



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MASTER DE INGENIERÍA AVANZADA DE PRODUCCIÓN,  
LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

**MODELO DE PREDICCIÓN DEL LPI CON  
INDICADORES EXTERNOS USANDO EL MÉTODO  
PCA. CASO ESTUDIO COLOMBIA**

AUTOR: BRIGITTE CABUYA PADILLA

TUTOR: ÁNGEL ORTIZ BAS

**Curso Académico: 2016-17**

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	8
1.2 OBJETIVOS .....	9
1.2.1 Objetivo General .....	9
1.2.2 Objetivos específicos .....	9
1.3 METODOLOGÍA .....	9
<b>2. CARACTERIZACIÓN DEL LPI</b> .....	11
2.1 DEFINICIÓN .....	11
2.2 LPI INTERNACIONAL.....	11
2.3 LPI DOMÉSTICO .....	12
2.4 METODOLOGÍA .....	12
2.5 LPI COLOMBIA.....	16
<b>3. CARACTERIZACIÓN DEL PCA</b> .....	23
3.1 DEFINICIÓN .....	23
3.2 COMPONENTES PRINCIPALES .....	23
3.3 ELECCIÓN NÚMERO DE COMPONENTES.....	27
3.4 COMUNALIDADES .....	28
3.5 CORRELACIONES .....	28
<b>4. IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES EXTERNOS</b> .....	30
4.1 COMPETITIVIDAD.....	31
4.2 TECNOLOGÍA.....	33
4.3 IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES .....	34
4.4 CONECTIVIDAD MARITIMA.....	36
4.5 INFRAESTRUCTURA .....	37
4.6 ADUANAS.....	37
<b>5. MODELO DE PREDICCIÓN DEL LPI</b> .....	38
5.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMERA PARTE ...	38
5.3 ANÁLISIS VARIABLES INDEPENDIENTES .....	40
5.4 CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES PRIMERA PARTE .....	40
5.5 DIVISIÓN DE LOS DATOS .....	41
5.6 MODELAMIENTO PRIMERA PARTE .....	41
5.7 CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES SEGUNDA PARTE .....	42
5.8 MODELAMIENTO SEGUNDA PARTE.....	43
5.9 VALIDACIÓN DEL MODELO .....	45
<b>6. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEL MODELO</b> .....	48
6.1 INSTITUCIONES.....	48



6.2	PREPARACIÓN TECNOLÓGICA .....	50
6.3	TAMAÑO DEL MERCADO.....	51
6.4	SOFISTICACIÓN DE NEGOCIOS .....	53
6.5	ADUANAS.....	54
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DEL MODELO EN CASO COLOMBIA .....</b>	<b>56</b>
7.1	ANÁLISIS DE VARIABLES EN COLOMBIA .....	56
7.2	ANÁLISIS DEL LPI POR CLUSTERIZACIÓN.....	70
7.3	RECOMENDACIONES A NIVEL ESTRATÉGICO PARA MEJORAR EL LPI EN COLOMBIA .....	73
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>.....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de la Logística.....	7
Tabla 2 Metodología para seleccionar grupos de países encuestados.....	14
Tabla 3 Pesos de los componentes .....	15
Tabla 4 LPI Internacional Colombia (2007-2016).....	16
Tabla 5 Domestic LPI, Performance.....	17
Tabla 6 Porcentaje eficiencia .....	18
Tabla 7 Porcentajes de Agencias y Tiempos .....	18
Tabla 8 Nivel de Honorarios y Tarifas .....	19
Tabla 9 Calidad de Infraestructura .....	19
Tabla 10 Competencia y Calidad de Servicios .....	20
Tabla 11 Eficiencia de Procesos .....	20
Tabla 12 Fuentes de retrasos.....	21
Tabla 13 Cambios en el entorno logístico desde 2013.....	21
Tabla 14 Matriz datos de entrada PCA .....	23
Tabla 15 Matriz de datos centralizados.....	24
Tabla 16 Infraestructura .....	37
Tabla 17 Aduanas .....	37
Tabla 18 Análisis Variables Independientes.....	40
Tabla 19 Correlaciones entre variables.....	40
Tabla 20 División de datos .....	41
Tabla 21 Modelo 0.....	41
Tabla 22 Correlaciones segunda parte .....	42
Tabla 23 Modelo 1.....	43
Tabla 24 Modelo 2.....	43
Tabla 25 Modelo 3.....	44
Tabla 26 Modelo 4.....	44
Tabla 27 Modelo 5.....	44
Tabla 28 Modelo 6.....	45
Tabla 29 Modelo 7.....	45
Tabla 30 Evaluación de Modelos 1 .....	46
Tabla 31 Evaluación de Modelos 2 .....	47
Tabla 32 Actores Públicos o Privados.....	48
Tabla 33 Medición del tamaño de mercado.....	51
Tabla 34 Estructura de costos logísticos en PIB .....	52
Tabla 35 Caracterización del valor del indicador.....	59
Tabla 36 Iniciativas MINTIC para la logística parte 1 .....	61
Tabla 37 Iniciativas MINTIC para la logística parte 2 .....	62
Tabla 38 DOFA Colombia .....	69
Tabla 39 Desempeño Logístico en Latinoamérica .....	70
Tabla 40 Convenciones para las recomendaciones.....	73
Tabla 41 Recomendaciones.....	73

