie de medidas (prácticas, objetos o actividades) o mediante descripciones cualitativas para cada nivel de madurez.
- Niveles de madurez: representan estados arquetípicos de madurez de una determinada dimensión o dominio. Cada nivel debe tener un descriptor que proporcione claramente la intención del nivel y una descripción detallada de sus características. Las características de cada nivel deben ser distintas y comprobables empíricamente y la relación de cada nivel con su predecesor y sucesor debe estar bien definida.
- Herramientas de evaluación: pueden ser cualitativas o cuantitativas, por ejemplo, utilizando cuestionarios y modelos de puntuación basados en Likert.
- Condiciones de Límite: Condiciones particulares que las organizaciones necesitan cumplir para progresar de un nivel a otro, se consideran como la condición esencial de un nivel de madurez particular.
- Límites de etapa: Punto específico en el que la organización avanza al siguiente nivel.
Camino a la madurez: Una progresión lineal y progresiva, en la que las organizaciones desarrollan y mejoran sus capacidades, creación de valor, desempeño, etc. siguiendo el camino de la madurez.

Debido a la amplia gama de aplicaciones potenciales, los MM han ganado popularidad tanto en la gestión como en la ciencia. Durante la última década, el número de contribuciones

científicas ha aumentado considerablemente (Wendler, 2012). La novedad del paradigma de la Industria 4.0 y las dificultades que encuentran muchas industrias a la hora de evaluar su posicionamiento y definir sus estrategias para adoptar la Industria 4.0, han posicionado al MM como una poderosa herramienta para ayudar a las industrias a afrontar este desafío (Gökalp et al., 2017).

El modelo de madurez 4.0 debe corresponderse con los modelos de negocio que existen en economías particulares. Los componentes clave de los modelos de madurez de los procesos de negocio se basan en modelos de negocio (Tarhan et al., 2016). Los componentes clave de los modelos de madurez se presentan en la figura 04. Es clave desarrollar la fabricación para que sea más rápida, más eficiente y centrada en el cliente, al tiempo que se va más allá de la automatización y la optimización para descubrir nuevas oportunidades y modelos de negocio. Los modelos presentan una visión simplificada de la realidad. Los modelos pueden ayudar a capturar y comprender los fenómenos involucrados en los procesos, pero ciertamente no pueden describir todas las situaciones posibles. Cada modelo establece una dirección para el cambio, pero no dicta soluciones específicas, por lo que el alcance de la investigación sobre modelos de madurez se expande constantemente y los modelos cambian a medida que se desarrollan las empresas (Gajdzik, 2022).

Figura 6: Componentes clave de los modelos de madurez para la industria



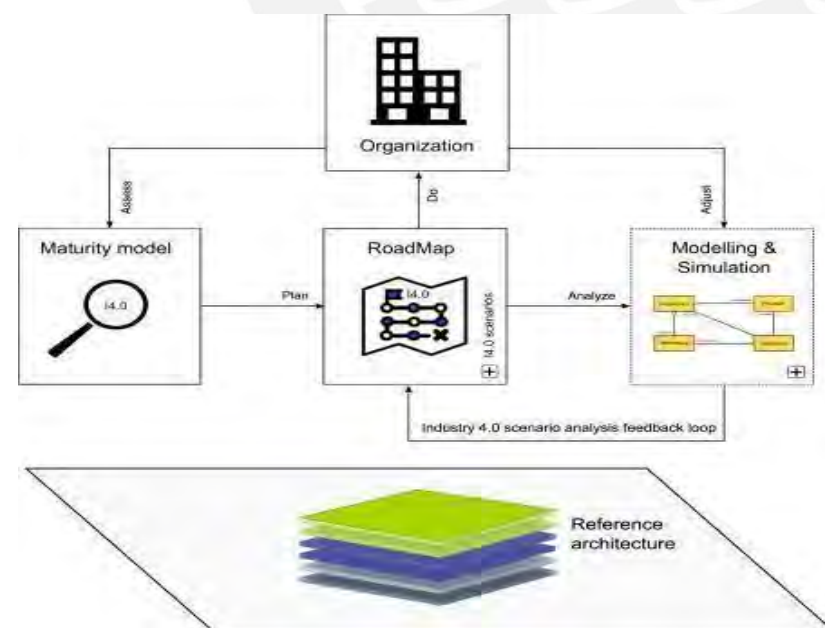
El modelo de madurez I4.0 (también conocido como modelo de evaluación de preparación) es un artefacto utilizado para evaluar el grado de preparación de una organización para adoptar/implementar la estrategia I4.0 y/o evaluar el estado de madurez de una organización en su viaje hacia I4.0 (Wagire et al., 2021). La evaluación de la preparación y madurez se considera el primer paso para la implementación de I4.0, que se puede realizar

a través de la autoevaluación de una empresa o de una evaluación colaborativa con la ayuda de una empresa consultora (Schumacher et al., 2016).

En la figura 04 se combina tres componentes básicos de la práctica esencial para la realización de I4.0 (es decir, modelo de madurez, hoja de ruta, arquitectura de referencia) con modelado y simulación (de Paula et al., 2022).

El primer paso consiste en realizar la evaluación de una empresa mediante un modelo de madurez I4.0. Luego, en función de los niveles de madurez y la estrategia de negocio, una empresa puede realizar un análisis de brecha de madurez, como propone (Schumacher et al., 2019), para priorizar los elementos de madurez para el desarrollo y definir su hoja de ruta para alcanzar mayores niveles de madurez I4.0, definiendo escenarios I4.0 para la implementación. Esta fase se relaciona con la gestión de la cartera de proyectos de tecnología, como se analiza en (Peukert et al., 2020). En esta etapa, los escenarios I4.0 se pueden identificar y seleccionar para su evaluación mediante modelado y simulación para respaldar la concepción del proyecto, la selección de la cartera de proyectos y la planificación. A partir de entonces, los resultados de los experimentos de simulación pueden servir de retroalimentación para perfeccionar la hoja de ruta de I4.0 para su realización. Finalmente, los resultados obtenidos con la implementación del escenario I4.0 en una empresa pueden ser retroalimentación para la verificación, validación y mejora del modelo de simulación que puede usarse posteriormente para soportar otras iniciativas I4.0 en la empresa (Paula et al., 2022).

Figura 7: Marco general de apoyo a las empresas manufactureras para avanzar hacia la Industria 4.0.



Fuente: De Paula et al. (2022)

Las hojas de ruta I4.0 (también conocidas como modelos de procesos o modelos de procedimientos) permiten a las organizaciones establecer un conjunto detallado de directrices sobre los pasos a seguir para lograr niveles más altos de madurez I4.0 de manera más efectiva (Peukert et al., 2020). Es una herramienta para que equipos multidisciplinarios definan una “secuencia cronológica de las medidas planificadas en forma de proyecto concreto” (Pessl, 2017) considerando estrategias a corto, mediano y largo plazo para fomentar la implementación de I4.0 (Ghobakhloo, 2018).

Hay más de diez hojas de ruta I4.0 disponibles en la literatura (Peukert et al., 2020; Hermann et al., 2016), que se componen de diferentes fases (por ejemplo, análisis, objetivo, implementación) y diferentes técnicas de creatividad y gestión de proyectos, como lluvia de ideas, análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), lienzo de modelo de negocio, cuadro de mando integral y análisis de costo-beneficio (Peukert et al., 2020; Ghobakhloo, 2018).

1.3.3. La importancia de la medición y el seguimiento del nivel de madurez de la Industria 4.0 en las organizaciones

La Industria 4.0 integra una corriente de investigación relacionada con los procesos industriales que ha prestado especial atención a la fabricación inteligente y sus tecnologías básicas, incluida la Internet de las cosas (IoT), la nube, el big data, el análisis y la inteligencia artificial (Frank et al., 2019). La Industria 4.0 permite a las empresas aumentar su eficiencia operativa e innovar más rápido (Müller et al., 2018). En este sentido, el objetivo final es convertirse en una empresa ágil y en aprendizaje, capaz de adaptarse continuamente a un entorno cambiante (Prim et al., 2022).

Recientemente, existe un amplio debate sobre el papel de los humanos entre la IA y otras tecnologías en el contexto de la industria 4.0. Según Meindl et al. (2021), si bien varios estudios señalan que los equipos autónomos pueden reemplazar las actividades operativas, es importante resaltar que el potencial más significativo de la industria 4.0 es brindar apoyo a los trabajadores para que realicen su trabajo de manera más inteligente. Dicho estudio se fundamenta en la capacidad cognitiva humana para agregar valor al sistema productivo. En otras palabras, el trabajo inteligente considera cómo aprovechar al máximo el potencial de los trabajadores mediante el uso de tecnologías avanzadas para generar beneficios que respalden la toma de decisiones, gestionen el conocimiento, fomenten la creatividad y aumenten la seguridad. Las tecnologías de la industria 4.0 pueden mejorar las capacidades de los trabajadores en lugar de simplemente reemplazarlas (Romero et al., 2020).

Sin embargo, para planificar acciones para mejorar la competitividad, es pertinente evaluar el estado actual de la organización en relación con benchmarks competitivos para un mejor establecimiento de objetivos estratégicos. En este escenario, los modelos de madurez

MM aparecen como herramientas para apoyar este tipo de evaluación. Estas herramientas pueden definirse como marcos que ayudan a las organizaciones a analizar la situación actual en términos de madurez gerencial o tecnológica como en el contexto de la industria 4.0. A partir de la evaluación de la madurez, es posible identificar acciones para alcanzar niveles superiores (Wagire et al., 2021). De esta manera, un MM puede utilizarse para guiar el proceso de cambio del modelo de negocio de una empresa, además de ayudar a comprender los recursos necesarios para implementar la industria 4.0 (de Andrade et al., 2021; de Almeida et al., 2016).

Los modelos de evaluación de la madurez son una de las herramientas más comunes para comprender el nivel de preparación digital de las empresas (Felch et al., 2019). Estos instrumentos asisten a las compañías para entender su evolución y avance en el camino hacia la digitalización, proporcionándoles una perspectiva completa de las modificaciones requeridas para simplificar la implementación de la tecnología en diversos sectores de la organización. (Antony et al., 2023, Proença & Borbinha, 2016 y Schumacher et al., 2016).

Generalmente, los modelos de madurez se diseñan con tres objetivos en mente Saari et al., (2019) citado en Senna et al., (2023): (i) evaluar el nivel tecnológico actual; (ii) orientar el desarrollo de la visión de futuro; y (iii) brindar capacidades de comparabilidad entre corporaciones (socias o competidoras).

Los MM aparecieron por primera vez en la década de 1970 y tienen sus raíces en la ingeniería de software (Nolan, 1973, Van et al., 2013). Desde entonces, el concepto de madurez ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta importante en la práctica empresarial y se ha utilizado con fines descriptivos, prescriptivos y/o comparativos (Röglinger et al., 2012). El propósito servido es descriptivo si se aplica a evaluaciones tal como están, prescriptivo si se usa para establecer un camino deseable de desarrollo y comparativo cuando se trata de evaluaciones comparativas internas o externas (Asdecker & Felch, 2018). Así, MM es una herramienta adecuada para, en primer lugar, evaluar la organización y sus procesos desde diferentes perspectivas gerenciales o campos comerciales y utilizar la evaluación para documentar el statu quo (Backlund et al., 2014). En segundo lugar, desarrollar una visión corporativa para la excelencia de los procesos y brindar orientación sobre el camino del desarrollo desde la etapa básica hasta la avanzada: inicial, gestionada, definida, gestionada cuantitativamente y optimizada (Nikkhou et al., 2016, Proença & Borbinha, 2016). Finalmente, comparar capacidades entre unidades de negocio y organizaciones (Duffy, 2001; Proença y Borbinha, 2016).

2. Estado del Arte

Para la presente investigación se ha tomado como referencia diversas fuentes científicas. En primer lugar, en un estudio realizado el 2018, por los autores Akdil et al., sobre el modelo de madurez y preparación para la estrategia 4.0, añaden que, las empresas que

transforman sus negocios y operaciones con respecto a los principios de la Industria 4.0 enfrentan procesos complejos y presupuestos elevados debido a tecnologías dependientes que afectan las entradas y salidas de los procesos. Además, dado que la transformación de la Industria 4.0 crea un cambio en la forma de negocio y la propuesta de valor, se convierte en un concepto muy importante que requiere el apoyo de la alta dirección para los proyectos e inversiones. Por tanto, el modelo de madurez es adecuado para empresas que planean transformar sus negocios y operaciones para la Industria 4.0.

En segundo lugar, el artículo de Veile et al., (2019) mediante el trabajo “Lecciones aprendidas de la implementación de la Industria 4.0 en la industria alemana”. El propósito de este documento es generar una comprensión más profunda de las acciones de implementación relevantes. El artículo utiliza 13 entrevistas semiestructuradas en profundidad a expertos como fuente de datos empíricos. El estudio revela aspectos relevantes y específicos para la implementación de la Industria 4.0: el desarrollo de conocimientos específicos de la Industria 4.0, la obtención de recursos financieros, la integración de los empleados en el proceso de implementación y el establecimiento de una cultura corporativa flexible y de mente abierta. Otros aspectos incluyen procesos de planificación integrales, cooperación con socios externos, manejo adecuado de las interfaces de datos, comunicación interdisciplinaria, una estructura organizativa adaptable y seguridad de los datos.

En tercer lugar, Castro & Bernal (2019) proponen el “Impacto económico y social de las concesiones viales de cuarta generación en Colombia”, con el objetivo de medir el impacto económico y social de las concesiones viales de 4G en Colombia. De este modo, las concesiones viales de 4ta generación tienen un impacto significativo en el crecimiento económico y social en Colombia. La importancia de la investigación radica en su aportación a la comprensión del impacto de las concesiones viales de cuarta generación en el progreso económico y social de Colombia.

Finalmente, el trabajo realizado por Jove Wilches et al. (2019), “Caracterización del Tráfico Vehicular en Dos Concesiones Viales del Norte de Colombia”, estudio realizado por investigadores de la Universidad Católica de Chile. Propone como objetivo de la investigación analizar el comportamiento del tráfico vehicular en dos concesiones para obtener una visión general del tráfico en estas carreteras e identificar similitudes y diferencias entre estas dos secciones. Con ello, es importante mencionar que el volumen de vehículos que utilizan estas carreteras es un factor crucial para tener en cuenta al diseñar y construir proyectos de infraestructura vial. De esa manera, los resultados de la investigación es que el diseño y construcción de proyectos de infraestructura vial deben tener en cuenta el volumen de vehículos que utilizan estas carreteras. Sin embargo, es un estudio limitado debido a que las dos concesiones viales en el norte Colombia.

Por otro lado, Gerhátová et al., (2021) respecto a “Opciones de implementación de la Industria 4.0 en el transporte” donde menciona que las tecnologías avanzadas y la digitalización son esenciales para la transformación de la cadena de suministro, mejorando capacidad, rendimiento, calidad y adaptabilidad. De esta forma, el transporte representa un papel fundamental en este proceso, no solo ampliando productos, sino también asegurando la sostenibilidad de estos. En este sentido, el automatizar procesos con tecnologías de gestión y optimización laboral es fundamental para mejorar la eficiencia en el sector.

Finalmente, Chalco & Salas (2020) sugieren un modelo de evaluación de madurez para la Industria 4.0, ajustado a la situación organizacional del Perú, mediante un enfoque exploratorio y cuantitativo. El estudio, fundamentado en cuestionarios, determina que el modelo consta de cinco dimensiones: Operaciones y Procesos, Tecnología, Cultura Organizacional, Productos y Servicios, y Datos.



CAPÍTULO 3: MARCO CONTEXTUAL

1. Sector de infraestructura de transportes a nivel mundial

Según Gómez & Pérez (2023), las mejoras de la infraestructura vial para el transporte permiten aumentar la productividad marginal del capital privado y disminuir los precios de los servicios de transporte. Asimismo, el aumento del nivel de calidad en este aspecto del sector transporte tiene un impacto en la población en general, especialmente en el ámbito de la educación y la salud, ya que permite el acceso a mayores oportunidades económicas y sociales, así como a servicios básicos.

En este sentido, según las necesidades actuales de la sociedad como la calidad de vida, niveles de accesos y conectividad de las ciudades para los diferentes países a nivel mundial, es menester conocer cuál es la situación actual referente a la infraestructura de transportes.

El reporte de World Competitive Center 2023 elaborado por el International Institute for Management Development (IDM) mide el nivel de competitividad de los países según cuatro pilares fundamentales: Economic Performance, Government Efficiency, Business Efficiency and Infrastructure. Este último pilar considera el nivel de calidad, inversión y gestión de las infraestructuras de transporte en cada país. De esta manera, según el reporte del IDM (2023), los cinco principales países que destacan en nivel de competitividad por su mayor desempeño en el pilar de Infraestructura son los siguientes: Suiza (92.99%), Dinamarca (92.71%), Finlandia (87.60%), Suecia (86.71%) y Holanda (86.19%).

En el caso del país más representativo, según la Oficina Federal de Estadística de la Confederación Suiza (s/f.), en comparación con otros países, Suiza tiene una infraestructura de transporte muy avanzada. Esta le permite cubrir más del 2% del territorio suizo y casi un tercio de su área urbana y de asentamiento. La red de carreteras tenía 84.868 km en 2023, con 1.549 km de autopistas. La red ferroviaria medía 5.317 km en el momento del estudio más reciente de 2020. Asimismo, este reconocimiento nacional es apoyado y soportado por los niveles de inversión que el país suele destinar para mejorar su infraestructura de transporte. Según Statista (2023), Suiza pasó de invertir aproximadamente 5 millones de euros en el 2007 a más de 8 millones de euros en el 2020, con una tasa de crecimiento del 9.2% para los siguientes años.

En este sentido, según el reporte, se denota un desempeño sobresaliente por parte del continente europeo en cuanto al pilar de infraestructura para el transporte. No obstante, para fines de la presente investigación, también se describirá la posición de los países evaluados pertenecientes al continente latinoamericano. Según el IDM (s/f), Chile está en el primer puesto con un porcentaje del 39.65%. Seguidamente, se presentan Brasil, Argentina y Colombia y Perú con un porcentaje del 27.04%, 25.65%, 25.05% y 18.32%

correspondientemente. Finalmente, se encuentra Venezuela con un 0.0% en este pilar. De esta manera, según las posiciones comentadas, surge la necesidad de identificar algunos de los desafíos a los que se enfrentan en la actualidad los países de Latinoamérica con respecto a la infraestructura de transporte.

1.1. Desafíos actuales del sector infraestructura de transporte en Latinoamérica

Actualmente, la situación de América Latina referente a infraestructura de transporte no es favorable. Los continentes de Asia Oriental y el Pacífico destinan alrededor del 8 por ciento de su PIB a la inversión en infraestructura, mientras que América Latina y el Caribe destinan alrededor del 3 por ciento de su PIB (Banco Mundial (s/f), citado en Haar, 2023).

Asimismo, Haar (2023) en su publicación de análisis “Latin America Must Prioritize Infrastructure to Spur Economic Growth”, comenta que los principales desafíos a los que se enfrenta el continente son tres: la falta de inversión consistente y acorde a las necesidades de sus poblaciones, la adaptación de la transformación digital del transporte, la reducción de efectos del cambio climático, y el aumento de fuentes de alianza o financiamiento para mejorar el servicio, control y gestión de la infraestructura de transporte.

En primer lugar, el estado actual de la infraestructura física de la región de América Latina no está alineado con las expectativas de sus poblaciones y no satisface las necesidades de desarrollo o competitividad de la región. Según el Banco Mundial, Latinoamérica gasta anualmente un promedio de 2 a 4 % del PBI en su infraestructura de transporte, lo cual, en comparación a un 8% de gasto que destinan otros continentes, la coloca en una posición desventajosa. Asimismo, es importante mencionar que este promedio no es similar para los países del continente latino. Por ejemplo, Argentina destina un promedio de 5% de su PBI en su infraestructura de transporte; mientras que Brasil, un promedio anual menor al 1% (Haar, 2023). Adicionalmente, según The Economist, América Latina enfrenta importantes desafíos adicionales en su infraestructura de transporte, ya que no cuenta con una extensa red de transporte, lo que se ve agravado por la baja densidad de población en la región. Además, su densidad de caminos pavimentados es baja, así como la calidad de las vías existentes. (Haar, 2023)

En segundo lugar, Calatayud et al. (2022) menciona que la digitalización es un fenómeno que actualmente aporta o trae muchos beneficios para el sector de transporte en los siguientes ámbitos: disminución de emisiones de gases de efecto invernadero por la mayor eficiencia y contribución entre actores involucrados, diversificación de generación de fuentes de ingreso a partir de nuevos servicios, y la mejora en la calidad de los servicios que se ofrezcan en el sector de transporte en relación a la gestión y mantenimiento de sus infraestructuras. Hasta el año 2022, los autores informan que la región de América Latina está avanzando. Una muestra de ello es que 7 de cada 10 empresas que pertenecen al sector transporte ya cuentan con un plan de transformación digital en coordinación con sus

respectivos estados. Estos avances se ven reflejados en el subsector aéreo de infraestructura, seguido por el marítimo; no obstante, todavía existe un menor avance por parte del sector transporte de carreteras.

En tercer lugar, según la división de Transporte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), desde el 2022, se comenta que actualmente después de la pandemia, se ha aumentado la búsqueda por la necesidad de impulsar la descarbonización en el sector de transporte en todos sus ámbitos para mitigar los efectos del cambio climático. En este sentido, el BID informa que la adopción y el uso de tecnologías digitales por parte de los países latinoamericanos serán cruciales “para multiplicar el impacto económico de la inversión en infraestructura y servicios de transporte, con una perspectiva de reconstruir mejor o build-back-better, enfocada en la eficiencia de la inversión y el gasto público, la resiliencia a los efectos del cambio climático y la búsqueda de una mayor sostenibilidad socioambiental” (BID 2020.a, citado en Calatayud et al, 2022, p.30).

Finalmente, Haar menciona que una forma para obtener mejoras en la inversión y manejo de la gestión de la infraestructura de transporte en los países latinos se puede recurrir aun incremento de la búsqueda de asociaciones público-privadas o APP para inversiones de la infraestructura. Un ejemplo de ello es que los países latinoamericanos obtuvieron más de 18.600 millones de dólares en 56 proyectos de inversores privados en 2021, lo que los convirtió en el segundo mayor compromiso de inversión en infraestructura en la región. Asimismo, ese mismo año, Brasil recibió compromisos de inversión privada por 15.700 millones de dólares en 36 proyectos, lo que equivale al 84 % de las APP de la región en ese año (2023). En consecuencia, estas asociaciones se reflejan en las diferentes formas en las que se gestionan las concesiones viales en cada país de Latinoamérica.

2. Concesiones viales

Según Pérez (2007), en Europa, las concesiones viales se dieron desde inicios de los años 60, con el objetivo principal de que los gobiernos europeos puedan disminuir las inversiones en infraestructura vial. Sin embargo, los gobiernos europeos han tomado la opción de que haya más concesiones viales públicas que privadas.

Como menciona el diario Ferrovial (s/f), en el 2021 se realizaron estudios y se obtuvo que, a diferencia de otros países, España cuenta con el 73,5% de la red europea de autopistas, con las tarifas de peaje más bajas, de un 12,8%. Esto se debe a que, en dicho país, poseen concesiones público- privadas, por lo que es responsabilidad del Estado la recaudación de impuestos, costos de conversión, entre otros.