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Niveles de profundidad de la investigación .....	9
Ilustración 2 Grados de la investigación explicativa .....	10
Ilustración 3 Categorización componentes del LPI internacional .....	12
Ilustración 4 Primeras preguntas encuesta LPI .....	13
Ilustración 5 Preguntas LPI Internacional .....	14
Ilustración 6 Evaluación LPI en Colombia .....	22
Ilustración 7 Primera componente principal .....	24
Ilustración 8 Primera y segunda componente principal .....	25
Ilustración 9 Proceso PCA .....	26
Ilustración 10 Test scree .....	27
Ilustración 11 Components of Logistics Management .....	30
Ilustración 12 Indicadores a evaluar .....	31
Ilustración 13 Global Competitiveness Index Colombia .....	32
Ilustración 14 Networked Readiness Index Colombia .....	34
Ilustración 15 Exportaciones Colombia .....	35
Ilustración 16 Importaciones Colombia .....	35
Ilustración 17 Liner Shipping Connectivity Index Colombia .....	36
Ilustración 18 Metodología del PCA .....	38
Ilustración 19 Summary .....	39
Ilustración 20 Cantidad de datos por año .....	41
Ilustración 21 Valores modelo de predicción .....	47
Ilustración 22 FOB .....	52
Ilustración 23 Análisis de las condiciones logísticas relevantes del proveedor ....	53
Ilustración 24 Funciones de la aduana .....	54
Ilustración 25 Caracterización de las variables externas .....	55
Ilustración 26 Instituciones Colombia .....	56
Ilustración 27 Instituciones públicas y privadas Colombia .....	56
Ilustración 28 Marco Institucional de la logística en Colombia .....	57
Ilustración 29 Cooperaciones técnicas 2011-2014 .....	58
Ilustración 30 Preparación tecnológica Colombia .....	59
Ilustración 31 Apoyo para mejorar el uso de la TIC Colombia .....	60
Ilustración 32 Tamaño de mercado Colombia .....	63
Ilustración 33 Volumen es exportaciones de bienes y servicios .....	63
Ilustración 34 Costo Logístico sobre ventas .....	64
Ilustración 35 Costos Logísticos sobre ventas en empresas .....	64
Ilustración 36 División Costos Logísticos en Colombia .....	65
Ilustración 37 Porcentaje de utilización por tipo de transporte .....	65
Ilustración 38 Sofisticación de los negocios Colombia .....	66
Ilustración 39 Proporción de tipo de empresa 1 .....	66
Ilustración 40 Proporción de tipo de empresa 2 .....	67
Ilustración 41 Desempeño Logístico de empresas .....	67
Ilustración 42 Aduanas Colombia .....	68
Ilustración 43 Tiempo y costo de exportación e importación para el comercio transfronterizo en Colombia .....	68
Ilustración 44 Cluster .....	71
Ilustración 45 Distancia Cluster .....	72