Cabe destacar que hay diferentes tipos de concesiones. Por un lado, existen las concesiones público- privadas, donde las concesiones privadas realizan un contrato público en el cual reciben una cantidad fija de dinero por realizar un proyecto. De esa manera, las concesionarias privadas deben conseguir la autorización para gestionar y utilizar una obra o

servicio público. Por otro lado, las concesiones netamente privadas se realizan cuando una empresa privada cede un terreno para la realización de carreteras y vías rápidas para evitar la congestión vehicular y aumentar el tráfico. Terminado el proyecto, la remuneración de esta es vía cobro de peajes.

1.2. Marco legal y regulatorio de las concesiones viales: principales aspectos

La transparencia, la eficiencia y la protección de los intereses públicos en este tipo de proyectos dependen del marco legal y regulatorio de las concesiones viales. Las leyes y reglamentos específicos establecen los requisitos para la selección de empresas concesionarias, la duración de las concesiones, los derechos y obligaciones de las partes y otros aspectos relevantes (Shu et al., 2021). Asimismo, es importante precisar que normalmente las concesiones viales son reguladas y supervisadas por ciertas entidades asignadas por el país según su jurisdicción. Por ejemplo, en el caso peruano, según Bonifaz & Fasanando (2022), el marco regulatorio del Perú está establecido por la Ley de Concesiones y Reglamentos. Esta establece el marco legal para la adjudicación, ejecución y terminación de contratos por motivo de concesiones. Asimismo, se expone al Sistema Nacional de Inversión Pública como el contribuyente de establecer los estándares necesarios para la evaluación y selección de proyectos de concesión político - privado.

Asimismo, respecto al marco legal y regulatorio de las concesiones viales, se exponen algunos aspectos adicionales que tanto el agente como principal en esta relación de concesión, deberían considerar. En primera instancia, según los países, existe la presencia de agencias gubernamentales reguladoras que se encargan de supervisar el desempeño de la entidad privada; además, actúa como mediadora de conflictos entre las partes (Solak, 2022). En segunda instancia, se espera que el marco legal sea transparente, claro y pronosticable con la finalidad de fomentar la inversión privada y, en consecuencia, poder garantizar los intereses públicos debido a que podrán tomar una decisión informada (Makovsek (2019), citado en Oslak, 2022). En tercera instancia, el marco legal y regulatorio debe definir los derechos y obligaciones de las partes involucradas en la concesión vial, incluidas las obligaciones de la empresa concesionaria en términos de construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura vial, así como las obligaciones del Estado en términos de supervisión y regulación de la concesión vial (Álvarez et al., 2018, citado en Athias & Saussier, 2018). Finalmente, se recomienda que este marco sea flexible con la finalidad de que pueda llegar a modificarse según las necesidades de los usuarios de la carretera o vía concesionada, y los cambios de condiciones en el mercado de las concesiones mismas (Athias & Saussier, 2018).

1.3. Desarrollo y principales concesiones viales en Latinoamérica

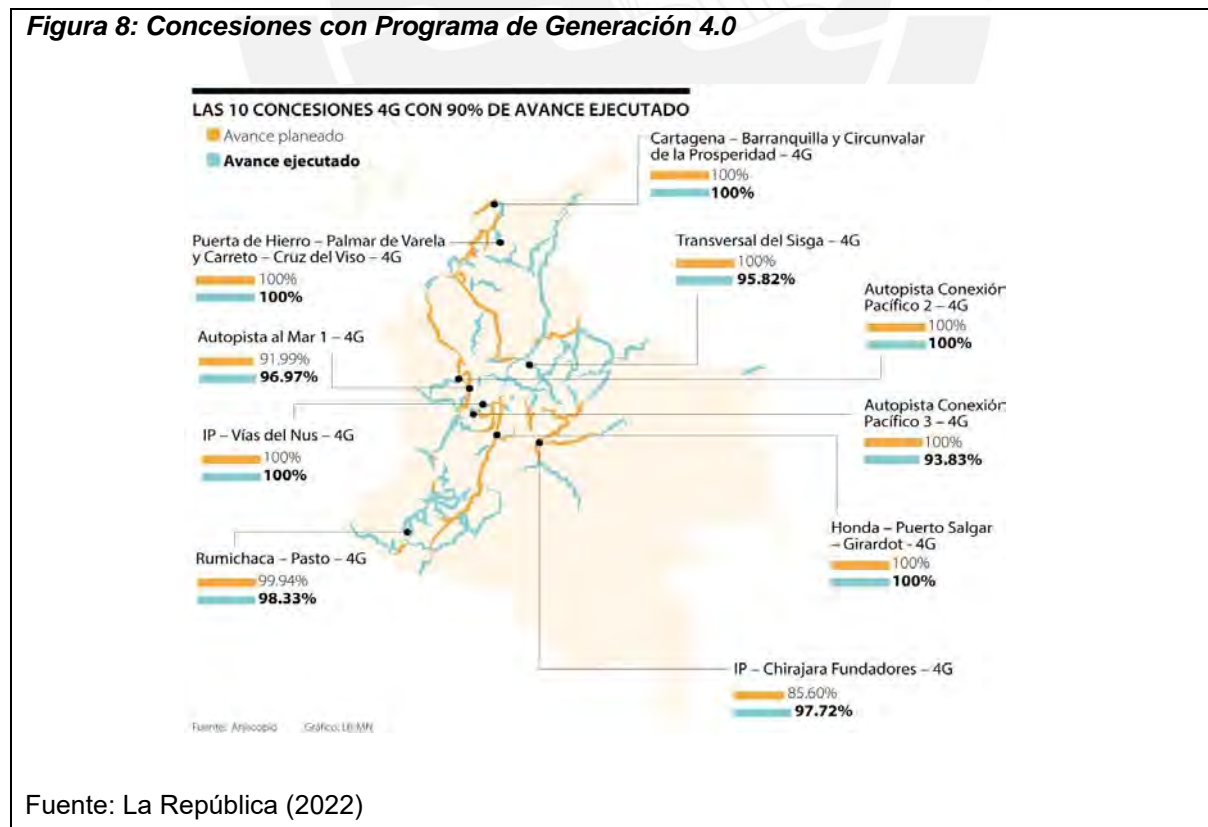
A nivel latinoamericano, las concesiones viales iniciaron en 1990 y 1995, cuando el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo renunciaron al compromiso de

financiar los gobiernos de la región en el desarrollo de obras de infraestructura vial (Pérez, 2007). Luego de ello, las concesiones viales aumentaron y comenzaron a realizar contratos temporales con los gobiernos locales para la realización de los proyectos, es decir concesiones públicas-privadas.

En la actualidad, los países más representativos por las concesiones viales son Argentina, Colombia y Brasil. En primer lugar, respecto al país argentino, se ha optado desde el año 2018 un sistema de concesión denominado PPP (Participación Público Privada), el cual posee más de 15,000 km de vías concesionadas por el sistema PPP y concesiones públicas (Álvarez, 2019). Asimismo, se ha identificado que, en Argentina, las concesiones con el sistema PPP tienen un mejor resultado. Sin embargo, debido a la crisis económica que vive el país y el mantenimiento y refacción de las rutas de dicho país, a partir de mayo del presente año, de acuerdo con el diario El Cronista (2023), el Ministerio de Obras Públicas aumenta un 50% en peajes; además, de incrementar el tarifario de dichos peajes.

En segunda instancia, en el año 2014, Colombia adquirió el programa de generación 4.0, donde de acuerdo con Nacional de Seguros (s/f), el objetivo principal de las concesiones es optimizar el tiempo de transporte por el desplazamiento entre punto a punto. Debido al programa, hubo ciertos beneficios para el país, de los cuales son la reducción de costos de operación vehicular en un 20%, reducción de desplazamiento en un 30%, y obtuvo beneficios económicos por 8.3 billones.

Figura 8: Concesiones con Programa de Generación 4.0



Fuente: La República (2022)

La gran mayoría de dichas concesiones, en el país colombiano, cuentan con una ejecución del 90%, de los cuales obtuvieron una inversión de más de 30 billones de dólares para el desarrollo del programa 4G y el mantenimiento vial. Correspondiente a Vinci Highways, se encuentra a cargo de la carretera Bogotá- Girardot, donde poseen una tenencia de 75% a lo largo de 141 km y su contrato es hasta el año 2042.

Finalmente, como menciona Álvarez (2019), en Brasil la red se compone por 1,700,000 km aproximadamente, de los cuales sólo el 12% están concesionadas y el resto está supervisado por el ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres). Al igual que Colombia, Vinci Highways posee con un contrato junto con el país brasileiro hasta el año 2047 con una adquisición de 55% de Entrevías, que abarcan 570 km en el estado de Sao Paulo; además, de representar el 40% del PBI de Brasil.

1.4. Situación actual de las concesiones viales en Perú- Lima Metropolitana

En la actualidad, el Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN) supervisa 16 carreteras concesionadas en la Red Vial Nacional, como se puede observar en la siguiente imagen. De esa manera, como se puede observar en la figura 9, dichas carreteras están bajo concesiones públicas que el Estado peruano regula, tanto la infraestructura vial como la transacción de peajes.

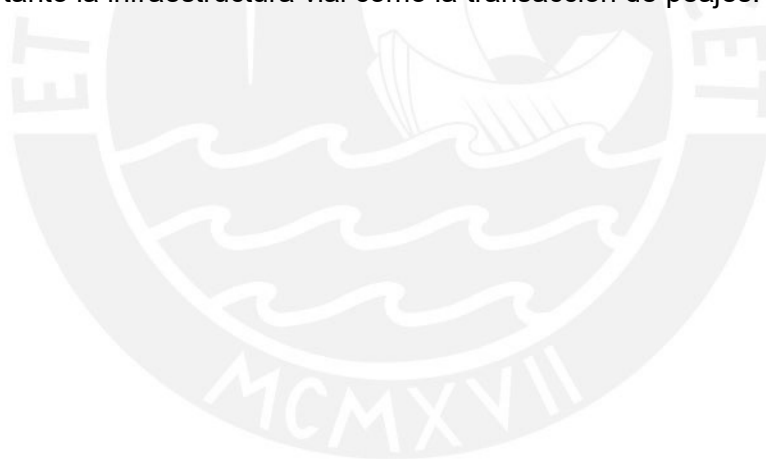


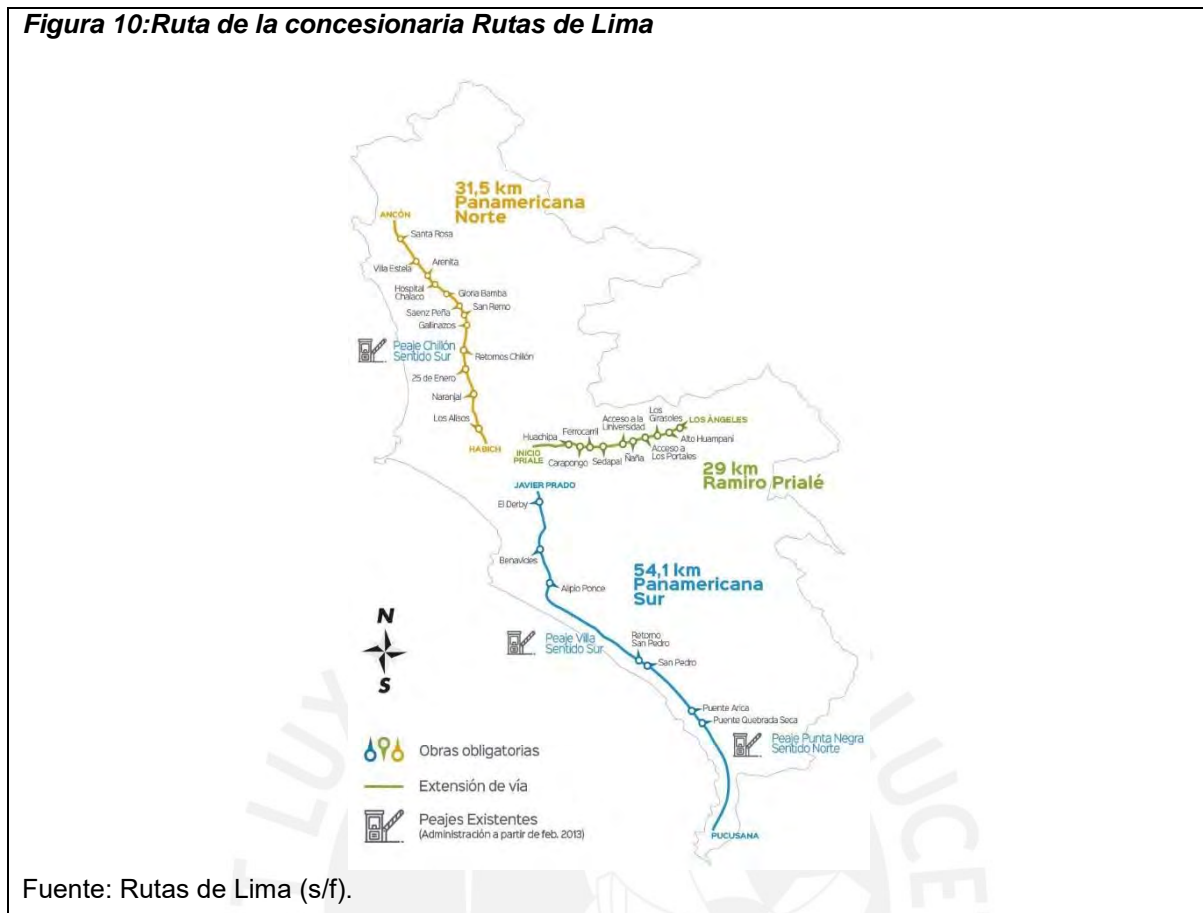
Figura 9: Carreteras concesionadas de OSITRAN

Fuente: OSITRAN (s/f).



Por otro lado, en Lima Metropolitana existen 18 países en la ciudad capital; asimismo, existen dos concesiones privadas la cual una de ellas es Rutas de Lima que abarca 31.5 km de la Panamericana Norte, 54.1 km de la Panamericana Sur, y 20 km de la Nueva Autopista Central- Ramiro Prialé (Rutas de Lima, s/f). La siguiente es Lima Expresa que abarca 25 km de las vías Alternas de Lima Metropolitana, Vía Expresa y Vía Expresa Línea Amarilla.

Figura 10: Ruta de la concesionaria Rutas de Lima



Fuente: Rutas de Lima (s/f).

De acuerdo con el Ministerio de Transporte y Comunicaciones- MTC (2020), actualmente el Perú posee 56 peajes a nivel nacional, entre concesionarias públicas y privadas. De estos 24 son gestionados por el MTC; y 32 son gestionados por concesiones privadas, de las cuales una de ellas se encuentra bajo la supervisión de Vinci Highways. La empresa, mediante un contrato hasta el año 2049, gestiona la concesión mencionada con una adquisición del 100% de transacción de peajes (Vinci Highways, s/f).

Finalmente, Trujillo menciona que en el año 2017 se adquirió la inversión de 27 millones de dólares que corresponden a 53 proyectos concesionados entre autopistas, ferrocarriles, aeropuertos, entre otros (2019). Si bien es cierto, en el sector infraestructura, la mayor cantidad de inversiones que se realizan son en las concesiones portuarias. Por el lado de concesiones viales, a inicios de año las carreteras de OSITRAN dinamizaron 230.2 millones de dólares para una mejora en las infraestructuras.

3. Gestión de Peajes concesionados

En esta sección, se identificarán aquellos grupos concesionarios europeos y latinoamericanos que destacan por su gestión en las concesiones viales en línea a la construcción, gestión y mantenimiento de infraestructura vial y peajes.

1.5. Caso Europeo

Según el ranking de Líderes de Concesiones Viales 2022 elaborado por la revista Public Works Financing Newsletter (PWF) de manera anual, las dos mejores concesionales del mundo en proyectos, operación y gestión de carreteras y peajes son la empresa francesa Vinci Highways con 58 proyectos y la empresa española Abertis perteneciente al grupo ACS con 46 concesiones (Expansión, 2022).

En primer lugar, la empresa francesa Vinci Highways domina una variedad de sistemas de transacciones de pago como líder mundial en infraestructuras viarias y con su incomparable experiencia como operador de carreteras. La concesional destaca por ser única en el diseño, el desarrollo, la instalación y el mantenimiento de soluciones avanzadas de flujo libre de extremo a extremo en la gestión de peajes (Vinci Highways, s/f). Hasta el año 2023, la empresa cuenta con una conexión superior a los 4000 km de operaciones en carreteras. Asimismo, son líderes de concesiones en proyectos de peajes y construcción de carreteras en Alemania, República Checa y Eslovaquia. Asimismo, dentro de sus mayores logros en gestión de peajes se encuentran en Grecia y su proyecto de inversión en Perú Lima.

Por un lado, en Grecia, gracias a la implementación del dispositivo de peaje electrónico "E-pass", que permite cobrar directamente desde la web de Gefyra o la aplicación móvil "My Gefyra", contribuyó al 87% de la satisfacción del cliente de Gefyra, el operador del puente que cruza el Golfo de Corinto (Vinci Highways, 2022). Adicionalmente, la empresa ganó la "Autopista del año" de los Mobility Awards 2021. La organización ha sido reconocida en la categoría "Servicio al cliente de autopistas" por la introducción de un nuevo sistema de cobro que calcula la distancia real recorrida por los vehículos y reembolsa automáticamente los kilómetros no recorridos al abonar el peaje electrónico Olympia Pass (Vinci Highways, 2022).

Por otro lado, en Lima Perú, Vinci comenta que para mejorar el flujo de tráfico en esta ciudad dinámica y en crecimiento, Lima Expresa lanzó un plan de inversiones a cinco años en junio de 2021 con un monto cercano a los 48 millones de euros. Este plan se logrará aumentando la capacidad y mejorando las paradas de autobús y la gestión de peaje. Además, se espera mejorar la seguridad de las carreteras mediante la construcción de terraplenes más fuertes, cruces mejorados y la renovación completa de 17 km de la Vía de Evitamiento con asfalto altamente modificado.

En segundo lugar, la empresa española Abertis es líder global en gestión de vías de alta capacidad, promueve una movilidad eficiente, segura y sostenible, impulsando soluciones innovadoras para combatir el cambio climático y fomentar la economía circular (Abertis, s/f). La empresa cuenta con una conexión superior a los 8,000 km de vías concesionadas hasta el año 2023. Asimismo, tiene un alto nivel de presencia de concesiones en los países de Italia, España, Francia y la India; adicionalmente, en el territorio latinoamericano, cuenta con una gran presencia en los países de Brasil, Chile y Argentina (Abertis, s/f).

En relación con su actual gestión en los peajes concesionados, Abertis sorprendió con sus proyectos actualmente en desarrollo. Por un lado, en abril 2023, a la empresa junto al Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT) y otros socios decidió desarrollar un sistema de peaje satelital por distancia para las zonas de bajas emisiones de Múnich (Alemania) y Esplugues (Barcelona), promoviendo movilidad inteligente, conectada y transporte compartido (Abertis, 2023). Por otro lado, en octubre del 2023, Emovis, una de las filiales de Abertis, obtuvo el premio a la innovación por su sistema de cobro de peajes en el Toll Excellence Awards 2023. La problemática principal para gestionar partía de la premisa de que todos los programas de peaje tienen dificultades para recuperar los pagos pendientes de los usuarios que no pagaron por el uso de la carretera en el pasado. Por lo general, esto tiende a resultar en altos costos de gestión, una mala reputación y pérdidas de ingresos para las empresas. En consecuencia, como una alternativa de solución Emovis lanzó el programa Smart Enforcement en el Reino Unido desde el año 2020. Así pues, desde el lanzamiento hasta el año 2023, los costos de aplicación disminuyeron rápida y continuamente. Esta mejora fue posible gracias al uso de la inteligencia artificial para comprender mejor el comportamiento del cliente, utilizar el aprendizaje automático para predecir sus pagos futuros y desarrollar un proceso de cobro más inteligente incorporado en el Smart Enforcement (Abertis, 2023).

1.6. Casos Latinoamericanos

Dentro de los grupos de mayor representación en concesiones de viales, en relación, asimismo, con temas de peajes concesionados, se encuentran principalmente dos. Por un lado, la concesionaria brasileña CCR es responsable de un total de 3,600 km de carreteras concesionadas en un total de 13 estados brasileños. Su principal objetivo es liderar el sector de la movilidad de una manera sustentable (CCR, s/f). Dentro de sus principales logros se encuentra el Top Open Corps, donde volvió a destacar como la mayor empresa de infraestructura de movilidad de Brasil. En la edición de 2023, la empresa se clasificó en el tercer lugar en las categorías de saneamiento, gestión de residuos, e infraestructura en gestión de peajes. Este último se debe principalmente a su compañía e incorporación de Free-Low, el cual se basa en la nueva tecnología CCR RíoSP la cual busca eliminar en cierta medida las casetas convencionales de peajes y permite un viaje completamente libre, sin paradas, ni reducción innecesaria de velocidad. Esto se genera por un registro de cobro automático, sin garitas en los tramos supervisados por la misma CCR. (CCR, s/f). Adicionalmente, la empresa considera que un mayor uso de las carreteras generará un descuento de usuario frecuente (DUF) hasta un 73% en peajes Free Low para aquellos vehículos que cuenten con TAG's y utilizan los carriles automatizados (CCR, s/f).

Por otro lado, la empresa chilena Grupo Costanera es la empresa líder en el sector de concesiones de obras públicas referentes a la construcción, mantenimiento y gestión de carreteras y peajes. La empresa cuenta con un total de 7 filiales a lo largo del país tales como

el Litoral Central, Vestucio Oriente II, Acceso Vial AMB, Autopista Oriente, Vespucio Sur y Costanera Norte. Uno de los principales aspectos que se destaca, además de la ingeniería moderna para la infraestructura de las redes viales, es la gestión de peajes la cual, al igual que el caso brasileño, se basa en la rápida y correcta implementación del sistema Free-Flow en todos los accesos de sus filiales en reemplazo del peaje manual existente, con la desmantelación de la plaza de peajes manuales (Grupo Costanera, s/f).

4. Caso de Estudio

1.7. Grupo Vinci Highways

Vinci Concessions es un grupo industrial proveniente de Francia dedicado a la construcción de edificios, infraestructuras de transporte, carreteras, autopistas, ferrocarriles e infraestructura de energía. Desde 1899 fue creada la Sociedad General de Empresa por dos ingenieros provenientes del país mencionado. Sin embargo, en el año 2000 la sociedad se independizó y fue tomada por el grupo Vinci, y adquirió Grandes Obras de Marsella “GTM”; por lo cual, se convirtió en líder mundial de empresas de obras públicas.

Vinci Concessions está conformada por subsidiarias, tales como VINCI Airports, VINCI Railways y VINCI Highways. El grupo Vinci es líder a nivel mundial por la infraestructura de movilidad que utiliza su modelo integrado para diseñar, financiar, construir, operar y mantener más de 90 proyectos (Vinci Concessions, s/f). De acuerdo con estudios realizados en el 2022, operan con más de 272,000 personas en más de 120 países.