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad encontrar cuales son las variables externas que mejor describen el desempeño logístico de un país. Para esto, se identificaron las variables que caracterizan teóricamente a la logística, una vez identificadas se aplicó el PCA (Análisis de componentes principales) utilizando como variable objetivo el LPI (Índice del desempeño logístico), dando como resultado un modelo de regresión lineal para predecir el LPI con las variables que mejor caracterizan al desempeño logístico. Con respecto a estas variables, se establecieron recomendaciones para mejorar el desempeño logístico en Colombia.

Palabras clave: Logística, Índice, Desempeño, PCA, Economías, LPI.

## ABSTRACT

The present research aims at finding the external variables that best describe the logistic performance of a country. For this, the variables that theoretically characterize the logistics were identified, once the PCA (Principal Components Analysis) was applied using the LPI (Logistic Performance Index) as the objective variable, resulting in a linear regression model to predict The LPI with the variables that best characterize the logistic performance. With respect to these variables, recommendations were made to improve logistics performance in Colombia.

Key words: Logistics, Index, Performance, PCA, Economies, LPI

## 1. INTRODUCCIÓN

La Logística es el conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución (Real Academia Española, 2014), en otras palabras, la logística es la encargada de planificar, implementar y controlar todo el movimiento de materiales e información de forma directa e inversa.

La logística tiene tres niveles como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 1 Niveles de la Logística

Nivel	Ámbito	Objetivo	Instrumento
<b>Micro</b>	Empresa Individual	Maximizar el beneficio	Técnicas de Gestión
<b>Meso</b>	Cadena de Suministro	Sinergias por la interrelación de los actores. Win to Win	Supply Chain Management
	Clusters	Búsquedas de mejora para el conjunto de actores del Cluster	Iniciativas de complementariedad a través de los instrumentos del cluster (organizaciones empresariales, institutos tecnológicos)
<b>Macro</b>	Unidades de dimensión regional o superior	Mejor del nivel de vida de los ciudadanos de este ámbito	Políticas públicas a largo plazo desde un enfoque sostenible

Fuente: (Coca, 2016)

El presente trabajo se enfocará en la Logística a nivel macro. Nivel en el cual la logística comprende todos aquellos procesos y servicios requeridos para transportar información, materias primas, productos en proceso y productos finales a lo largo de la cadena de suministro, en este caso de un país.

La importancia de la logística de un país se debe a que con la globalización y el entorno competitivo internacional se plantea grandes retos para las naciones, que buscan posicionarse y mantenerse en el mercado adoptando iniciativas y estrategias que las lleven a tal fin.

El desempeño logístico tanto en el comercio internacional y en el mercado interno es fundamental para el crecimiento económico y la competitividad de los países; una logística eficiente conecta a las personas y a las empresas con los mercados y las oportunidades, y ayuda a lograr niveles más elevados de productividad y bienestar (Gonzalez, 2016).

La logística es un componente crítico de los sectores agrícolas, manufactureros y de servicios, y debe gestionarse de forma óptima para el buen funcionamiento de las operaciones de producción y distribución. Además, el costo de logística representa un componente importante del costo de los insumos en todos los sectores (Erkan, 2014).

La logística apoya el movimiento y flujo de muchas transacciones económicas; es una actividad importante para facilitar la venta de prácticamente todos los bienes y servicios. Para entender este papel desde una perspectiva de sistemas, considere que si los bienes no llegan a tiempo, los clientes no pueden comprarlos. Si las mercancías no llegan en el lugar apropiado, o en la condición apropiada, ninguna venta puede ser hecha. Así, toda la actividad económica a lo largo de la cadena de suministro sufrirá (Lambert, Stock, & Ellram, 1998).