Como se mencionó anteriormente, Vinci Concessions está conformada por subsidiarias, que, por un lado, Vinci Airports opera en más de 70 aeropuertos a nivel mundial en 13 países. Por otro lado, Vinci Railways gestiona proyectos de infraestructura en Francia; además, de cubrir 16,000 km de red ferroviaria cubierta por GSM- Rail. Sin embargo, para la presente investigación abordaremos a Vinci Highways. De acuerdo con Vinci Concessions (s/f), Vinci Highways diseña, financia, construye y opera autopistas, puentes, túneles, vías urbanas y servicios de movilidad en una red de más de 3,360 km en 15 diferentes países. Asimismo, se ha encargado de más de 8 millones de suscriptores a las soluciones digitales.

En el año 2022, Vinci Highways realizó un portafolio donde menciona que se ha aumentado un 7.2% en la transacción de los peajes; además, el 57% de transacciones que se realizan son de manera digital. Adicional a ello, Vinci Highways proyecta realizar constantes estrategias de adquisición, para seguir manteniendo el desempeño ambiental, soluciones de movilidad inteligente, excelencia en el servicio y seguridad vial.

Asimismo, en dicho portafolio se indican los países donde opera Vinci Highways, tal y como se puede observar en el anexo A. Como se aprecia en el portafolio, Brasil, Canadá, Colombia, Francia, Alemania, Grecia, Perú y Portugal, los países donde operan la gestión de peajes. Sin embargo, respecto a Perú- Lima Expresa, la operatividad por la concesión es al 100% a diferencia de los otros países por la transacción de gestión de peajes.

1.8. Lima Expresa

El grupo Vinci Highways compró a la empresa peruana LAMSAC y en el 2020 renombró a la empresa por Lima Expresa. Lima Expresa es una empresa de concesión vial, que forma parte del grupo Vinci Highways. Vinci Concessions es un líder global en infraestructura de movilidad que utiliza su modelo integrado para diseñar, financiar, construir, operar y mantener más de 90 proyectos de aeropuertos, carreteras y ferrocarriles en 23 países a través de las subsidiarias VINCI Airports, VINCI Highways y VINCI Railways. Además, mediante la aplicación de la Industria 4.0, Vinci garantiza la excelencia operativa de la infraestructura mediante procesos innovadores para optimizar la huella de carbono, limitar los residuos, mejorar la experiencia del cliente, facilitar el mantenimiento y aumentar la competitividad (Vinci Concessions, s/f).

Lima Expresa gestiona las vías alternas de Lima Metropolitana, Vía Evitamiento y Vía Línea Amarilla. Su misión es buscar la seguridad, fluidez y calidad de vida a través de una gestión eficiente de la vía; por otro lado, su visión es hacer de una Lima, una ciudad más conectada y sostenible. Asimismo, Lima Expresa busca brindar una experiencia satisfactoria a los clientes, en términos de ahorro de tiempo y seguridad (Lima Expresa, s/f.).

Figura 11: Ruta de la concesionaria Lima Expresa



Fuente: Lima Expresa (s/f).

Lima Expresa es aliada de PEX, PEX es un medio de pago vehicular que permite a los clientes pagar de forma automática y sin contacto en la Vía de Evitamiento y la vía expresa Línea Amarilla. De esa manera, su misión es crear experiencias inteligentes de movilidad para que tu vida no se detenga (PEX, s/f).

Con todo ello, su actividad principal es la gestión de peajes y el mantenimiento de estas vías. Adicionalmente, hoy en día, la empresa cuenta con más de 600 trabajadores, entre administrativos y Agentes de Recaudación. Asimismo, los procesos claves que realiza Lima

Expresa, generan valor al cliente como la conservación vial, la operación y recaudación de peaje, el monitoreo y auxilio vial, y el servicio al cliente.

Adicionalmente, de acuerdo con información recolectada por la misma empresa, en el mes de octubre se han transitado 5,845,264 tránsitos en toda la concesión, tanto Vía Evitamiento como Vía Expresa Línea Amarilla. De acuerdo con ello, se han realizado comparación entre octubre del año 2022 y octubre del presente año, por lo que hay una variación de 3,47% en aumento de tránsitos transitados.

Asimismo, de acuerdo con todo lo mencionado, se ha realizado un análisis de las 5 fuerzas de PORTER, de acuerdo con la información obtenida por Lima Expresa (s/f), con el objetivo de tener mayor conocimiento sobre la empresa.

En primer lugar, **amenazas de los nuevos competidores**, las barreras de entrada en el rubro analizado pueden llegar a ser entre moderadas y altas, ya que, para competir en el mantenimiento de vías públicas, las empresas deben tener el equipo y la maquinaria especializada y la experiencia necesaria, además de cumplir con las regulaciones y normativas gubernamentales y contar con licencias que puede terminar siendo costoso y extenso. Entonces, las barreras de entrada dificultan que haya un gran número de nuevos competidores en el mercado.

En segundo lugar, **poder de negociación de proveedores**, las empresas de concesiones viales tienen un poder que varía según la disponibilidad de múltiples proveedores y la capacidad de las concesionarias para buscar alternativas. Entonces, el poder de los proveedores es moderado, ya que, hay varias opciones de proveedores en el sector, pero hay una dependencia de la disponibilidad de estos.

El **poder de negociación de los compradores** puede ser moderado a alto, ya que los clientes son entidades gubernamentales locales y estos pueden licitar proyectos y seleccionar entre diferentes proveedores de mantenimiento de vías públicas, teniendo el sector un número de clientes bajo y limitado por conformar parte del estado. Seguidamente, la **rivalidad entre competidores existentes** es baja debido a que el sector actualmente es un monopolio y su única competencia real es Rutas de Lima. Además, debido a las altas barreras de entrada es que no hay mucha competencia en el sector.

Además, siguiendo con el análisis, se ha encontrado que Lima Expresa goza de diversas **fortalezas**. Como menciona Lima Expresa (s/f), en primer lugar, se trata de la organización con el compromiso con la sostenibilidad, ya que enfoca prácticas sostenibles y con ellas, pueden cumplir con relaciones ambientales y atraer más cantidad de clientes y socios que valoran la responsabilidad social. Además, apoya la diversidad cultural con ayudas sociales en los lugares más alejados del Perú, independiente de la concesión. En segundo lugar, la empresa está enfocada en la aplicación de la Industria 4.0 con respecto a la infraestructura vial y desarrollo de las vías en las que se encuentra. Lima Expresa utiliza

tecnología moderna no sólo para la construcción y mantenimiento en las vías alternas de Lima Metropolitana, sino también en la operación de los peajes para aumentar la eficiencia y la calidad del servicio. Finalmente, como ya se mencionó anteriormente, Lima Expresa forma parte de Vinci Highways, procedente de Francia; asimismo, la empresa contiene capacidad financiera, ya que tiene capacidad de invertir en proyectos de construcción y mantenimiento en operaciones a largo plazo.

Con respecto a las **oportunidades** de Lima Expresa, se identifican las inversiones públicas y privadas, las autoridades de los diferentes distritos que se encuentra la concesión y la empresa se encuentran en constante comunicación para el desarrollo de proyectos viales, creando oportunidades para ambas empresas públicas y privadas. Además, el desarrollo de la infraestructura, la inversión en infraestructura son oportunidades para la expansión y mejora en el desarrollo de las vías, con el fin de disminuir la congestión vehicular.

Se ha identificado que las **debilidades** de Lima Expresa son limitadas, pero pueden lograr un impacto mayor si es que no se trabaja en estas. En primer lugar, la organización depende de las regulaciones gubernamentales, ya que los cambios de regulaciones o políticas pueden tener un impacto significativo en las operaciones de concesión vial. En segundo lugar, se encuentran los riesgos operativos, lo que podría tener una implicancia en los desastres naturales.

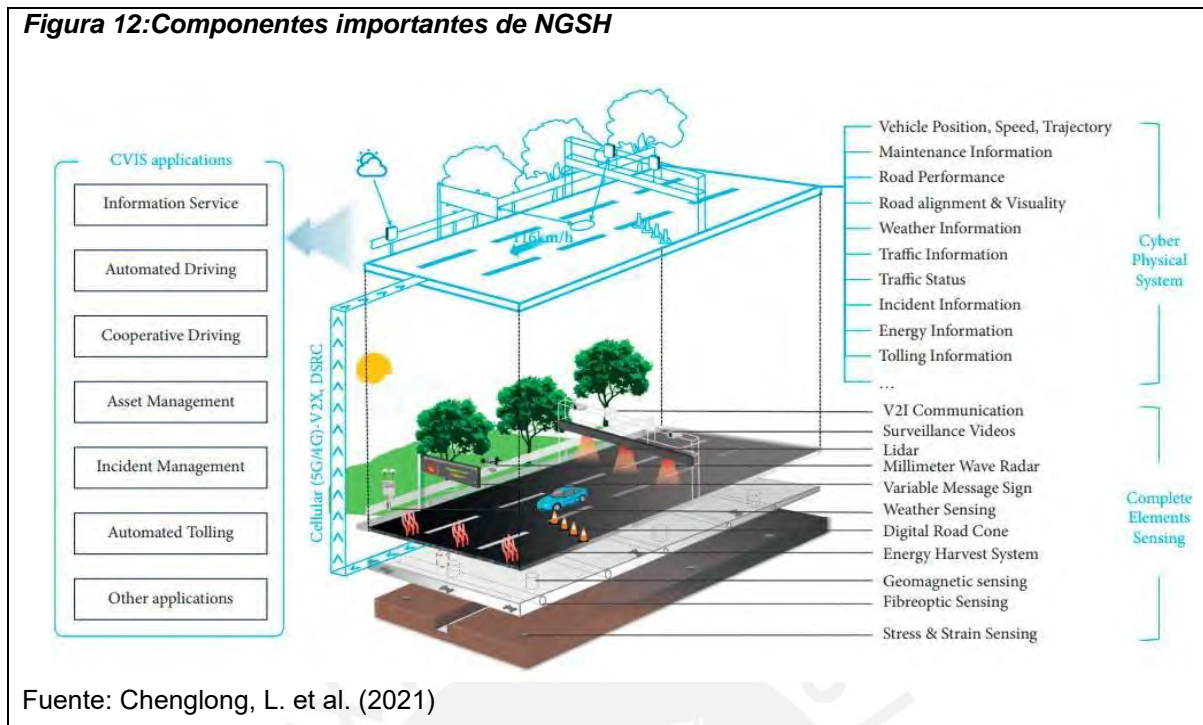
Finalmente, de acuerdo con Lima Expresa (s/f), en relación con las **amenazas**, se encuentran, en primer lugar, los problemas sociales que existen en nuestro país, ya que dichos problemas pueden retrasar o interrumpir proyectos de la concesión. En segundo lugar, los problemas políticos, en el gobierno peruano y en cada distrito, ya que pueden alterar las condiciones de las concesiones viales.

5. Smart Highways: Gestión de Concesiones Viales a las mejores prácticas de la Industria

De acuerdo con Lasky (2023), Smart Highways es un término que se utiliza en los últimos años para describir o mencionar a las autopistas que utilizan tecnología para mejorar la experiencia del usuario. Con ello, incluye una variedad de diseños y tecnologías que se utilizan con el fin de lograr una gama de mejoras innovadoras en los subsistemas ya existentes de transporte.

Los diseños y tecnologías que se utilizan en Smart Highways son propuestas por diversos actores, tales como Chenglong, L. et al. (2021), European Commission (2015), entre otros. En la presente investigación, se desarrollarán los componentes y/o elementos que son descritos por los dos autores mencionados. Dicho esto, por un lado, Chenglong et al. proponen los elementos básicos del New Generation of Smart Highways (NGSH), tales como se muestran en la siguiente figura.

Figura 12: Componentes importantes de NGSH



Fuente: Chenglong, L. et al. (2021)

De esa manera, de acuerdo con ello, los componentes que se describen son los siguientes.

1. CVIS Application

Las aplicaciones de CVIS incluyen el uso de datos completos de sensación y la plataforma de CPS para implementar la automatización de conducir y la gestión de infraestructuras de vida útil. Estos incluyen conducir completamente automatizado basado en CVIS, control de aparcamiento de vehículos, programación sostenible de mantenimiento y respuesta de emergencia rápida. Los usos sistemáticos de NGSH pueden variar de un solo módulo a múltiples funciones superpuestas de acuerdo con los diferentes estándares de desarrollo de la NGSH.

2. Cyber Physical System

El sistema ciberfísico (CPS) es un sistema informático en el que los algoritmos informáticos controlan o vigilan un mecanismo. CPS es similar a una plataforma gemela digital porque refleja la información de operación dinámica de los elementos a lo largo de su ciclo de vida y puede representar los datos de detección espacialmente a través de etiquetas de identificación global y un modelo de fusión de datos. El CPS tiene características del Internet de las cosas (IoT), pero presenta una mayor combinación y coordinación de componentes físicos y computacionales. La plataforma CPS es una simulación digital viva que reúne todos los datos de detección y los actualiza de varias fuentes para representar de forma dinámica su contraparte física.

3. Complete Elements Sensing

La detección de elementos completos utiliza principalmente tecnologías de detección distribuida, como sistemas de posicionamiento de alta precisión, radares de ondas milimétricas y video, para obtener un conocimiento completo de los elementos del sistema de transporte, que sirve como estructura subyacente del NGS. Por ejemplo, la detección de velocidad, la reidentificación de vehículos y la reconstrucción de trayectorias se utilizan para describir objetos dinámicos. Los objetos cuasiestáticos, como el pavimento y las instalaciones al borde de la carretera, se evalúan mediante detección de problemas, percepción de rugosidad, reconocimiento de marcas, etc. Además, se registra información ambiental, como riesgos meteorológicos, acumulación de agua y mala visibilidad, en intervalos cortos.

Por otro lado, European Commission (2015) propone tecnologías que son prometedoras para el futuro, tales como Automatic Number Plate Recognition (ANPR), Dedicated Short-Range Communications (DSRC) technology, Radio Frequency Identification (RFID), Global Navigation Satellite Systems (GNSS) technology, Tachograph-based technology, que se explicarán a continuación.

1. Automatic Number Plate Recognition (ANPR)

Es una tecnología basada en sensores ópticos y cámaras. Dicha identificación de vehículos se basa en el reconocimiento de caracteres, el cual incluye equipos de carretera "menos costosos" y no requiere OBU. Los países de Suecia y Noruega utilizan Epass 24, el cual utiliza el sistema ANPR para poder movilizarse en ambos países; es decir, si el vehículo posee la matrícula del país noruego, puede pagar los peajes suecos por medio de este sistema, y viceversa.

2. Dedicated Short-Range Communications (DSRC) technology

Es la tecnología que más se utiliza en toda Europa. Este se basa en la comunicación bidireccional por radio entre un equipo fijo de carretera (RSE) y un dispositivo móvil (OBU) instalado en un vehículo; el canal de comunicación ISM de 5,8 GHz se utiliza principalmente, aunque los sistemas heredados pueden usar otras soluciones patentadas en algunos casos específicos. El Grupo Kapsch, proveniente de Viena- Austria, utiliza tecnologías de Cobro y Fiscalización (Enforcement) de Peajes para identificar, clasificar y monitorear automóviles personales y comerciales en movimiento.

3. Radio Frequency Identification (RFID)

Es similar a la DSRC, ya que utiliza ondas de radio para identificar automáticamente los dispositivos a bordo. En Latinoamérica, Argentina es uno de los países que utiliza RFID por medio de TelePASE, el cual es una sticker adherida al parabrisas del vehículo que escanea un lector y automáticamente lo deriva a una cuenta afiliada.

4. Global Navigation Satellite Systems (GNSS) technology

Permite utilizar las señales de una red de órbitas satélites para ubicar el vehículo. De igual manera, el Grupo Kapsch utiliza GNSS, con el fin de transmitir datos a la central del operador de peaje.

5. Tachograph-based technology

Se basa en el registro de la cantidad de kilómetros recorridos por un vehículo dentro de un dominio de peaje mediante una OBU conectada electrónicamente al cuentakilómetros del vehículo. Axxes, una empresa que se especializa en telepeaje a nivel europeo menciona lo siguiente: “Gracias a la conexión directa al tacógrafo del conductor y a un sistema de alertas, es posible consultar en tiempo real el número de horas de trabajo, descanso, conducción y disponibilidad de los conductores para, de este modo, tomar decisiones sobre el porte, todo ello en el respeto de los requisitos legales” (Axxes, s/f). Dicho esto, el sistema se utiliza desde hace algunos años atrás, sin embargo, sólo para conductores de vehículos pesados. Se espera que para el 2025, mayor cantidad de vehículos se adopten a la tecnología con tacógrafos inteligentes de segunda generación.

En tercera instancia, otra tecnología que se utiliza desde hace unos años en países europeos es el **sistema Free Flow**. Según la Asociación Española de Carreteras (2011), pertenece dentro de los elementos completos.

El sistema Free Flow utiliza el tag como herramienta de interfaz entre el usuario y el sistema. Sin embargo, a diferencia de los sistemas de telepeaje tradicionales, los sistemas de peaje libre o “flujo libre” van a permitir detectar al usuario a cualquier velocidad. Esto reduce los tiempos de recorrido en las autopistas y los niveles de accidentes.

En España, en el año 2018 se realizó el primer proyecto Free Flow en España. Según la EADIC (2018), dentro de la concesionaria, en ciertos tramos de la AP-7 ya se ha implementado la tecnología de peaje de flujo libre (free-flow), que permite a los vehículos circular a velocidades de hasta 60 kilómetros por hora. Este sistema de pago, similar al modelo VIA-T, ofrece mayor rapidez para los vehículos y minimiza el riesgo de errores. Asimismo, el proyecto se caracteriza por no utilizar casetas en las cuales se encuentran los trabajadores que cobran el peaje, y así se instalan pórticos metálicos, como se puede observar en la figura 12, donde requiere la detección de vehículos y transmisión de datos al centro de control.

Figura 13: El primer proyecto free- Flow de España



Fuente: EADIC (2018)

6. Aplicación de la Industria 4.0 en las concesiones viales

Por un lado, en el continente europeo, la Industria 4.0 ha tenido mayor presencia en concesiones viales desarrolladas en los siguientes países. En primer lugar, Suiza, ya que es uno de los países que más tecnología en la gestión de peajes ha implementado. de acuerdo con ForoSuizo (2023), dicho país ha adquirido Viñeta digital o E- Viñeta. Con esto, se puede circular por las vías del país suizo; además, no es necesario ponerlo en el parabrisas del vehículo, como se realiza aún en otros países. Además, se encuentra ligado a la matrícula del vehículo.

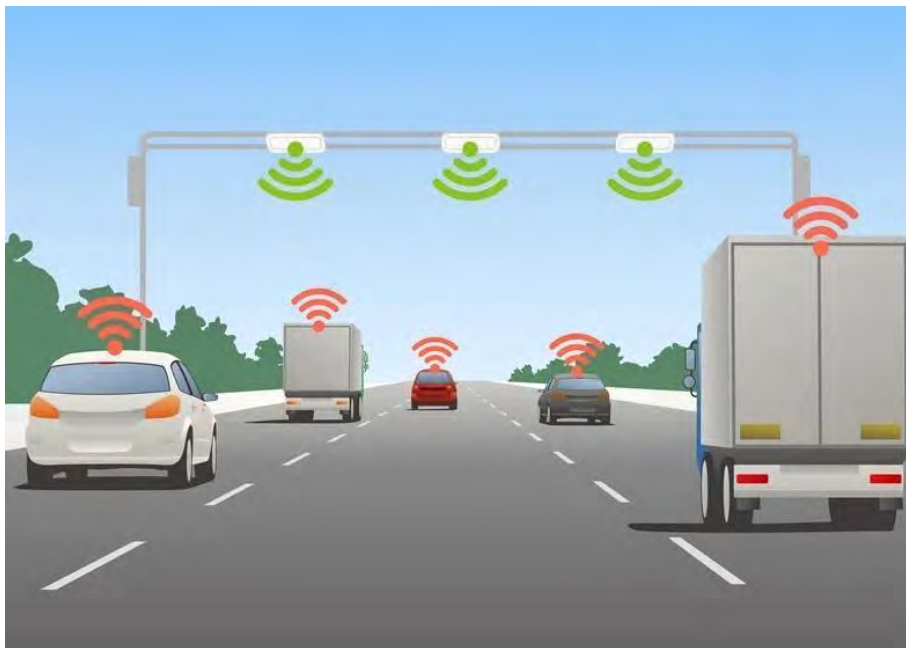
De esta manera, de acuerdo Arias (2023), a fines del 2024 comienza una nueva etapa donde los peajes van a ser totalmente automatizados, este servicio se denomina European electronic toll service (EETS). Si bien es cierto, ya se había implementado el servicio en el año 2021; sin embargo, lo que el país suizo desea es que el cobro sea automatizado para evitar la congestión vehicular. Además, se utilizará el sistema especialmente para vehículos extranjeros, es decir, en las fronteras, y así poder sustituir el cobro manual.

Otro de los países en los que implementan la tecnología en la gestión de peajes, es Francia. Francia utiliza la tecnología Vit-T de Bit & Drive, en dicho país solo aplica para vehículos ligeros. Esta tecnología implementada es para que los vehículos puedan dirigirse de manera automática y tecnológica a España, Francia y Portugal. Este dispositivo funciona con ondas de corto alcance, o también llamado Dedicated Short Range Communication-DSRC (Bit & Drive, s/f)

Adicional a ello, Francia utiliza Free Flow, según Pagatelia (s/f), el objetivo del presente es tener un mayor impacto en la movilidad sostenible. Esto quiere decir que al eliminar

la necesidad de detener el vehículo y reanudar la marcha, este sistema ayuda a reducir las emisiones del CO2.

Figura 14: Perspectiva de Sistema de Peaje Free Flow



Fuente: TEK (s/f)

Tal y como se observa en la figura 06, los conductores se benefician por mayor fluidez y reduce el tiempo de llegada al destino final, ya que existe la necesidad de detenerse y pagar por los peajes.

Por otro lado, para explicar sobre el estado de la Industria 4.0 en el continente latinoamericano, se presentarán algunos datos del informe “Impulsando la transformación digital del transporte en América Latina y El Caribe” elaborado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el 2022.

Inicialmente, se explica que Latinoamérica está en el proceso de una adaptación tecnológica en búsqueda de la llamada transformación digital. Las autoras mencionan que una buena adaptación de las tecnologías posteriormente mencionadas brindaría la oportunidad de mejorar los servicios de transporte, reducción de emisiones nocivas del sector de transportes, y la diversificación de fuentes de ingresos provenientes de la mejora de las nuevas tecnologías(Catalayud et al., 2022.)

Por un lado, en la figura 05, se puede visibilizar que aproximadamente un 59% del total de organizaciones dedicadas a brindar servicios en el transporte terrestre tales como la construcción de carreteras mediante concesiones, transporte en logísticas, etc., cuentan un plan o estrategia de transformación digital. Sin embargo, según las autoras, este nivel no es tan significativo todavía debido a que el porcentaje de empresas que todavía no cuentan con

un planes del 49%. No obstante, la tendencia se encuentra en crecimiento (Catalayud et al., 2022).

Figura 15: Empresas de transporte que cuentan con una estrategia de transformación

Cuadro 5.2. ▶ "¿TIENE SU ORGANIZACIÓN UNA ESTRATEGIA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL?"

	Transporte Marítimo	Transporte Aéreo	Transporte Terrestre	Total
Sí	72%	73%	59%	69%
No	28%	30%	41%	31%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Fuente: Autores.

Fuente: Calatayud et al (2022)

Por otro lado, la relación identificada con el enfoque de la Industria 4.0 en Latinoamérica se da principalmente por la identificación de los principales componentes o variables de este enfoque según Gao et al (2019): Computación en la nube, realidad virtual, realidad aumentada, Inteligencia artificial y el internet de las cosas (IOT). En este sentido, en la figura 6, se puede observar que, para las empresas aéreas que se desempeñan en los servicios del transporte terrestre, las tecnologías más utilizadas son la computación en la nube o cloud computing (55%), Big data (45%), Internet de las cosas (IoT) (47%), Inteligencia artificial aplicada (8%) y la realidad aumentada/virtual (6%).

Figura 16: Tecnologías utilizadas en las organizaciones del sector de transportes

	Total	Transporte marítimo	Transporte aéreo	Transporte Terrestre
Cloud computing	53%	50%	70%	55%
Data analytics/Big data	52%	52%	65%	45%
Internet of things/Sensores	35%	32%	22%	47%
Omnicanalidad	23%	19%	26%	33%
Drones	18%	22%	9%	12%
Machine learning	16%	16%	30%	10%
Inteligencia artificial aplicada	12%	12%	22%	8%
Blockchain	12%	14%	9%	8%
Building Information Modeling	10%	13%	9%	4%
Robotic Process Automation (RPA)	8%	9%	4%	4%
Vehículos eléctricos	8%	7%	9%	12%
Realidad aumentada/Realidad virtual	7%	7%	13%	6%
Impresión 3D/4D	4%	4%	0%	4%
Vehículos autónomos	2%	3%	0%	0%

Fuente: Autores.

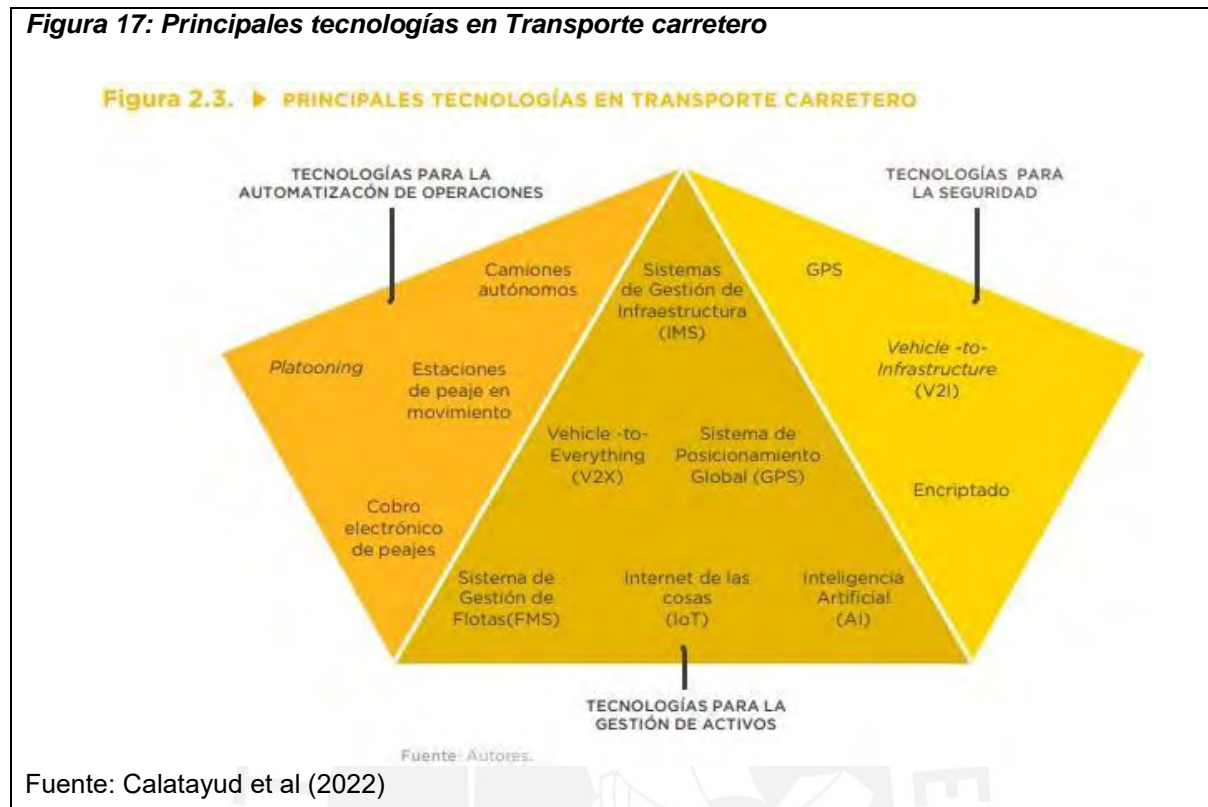
(*) Marcar todos los considerados.

Fuente: Calatayud et al (2022)

Asimismo, en esta misma línea, referente a las principales tecnologías que utilizan las empresas del transporte carretero, las autoras comentan que las tecnologías más utilizadas para la automatización de operaciones lo componen las innovaciones en estaciones de peajes

en movimiento y el cobro electrónico de peajes (telepeaje o Free-Flow) (Catalayud et al., 2022).

Figura 17: Principales tecnologías en Transporte carretero



Actualmente, el país modelo en la implementación de componentes de la industria 4.0 en Latinoamérica es Colombia. Según Kapsch TrafficCom, con sede en Viena y presencia en más de 25 países a través de filiales y sucursales, esta compañía se ha consolidado como un referente internacional en soluciones de transporte inteligente y sistemas de peaje, con proyectos exitosos en más de 50 países. En cuanto a Colombia, destaca que el sistema Colpass, diseñado para la interoperabilidad de peajes mediante recaudo electrónico vehicular, está operando de manera óptima. Según Portafolio 30 (2023), el funcionamiento del sistema Free Flow o telepeaje funciona de manera eficiente gracias a un sensor especializado capaz de detectar y clasificar vehículos con un alcance de 30 metros (15 metros antes y 15 metros después del pórtico). Este sensor garantiza una identificación precisa de los vehículos, incluso en condiciones de tráfico intenso, siempre que cumplan con parámetros técnicos como llevar los dispositivos en condiciones óptimas y mantener las placas visibles. Esto brinda tranquilidad tanto a las concesionarias como a las autoridades que implementan este sistema por primera vez, ya que minimiza el riesgo de pérdida de ingresos y asegura su protección en un entorno sin barreras físicas.

Asimismo, se destaca una de las primeras carreteras inteligentes optimizadas en Colombia. El proyecto es la Carretera inteligente de Cundinamarca. Inicialmente, se detectó un alto flujo vehicular en el tramo del corredor vial Chía - Cota - Funza, que conecta el sur con

la ciudad de Bogotá. Asimismo, se presentaban problemas para la operación en esta concesión vial debido a los recursos limitados de comunicación en la vía, información al usuario y coordinación para una respuesta eficiente a los incidentes. Además, los largos tiempos de desplazamiento tenían un impacto en la competitividad de la región y la calidad de vida de sus habitantes (SKG Tecnología, s/f). En consecuencia, se implementó la plataforma Helios para tener una operación centralizada en donde se han desarrollado sensores que monitorean el tráfico y aplicaciones móviles que se conectan a los vehículos y las carreteras. Esta conexión es un ejemplo más de la conectividad que mencionan los expertos y que respalda el concepto de internet de las cosas (Nutibara, s/f).



CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO

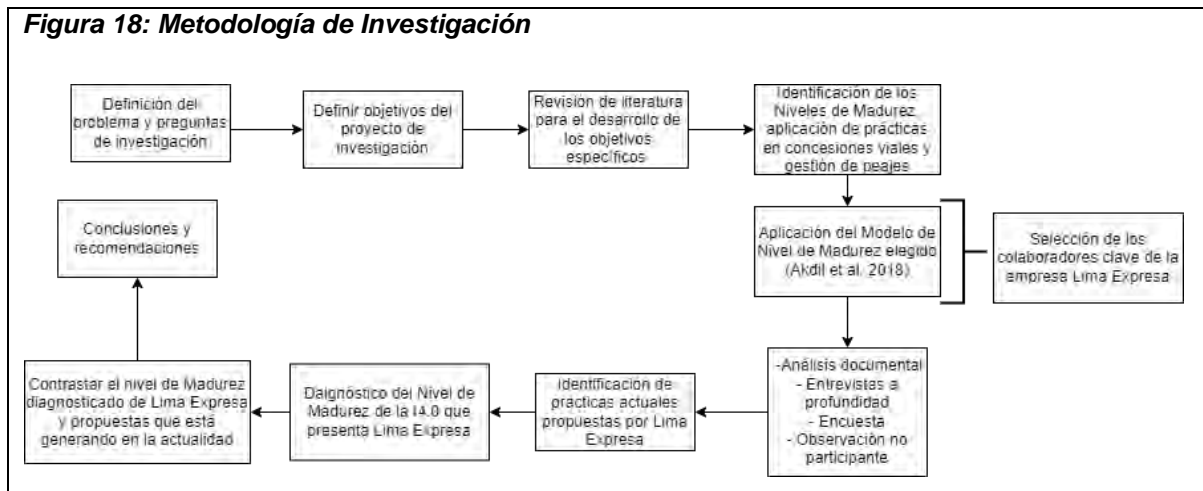
En este capítulo se detalla el procedimiento utilizado para el desarrollo de la metodología aplicada en la investigación. En primer lugar, se expone el diseño metodológico, que incluye la definición del alcance, enfoque y tipo de investigación. A continuación, se describen y justifican los criterios empleados para la selección de la muestra, así como la unidad de observación, la población objetivo y el tamaño de la muestra. Para concluir, se presentan las herramientas utilizadas para la recolección de datos y el análisis de la información en el marco de este estudio.

1. Metodología

La metodología para emplear para el desarrollo del trabajo de investigación consiste en cinco etapas. En primera instancia, el estudio cuantitativo consiste en una revisión preliminar de la literatura que aborda las principales bases de datos y revistas científicas que se especializan en industria 4.0, modelos de madurez, aplicación de prácticas en concesiones viales y gestión de peajes. Los resultados de la búsqueda indicaron que solo una pequeña cantidad de estudios relevantes abordaron el tema de Industria 4.0 en el contexto específico de las empresas de concesión vial en el sector peruano. Asimismo, se pudieron identificar una considerable cantidad de modelos para medir el nivel de madurez de la Industria 4.0 en empresas en varios sectores organizacionales. Todos ellos fueron identificados utilizando bases científicas convencionales como Emerald, Scopus y Sciencedirect, así como manuscritos de revistas especializadas en el tema.

De esa manera, la metodología de investigación se basa en la definición del problema y preguntas de investigación. Seguidamente de la definición de objetivos del proyecto de investigación; y con ello, la revisión de esta para el desarrollo de los objetivos específicos. Posteriormente, se realizaron se identificaron los Niveles de Madurez, de acuerdo con la aplicación de prácticas en las concesiones viales y gestión de peajes. Por lo que se obtuvo como resultado y modelo elegido, la aplicación del Nivel de Madurez propuesto por el autor Akdil et al. (2018); además, se realizó la selección de los colaboradores claves de Lima Expressa S.A.C. en línea con el modelo de cuestionario. Así pues, mediante el análisis documental, entrevistas a profundidad, cuestionario y observación de tipo no participante, se identifican las prácticas actuales propuestas por Lima Expressa. Luego, se contrastará el nivel de madurez diagnosticado de Lima Expressa S.A.C y las propuestas que la empresa viene generando, para identificar si su nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expressa S.A.C le permite la adopción de sus prácticas planteadas. Y finalmente, se realizan las conclusiones y recomendaciones para mejorar el nivel de madurez actual de la empresa en la adopción de la Industria 4.0.

Figura 18: Metodología de Investigación



2. Alcance de la investigación

De acuerdo con el estudio realizado por Dankhe (como se citó en Hernández et al., 2010) la clasificación del alcance de investigación se divide en cuatro: exploratorio, descriptivo, correlacional y causal. En este sentido, la presente investigación emplea un alcance de tipo descriptivo, debido a que los estudios de este tipo “pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre las variables a las que se refieren [...] Es decir, muestran con precisión los ángulos o dimensiones de los fenómenos, sucesos, comunidad, contexto o situación” (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

En consecuencia, en la presente investigación se basa en la identificación del nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C, y si permite la adopción de sus estrategias propuestas por la empresa.

3. Enfoque de la investigación

La presente investigación cuenta con un enfoque mixto. Dicho enfoque, como menciona Otero (2018, p.19), se describe de la siguiente manera.

[...] la investigación mixta no tiene como meta reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales. El proceso de investigación mixto implica una recolección, análisis e interpretación de datos cualitativos y cuantitativos que el investigador haya considerado necesarios para su estudio. Este método representa un proceso sistemático, empírico y crítico de la investigación, en donde la visión objetiva de la investigación cuantitativa y la visión subjetiva de la investigación cualitativa pueden fusionarse para dar respuesta a problemas humanos. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

De esa manera, dicho enfoque permitirá diagnosticar el nivel de madurez de la Industria 4.0 en Lima Expresa SAC, a través de la aplicación del modelo propuesto por Akdil et al. (2018). Asimismo, según lo explicado en la metodología, las herramientas utilizadas para el presente

estudio corresponden al tipo de enfoque mixto, debido a que a través de las entrevistas y posteriormente aplicados de acuerdo al modelo presentado, análisis documental, observación de tipo no participante y revisión de literatura se buscará interpretar y analizar cómo sucede el fenómeno en estudio, el cual consiste en identificar si el nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias propuestas por la empresa.

4. Estrategia general de la investigación

De acuerdo con Pasco & Ponce (2014), el investigador debe determinar la estrategia general de investigación más adecuada. Entre las estrategias más comunes se encuentran el experimento, el estudio tipo encuesta, el estudio de caso, la etnografía y la investigación-acción. Para el presente trabajo, se ha decidido emplear el estudio de caso como estrategia principal de investigación. Este enfoque metodológico se centra en lograr una comprensión profunda y detallada de un fenómeno específico, conocido como la unidad de análisis, dentro de su contexto natural. A diferencia de otras estrategias que pueden observar los elementos de forma aislada, el estudio de caso permite examinar cómo interactúan el fenómeno y su entorno, considerando las múltiples variables y particularidades que pueden influir en su desarrollo.

5. Horizonte temporal de la investigación

En el presente apartado, se explica el horizonte temporal que será utilizado como referencia por la presente investigación. De acuerdo con estudios sobre el horizonte temporal, las investigaciones se clasifican en transversales y longitudinales. Según Pasco & Ponce (2014), los estudios transversales se caracterizan por la recolección de datos en un solo momento o período de tiempo, lo que permite obtener una visión instantánea de los fenómenos en estudio. Esta metodología se distingue de los estudios longitudinales, en los cuales los datos se recogen en varios momentos a lo largo del tiempo, siguiendo una secuencia o patrón específico para observar cambios y tendencias a lo largo del tiempo. Así, en el caso de la presente investigación, se ha optado por un enfoque de tipo transversal, dado que la recolección de información se realizará en un periodo determinado y único, sin extenderse a lo largo de varios intervalos temporales. Este enfoque permitirá analizar el fenómeno en cuestión en un contexto puntual y preciso, facilitando un análisis claro y directo de la situación en el momento de la recopilación de datos.

6. Selección muestral

La selección muestral de la investigación se describe como la identificación de "colección de algunos elementos de la población, no de todo" (Levin y Rubin, 2004). Dentro de las diferentes formas de selección muestral, está el muestreo de juicio o no aleatorio que "emplea el conocimiento y la opinión para identificar a los elementos de la población que deben

incluirse en la muestra. Además, se basa en la experiencia de alguien con la población” (Levin & Rubin, 2004).

En este sentido, la presente investigación posee un tipo de selección muestral de juicio, ya que realiza encuestas al personal experto, en función a la disponibilidad, grado de impacto, función y expertise, serán seleccionados los directivos y/o otros colaboradores implicados en la gestión operativa y estratégica de Lima Expresa SAC. Así pues, debido a que estos criterios son seleccionados por los presentes investigadores de este estudio, la muestra es generada de juicio o no aleatorio.

De esta manera, el presente estudio cuenta con la colaboración de tres colaboradores estratégicos de Lima Expresa SAC para sustentar la observación participante de los investigadores respecto a la aplicación del modelo elegido de Akdil et al. (2018) a través del desarrollo del cuestionario de 65 preguntas propuesto por los autores. Los colaboradores Francisco Chenguayén (Gerente de Operaciones), Roberto Huaro (Jefe de Tecnología e Información) y Javier León (Gerente de Tecnología, Procesos e Innovación), posibilitaron el desarrollo del cuestionario del modelo según el siguiente detalle:

Tabla 12: Distribución de entrevistas según el cuestionario del modelo

Dimensiones	Campos asociados	Preguntas	Gerentes Responsables
Productos y Servicios Inteligentes	-	1-4	- Francisco Chenguayén
Procesos comerciales inteligentes	Producción, Logística y Adquisiciones	1-10	- Francisco Chenguayén
	I+D: Desarrollo de servicios	1-5	- Francisco Chenguayén - Javier León - Roberto Huaro
	Servicio posventa	1-3	- Francisco Chenguayén
	Precio/ Promoción	1-5	- Francisco Chenguayén
	Canales de Venta y Distribución de Procesos de Negocio Inteligentes	1-7	- Francisco Chenguayén
	Recursos Humanos	1-3	- Francisco Chenguayén
	Tecnología de la información de procesos de negocio inteligentes	1-4	- Javier León - Roberto Huaro
	Finanzas Inteligentes	1-5	- Francisco Chenguayén

Dimensiones	Campos asociados	Preguntas	Gerentes Responsables
Estrategia y Organización	Modelos de negocio	1-5	- Francisco Chenguayén
	Asociaciones estratégicas	1-3	- Francisco Chenguayén - Javier León
	Inversiones en tecnología	1-4	- Francisco Chenguayén - Javier León - Roberto Huaro
	Estructura organizacional y liderazgo	1-10	- Francisco Chenguayén - Javier León

7. Técnicas de recolección de información

Las técnicas de recolección de información permiten al investigador obtener la información necesaria para validar la hipótesis planteada y cumplir con los objetivos de la investigación. Para esta investigación, se utilizarán técnicas que permitan obtener información que sea necesaria según el enfoque. Además, estas técnicas de recolección de información permiten comprender y profundizar el fenómeno a investigar, ya que "no siempre los investigadores tienen un conocimiento profundo sobre aquellas condiciones y circunstancias del contexto organizacional que pueden facilitar o dificultar metodológicamente la investigación" (Pasco & Ponce, 2014).

Para el presente estudio, se utilizarán principalmente la encuesta por el cuestionario del modelo de investigación elegido, el análisis documental y observaciones para recopilar información.

7.1. Análisis documental

Esta técnica recopila información a través de la revisión de literatura sobre fuentes de información primarias, secundarias o terciarias. Además, se recopilaron datos relacionados con los principales indicadores de desempeño, información de datos de la empresa que añaden valor agregado a la presente investigación (Pasco & Ponce, 2014).

7.2. Entrevistas a profundidad

"Una conversación extensa entre el investigador y el entrevistado con el fin de recabar información detallada sobre un tema específico" es la definición de una entrevista individual a profundidad (Pasco & Ponce, 2015). Asimismo, las entrevistas se pueden clasificar en estructuradas, semiestructuradas y abiertas (Grinnell & Unrau, 1997, citado en Hernández et al., 2010).

Para esta investigación, se utilizarán entrevistas individuales a profundidad semiestructuradas dirigidas a directivos y/o otros colaboradores de Lima Expresa S.A.C. Este

tipo de entrevistas, mediante una guía de preguntas semiestructurada, permite a los entrevistadores tener la libertad de agregar preguntas adicionales para profundizar la información que se desea en el momento de la entrevista (Hernández et al., 2010).

7.3. Encuesta

El instrumento que suele utilizar esta técnica es el cuestionario. Dicho instrumento se caracteriza por la inclusión de preguntas con categorías de respuesta cerradas, en las cuales se suele proporcionar al encuestado un número limitado de alternativas de respuesta para que señale cuáles reflejan mejor su respuesta (aunque también puede haber preguntas abiertas, especialmente, cuando el investigador conoce poco del tema). También es usual la inclusión de escalas de medición de actitudes, en las cuales se presenta un conjunto de ítems, con un número uniforme de categorías de respuesta, para medir la reacción del encuestado sobre un tema en particular (Pasco & Ponce, 2014).

7.4. Observaciones

Esta técnica "consiste en la obtención minuciosa y directa de información sobre la realidad organizacional investigada", según Pasco & Ponce (2014). Además, según Hernández et al. (2010), "consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías".

Para la presente investigación se utilizará la observación de tipo no participante. "En una observación no participante, el investigador recolecta información sin involucrarse activamente en la realidad estudiada, tratando de mantener cierta distancia respecto de los actores estudiados a fin de no influir en sus acciones", afirman Pasco & Ponce (2014).

8. Ética en la Gestión

Para la presente investigación se obtuvo el consentimiento firmado por parte de los representantes de la empresa de concesión vial en estudio: Lima Expresa S.A.C. En este sentido, la organización se encuentra informada respecto a la actual investigación en curso, cuyos conocimientos obtenidos serán utilizados con fines académicos. Además, al finalizar la investigación el trabajo de estudio será entregado a la organización con la finalidad de que éste sea incorporado a sus expedientes confidenciales de investigaciones realizadas y/o trabajos de tesis.

CAPÍTULO 5: HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se explican los resultados obtenidos en relación con los niveles de madurez de la Industria 4.0 de Lima Expresa SAC de forma global y por dimensión según el modelo elegido: Akdil et al., 2018. Asimismo, se presentan los argumentos del nivel obtenido a partir de las prácticas actuales que ejecuta Lima Expresa S.A.C en búsqueda de una adopción de Industria 4.0.

1. Análisis de la dimensión de Productos y Servicios Inteligentes

Según la aplicación y cálculo del MM I4.0 de Akdil et al. (2018), a través de la siguiente tabla.

Tabla 13: Puntuación de Madurez de Productos y servicios Inteligentes en Lima Expresa S.A.C

N° de preguntas	Puntaje Productos y Servicios Inteligentes
1	3,0
2	3,0
3	3,0
4	3,0
Puntaje de Madurez	3,0

Así pues, se identifica que en la dimensión de Productos y Servicios Inteligentes se obtuvo un puntaje de 3, el cual, según los niveles de valores límites compartidos en la Tabla 11 del Marco Conceptual, corresponde al Nivel 3 de la escala de madurez: Madurez. Esto quiere decir que Lima Expresa S.A.C posee un nivel de madurez elevado en esta dimensión como organización. Se lograron validar la identificación de los parámetros identificados para esta dimensión compartido por los autores del modelo, según el Anexo G, a través de las siguientes prácticas y gestiones que ejecuta Lima Expresa S.A.C, las cuales fueron compartidas por el Gerente de Operaciones, Francisco Chenguayén.