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

Debido a lo anterior, es necesario medir la situación actual de la logística en cada país y establecer con base a esta información estrategias y políticas para la mejora continua. Para esto existe un único indicador llamado LPI (Índice del Desempeño Logístico) el cual califica y da a cada país un indicador en base a diferentes aspectos (aduanas, infraestructura, rastreo, etc.)

Al analizar el indicador se encontró que:

### **Ventajas**

El LPI es el único índice a nivel mundial que evalúa como enfoque principal el desempeño logístico.

El índice se fundamenta con información del sector privado y gubernamental, de los países por lo cual es una información del sector real de las personas u organizaciones que manejan la logística a nivel internacional.

Abarca una gran cantidad de países

Los datos del índice están abiertos al público en general lo que permite realizar investigaciones, efectuar análisis de cada país y contrastarlo a nivel mundial.

La metodología que emplean para realizar el LPI es explicada y avalada por la academia.

### **Desventajas**

Como la logística abarca muchas dimensiones, es complicado para un índice abarcar todos estos aspectos.

No especifica los criterios utilizados que se evalúan en cada componente.

No se determina en economías poco desarrolladas (Bajos Ingresos).

El índice es general y no examina la situación geográfica, política y social de los países evaluados.

Para subsanar estas desventajas del LPI, el presente trabajo evaluará mediante el PCA (Análisis de Componentes Principales) indicadores externos que evalúan aspectos estrechamente relacionados con el desempeño logístico, para determinar cuáles de estos son altamente relevantes.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

Generar un modelo de predicción del LPI utilizando indicadores externos mediante el método PCA para establecer iniciativas para mejorar el desempeño logístico de Colombia.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Explicar la metodología y tipos del LPI para determinar a nivel general el desempeño logístico de Colombia.
- Conocer el proceso de realización del PCA para desarrollarlo en un software y generar un modelo de predicción del LPI.
- Identificar los indicadores externos que evalúen variables relacionadas con el desarrollo logístico de un país para contrastarlos con el LPI.
- Desarrollar un modelo de predicción del LPI usando los indicadores externos para identificar cuáles indicadores son altamente relevantes en el desarrollo logístico.
- Explorar la situación actual de Colombia en cuanto a los indicadores más relevantes identificados en el modelo de predicción para identificar en que procesos se puede mejorar.
- Proponer recomendaciones de acuerdo a la situación actual y comparativa para mejorar el desempeño logístico de Colombia.

## 1.3 METODOLOGÍA

El presente trabajo utiliza el método descrito por Jacqueline Hurtado (Hurtado, 2010) como se describe a continuación.

Se estableció el nivel de profundidad de conocimiento del trabajo según el siguiente diagrama:

Ilustración 1 Niveles de profundidad de la investigación



Fuente: (Hurtado, 2010)

Este trabajo corresponde al nivel comprensivo ya que busca explicaciones y relaciones entre eventos. Porque explora indicadores que evalúan factores para encontrar las que tienen mayor relación con el desarrollo logístico de un país.

En el nivel de Comprensivo hay 3 subniveles que son:

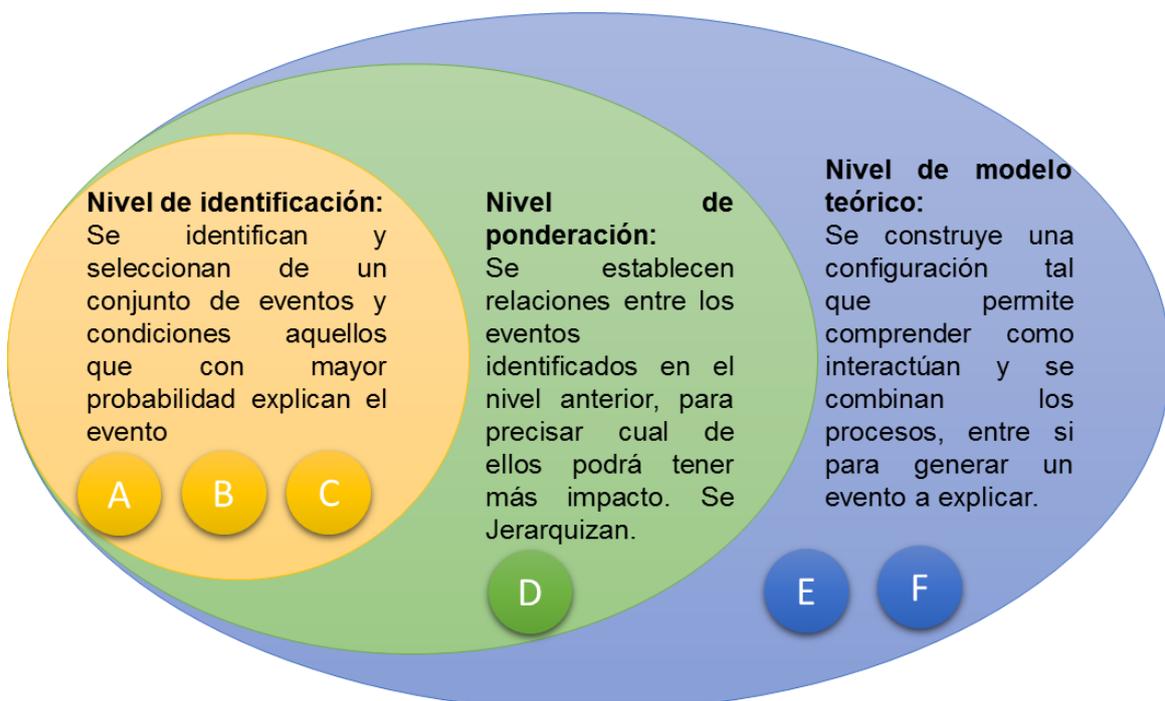
- Explicativo
- Predictivo
- Proyectiva

El presente trabajo se encuentra en el nivel explicativo. Nivel en el que pretende detectar relaciones entre eventos, especialmente aquellas que permiten entender por qué los eventos ocurren y bajo cuales condiciones. La clave de la investigación explicativa está en que se conoce el evento a explicar (Desempeño Logístico de un País), pero se desconocen las razones, situaciones y condiciones que dan lugar a este (aduanas, infraestructura, Tecnología, etc.)

Las investigaciones explicativas no solo dan lugar al surgimiento de teorías, sino que también se aplican cuando se desea reconstruir, reestructurar una teoría ya existente, reformularla, fundamentarla o ampliarla (Hurtado, 2010).

Para la elaboración de la investigación explicativa existe un modelo de 3 niveles como se muestra a continuación:

Ilustración 2 Grados de la investigación explicativa



Fuente: (Hurtado, 2010)

Cada objetivo específico planteado anteriormente pertenece a un nivel para el desarrollo de la investigación explicativa.

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL LPI

### 2.1 DEFINICIÓN

El LPI es una herramienta dinámica de evaluación que mide el desempeño logístico de un país. Su finalidad es proporcionar información para que expertos y líderes de los países establezcan estrategias para mejorar los diferentes aspectos de su logística, ya que la logística es fundamental para el crecimiento económico y la competitividad de un país.

El proyecto del LPI inicio en el 2007 y es publicado cada dos años desde el 2010 por The World Bank, el 2016 es su quinta edición, y provee del LPI a 160 países permitiendo la comparación entre ellos.

El LPI se basa en encuestas realizadas a profesionales en logística, es decir personas que trabajan en empresas que se dedican a la prestación de servicios logísticos.

### 2.2 LPI INTERNACIONAL

El LPI internacional se basa en la evaluación cuantitativa del desempeño logístico de un país en 6 componentes. La evaluación del LPI internacional la realizan profesionales externos al país evaluado.