Actualmente, según el Gerente de Operaciones de Lima Expresa lleva a cabo un **monitoreo constante del medio ambiente** con la misión de reducir niveles de emisiones, residuos y agua en línea a lo que busca la concesión. Adicionalmente, la empresa maneja todos sus **sistemas de información** en la nube los cuales permiten la generación de reporte integrales en diferentes Dashboards de seguimiento en Power BI y otros softwares. Por el lado de la **gestión de comunicación**, la empresa a través de sus centros de operaciones genera comunicación integral a los colaboradores internos y externos sobre todo lo que sucede en gestión de Lima Expresa. Esto suele realizarse por sus redes sociales, WhatsApp y Waze en caso de incidentes en las vías. En esta misma línea, la empresa de concesión vial también cuenta con su propio aplicativo móvil, LIMA EXPRESA, que permite realizar diferentes tipos de

acciones: operaciones (estadísticas de la vía, incidentes, etc.), recursos humanos (envíos de información, etc.), entre otras acciones. (Chenguayén, 2024)

En relación al manejo y alcance de data, según Francisco Chenguayén (2024), Lima Expressa cuenta con un nivel completo debido a que siempre se partir de un buen análisis de data para mejorar el servicio que se ofrece. Por el lado descriptivo, le permite a la empresa conocer el problema a profundidad y tomar acciones correctivas y estratégicas para las situaciones que se presenten. Por el lado predictivo, actualmente, la concesión cuenta con una inteligencia artificial que les permite identificar en qué momentos podrían llegar a suceder accidentes en la vía, entre otras situaciones, como, por ejemplo, alertar en qué mes se deberían realizar mantenimientos a las luces de la vía, cambios del asfalto, etc.

Asimismo, el Gerente de Operaciones comenta que en Lima Expressa consideran que todo tiene **trazabilidad para el seguimiento de todos sus procesos** desde que el operador llega al turno, realiza los cobros, cierra el día y fin de turno, hasta los procesos Core del negocio: Mantenimiento de las vías, cobro de peajes y mantenimiento vial. En este sentido, la empresa en todo momento conoce quiénes han llevado a cabo las operaciones, gastos relacionados, avances e incidencias que pueden haber surgido durante sus gestiones. (Chenguayén, 2024)

Finalmente, **respecto al nivel de impacto de la información compartida**, Lima Expressa ofrece los datos de información recopilados a los siguientes **niveles de stakeholders**. Por un lado, a su cliente principal, según contrato, la Municipalidad de Lima comparte Informe Mensual de Operaciones, Informe Mensual de Mantenimiento, Informe de Gestión de Accidentes, entre otros. Por otro lado, a sus clientes Core, conductores que transitan por nuestras vías a los que se les brinda el servicio, se le comparte información sobre las tarifas actualizadas, modificaciones en el servicio o incidencias en la vía por el panel de mensajes y/o Waze. En este sentido, para ambos entes, la empresa brinda la información correspondiente según su necesidad. Finalmente, en el caso de los socios y otros entes, se suele compartir los Reportes de la Concesión, Reporte de Sostenibilidad, entre otros.; es decir, la empresa tiene mapeado a qué stakeholders se debe enviar qué información y con qué frecuencia. (Chenguayén, 2024)

2. Análisis de la dimensión de Procesos de Negocio Inteligentes

Según la aplicación y cálculo del MM I4.0 de Akdil et al. (2018), a través de la siguiente tabla, se identifica que en la dimensión de Productos y Servicios Inteligentes.

Tabla 14: Puntuación de Procesos de Negocio Inteligentes en Lima Expressa S.A.C

Puntaje								
Nº de pregunta	Producción, Logística y Adquisiciones	I+D: Desarrollo de servicios	Servicio posventa	Precio/ Promoción	Canales de Venta y Distribución de Procesos de Negocio Inteligentes	Recursos Humanos	Tecnología de la información de procesos de negocio inteligentes	Finanzas Inteligentes
1	2,6	2,0	0,3	0,4	1,0	2,7	1,0	3,0
2	2,0	3,0	0,5	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0
3	1,2	0,0	3,0	3,0	0,0	3,0	3,0	3,0
4	0,0	3,0		3,0	2,0		3,0	2,3
5	2,6	3,0		3,0	1,0			1,3
6	2,5				1,0			
7	0,6				3,0			
8	2,0							
9	3,0							
10	1,0							
Asociado (Puntuación del Campo)	1,8	2,2	1,3	1,9	1,6	2,9	2,5	2,5
Puntaje de Madurez	2,1							

Se obtuvo un puntaje de 2.1, el cual, según los niveles de valores límites compartidos en la Tabla 11 del Marco Conceptual, corresponde al Nivel 2 de la escala de madurez: Supervivencia. Esto quiere decir que Lima Expresa S.A.C posee un nivel de madurez medio-alto en esta dimensión como organización. Se lograron validar la identificación de los parámetros identificados para esta dimensión compartido por los autores del modelo, según el **anexo B**, a través de las siguientes prácticas y gestiones que ejecuta Lima Expresa S.A.C, las cuales fueron compartidas por el Gerente de Operaciones, Francisco Chenguayén, el Jefe de Tecnología e Información, Roberto Huaro, y el Gerente de Tecnología, Procesos e Innovación, Javier León.

En relación con la **producción del servicio, logística y adquisiciones** de Lima Expresa, Francisco Chenguayén comparte los siguientes puntos:

Algunos sistemas e interfaces que utiliza Lima Expresa SAC son cuatro actualmente. En primer lugar, como sistema de planificación de recursos empresariales (ERP), la empresa cuenta con software de SAP para gestionar el plan de pagos para el cumplimiento de planilla, bancos, entre otros. En segundo lugar, como sistema de gestión de datos de servicios (PDM), la empresa cuenta con el software Telectrónica que recibe la información del ayer a partir de los tránsitos ejecutados. En tercer lugar, como sistema de planificación de la producción, Lima Expresa cuenta con su software T-Tracer para gestionar la información de Google. Este le brinda información como el tamaño de cola en los peajes, cantidad de vehículos que pasan en la vía, tiempos de recorrido, etc.; así pues, esto les permite programar su capacidad operativa: cuántas casetas abiertas para la demanda, etc. Finalmente, como sistema de adquisición de datos para el servicio (PDA), se muestra la aplicabilidad misma de los softwares anteriormente mencionados.

Lima Expresa cuenta con un diseño del **flujo para que la gestión con los proveedores y clientes estratégicos** sea eficiente mediante algunos softwares, pero todavía no es un proceso integrado como tal por la delimitación y seguridad de la información. (Chenguayén, 2024)

Respecto a la automatización de procesos, además del mantenimiento de la vía, el nivel de automatización en el cobro de peajes se cuenta con que, del cien por ciento de las transacciones, el 25% son de forma automática mediante sticker de reconocimiento en los vehículos. El otro 75% todavía requiere de cobros manuales a través de una persona (Chenguayén, 2024). En consecuencia, el Gerente de Operaciones comenta que esto genera desventaja, la cual es acrecentada por la falta de legislación para el pago de peaje electrónico. Y precisa que, si se lograra tener esta legislación, Lima Expresa podría incrementar el share en niveles de automatización para el cobro de peajes (Chenguayén, 2024).

Asimismo, en relación con **la información del servicio que puede recopilar** Lima Expresa, la empresa puede obtener números de transacciones, fallos y sus causas, eficiencia de cobro, utilización de la capacidad de las lectoras láser para el peaje automático mediante sticker, etc. Actualmente, se recopilan en un 20% manual y el resto se obtiene de manera automática (Chenguayén, 2024).

Adicionalmente, en Lima Expresa **los datos recopilados permiten realizar las siguientes acciones**: mantenimiento predictivo, optimización de procesos logísticos y productivos, creación de transparencia en todo el proceso de producción, gestión de la calidad y optimización del consumo de recursos. No obstante, la empresa todavía no cuenta con las herramientas que permitan un control automático del servicio mediante el uso de datos en tiempo real según lo comentado por el Gerente de Operaciones (Chenguayén, 2024).

El nivel de trazabilidad en tiempo real de la operación en el entorno digital sí es elevado para Lima Expresa SAC. La empresa tiene control y conocimiento de todo lo que pasa en la gestión de sus vías (Chenguayén, 2024).

En relación con la **investigación y desarrollo de nuevos servicios** de Lima Expresa, Francisco Chenguayén precisa que la empresa lleva a cabo escenarios de verificación utilizando el T-TRACER para adaptar su capacidad operativa según la demanda prevista. Estos datos recopilados se emplean para diseñar planes de implementación que aumenten la capacidad operativa en los peajes y mejoren la calidad del servicio. Asimismo, la información de diseño del servicio se transfiere automáticamente a la máquina de control de Lima Expresa mediante sistemas CAD/CAM. Finalmente, respecto a la personalización del servicio, Lima Expresa proporciona a sus clientes diversas opciones de pago al momento de abonar el peaje y algunas posibilidades adicionales al momento de recibir ayudas de emergencia (Chenguayén, 2024).

Por otro lado, en relación con el servicio **postventa** de Lima Expresa, Francisco Chenguayén detalla que Lima Expresa adopta una postura más reactiva hacia sus clientes, aunque siempre se esfuerzan por garantizar calidad y ofrecer información detallada sobre sus servicios. Asimismo, en búsqueda de la agilidad para brindar este servicio, la empresa de

concesión vial utiliza chatbots para atención posventa como parte de sus herramientas digitales, incluyendo tecnologías móviles y de virtualización (Chenguayén, 2024).

De igual manera, respecto al **precio y promoción** que suele ofrecer Lima Expresa, el Gerente de Operaciones afirma que la empresa lleva a cabo estudios con Apoyo y Asociados para evaluar la satisfacción de los clientes respecto al servicio proporcionado. Asimismo, como empresa, precisa que los precios no son flexibles en términos de ajustes internos, sino que están determinados por el contrato de concesión y consideran variables externas como la inflación del país. Con respecto a las promociones que la empresa ofrece, se ejecutan campañas promocionales que ofrecen descuentos por el uso de PEX con ciertos medios de pago y especificaciones. El sistema PEX de la empresa se integra con SAP para registrar transacciones y datos de ingreso de clientes de empresas registradas, además de ser registrado en Telectrónica (Chenguayén, 2024).

Seguidamente, respecto a los **canales de venta y distribución de procesos de negocio inteligentes** de Lima Expresa, el Gerente Chenguayén precisa comenta que la empresa dispone de proveedores para analizar y gestionar los datos en redes sociales de Lima Expresa. Adicionalmente, la empresa ofrece soporte en las campañas realizadas en PEX. Y, actualmente, se realizan análisis de rentabilidad en tiempo real proporcionados por la central de la concesionaria en Francia. Además, existen sistemas de medición de desempeño para los colaboradores clave del negocio, aunque estos no operan en tiempo real (Chenguayén, 2024).

Del mismo modo, respecto a nivel de apartado de **recursos humanos** de Lima Expresa, Francisco Chenguayén expone lo siguiente, la empresa realiza análisis de datos utilizados por las capacidades, gestión de talento, adquisición de competencias, rotación de empleados, cultura, canal de contratación, temas de liderazgo y desempeño de empleados. Con ello, los empleados tienen acceso a los datos a tiempo real en el campo, debido a la magnitud de información que requiere la empresa. Esto, por ejemplo, mediante las cámaras de video tienen conocimiento lo que sucede en la concesión. Finalmente, si se puede realizar formación o inducción de los empleos en un entorno virtual, debido a que el primer día de inducción se recibe información de la empresa y los temas importantes del área de Seguridad y Salud en el Trabajo (Chenguayén, 2024).

Asimismo, respecto al nivel de **tecnología de la información de procesos de negocio inteligentes** de Lima Expresa, Javier León y Roberto Huaro comparten los siguientes puntos:

La seguridad de la empresa se divide en la ciberseguridad, que el grupo Vinci promociona cuatro herramientas, y la seguridad en la información, con el equipo de Legal se han realizado programas para poder tener seguridad en los contratos u otros. Por el momento, se está realizando la seguridad de los datos a través de servicios en la nube como solución

implementada. Dentro de las áreas de la empresa, se utilizan servicios en la nube por medio dealmacenamiento de datos; con ello, se tienen políticas de protección de datos personales que serigen por una ley. Asimismo, la empresa se encuentra a un 95% de migrar todos los sistemas ala nube, excepto Telectrónica por los temas de configuración del sistema del mismo proveedor.Por otro lado, la empresa utiliza paneles de control para la trazabilidad de los procesos de la empresa por medio del SAP que tiene configuraciones de Dashboard que brindan recursos más inteligentes. Finalmente, la infraestructura del equipo es de interoperabilidad, ya que genera la posibilidad de integración y colaboración con otros sistemas.

Finalmente, respecto a la gestión de **finanzas inteligentes** de Lima Expresa, el GerenteFrancisco Chenguayén precisa que, a nivel general, la información está disponible a tiempo real por el programa Telectrónica que se actualiza en cada tránsito. Sin embargo, se realiza la consolidación de la información a fin de mes, pero si se pudiera realizar de manera diaria. De esa manera, se realiza el análisis de flujo de caja y las inversiones. Por el momento, se realizan lasproyecciones, flujos de caja, medición del riesgo financiero por medio de un Power BI, pero seestá realizando actualizaciones de programas (Chenguayén, 2024).

3. Análisis de la dimensión de Estrategia y Organización

Tabla 15: Puntuación de Estrategia y Organización en Lima Expresa S.A.C

N° de pregunta	Puntaje			
	Modelos de negocio	Asociaciones estratégicas	Inversiones en tecnología	Estructura organizacional y liderazgo
1	3,0	1,2	1,2	3,0
2	0,0	3,0	2,3	3,0
3	3,0	0,7	0,0	3,0
4	0,0		2,7	1,3
5	3,0			3,0
6				0,7
7				3,0
8				3,0
9				3,0
10				3,0
Asociado (Puntuación del Campo)	1,8	1,6	1,5	2,6
Puntaje de Madurez	1,9			

Según la aplicación y cálculo del MM I4.0 de Akdil et al. (2018), a través de la Tabla 15, se identifica que la dimensión de Productos y Servicios Inteligentes se obtuvo un puntaje

de 1.9, el cual, según los niveles de valores límites compartidos en la Tabla 11 del Marco Conceptual, corresponde al Nivel 2 de la escala de madurez: Supervivencia. Esto quiere decir que Lima Expresa S.A.C posee un nivel de madurez medio-bajo en esta dimensión como organización. Se lograron validar la identificación de los parámetros identificados para esta dimensión compartido por los autores del modelo, según el Anexo G, a través de las siguientes prácticas y gestiones que ejecuta Lima Expresa S.AC, las cuales fueron compartidas por el Gerente de Operaciones, Francisco Chenguayén, el Jefe de Tecnología e Información, RobertoHuaró, y el Gerente de Tecnología, Procesos e Innovación, Javier León.

De acuerdo con lo conversado con el Gerente de Operaciones, Francisco Chenguayén y Gerente de Tecnología, Procesos e Innovación, Javier León, en la actualidad Lima Expresa cuenta con **modelos de negocio** digitales de innovación, tales como el proyecto de Caseta Automática (véase en el Capítulo 3) y el servicio de PEX; asimismo, las evaluaciones monetizadas basados en datos que realiza la empresa es mayor al 10%, debido a uso y manejo digital de proyectos innovadores.

En relación con las **asociaciones estratégicas**, Lima Expresa realiza proyectos de Industria 4.0 con proveedores académicos, debido al desarrollo de prototipos que realizó una universidad en conjunto con el directorio y la gerencia de Tecnología, Procesos e Innovación, y también con proveedores de tecnología, tanto nacionales como internacionales. Como menciona Javier León (2024), nacionales porque el gobierno apoyó con financiamiento para implementar mayor uso de tecnología e internacionales por el convenio con Microsoft, entre otros. Dicho esto, menciona que Lima Expresa se encuentra en un estado de implementación de su estrategia Industria 4.0; esto se debe a que se utilizan IoT o Internet de las cosas, MachineLearning, para la actualización de Dashboards de las áreas de tráfico y finanzas.

Lima Expresa cuenta con **inversiones en tecnología** como el almacenamiento en la nube, datos, ciberseguridad, sensores, tecnologías móviles, entre otros. Asimismo, la empresa utiliza tecnología de vanguardia y continúa en una inversión en productos, como mejoramiento del IoT, video analítica, data fusion, Google Analytics, Digital Twins, entre otros. Por consiguiente, el análisis de coste/ beneficio se realiza de manera mensual, ya que todos los meses se verifica el presupuesto para realizar inversión en tecnología y realizar mejoras en toda la concesión. De esa manera, el área de tecnología ha invertido y realizado proyectos con todas las áreas; no obstante, el área con mayor cantidad de proyectos realizados y planificados es el área de Operaciones.

Finalmente, respecto a la **estructura organizacional y liderazgo**, el Gerente de Operaciones, Francisco Chenguayén y el Gerente de Tecnología, Procesos e Innovación, Javier León mencionan que si existe una interdisciplina en cuanto a la ejecución de proyectos. Además, de la existencia de una unidad de negocio para mantener una constante comunicación con los clientes. Por otro lado, la empresa cuenta con un área de Tecnología,

Procesos e Innovación con varios años de experiencia y formación con cada subárea, de las cuales son Innovación, Procesos, Arquitectura de Tecnología; de esa manera, el área realiza “Hackatones” con el fin que todos los colaboradores de la empresa tengan conocimientos de las herramientas que están a su alcance y no se realizan en su día a día, debido a la falta de conocimientos en su totalidad de estas. Por otro lado, los directivos de Lima Expresa mantienen un constante apoyo a la Industria 4.0 tanto dentro del equipo de liderazgo como en todo el negocio, ya que la comunicación de los colaboradores con el equipo de liderazgo es descentralizada, es decir, las iniciativas pueden ser realizadas por diversas áreas y posteriormente es aprobado por el área de Tecnología, Procesos e Innovación.

4. Diagnóstico del nivel de madurez de la Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C

Tabla 16: Puntuación de Madurez de y tabla de niveles para cada dimensión/subdimensión de una empresa

Dimensión/Subdimensión	Nivel de madurez	Puntuación de madurez
1. Producto y servicios inteligentes	Nivel 3: Madurez	3,0
2. Procesos de negocio inteligentes	Nivel 2: Supervivencia	2,1
2.1. Producción y operaciones inteligentes	Nivel 2: Supervivencia	2,0
2.2 Operaciones inteligentes de marketing y ventas	Nivel 1: Existencia	1,6
2.3. Operaciones de apoyo	Nivel 2: Supervivencia	2,4
3. Estrategia y organización	Nivel 2: Supervivencia	1,9

De acuerdo con todo lo mencionado, en la Tabla 16 se muestran los niveles de madurez presentados anteriormente por cada dimensión. Adicionalmente, también se muestran los niveles de las subdimensiones de Procesos de negocio Inteligentes. Finalmente, según el cálculo de las ecuaciones compartidas y consideraciones para medir el nivel de madurez general de la empresa según el modelo elegido (véase en la Figura 5 del Marco Conceptual), en el Anexo G, se exponen los niveles de madurez por cada dimensión de Lima Expresa S.A.C ubicados en un diagrama de radar. Asimismo, según las ecuaciones compartidas del modelo, el puntaje para medir el nivel de madurez general será determinado por el valor mínimo entre el puntaje obtenido de las tres dimensiones identificadas de la empresa, lo que implica que el puntaje a considerar sería 1.9 (Estrategia y Organización). En este sentido, en

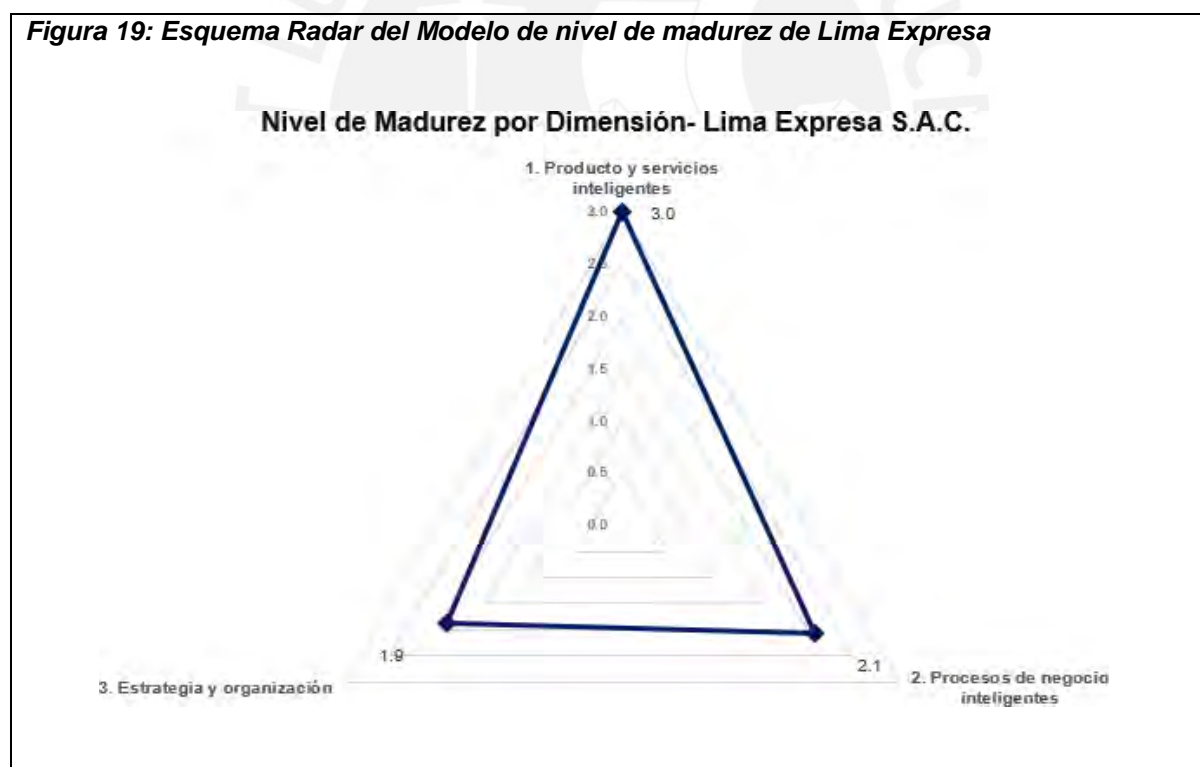
la Tabla 17, se determina que el nivel de madurez de I4.0 de Lima Expresa S.A.C está en el **nivel 2: Supervivencia**.

En consecuencia, según las implicancias de los niveles compartidas por los autores (Véase Tabla 10 en el Marco Conceptual) y en línea a las actuales prácticas que realiza Lima Expresa para desarrollar este enfoque de gestión, se colige que la empresa de concesión cuenta con un nivel de madurez donde los productos y/o servicios de la misma tienen la capacidad de gestionar datos en tiempo real y rastrearlos a través de varios sitios; además, la oferta de servicios basados en datos es de nivel medio. Y el liderazgo ha invertido en algunas áreas y está creando planes para reforzar la Industria 4.0

Tabla 17: Puntuación de Madurez de Lima Expresa S.A.C como empresa en general

En general	Nivel de madurez	Puntuación de madurez
Madurez de la empresa en general	Nivel 2: Supervivencia	1,9

Figura 19: Esquema Radar del Modelo de nivel de madurez de Lima Expresa



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se abordarán las conclusiones de la investigación, teniendo en cuenta los objetivos definidos en el primer capítulo. Además, en el segundo acápite se detallarán las recomendaciones para la organización

1. Conclusiones

Finalmente, es menester para la presente investigación, presentar las ideas finales claves que proporciona este estudio. En primer lugar, se determinó que en un entorno empresarial cada vez más competitivo y digitalizado, la adopción de la Industria 4.0 se ha convertido en una prioridad para las organizaciones que buscan mejorar su eficiencia operativa, reducir costos y ofrecer productos y servicios innovadores. En este sentido, la Industria 4.0 representa una oportunidad para generar ventajas competitivas sostenibles y adaptarse a los cambios del mercado de manera ágil y eficiente.

En segundo lugar, y a manera de consecuencia de lo mencionado, se determinó que para comprender cómo las empresas peruanas están adoptando y beneficiándose de las tecnologías digitales en sus operaciones, es fundamental realizar una investigación sobre el nivel de madurez de la Industria 4.0 en un sector poco explorado a nivel nacional, como las concesiones viales. En este sentido, se cumplió el objetivo de este estudio ya que la presente investigación otorga mayor conocimiento teórico y práctico sobre el nivel de madurez que presenta una empresa de un rubro poco explorado como la concesión de vial, las prácticas que ejecuta actualmente para desarrollar mayor adopción de la Industria 4.0 en el contexto nacional que terminó generando ciertas brechas de automatización en ciertos procesos por temas de legislación de leyes peruanas sobre el cobro de peajes.

En tercer lugar, la investigación ha permitido identificar varios modelos de madurez que miden el nivel de la adopción de la Industria 4.0 considerando diversos factores para ser aplicados: rubro de la empresa, tamaño, nivel de organización, estructura, etc. En este sentido, se determinó el modelo de nivel de madurez propuesto por Akdil et al. (2018) como el más adecuado para evaluar el nivel de madurez de la Industria 4.0 en Lima Expresa S.A.C. Este marco de referencia ha sido crucial para analizar y comparar el nivel de adopción de tecnologías digitales en la empresa con los parámetros establecidos del modelo para cada nivel de madurez.

En este sentido, como cuarta conclusión, se ha explicado que Lima Expresa S.A.C., como empresa líder en concesiones viales en el contexto peruano, ha implementado diferentes prácticas de integración de tecnologías digitales, pertenecientes al enfoque de gestión de la Industria 4.0, en sus procesos operativos y estratégicos, lo que ha contribuido a mejorar la eficiencia en sus operaciones, calidad de servicio y toma de decisiones predictivas.

Estas prácticas son fundamentales para seguir avanzando en la adopción de la Industria 4.0 en el sector de concesiones viales.

Finalmente, en línea con el objetivo general de la investigación, tras analizar los componentes esenciales de la Industria 4.0, aplicar el framework de modelo de diagnóstico de madurez de la I4.0 elegido, y explicar las prácticas implementadas por la empresa, se ha concluido que el nivel de madurez actual de Lima Expresa S.A.C. en la Industria 4.0 le permite seguir manteniendo sus estrategias y/o prácticas actuales con éxito. Sin embargo, considerando que la empresa desea seguir creciendo en la adopción de este enfoque, se recomienda continuar mejorando y actualizando sus prácticas para mantenerse competitivos en un entorno empresarial cada vez más digitalizado y demandante.

2. Recomendaciones

En esta sección, se presentan las recomendaciones para la empresa Lima Expresa en base a los resultados obtenidos sobre el Modelo de Nivel de Madurez por Akdil et al. (2018).

En relación con **la primera dimensión de Productos y Servicios Inteligentes**, se proponen dos recomendaciones importantes a considerar. En primer lugar, la empresa podría aprovechar al máximo la inteligencia artificial que ya está en uso para mejorar la predicción de accidentes y el mantenimiento de las vías. Esto requeriría la integración de más datos históricos y en tiempo real, así como el desarrollo de modelos de aprendizaje automático más avanzados que puedan identificar patrones y tendencias con mayor precisión. En esta misma línea, desarrollar capacidades de monitoreo y acción en tiempo real también sería ventajoso para mejorar la gestión del tráfico y la seguridad vial.

En segundo lugar, se recomienda aumentar la integración de sistemas y plataformas con el fin de lograr una gestión más integral. Lima Expresa tiene la capacidad de avanzar hacia una plataforma integrada que unifique todos los sistemas de información y comunicación que actualmente están en uso. Esto incluiría sistemas de monitoreo ambiental, gestión de operaciones y comunicación con los interesados. Para reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia general de la empresa, es esencial automatizar y optimizar procesos clave como la gestión de mantenimiento de vías, la atención al cliente a través de su aplicación móvil y la gestión de incidentes en tiempo real.

En relación con la segunda dimensión de **Procesos de Negocio Inteligentes**, se proponen dos recomendaciones. En primer lugar, se propone una implementación de plataformas de interacción y servicio al cliente basadas en inteligencia artificial. Lima Expresa S.A.C. podría desarrollar plataformas sofisticadas de interacción y servicio al cliente basadas en Inteligencia Artificial (IA) para avanzar en su madurez en la Industria 4.0. Actualmente, están utilizando chatbots para atención posventa, pero la empresa podría mejorar estos sistemas con IA para ofrecer respuestas más precisas y personalizadas mediante la integración de capacidades de aprendizaje automático y procesamiento de lenguaje natural.

Además, mediante el uso de IA para analizar datos históricos y en tiempo real sobre el comportamiento de los usuarios, permitiría anticipar sus necesidades y ofrecer recomendaciones personalizadas sobre las mejores rutas y servicios podría realizarse.

En segundo lugar, se podría visibilizar una implementación de plataformas integradas de IoT y analítica avanzada. Actualmente, Lima Expresa ya recopila datos importantes sobre el mantenimiento de la vía, la eficiencia del peaje y el tráfico. Para avanzar hacia niveles superiores de madurez, se podría considerar la implementación de una plataforma integrada de Internet de las cosas (IoT) que permita recopilar datos en tiempo real desde sensores instalados en la infraestructura vial. Estos datos podrían alimentar sistemas de analítica avanzados, como herramientas de aprendizaje automático y análisis predictivo (Machine Learning), para mejorar

la planificación operativa, prever las necesidades de mantenimiento y optimizar la gestión del tráfico. La integración de estos sistemas con sus herramientas actuales, como SAP y Telectrónica, permitiría una visión más completa y una toma de decisiones cada vez más informada y predictiva.

Finalmente, en relación con la tercera dimensión de **Estrategia y Organización**, se proponen dos recomendaciones. Como primera instancia, para una empresa como es Lima Expresa y con la magnitud de operatividad que maneja en su día a día, debe implementar infraestructura inteligente y analítica de datos. Esto incluye el uso de mayor cantidad de sensores de IoT para el monitoreo del estado de las carreteras en tiempo real y el mantenimiento correspondiente. Asimismo, aprovechar el análisis de datos (BigData) que requiere el sistema de Telectrónica para la mejora de toma de decisiones y predicción de futuros accidentes.

Como segunda instancia, es adoptar tecnologías de realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR) para la capacidad y simulación que requiere la empresa. Estas simulaciones de VR pueden ayudar con la planificación y diseño de proyectos de construcción, permitiendo visualizar y optimizar las obras antes de su ejecución real, esto ayudará a la reducción de errores y costos de la empresa.

REFERENCIAS

- Abertis (s/f). Inicio - Juntos movemos el mundo. Recuperado de <https://www.abertis.com/inicio/>
- Abertis (12 de abril de 2023). Abertis Mobility Services (AMS) desarrolla una nueva solución de peaje satelital para promover el transporte público y la movilidad activa. Recuperado de <https://www.abertis.com/news/abertis-mobility-services-ams-desarrolla-una-nueva-solucion-de-peaje-satelital-para-promover-el-transporte-publico-y-la-movilidad-activa/>
- Abertis (10 de octubre de 2023). La filial de Abertis, Emovis, premio a la innovación por su sistema de cobro de peajes. Recuperado de <https://www.abertis.com/noticias/la-filial-de-abertis-emovis-premio-a-la-innovacion-por-su-sistema-de-cobro-de-peajes/>
- Akdil, K., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy* (pp. 61-94). Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4
- Andina. (s.f.). Conoce los peajes en Lima Metropolitana. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/interactivo-conoce-los-peajes-lima-metropolitana-428.aspx#:~:text=Lima%20Metropolitana%20cuenta%20con%2018%20peajes%20en%20sus%20principales%20carreteras.&text=To>
- Antony, J., Sony, M., & McDermott, O. (2023). Conceptualizing Industry 4.0 readiness model dimensions: an exploratory sequential mixed-method study. *The TQM Journal*, 35(2), 577-596. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2021-0180>
- Apoyo Consultoría (2022). Agenda Digital para el Perú 2024- 2026. Elaborado para la Sociedad de Comercio Exterior del Perú Apoyo Consultoría [Informe Final]. Recuperado de https://www.comexperu.org.pe/upload/articles/publicaciones/agenda_digital_2021_2026.pdf
- Argentina.gob.arg. (21 de septiembre de 2018). Un paso más hacia un peaje dinámico y sinbarreras. Noticias SAIJ 2015-2019. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/un-paso-mas-hacia-un-peaje-dinamico-y-sin-barreras#:~:text=La%20otra%20opci%C3%B3n%20para%20implementar,de%20una%20tarjeta%20de%20cr%C3%A9dito.>
- Asdecker, B., & Felch, V. (2018). Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. *Journal of Modelling in Management*, 13(4), 840-883. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2018-0042>
- Axxes (s/f). Datos de Vehículos y sociales. Recuperado de <https://axxes.fr/es/axxes-l-entreprise/>

- Backlund, F., Chronéer, D., & Sundqvist, E. (2014). Project Management Maturity Models – A Critical Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 837-846. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.094>
- Blanco, R. & otros (s/f). La Industria 4.0: El estado de la cuestión. *Economía Industrial*. Recuperado de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/406/BLANCO,%20FONTRODONA%20Y%20POVEDA.pdf>
- Bip Drive. (s.f.). Telepeaje Viat en Francia. Recuperado de <https://www.bipdrive.com/telepeaje-viat-francia/>
- Becker, D. et al. (2019). Industry 4.0 technologies basic network identification. *Scientometrics* 121. pp. 977–994. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-019-03216-7>
- Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing industry 4.0 principles. *Computers & industrial engineering*, 158, 107379. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835221002837>
- Carreteras. (s.f.). Conoce los megaproyectos viales que se entregarán en Colombia en 2023. Recuperado de <https://www.carreteras-pa.com/noticias/conoce-los-megaproyectos-viales-que-se-entregaran-en-colombia-en-2023/>.
- Castro Rodríguez, R., & Bernal Castro, H. (2019). Concesiones viales de cuarta generación (4G): una estimación de su impacto económico y social. Facultad de Economía, Universidad de los Andes.
- Challco, S y Salas, M. (2022). Propuesta de modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/23675/CHALLCO_ALBAN_SALAS_SALAZAR%202.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chenguayén, F. (2024). Entrevista para Tesis de Licenciatura. [Entrevista]
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2019). Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe. Estudios de Cepal.org. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44954/1/S1901011_es.pdf
- Dalenogare, L., Benitez, G., Ayala, N., & Frank, A. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of*

- Production Economics*, 204(1), 383-394. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- De Almeida, A., de Almeida, J., Costa, A., & de Almeida-Filho, A. (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 179-191. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.058>
- De Andrade, C., Gusmão, A., & Henriques, W. (2021). World Class Manufacturing performance measurement using a maturity model and the FlowSort method. *International Journal of Production Research*, 59(24), 7374-7389. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1970845>
- De Paula, W., Armellini, F., de Santa-Eulalia, L., & Thomasset-Laperrière, V. (2022). A framework for identifying and analysing industry 4.0 scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 192-207. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.002>
- Duffy, J. (2001). Maturity models. *Strategy & Leadership*, 29(6), 19-26. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/EUM00000000006530>
- Eadic (4 de mayo de 2017). El peaje free-flow llega a España. Recuperado de <https://eadic.com/blog/entrada/el-peaje-free-flow-llega-espana/>
- El Cronista. (s.f.). Fuerte aumento en peajes de rutas nacionales: ¿qué cambios regirán a partir del viernes? Recuperado de <https://www.cronista.com/informacion-gral/fuerte-aumento-en-peajes-de-rutas-nacionales-que-cambios-regiran-a-partir-del-viernes/>.
- Elhousseiny, H., & Crispim, J. (2024). A Review of Industry 4.0 Maturity Models: Theoretical Comparison in The Smart Manufacturing Sector. *Procedia Computer Science*, 232, 1869-1878. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.009>
- El Peruano. (s.f.). Obras en infraestructura superan los US\$230 millones. Recuperado de <https://elperuano.pe/noticia/211094-obras-en-infraestructura-superan-los-us-230-millns>.
- Epass 24 (s/f). Peajes en Suecia y Noruega. Recuperado de <https://www.epass24.com/es/pago-automatico/>
- Es Hora de Viajar. (9 de julio de 2023). La Vignette de Suiza: un imprescindible para conducir por el país. Recuperado de <https://eshoradeviajar.com/2023/07/09/la-vignette-de-suiza-un-imprescindible-para-conducir-por-el-pais/>
- European Commission (2015). Study on “State of the Art of Electronic Road Tolling”.
- Expansión (05 de septiembre de 2022). Abertis, Sacyr y ACS, entre las cinco mayores concesionarias del mundo. Recuperado de <https://www.expansion.com/empresas/inmobiliario/2022/09/05/6315e461468aebfe728b45aa.html>

- Expansión (8 de noviembre de 2017). Diez empresas que lideran la Industria 4.0. Expansión. Recuperado de <https://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2017/11/08/59f8a85922601d1b458b4618.html>
- Felch, V., Asdecker, B., & Sucky, E. (2019). Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice? *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 5165-e 5174. Recuperado de https://aisel.aisnet.org/hicss-52/in/digital_supply_chain/3/
- Frank, A., Dalenogare, L., & Ayala, N. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Ferrovial. (s.f.). Concessions. Recuperado de <https://www.ferrovial.com/en/resources/concessions/>
- Foro Suiza. (5 de agosto de 2023). Nueva E-Vignette para las autopistas suizas. Recuperado de <https://www.forosuiza.com/2023/08/05/nueva-e-vignette-para-las-autopistas-suizas/>
- Gajdzik, B. (2022). Frameworks of the Maturity Model for Industry 4.0 with Assessment of Maturity Levels on the Example of the Segment of Steel Enterprises in Poland. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(2), 77. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/joitmc8020077>
- Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119. Recuperado de <https://doi.org/10.3926/jiem.2073>
- García, B. (s/f). Industria 4.0. La cuarta revolución industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial Universitat Politècnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/165996/Garc%C3%ADa%20-%20Industria%204.0.%20La%20cuarta%20revoluc%C3%B3n%20industrial.pdf?sequence=1>
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. *PricewaterhouseCoopers, Múnich*. Recuperado de <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H. & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/338646258_The_impact_of_Industry_40_implementation_on_supply_chains

- Gao, S., Jiang, H., Zhao, Z. & Chen, H. (2020). Competition of technology standards in Industry 4.0: An innovation ecosystem perspective. Special Issue: Industry 4.0. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/sres.2718>
- Gerhátová, Z., Zitrický, V., & Klapita, V. (2021). Industry 4.0 Implementation Options in Railway Transport. *Transportation Research Procedia*, 53(1), 23-30. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.003>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- Giraldo Vásquez, A. (2019). Valoración del mecanismo de terminación anticipada en los contratos de concesión 4G en Colombia. *Odeon*, 16, 67-95.
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (s.f.). Paso a paso: cómo funciona el nuevo sistema de peaje. Recuperado de <https://buenosaires.gob.ar/node/desarrollo-urbano-y-transporte/noticias/paso-paso-como-funciona-el-nuevo-sistema-de-peaje>.
- Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). *Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM* (pp. 128-142). Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928-3937. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación (5a ed.). México D. F.: McGraw-Hill.
- Ikusi (9 de abril de 2018). El primer proyecto free-flow de España. Recuperado de <https://www.ikusi.com/es/actualidad/el-primer-proyecto-free-flow-de-espana/>
- Joinup. (s.f.). European Electronic Toll Service (EETS). Recuperado de <https://joinup.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/european-electronic-toll-service-eets>
- JSTOR (s/f). Industry 4.0 is here. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de https://www-jstor-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/stable/resrep42462.4?searchText=%22industry+4.0%22&searchUri=%2Faction%2FdoBasicSearch%3FQuery%3D%2522industry%2B4.0%2B%2522&ab_segments=0%2Fbasic_phrase_search%2Fcontrol&refreqid=fastly-default%3Adb4d5147c954697e9094d5024d86a933&seq=5
- Jove-Wilches, F. & otros (2022). Vehicular Traffic Characterization In Two Road Concessions In Northern Colombia During The Period 2010 To 2019. Investigación de la

- Universidadde Nariño, Pontificia Universidad Católica de Chile. Vol. 19, número 6. Recuperado el 7 de octubre de 2023.
- Kapsch Group (s.f). Sistemas de Peaje. Recuperado de <https://www.kapsch.net/es/soluciones-de-peaje-y-movilidad/sistemas-de-peaje>
- Klötzer, C., & Pflaum, A. (2017). Toward the Development of a Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry's Supply Chain. *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*. Recuperado de https://aisel.aisnet.org/hicss-50/in/digital_supply_chain/5/
- Lasrado, L. (2018). *Set-Theoretic Approach to Maturity Models*. PublisherCopenhagen Business SchoolL. Recuperado de <https://research.cbs.dk/en/publications/set-theoretic-approach-to-maturity-models>
- Land Transport Authority and Intelligence Transport Society Singapore (2014). Smart Mobility 2030. ITS Strategic Plan for Singapore.
- Lascano, A. (2022). Industria 4.0, implicaciones, certezas y dudas en el mundo laboral. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(4), 453-465. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v14n4/2218-3620-rus-14-04-453.pdf>
- Lasky, J. (2023). Smart Highways. Salem Press Encyclopedia of Science, 2023. 2p.
- La República. (s.f.). De las 29 concesiones de cuarta generación, 16 tienen un logro ejecutado superior al 80%. Recuperado de <https://www.larepublica.co/infraestructura/de-las-29-concesiones-cuarta-generacion-16-tienen-un-logro-ejecutado-superior-a-80-3353530#:~:text=%E2%80%9CEn%20total%20son%2029%20concesiones,restan%20entre%202024%20y%202025%E2%80%9D>.
- Latam Mobility (s.f). Peaje Free Flow de Kapsch muestra grandes atributos tecnológicos para la movilidad. Recuperado de <https://latamobility.com/peaje-free-flow-de-kapsch-muestra-grandes-atributos-tecnologicos-para-la-movilidad/>
- Legiscomex. (s.f.). Desarrollo de infraestructura en Colombia. Recuperado de <https://www.legiscomex.com/documentos/desarrollo-infraestructura-colombia-rci285>.
- Lima Expresa (s/f). Quiénes Somos. Recuperado de <https://www.limaexpresa.pe/>
- Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K., & Forstehäusler, S. (2016). SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 1297-1302. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7733413/metrics#citations>

- Marx, F., Wortmann, F., & Mayer, J. H. (2012). A Maturity Model for Management Control Systems. *Business & Information Systems Engineering*, 4(4), 193-207. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12599-012-0220-x>
- Mayhua, S. & Rivera, E. (2020). Análisis de la Industria 4.0 en la Servitización. [Tesis de Bachillerato, Universidad Católica San Pablo]. Recuperado de <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/b5abac9b-79bb-4bb7-b78f-cc3f1cabb76c/content>
- Meindl, B., Ayala, N., Mendonça, J., & Frank, A. (2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168(1), 12-27. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120784>
- Mendiola, A., Alvarado, F., Chocano, Z., Cotrado, A., García, L., & Aguirre, C. (2011). Factores críticos de éxito en concesiones viales en el Perú. Universidad ESAN. Recuperado el 6 de octubre de 2023.
- Mettler, T. (2011). Maturity assessment models: a design science research approach. *International Journal of Society Systems Science*, 3(1/2), 81-92. Recuperado de <https://doi.org/10.1504/IJSSS.2011.038934>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú. (s.f.). Un total de 56 peajes a nivel nacional, entre públicos y privados, dejaron de cobrar por pase de vía durante el estado de emergencia. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/111817-mtc-un-total-de-56-peajes-a-nivel-nacional-entre-publicos-y-privados-dejaron-de-cobrar-por-pase-de-via-durante-el-estado-de-emergencia>.
- Mittal, S., Khan, M., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194-214. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Modrák, V., & Šoltysová, Z. (2020). Development of an Organizational Maturity Model in Terms of Mass Customization. En *Industry 4.0 for SMEs* (pp. 215-250). Springer International Publishing. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4_8
- Mordor Intelligence (s/f). Mercado de la Industria 4.0: Crecimiento, Tendencias, Impacto de Covid-19 y Pronósticos (2023-2028). Mordor Intelligence. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/industry-4-0-market>
- Motor. (s.f.). Infraestructura vial: así van los principales proyectos. Recuperado de <https://www.motor.com.co/industria/Infraestructura-vial-asi-van-los-principales-proyectos-20231013-0008.html>.