- Aduanas (Customs): Eficiencia en los procesos de aduana, en cuanto a las facilidades que existan en un país para la importación y exportación de mercancías.
- Infraestructura (Infrastructure): Calidad y modernidad de las infraestructuras y tecnologías que faciliten el transporte de las mercancías. Puertos, vías ferroviarias, carreteras, aeropuertos en condiciones óptimas.
- Envíos Internacionales (International Shipment): Facilidad para conseguir precios competitivos.
- Calidad de los servicios logísticos (Logistic Competence): Servicios de gestión logística, agentes de aduana, servicios de reserva de medios de transporte, almacenes de consolidación, entre otros.
- Trazabilidad (Tracking & Tracing): Rastreo y seguimiento de los envíos de mercancía a través de toda la red logística.
- Puntualidad (Timeliness): Entrega de mercancías a los consignatarios en los tiempos estipulados.

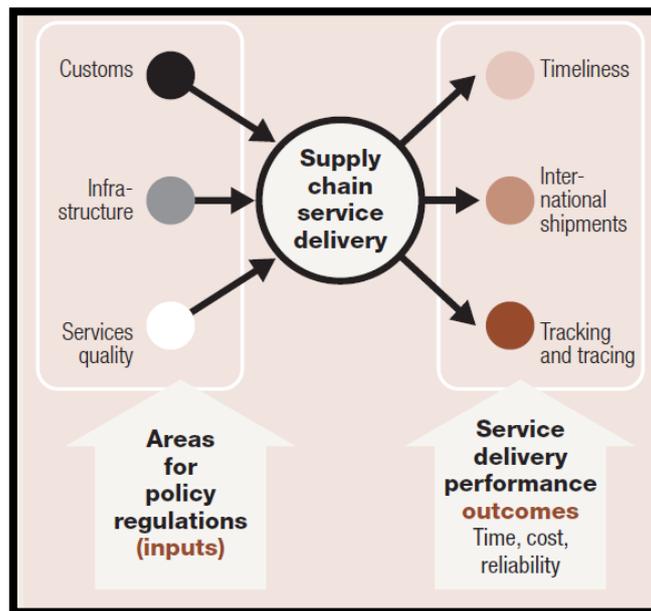
Los componentes han sido seleccionados a partir de la investigación teórica y empírica y de la experiencia práctica de los profesionales de la logística involucrados en el transporte internacional de mercancías (The World Bank, 2016).

Estos seis componentes se subdividen en dos grupos relacionados con los servicios de la cadena de suministro que son las entradas y las salidas.

- Las entradas se definen como las regulaciones y políticas que rodean al ejercicio logístico.

- Las salidas son aquellos aspectos que definen el desempeño en los servicios logísticos.

Ilustración 3 Categorización componentes del LPI internacional



Fuente: (The World Bank, 2016)

### 2.3 LPI DOMÉSTICO

El LPI doméstico proporciona información cualitativa y cuantitativa detallada de los entornos logísticos del país. En este LPI los profesionales evalúan su propio país, por lo tanto solo cuenta con la información de 116 países para este apartado.

El LPI doméstico se divide en dos partes:

- Ambiente e Instituciones (Environment and Institutions): Se evalúan la calidad de la infraestructura y servicios de transporte (puertos, aeropuertos, ferrocarril y carreteras) y la fiabilidad en la cadena de suministro en cuanto al personal, mejoras e inconvenientes en los servicios logísticos.
- Rendimiento (Performance): Evalúa los procedimientos fronterizos para la importación y exportación, tiempo de servicios, costos y las agencias.