- Müller, J., Buliga, O., & Voigt, K.-I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 2-17. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>
- Nacional de Seguros. (s.f.). Concesiones de infraestructura vial en Colombia. Recuperado de <https://nacionaldeseguros.com.co/noticias/concesiones-de-infraestructura-vial-colombia/>.
- Nikkhou, S., Taghizadeh, K., & Hajiyakhchali, S. (2016). Designing a Portfolio Management Maturity Model (Elena). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 226, 318-325. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.194>
- Nutibara (s/f). Colombia, al día con carreteras inteligentes. Recuperado de <https://autollantasnutibara.com/noticias/colombia-al-di-a-con-carreteras-inteligentes#:~:text=En%20Colombia%20ya%20contamos%20con,el%20veh%C3%A9culo%20y%20las%20carreteras.>
- Nolan, R. L. (1973). Managing the computer resource. *Communications of the ACM*, 16(7), 399-405. Recuperado de <https://doi.org/10.1145/362280.362284>
- Ositran. (s.f.). Carreteras. Recuperado de <https://www.ositran.gob.pe/anterior/carreteras/>.
- Oshadhi, B., Vidanagamachchi, K., & Wickramarachchi, R. (2019). A Model for Assessing Maturity of Industry 4.0 in the Banking Sector. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok*. Recuperado de <https://www.ieomsociety.org/ieom2019/papers/289.pdf>
- Otero, A. (2018). Enfoques de Gestión. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Otero-Ortega/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION.pdf
- Pacheco, M. (2005). Ventaja competitiva: gestión en el nivel de empresa. *Revistas Científicas de la Universidad de Guadalajara*, 12 (6), 125 - 146. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/322549944.pdf>
- Pagatelia. (s.f.). Nueva Autopista Free-Flow en Francia. Recuperado de <https://www.pagatelia.com/nueva-autopista-free-flow-en-francia>
- P. Senna, P., Barros, A. C., Bonnin Roca, J., & Azevedo, A. (2023). Development of a digital maturity model for Industry 4.0 based on the technology-organization-environment framework. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 109645. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109645>
- Pessl, E. (2017). Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(6), 193. Recuperado de <https://doi.org/10.11648/j.ijsts.20170506.14>

- Peukert, S., Treber, S., Balz, S., Haefner, B., & Lanza, G. (2020). Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks. *Production Engineering*, 14(3), 275-288. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11740-020-00953-0>
- Pfohl, Hans-C., Yahsi, B. & Kurnaz, T. (2015). The Impact of Industry 4.0 on the Supply Chain. Hamburg International Conference of Logistics –HICL. Hamburg: HICL.
- Pierin, L., Rocha, E., & Deschamps, F. (2020). An Analysis of Maturity Models and Current State Assessment of Organizations for Industry 4.0 Implementation. *Procedia Manufacturing*, 51, 1098-1105. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.154>
- Prim, M., Gomes, J., Kohl, H., Orth, R., Will, M., & Vargas, G. (2022). Identifying the Dynamics of Intangible Resources for Industry 4.0 Adoption Process. *IEEE Access*, 10(1), 101029-101041. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3208250>
- Ponce, M. & Pasco, M. (2014). Guía de investigación en Gestión. Vicerrectorado de Investigación de la PUCP. Recuperado de [https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/172009/Guía%20de%20Investigación%20en%20Ciencias%20de%20la%20Gestión.pdf?sequence=1&isAll owed=y](https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/172009/Guía%20de%20Investigación%20en%20Ciencias%20de%20la%20Gestión.pdf?sequence=1&isAll%20owed=y)
- Portafolio. (s.f.). Peajes en Colombia: detalles de decreto que congela precios durante 2023. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/peajes-en-colombia-detalles-de-decreto-que-congela-precios-durante-2023-576882>.
- Portafolio 30 (29 de octubre de 2023). Tecnología e innovación en los peajes para una mejor movilidad. Recuperado de <https://www.portafolio.co/contenido-patrocinado/tecnologia-e-innovacion-en-los-peajes-para-una-mejor-movilidad-575047>
- Proença, D., & Borbinha, J. (2016). Maturity Models for Information Systems - A State of the Art. *Procedia Computer Science*, 100, 1042-1049. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279>
- Röglinger, M., Pöppelbuß, J., & Becker, J. (2012). Maturity models in business process management. *Business Process Management Journal*, 18(2), 328-346. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/14637151211225225>
- Romero, D., Stahre, J., & Taisch, M. (2020). The Operator 4.0: Towards socially sustainable factories of the future. *Computers & Industrial Engineering*, 139(1), 106128. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106128>
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52(1), 161-166. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>

- Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihm, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 79, 409-414. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.110>
- Smart Nation Singapore (25 de julio de 2023). The Story of our Smart Nation. [Archivo de video]. Youtube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=prfMjtR2hb0>
- SKG Tecnología (s/f). Gobernación de Cundinamarca. Recuperado de <https://skgtecnologia.com/carretera-inteligente-de-cundinamarca-prueba/>
- Springer, M & Schnelzer, J. (2019). Differentiation of Industry 4.0 Models The 4th Industrial Revolution from different Regional Perspectives in the Global North and Global South. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO).
- Suleiman, Z. et al. (2022). Industry 4.0: Clustering of concepts and characteristics. *Journal of Cogent Engineering*, 9(1), pp.1–26. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2022.2034264>
- TekPeru. (s.f.). Sistema Peaje Free-Flow. Recuperado de <https://tekperu.com.pe/sistema-peajefree-flow-1>
- Transporte Profesional. (s.f.). Suiza cambia su sistema de peaje. Recuperado de <https://www.transporteprofesional.es/noticias-actualidad-transporte-logistica/union-europea/suiza-cambia-su-sistema-de-peaje>
- Tarhan, A., Turetken, O., & Reijers, H. (2016). Business process maturity models: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 75, 122-134. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.01.010>
- TyC Sports. (s.f.). Aumento del peaje en mayo de 2023: ¿cuáles serán los nuevos precios? .Recuperado de <https://www.tycsports.com/interes-general/aumento-del-peaje-en-mayo-de-2023-cuales-seran-los-nuevos-precios-id507674.html#:~:text=Desde%20mayo%20de%202023%20habrá,para%20el> Telepeaje y manual.
- Uriá & Menéndez. (s.f.). Desarrollo de infraestructura en Colombia. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16644/Concesiones%20viales%20entrega%20cd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Van, A., De Backer, M., Poels, G., & Snoeck, M. (2013). Choosing the right business process maturity model. *Information & Management*, 50(7), 466-488. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.im.2013.06.002>
- Varón, S. (2020). Revolución 4.0 y su relación en los procesos de calidad en las organizaciones colombianas análisis documental en el periodo de 2016 - 2019. [Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio de la Universidad Piloto de Colombia.

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/7714/Trabajo%20de%20Grado.pdf?sequence=2>

- Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J., & Voigt, K.-I. (2019). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 977-997. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>
- Vinci Concessions (s/f). About Us. Recuperado de [https://www.vinci-concessions.com/en/Vinci Concessions. \(s.f.\). Bogotá-Girardot Highway. Recuperado de https://www.vinci-concessions.com/en/infrastructure/bogota-girardot-highway.](https://www.vinci-concessions.com/en/Vinci%20Concessions.%20(s.f.)%20Bogotá-Girardot%20Highway)
- Vinci Concessions. (s.f.). Entrevías. Recuperado de [https://www.vinci-concessions.com/en/infrastructure/entrevias.](https://www.vinci-concessions.com/en/infrastructure/entrevias)
- Vinci Highways (s/f). Essentials 2021 - 2022. Recuperado de https://www.vinci.com/publi/vinci_concessions/2021-2022-vinci-higways-essentials.pdf
- Wagire, A., Joshi, R., Rathore, A., & Jain, R. (2021). Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. *Production Planning & Control*, 32(8), 603-622. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1744763>
- Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 54(12), 1317-1339. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.07.007>
- Wiley (2021). New Generation of Smart Highway: Framework and Insights. *Journal of Advanced Transportation* Volume 2021, Article ID 9445070.
- Ynzunza et al. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Revista de Conciencia Tecnológica*, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/94454631006.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Portafolio de países donde opera Vinci Highways

Infrastructure – Project company	Type of project	Length	End of project	Ownership of the concession company	Ownership of the operating company	Key indicators
BRAZIL						
São Paulo North-South highways – <i>Entrevias</i>	Traffic risk	570 km	2047	55%	in house	32.9 M ⁽¹⁾
CANADA						
Regina Bypass – <i>SGTP</i>	Availability scheme	61 km	2049	37.5%	50%	7.4 M ⁽²⁾
Confederation bridge – <i>Strait Crossing Development Inc.</i>	Traffic risk	13 km	2032	85%	in house	0.8 M ⁽¹⁾
Fredericton-Moncton highway – <i>MRDC</i>	Availability scheme	195 km	2028	25%	in house	3.3 M ⁽²⁾
COLOMBIA						
Bogotá-Girardot motorway – <i>Via 40 Express</i>	Traffic risk	141 km	2046	75% ⁽³⁾	in house	16.1 M ⁽¹⁾
CZECH REPUBLIC						
D4 highway – <i>Via Salis</i>	Availability scheme	47 km	2049	50%	100%	3.5 M ⁽²⁾
FRANCE						
Prado Sud tunnel – <i>SPS</i>	Traffic risk	1.5 km	2055	59%	33%	6.7 M ⁽¹⁾
Prado-Carénage tunnel – <i>SMTPC</i>	Traffic risk	2.5 km	2033	34%	in house	14.4 M ⁽¹⁾
GERMANY						
A7 highway – <i>Via Niedersachsen</i>	Availability scheme	60 km	2047	50%	in house	30.7 M ⁽⁴⁾
A5 highway – <i>Via Solutions Südwest</i>	Traffic risk	60 km	2039	54%	in house	3.4 M ⁽¹⁾
A4 highway – <i>Via Solutions Thüringen</i>	Traffic risk	45 km	2037	50%	in house	4.4 M ⁽¹⁾
A9 highway – <i>Via Gateway Thüringen</i>	Availability scheme	47 km	2031	50%	in house	14.5 M ⁽⁴⁾
B247 federal road – <i>Via Mühlhausen</i>	Availability scheme	22 km	2051	50%	in house	N/A – construction
GREECE						
Charilaos Trikoupis bridge – <i>Gefyra</i>	Traffic risk	2.9 km	2039	72%	71%	7.0 M ⁽¹⁾
Athens-Corinth-Patras- Pyrgos motorway – <i>Olympia Odos</i>	Traffic risk	276 km	2044	30%	30%	52.0 M ⁽¹⁾
Maliakos-Kleidi highway – <i>Aegean Motorway</i>	Traffic risk	230 km	2038	15%	in house	24.9 M ⁽¹⁾
KENYA						
Nairobi-Mau Summit highway – <i>Rift Valley Highway</i> ⁽⁵⁾	Availability scheme	232 km	N/A	50%	N/A	N/A
PERU						
Lima Expressa expressway – <i>Lima Expressa</i>	Traffic risk	25 km	2049	100%	in house	63.1 M ⁽¹⁾

Infrastructure – Project company	Type of project	Length	End of project	Ownership of the concession company	Ownership of the operating company	Key indicators
PORTUGAL						
25 de Abril and Vasco da Gama bridges – Lusoponte	Traffic risk	16 km	2030	49%	in house	37.5 M ⁽¹⁾
REPUBLIC OF IRELAND						
Dublin ring-road – M50 – Turas Mobility Services	Free-flow services	N/A	2031	60%	N/A	54.2 M ⁽⁵⁾
SLOVAKIA						
R1 (PR1BINA) expressway – Via Pribina	Availability scheme	52 km	2041	50%	100%	15.1 M ⁽⁴⁾
UNITED KINGDOM						
Newport bypass – Morgan VINCI Ltd	Availability scheme	9 km	2042	50%	0% (VINCI Construction – 100% VINCI Subsidiary)	9.4 M ⁽²⁾
Isle of Wight road network – Island Roads Services	Availability scheme	821 km	2038	50%	0% (VINCI Construction – 100% VINCI Subsidiary)	0.7 M ⁽⁴⁾
London Borough of Hounslow road network – Hounslow Highways Services	Availability scheme	432 km	2037	50%	0% (VINCI Construction – 100% VINCI Subsidiary)	3.3 M ⁽⁴⁾

UNITED STATES						
Ohio River bridge – East End Crossing Partners	Availability scheme	0.8 km	2051	33%	in house	10.4 M ⁽²⁾
91 Express Lanes – ViaPlus	Free-flow services	N/A	2027	100%	N/A	40.8 M ⁽⁶⁾
North Texas Tolling Authority – ViaPlus	Free-flow services	N/A	2028	100%	N/A	1,129 M ⁽⁶⁾
Central Texas Regional Mobility Authority – ViaPlus	Free-flow services	N/A	2023	100%	N/A	73 M ⁽⁶⁾
(1) Toll transactions.						
(2) Km driven.						
(3) Post additional shares acquisition in March 2023.						
(4) Average daily traffic (ADT).						
(5) Upon financial closing.						
(6) ETC transactions.						

Fuente: Vinci Highways (s/f).

ANEXO B: Consentimiento informado

PROTOCOLO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA ENTREVISTAS

Lima, 16 de agosto de 2023

Señores

LIMA EXPRESA S.A.C

Presente.-

Atención: Señor Francisco Javier Chenguayén Rospigliosi

Gerente de Operaciones

Un agrado saludarlo, y esperamos que usted y los suyos se encuentren bien.

Somos dos alumnos de 9no ciclo de la Facultad de Gestión y Alta Dirección de la Pontificia Universidad Católica del Perú: Ariana Ximena Castillo Quiñones y Luis Manuel Tuesta Cosavalente.

Nos encontramos realizando Seminario de Investigación I, curso el cual es el inicio del proceso de elaboración del trabajo de titulación para la obtención del grado de Licenciado en Gestión por parte del estudiante, y consecuentemente, el cierre de nuestra formación en pregrado.

Consecuentemente a ello, el objetivo del presente es consultar si, para vuestra reconocida organización LIMA EXPRESA S.A.C, sería de interés que nuestro grupo recaude información para realizar la investigación de Tesis.

Finalmente, hacemos de su conocimiento, toda la información recaudada será utilizada para fines académicos. Asimismo, se adjuntan nuestras Cartas de Presentación, autorizadas y firmadas por la Universidad.

Sin particular, quedamos a vuestra decisión.

Agradecemos de antemano.

Ariana Ximena Castillo
Quiñones

Luis Manuel Tuesta
Cosavalente

Francisco Javier
Chenguayén Rospigliosi

ANEXO C: Cuestionario del Modelo de Nivel de Madurez de Akdil et al. (2018)

Presentación previa a la entrevista con el cuestionario del modelo

Buenos días, mi nombre es Ariana Castillo y Luis Manuel Tuesta, somos estudiantes de Gestión de la Universidad, quienes estamos desarrollando Diagnóstico de nivel de madurez de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C [...]. Le agradecería mucho si pudiera brindarme un poco de su tiempo para responder algunas preguntas sobre el tema mencionado con anterioridad. Toda la información que usted me brinde será utilizada únicamente para los fines de la investigación, por lo que permanecerá en la absoluta confidencialidad. Además, la entrevista será registrada mediante una grabación de voz. Espero que no haya ningún problema al respecto. Muchas gracias.

MODELO DE MADUREZ DE LA I4.0 (Akdil et.al, 2018): CUESTIONARIO DE TRES DIMENSIONES

I. Productos y Servicios Inteligentes

1. ¿Qué funciones pueden cumplir los servicios de su empresa con las siguientes opciones?
 - a) Comunicación con otros servicios/plataformas, máquinas y sistemas externos
 - b) Recopilación de datos del medio ambiente y otros sistemas.
 - c) Mantener los datos que recopilan en su sistema o en la nube.
 - d) Tener una plataforma en la que esté funcionando el servicio o las aplicaciones en la nube.
2. ¿Qué etapas del análisis de datos puede realizar el servicio? (Porter y Heppelmann 2015)
 - a) Descriptivo: captura la condición, el entorno y el funcionamiento de los servicios.
 - b) Diagnóstico: examine las causas de la reducción del rendimiento o del fallo del servicio.
 - c) Predictivo: detecta patrones que señalan eventos inminentes
 - d) Prescriptivo: identificar medidas para mejorar los resultados o corregir problemas.
3. ¿Hasta qué punto se puede realizar un seguimiento de los servicios a lo largo de su ciclo de vida? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
 - a) Seguimiento de servicio nulo o limitado
 - b) Los servicios se pueden rastrear a medida que se mueven entre los sitios de fabricación y distribución interna.
 - c) Los servicios se pueden rastrear a través de la fabricación y distribución hasta que llegan al centro de datos del cliente.
 - d) Los servicios se pueden rastrear a lo largo de su ciclo de vida completo.
4. ¿A quién ofrece servicios/información según los datos de usuario obtenidos del servicio?
 - a) Ninguno
 - b) Negocio
 - c) Clientes

d) Socios

II. Procesos comerciales inteligentes

1) Producción, Logística y Adquisiciones

1. ¿Cuál de los siguientes sistemas utilizas? ¿Tiene el sistema una interfaz con el sistema principal? (Lichtblau et al.2015)

	Interfaz con el sistema líder	
	No	Si
MES: sistema de ejecución de fabricación		
ERP: planificación de recursos empresariales		
PDM: gestión de datos de servicios		
PPS: sistema de planificación de la producción		
PDA: adquisición de datos de producción		
MDC: recopilación de datos de la máquina		
CAD: diseño asistido por computadora		
SCM: gestión de la cadena de suministro		

2. ¿Hasta qué punto está integrada la cadena de suministro actual? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
- Comunicación reactiva ad hoc con proveedores y clientes.
 - Comunicación básica e intercambio de datos cuando sea necesario con proveedores y clientes.
 - Transferencia de datos entre proveedores/clientes estratégicos clave (por ejemplo, niveles de inventario de clientes)
 - Sistemas totalmente integrados con proveedores/clientes para procesos adecuados (por ejemplo, planificación integrada en tiempo real)
3. ¿Hasta qué punto están automatizados los equipos y sistemas de producción y/o servicio?
- Nivel de máquina: Parcial
 - Nivel máquina: Exacto (Carga/Descarga + Operación)
 - Línea de producción/nivel de celda: Parcial
 - Línea de producción/nivel de celda: Exacto (Carga/Descarga + Operación +Transporte)
 - Nivel de fábrica: Parcial
4. Expresar el nivel de personalización en la producción y/o servicio.
- Bajo: 10 000 + tamaño de lote
 - Medio

c) Alto: 1 tamaño de lote

5. ¿Qué datos sobre su maquinaria, procesos y servicios, así como sobre fallos y sus causas, se recopilan durante la producción y cómo se recopilan? (Lichtblau et al.2015)

	A mano	Automáticamente
Datos de inventario		
Tiempos de producción de fabricación		
Utilización de la capacidad del equipo		
Residuos de producción		
Cuota de errores		
Utilización de empleados		
Datos sobre el procesamiento restante		
Eficacia general del equipo (OEE)		
Otro:		

6. ¿Cómo se utilizan en la producción y/o servicio los datos que recopila? (Lichtblau et al.2015)
- a) Mantenimiento predictivo
 - b) Optimización de procesos logísticos y productivos.
 - c) Creación de transparencia en todo el proceso de producción.
 - d) Gestión de la calidad
 - e) Control automático de la producción mediante el uso de datos en tiempo real.
 - f) Optimización del consumo de recursos (material, energía)
 - g) Otro:
7. ¿Cómo se utilizan los datos que recopila en logística y adquisiciones? (Schreiber et al.2016)
- a) Gestión predictiva de riesgos de proveedores (para detectar fallas de proveedores desde el principio)
 - b) Cuadros de mando digitales de proveedores, objetivos y seguimiento de mejoras.
 - c) Seguimiento automatizado del logro de objetivos y pagos de bonificaciones
 - d) Sistema de gestión de reclamaciones digital con sistema de aviso automático integrado
 - e) Análisis de big data para detectar nuevos proveedores a nivel global
8. ¿En qué medida su cadena de suministro tiene visibilidad de extremo a extremo? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
- a) Sin integración con proveedores o clientes.
 - b) La ubicación, la capacidad, el inventario y las operaciones del sitio son visibles entre los proveedores y clientes de primer nivel.

- c) La ubicación del sitio, la capacidad, el inventario y las operaciones son visibles a lo largo de la cadena de suministro.
 - d) La ubicación del sitio, la capacidad, el inventario y las operaciones son visibles en tiempo real a lo largo de la cadena de suministro y se utilizan para monitoreo y optimización.
9. ¿Cuál es el nivel de trazabilidad en tiempo real de la operación en el entorno digital? (Concepto de gemelo digital)
- a) Ninguno
 - b) Nivel de máquina
 - c) Línea de producción/nivel de celda
 - d) Nivel de fábrica

10. ¿Cuál es el nivel de uso de las tecnologías en producción, logística y adquisiciones?

	Tecnologías móviles y virtuales	3D Impresoras	Robots adaptativos y colaborativos
Ninguno			
Bajo			
Medio			
Alto			

2) I+D: desarrollo de servicios

1. ¿En qué medida se simulan la capacidad de fabricación y las condiciones de uso del servicio durante el desarrollo del servicio?
 - a) Ninguno
 - b) Bajo
 - c) Medio
 - d) Alto
2. ¿En qué medida se utilizan los datos obtenidos del servicio en el desarrollo de nuevos servicios?
 - a) Ninguno
 - b) Bajo
 - c) Medio
 - d) Alto
3. ¿Utiliza impresoras 3D en los procesos de servicio/creación de prototipos?
 - a) No
 - b) Sí

4. ¿La información de diseño del servicio se transfiere automáticamente con los sistemas CAD/CAM a la máquina?
 - a) No
 - b) Sí
5. ¿Pueden sus clientes personalizar sus servicios antes de la producción según sus preferencias?
 - a) No
 - b) Sí

3) Servicios posventa

1. ¿Cómo se beneficia de los datos que recopila en los servicios posventa?
 - a) Detección temprana de problemas de calidad del servicio y retiradas específicas
 - b) Diseño de servicio mejorado
 - c) Recuperación avanzada de proveedores
 - d) Planificación optimizada de repuestos
 - e) Reclamaciones sospechosas y fraudulentas minimizadas
 - f) Reducción de las “devoluciones por arrepentimiento” y tasas sin problemas encontrados
 - g) Mayor precisión en el pronóstico de reservas
 - h) Calidad de servicio mejorada e información de servicio.
 - i) Mayor intimidad con el cliente y siguiente mejor acción
2. ¿Qué servicios brindan mediante el uso de análisis de datos y otras tecnologías en los servicios posventa?
 - a) Mantenimiento remoto
 - b) Asistencia ante problemas o averías en tiempo real
 - c) Gestión de reclamaciones asistida por TI
 - d) Gestión de pedidos (CRM, historial de pedidos, seguimiento de entregas, etc.)
 - e) Visualización del historial del servicio.
 - f) Previsión de entrega
3. ¿Utiliza tecnologías digitales (tecnologías móviles y de virtualización) en los procesos de servicio postventa?
 - a) No
 - b) Sí

4) Precio/Promoción

1. ¿Cuáles de los siguientes estudios se realizan dentro del análisis de clientes?
 - a) Segmentación de clientes
 - b) Valor de vida del cliente
 - c) Venta cruzada

- d) Administración de campaña
- e) Análisis de la cesta de la compra/agrupación de servicios
- f) Recomendación de servicio
- g) Análisis de abandono de clientes
- h) Gestión de cartera de servicios.

2. ¿Utiliza datos obtenidos del entorno/otras plataformas para fijar precios de servicio o fijar precios dinámicos?

	Precio del Servicio	Precio Dinámico
No		
Si		

3. ¿Generan nuevas campañas a partir de datos de compras y uso de servicios?

- a) No
- b) Sí

4. ¿Los sistemas de gestión de campañas funcionan integrados con otros sistemas?

- a) No
- b) Sí

5. ¿Analiza el rendimiento de la campaña para utilizar estos análisis en campañas nuevas?

- a) No
- b) Sí

5) Canales de Venta y Distribución de Procesos de Negocio Inteligentes

1. ¿Cuál es el nivel de soporte del equipo de ventas con servicios digitales y acceso en tiempo real a los sistemas?

- a) Ninguno
- b) Bajo
- c) Medio
- d) Alto

2. ¿Realizan análisis de rentabilidad en tiempo real?

- a) No
- b) Sí

3. ¿Utiliza sistemas de gestión del desempeño automatizados y en tiempo real para la fuerza de ventas local?

- a) No
- b) Si

4. ¿Hasta qué punto están integrados sus canales de venta?

- a) Ninguno
- b) Bajo
- c) Medio

- d) Alto
5. ¿En qué medida utiliza canales integrados para comunicarse con los clientes y gestionar la interacción con los clientes?
- a) Ninguno
b) Bajo
c) Medio
d) Alto
6. ¿En qué medida colabora con socios para llegar a los clientes (es decir, intercambio de información sobre los clientes, etc.)?
- a) Ninguno
b) Bajo
c) Medio
d) Alto
7. ¿Qué análisis de contenido se realizan en las redes sociales?
- a) Ninguno
b) Análisis de los sentimientos
c) Análisis de tendencia

6) Recursos Humanos

1. ¿En qué áreas se recopilan los datos y se utiliza el análisis de datos?

	Datos recolectados	Análisis de datos utilizados
Análisis de capacidades: (un proceso de gestión del talento que le permite identificar las capacidades o competencias básicas que desea y necesita en su negocio).		
Análisis de capacidad: (busca establecer qué tan operativamente eficientes son las personas en una empresa).		
Análisis de adquisición de competencias: (el proceso de evaluar qué tan bien o no su empresa adquiere las competencias deseadas).		
Análisis de rotación de empleados: (el proceso de evaluar las tasas de rotación		

de personal en un intento de predecir el futuro y reducir la rotación de empleados).		
Análisis de la cultura corporativa: el proceso de evaluar y comprender más sobre su cultura corporativa o las diferentes culturas que existen en su organización).		
Análisis del canal de contratación: (el proceso de determinar de dónde provienen los mejores empleados y qué canales de contratación son más eficaces).		
Análisis de liderazgo: (desglosa las diversas dimensiones del desempeño del liderazgo a través de datos obtenidos mediante el uso de encuestas, grupos focales, entrevistas a empleados o etnografía).		
Análisis del desempeño de los empleados: (busca evaluar el desempeño individual de los empleados).		

2. ¿Puede su empresa compartir datos en tiempo real con los empleados en el campo?

- a) No
- b) Si

3. ¿Se puede realizar la formación de los empleados en un entorno virtual?

- a) No
- b) Sí

7) Tecnología de la información de procesos de negocio inteligentes

1. ¿Qué tan avanzado está con sus soluciones de seguridad de TI? (Lichtblau et al. 2015)

	Solución planificada	Solución en progreso	Solución implementada
Seguridad en el almacenamiento interno de datos			

Seguridad de los datos a través de servicios en la nube			
Seguridad de las comunicaciones para el intercambio de datos interno.			
Seguridad de las comunicaciones para el intercambio de datos con socios comerciales.			

2. ¿Ya estás utilizando servicios en la nube? (Lichtblau et al.2015)

	Software basado en la nube	Para análisis de datos	Para almacenamiento de datos
Producción, Logística y Obtención			
I+D: desarrollo de servicios			
Servicios posventa			
Canales de venta y distribución			
Precio/Promoción			
Recursos humanos			
Tecnologías de la información			
Finanzas			

3. ¿Se utilizan paneles de control de TI para la trazabilidad de los procesos de la empresa?

- a) No
- b) Sí

4. ¿Cómo evaluaría la infraestructura de su equipo en lo que respecta a las siguientes funcionalidades? (Lichtblau et al.2015)

	No, no disponible	Sí a alguno medida	Si, completamente
Las máquinas/sistemas se pueden controlar mediante él			
M2 M: comunicaciones máquina a máquina			

Interoperabilidad: posibilidad de integración y colaboración con otras máquinas/sistemas			
--	--	--	--

8) Finanzas inteligentes

1. ¿Realizan cálculos de costos en tiempo real con datos obtenidos del servicio?
 - a) No
 - b) Sí
2. ¿Analiza el flujo de caja y las inversiones de la empresa sobre una base histórica?
 - a) No
 - b) Sí
3. ¿En qué medida utiliza los datos financieros al tomar decisiones de inversión?
 - a) Ninguno
 - b) Bajo
 - c) Medio
 - d) Alto
4. ¿Hasta qué punto están automatizados sus sistemas financieros?
 - a) Ninguno
 - b) Bajo
 - c) Medio
 - d) Alto
5. ¿Cómo se realiza la medición del riesgo financiero?
 - a) Ninguno
 - b) Base histórica
 - c) Tiempo real

III. Estrategia y Organización

1) Modelos de negocio

1. ¿Sus servicios actuales cumplen con modelos de negocio digitales innovadores?
No
Si
2. ¿Hasta qué punto conoce el modelo de negocio “As-a-service”? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
 - a) Sin conciencia.
 - b) Consciente del concepto con algunos planes iniciales de desarrollo.
 - c) Se están desarrollando planes de alta concientización e implementación.
 - d) Se ha implementado el sistema “como servicio” y se ofrece al cliente.
3. ¿Qué grado de recursos se asigna a los modelos de negocio digitales?
 - a) Ninguno

- b) Bajo
 - c) Medio
 - d) Alto
4. ¿Se evalúa y actualiza durante el periodo intermedio el modelo de negocio actual de la empresa en materia de digitalización?
- a) No
 - b) Sí
5. ¿En qué medida monetiza sus nuevos servicios basados en datos?
- a) Ninguno
 - b) 0–2,5%
 - c) 2,5-10%
 - d) Más de 10%

2) Asociaciones estratégicas

1. ¿Su empresa tiene asociaciones para proyectos de Industria 4?0 con las siguientes opciones?
- a) Ninguno
 - b) Académica
 - c) Proveedores de tecnología
 - d) Proveedores
 - e) Clientes
2. ¿Cómo describiría el estado de implementación de su estrategia Industria 4?0? (Lichtblau et al.2015)
- a) No existe ninguna estrategia
 - b) Iniciativas piloto lanzadas
 - c) Estrategia en desarrollo
 - d) Estrategia formulada
 - e) Estrategia en implementación
 - f) Estrategia implementada
3. ¿Utiliza indicadores para realizar un seguimiento del estado de implementación de su estrategia de Industria 4?0?
- a) No, nuestro enfoque aún no está tan claramente definido.
 - b) Sí, tenemos un sistema de indicadores que nos da una cierta orientación.
 - c) Sí, disponemos de un sistema de indicadores que consideramos adecuado

3) Inversiones en tecnología

1. ¿Qué tecnologías de su empresa están impulsando la Industria 4.0?
- a) Ninguno
 - b) Análisis de datos e inteligencia artificial

- c) Robótica adaptativa
 - d) Simulación
 - e) Sistemas embebidos
 - f) Comunicación y networking
 - g) La seguridad cibernética
 - h) Nube
 - i) Fabricación aditiva
 - j) Tecnologías de virtualización (VR y AR)
 - k) Sensores y actuadores
 - l) Tecnologías RFID y RTLS
 - m) Tecnologías móviles
2. ¿En qué medida destina presupuesto suficiente a inversiones en Industria 4.0?
- a) Ninguno
 - b) Bajo
 - c) Medio
 - d) Alto
3. ¿Con qué frecuencia realiza un análisis de costo/beneficio para la inversión en Industria 4.0? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
- a) Aún no hay una inversión mensurable en la Industria 4.0
 - b) Aún no hay una revisión en curso del análisis de costo/beneficio para la inversión en Industria 4.0
 - c) Análisis anual coste/beneficio de la inversión en Industria 4.0
 - d) Análisis trimestral coste/beneficio de la inversión en Industria 4.0
4. ¿En qué partes de su empresa ha invertido en la implementación de la Industria 4.0? (Lichtblau et al.2015)

	Planificación de la inversión	Inversión realizada
Producción, Logística y Adquisiciones		
I+D: desarrollo de servicios		
Servicios posventa		
Precio/Promoción		
Canales de venta y distribución		
Recursos Humanos		
Tecnologías de la información		
Finanzas		

4) Estructura organizacional y liderazgo

1. ¿Las unidades de negocio/equipos de proyecto están estructurados de forma interdisciplinaria en la empresa?
 - a) No
 - b) Sí
2. ¿Existe alguna unidad de negocio para mantener relación o comunicarse con los clientes?
 - a) No
 - b) Servicio al Cliente
 - c) Gestión de relaciones con el cliente.
3. ¿Existe alguna estructura organizativa basada en datos? (Científicos de datos, equipo de análisis, director de transformación digital, etc.)
 - a) No
 - b) Sí
4. ¿En qué medida los empleados cuentan con las habilidades relevantes para la Industria 4.0? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
 - a) Los empleados tienen poca o ninguna experiencia con las tecnologías digitales.
 - b) Las áreas del negocio centradas en la tecnología tienen empleados con algunas habilidades digitales.
 - c) La mayoría de las áreas del negocio tienen una capacidad de análisis de datos y digital bien desarrollada.
 - d) En toda la empresa, prevalecen las habilidades analíticas y digitales de vanguardia.
5. ¿Tiene formación para la transformación digital en la empresa?
 - a) No
 - b) Sí
6. ¿Cómo está organizada su TI? (Lichtblau et al.2015)
 - a) Sin departamento de TI interno (se utiliza un proveedor de servicios)
 - b) Departamento central de TI
 - c) Departamentos informáticos locales en cada área (producción, desarrollo de servicio, etc.)
 - d) Expertos TI adscritos a cada departamento
7. ¿En qué medida colaboran los departamentos entre sí? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
 - a) El negocio opera en silos funcionales.
 - b) Hay interacción limitada entre departamentos (es decir, proceso S&OP)
 - c) Los departamentos están abiertos a la colaboración interdisciplinaria
 - d) Los departamentos están abiertos a la colaboración entre empresas para impulsar mejoras

8. ¿En qué medida el equipo directivo apoya la Industria 4.0? (El modelo de madurez de la Universidad de Warwick)
 - a) El equipo directivo no reconoce el valor de las inversiones en Industria 4.0
 - b) El equipo de liderazgo está investigando los posibles beneficios de la Industria 4.0
 - c) El equipo de liderazgo reconoce los beneficios financieros que se obtendrán a través de la Industria 4.0 y está desarrollando planes para invertir
 - d) Amplio apoyo a la Industria 4.0 tanto dentro del equipo de liderazgo como en todo el negocio.
9. ¿Cómo está organizado su equipo de Industria 4.0 para ejecutar proyectos innovadores?
 - a) No hay ningún empleado para proyectos de Industria 4.0
 - b) Hay empleados para el proyecto Industria 4.0; pero en diferentes unidades de negocio
 - c) Hay empleados para el proyecto Industria 4.0 en la misma unidad de negocio
10. ¿Existe algún entorno de trabajo donde las unidades de OT/TI trabajen juntas?
 - a) No
 - b) Sí



ANEXO D: Parámetros del Modelo de Nivel de Madurez de Akdil et al. (2018) por dimensiones

Nivel de Madurez	Productos y Servicios Inteligentes	Procesos de negocio inteligentes	Estrategia y organización
Nivel 0: Ausencia	La empresa no cumple ninguno de los requisitos de la Industria 4.0. Algunos de los requisitos son de bajo nivel.	La empresa no cumple ninguno de los requisitos de la Industria 4.0. Algunos de los requisitos son de bajo nivel.	La empresa no cumple ninguno de los requisitos de la Industria 4.0. Algunos de los requisitos son de bajo nivel.
Nivel 1: Existencia	<p>Los productos de la empresa son capaces de comunicarse con otros productos/plataformas, máquinas y sistemas externos, así como de recopilar datos.</p> <p>Los productos se pueden rastrear a medida que se mueven entre los sitios de fabricación y de distribución interna. La empresa ofrece servicios/información únicamente para su negocio de acuerdo con los datos obtenidos del producto.</p>	<p>Los procesos de la cadena de suministro están integrados entre la empresa, los proveedores y los clientes en términos de comunicación e intercambio de datos básicos. Hay algunos sistemas de software en uso y los sistemas de producción están parcialmente automatizados a nivel de máquina. La trazabilidad del proceso de operación se proporciona a nivel de máquina (parcial) en el entorno digital y la visibilidad de extremo a extremo es de bajo nivel, así como el nivel de personalización de la producción. El uso de datos en el desarrollo de nuevos productos es bajo. La capacidad de fabricación y los términos de uso del producto se simulan durante el desarrollo del producto a bajo nivel.</p> <p>En el proceso de servicios posventa, la empresa se beneficia de pocos datos y ofrece servicios en unas pocas áreas. Las tecnologías de activación (es decir, tecnologías móviles y de virtualización, nube) no están en uso. Se realizan algunos estudios analíticos y los datos obtenidos del entorno no se utilizan en la fijación de precios de productos ni en la fijación de precios dinámica. Los sistemas de campaña y los canales de ventas tienen un bajo nivel de integración y las herramientas de análisis de datos no se utilizan para medir el rendimiento de la campaña. La integración de los canales de comunicación y la colaboración con los socios se encuentran en un nivel bajo. En las operaciones de Recursos Humanos, los datos se utilizan en algunas áreas, pero la empresa no comparte datos en tiempo real con los trabajadores de campo y el aprendizaje electrónico no es una opción. Se están planificando o en curso soluciones de seguridad informática para datos a través de servicios en la nube.</p> <p>Los paneles de control de TI no están en uso y las máquinas/sistemas pueden controlarse a través de TI hasta cierto punto. La automatización de los servicios financieros es baja y el análisis generalmente se basa en datos históricos. Las tecnologías de activación (es decir, impresoras 3D, nube,</p>	<p>Los productos y servicios existentes no son compatibles con los modelos de negocio digitales respaldados por recursos de bajo nivel.</p> <p>Existe conciencia del modelo de negocio “como servicio” y los ingresos se generan a partir de servicios basados en datos (0–2,5%).</p> <p>La empresa tiene asociaciones con algunas partes interesadas y lanzó iniciativas piloto. El equipo de liderazgo está investigando beneficios potenciales.</p> <p>La empresa asignó un bajo nivel de presupuesto a las tecnologías y está planificando inversiones en algunas operaciones funcionales; pero no se realizan análisis de costo/beneficio.</p> <p>La estructura organizacional no es adecuada para la transformación.</p> <p>Sólo las áreas centradas en la tecnología tienen empleados con habilidades digitales que no están asignadas a proyectos específicos de Industria 4.0.</p> <p>Existen departamentos centrales de TI en la empresa donde no existe ningún entorno de trabajo donde las unidades de OT/TI trabajen juntas.</p> <p>Hay interacción limitada entre departamentos.</p>

		tecnologías móviles y virtuales, etc.) se están utilizando a bajo nivel.	
Nivel 2: Supervivencia	<p>Los productos de la empresa son capaces de comunicar y recopilar datos. Además, los productos pueden mantener los datos que recopilan en su sistema o en la nube.</p> <p>El producto puede realizar análisis de datos descriptivos, de diagnóstico y predictivos. Los productos se pueden rastrear a medida que avanzan entre la fabricación y la distribución hasta que llegan al centro de datos del cliente.</p> <p>La empresa ofrece servicios/información para su negocio y clientes de acuerdo con los datos obtenidos del producto.</p>	<p>Los procesos de la cadena de suministro están integrados entre la empresa y los proveedores/ clientes estratégicos clave en términos de transferencia de datos. Hay algunos sistemas de software en uso y los sistemas de producción están exactamente automatizados a nivel de máquina o parcialmente automatizados a nivel de línea/célula de producción. La trazabilidad del proceso operativo se proporciona a nivel de línea/célula de producción en el entorno digital y la visibilidad de extremo a extremo está en el nivel medio, así como en el nivel de personalización de la producción. El uso de datos en el desarrollo de nuevos productos se encuentra en un nivel medio. La capacidad de fabricación y los términos de uso del producto se simulan durante el desarrollo del producto a nivel medio.</p> <p>En el proceso de servicios posventa, la empresa se beneficia de algunos datos y ofrece servicios en áreas. Se están utilizando tecnologías desencadenantes (es decir, tecnologías móviles y de virtualización, nube). Se realizan estudios analíticos y los datos obtenidos del entorno se utilizan en la fijación de precios de productos y en la fijación de precios dinámica. Los sistemas de campaña y los canales de ventas tienen una integración de nivel medio y se utilizan herramientas de análisis de datos para medir el rendimiento de la campaña. La integración de canales de comunicación y la colaboración con socios se encuentran en un nivel medio. En las operaciones de Recursos Humanos, los datos se utilizan en algunas áreas, la empresa comparte datos en tiempo real con los trabajadores de campo y el aprendizaje electrónico es una opción. Se están desarrollando o implementando soluciones de seguridad informática en términos de comunicaciones para el intercambio de datos interno. Se utilizan paneles de control de TI y se encuentran disponibles comunicaciones de máquina a máquina. La automatización de los servicios financieros se encuentra en un nivel medio y el análisis generalmente se basa en datos históricos. Las tecnologías de activación (es decir, impresoras 3D, nube, tecnologías móviles y virtuales, etc.) se están utilizando a nivel medio.</p>	<p>Los productos y servicios existentes son compatibles con modelos de negocio digitales que están respaldados con recursos de nivel medio.</p> <p>Existe un alto conocimiento del modelo de negocio "como servicio" y los ingresos se generan a partir de servicios basados en datos (2,5-10%).</p> <p>La empresa tiene asociaciones con algunas de las partes interesadas y se formula la estrategia. El equipo de liderazgo reconoce los beneficios financieros y planea invertir.</p> <p>La empresa asigna un nivel medio de presupuesto a tecnologías y las inversiones se realizan en algunas de las operaciones funcionales; Además, se realizan análisis anuales de costo/beneficio.</p> <p>La estructura organizacional es adecuada para proyectos iniciales.</p> <p>En la mayoría de las áreas del negocio se tienen habilidades digitales bien desarrolladas que se asignan a proyectos específicos de Industria 4.0 en diferentes unidades.</p> <p>Existen departamentos de TI locales en cada área donde hay un entorno de trabajo donde las unidades de OT/TI trabajan juntas.</p> <p>Los departamentos están abiertos a la colaboración entre empresas.</p>

<p>Nivel 3: Madurez</p>	<p>Los productos de la empresa son capaces de comunicarse con otros sistemas, recopilar datos y mantenerlos en su sistema o en la nube. Además, los productos tienen una plataforma en la que funcionan el producto o las aplicaciones en la nube.</p> <p>El producto puede realizar análisis de datos descriptivos, de diagnóstico, predictivos y prescriptivos.</p> <p>Los productos se pueden rastrear a lo largo de su ciclo de vida completo.</p> <p>La empresa ofrece servicios/información para sus negocios, clientes y socios de acuerdo con los datos obtenidos de las mejoras del producto.</p>	<p>Los sistemas de la cadena de suministro están completamente integrados entre la empresa, los proveedores y los clientes, lo que proporciona una planificación en tiempo real. Hay muchos sistemas de software en uso y los sistemas de producción están exactamente automatizados a nivel de línea/célula de producción o parcialmente automatizados a nivel de fábrica. La trazabilidad del proceso operativo se proporciona a nivel de fábrica en el entorno digital y la visibilidad de un extremo a otro es de alto nivel, así como el nivel de personalización de la producción. El uso de datos en el desarrollo de nuevos productos es de alto nivel. La capacidad de fabricación y los términos de uso del producto se simulan durante el desarrollo del producto a alto nivel.</p> <p>En el proceso de servicios posventa, la empresa se beneficia de una gran cantidad de datos y ofrece servicios en una amplia gama. Se están utilizando tecnologías desencadenantes (es decir, tecnologías móviles y de virtualización, nube). Se realizan estudios analíticos y los datos obtenidos del entorno se utilizan en la fijación de precios de productos y en la fijación de precios dinámica. Los sistemas de campaña y los canales de ventas tienen un alto nivel de integración y se utilizan herramientas de análisis de datos para medir el rendimiento de la campaña. Integración de canales de comunicación y colaboración con partners de alto nivel. En las operaciones de Recursos Humanos, los datos se utilizan en muchas áreas, la empresa comparte datos en tiempo real con los trabajadores de campo y el aprendizaje electrónico es una opción. Se implementan soluciones de seguridad informática para el intercambio de datos con socios comerciales. Se utilizan paneles de control de TI y el principio de interoperabilidad se aplica por completo. La automatización de los servicios financieros es de alto nivel y el análisis generalmente se basa en datos en tiempo real. Las tecnologías de activación se utilizan a alto nivel.</p>	<p>Los productos y servicios existentes son compatibles con modelos de negocios digitales respaldados por recursos de alto nivel.</p> <p>Se ha implementado y se ofrece “como servicio”. Los ingresos se generan a partir de servicios basados en datos (más del 10%).</p> <p>La empresa tiene asociaciones con muchas partes interesadas y la estrategia está implementada o en implementación. Amplio apoyo a la Industria 4.0 dentro del liderazgo y en todo el negocio.</p> <p>La empresa asignó un alto nivel de presupuesto a tecnologías e invirtió en casi todas las operaciones funcionales; Además, se realizan análisis de costo/beneficios trimestrales.</p> <p>La organización está bien estructurada para la transformación.</p> <p>En toda la empresa, las habilidades analíticas y digitales de vanguardia prevalecen y se asignan a proyectos específicos de Industria 4.0 en las mismas unidades.</p> <p>Expertos de TI adscritos a cada departamento donde existe un entorno de trabajo donde las unidades de OT/TI trabajan juntas.</p> <p>Los departamentos están abiertos a la colaboración entre empresas para impulsar mejoras.</p>
--------------------------------	--	---	---

Nota: Adaptado de Akdil et al., 2018

ANEXO E: Matriz de consistencia

Tema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivos	Variables de Estudios	Variables intermedias	Indicadores	Técnicas Recolección de Datos	Criterios selección muestra
Diagnóstico del nivel de madurez de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C	¿El nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias actuales propuestas por la empresa?	Analizar si el nivel de madurez actual en Industria 4.0 de Lima Expresa S.A.C permite la adopción de sus estrategias actuales propuestas por la empresa	Variable dependiente: Nivel de Madurez de la Industria 4.0	-	NMI4.0	T.R1: Encuesta (Cuestionario de Modelo) T.R2: Análisis documental	Directivos y/o otros colaboradores implicados en la gestión operativa y estratégica de Lima Expresa SAC
	Pregunta específica 1: ¿Cuáles son los principales elementos que conforman la Industria 4.0?	O1: Describir los componentes esenciales de la Industria 4.0	Variable Independiente 1: Productos y Servicios Inteligentes	-	PSI	T.R1: Encuesta (Cuestionario de Modelo) T.R2: Análisis documental T.R3: Observación no participante	Directivos y/o otros colaboradores implicados en la gestión administrativa y estratégica de Lima Expresa SAC
	Pregunta específica 2: ¿Cuáles son los principales frameworks de madurez de la Industria 4.0 que pueden ser aplicados en Lima Expresa S.A.C?	O2: Identificar los principales frameworks de madurez de la Industria 4.0 que mejor aplican al caso de Lima Expresa S.A.C.		Variable Independiente 2: Procesos comerciales inteligentes	Producción, Logística y Adquisiciones		
	Pregunta específica 3: ¿Qué prácticas de la Industria 4.0 está implementando Lima Expresa S.A.C. en su operación como empresa de concesión vial?	Explicar las prácticas que realiza la empresa de concesión vial para la aplicación del enfoque de la Industria 4.0	I+D: Desarrollo de servicios		I+D		
			Servicio posventa		SPOS		
	Pregunta específica 4: ¿Cuál es el nivel de madurez de la aplicación de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial Lima Expresa S.A.C?	Evaluar el nivel de madurez de la aplicación de la Industria 4.0 en una empresa de concesión vial: Caso Lima Expresa S.A.C.	Precio/ Promoción		PYP		
			Canales de Venta y Distribución de Procesos de Negocio Inteligentes		CVDPI		
			Recursos Humanos		RH		
			Tecnología de la información de procesos de negocio inteligentes		TIP		
			Finanzas inteligentes		FINI		
		Variable Independiente 3: Estrategia y Organización	Modelos de negocio	MODN			
			Asociaciones estratégicas	ASOES			
			Inversiones en tecnología	INTEC			
			Estructura organizacional y liderazgo	ESOL			