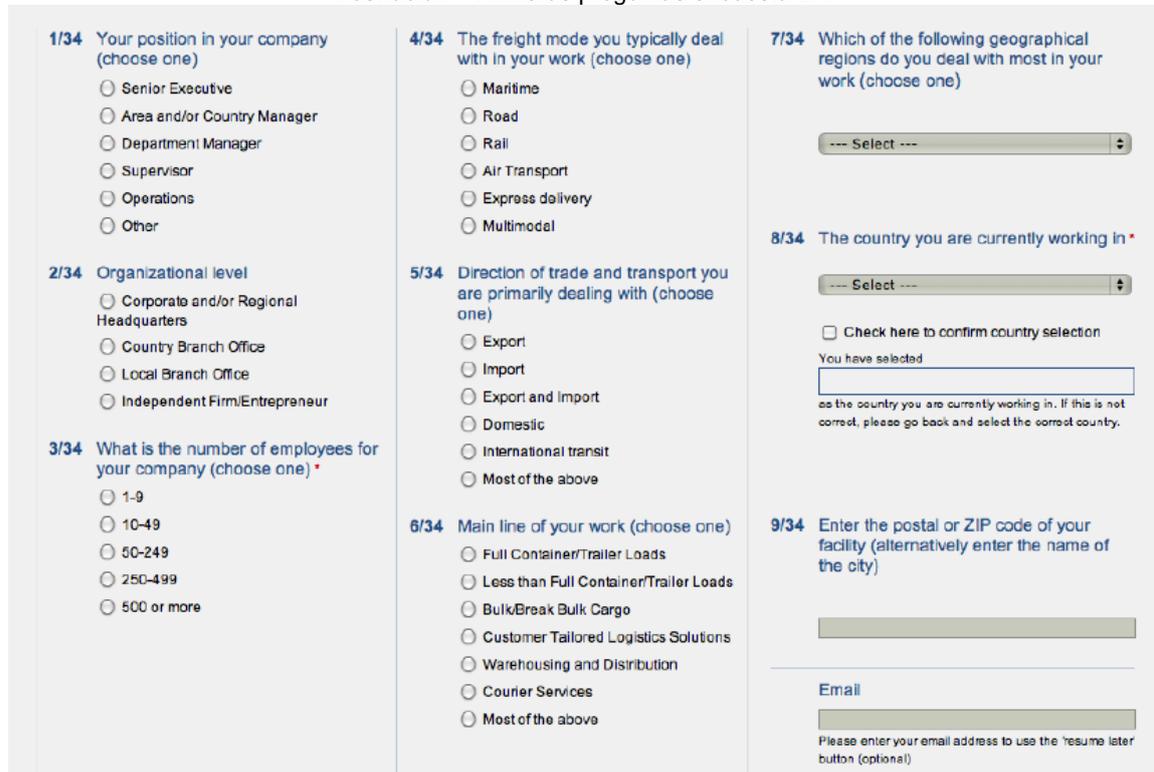
### 2.4 METODOLOGÍA

El LPI es el resultado de las encuestas estructuradas que se realizan a los profesionales logísticos de forma online que trabajan en empresas responsables del transporte de mercancías en todo el mundo. Para la edición del 2016 fueron 1.051 profesionales que realizaron las encuestas.

En las primeras preguntas se responde acerca de la empresa en que trabaja el profesional logístico y del trabajo que desempeña.

Un ejemplo de estas preguntas se pueden observar en la Ilustración 4. Estas preguntas van desde la 1 hasta la 9. Por ejemplo en la pregunta 3, es sobre la cantidad de trabajadores de la empresa de servicios logísticos. La mayoría de las empresas en las que trabajan los profesionales logísticos son medianas y pequeñas. También se hacen preguntas como los modos de transporte que utiliza la empresa, el cargo del operador logístico, entre otros.

Ilustración 4 Primeras preguntas encuesta LPI



The screenshot displays a survey interface with three columns of questions:

- 1/34** Your position in your company (choose one)
  - Senior Executive
  - Area and/or Country Manager
  - Department Manager
  - Supervisor
  - Operations
  - Other
- 2/34** Organizational level
  - Corporate and/or Regional Headquarters
  - Country Branch Office
  - Local Branch Office
  - Independent Firm/Entrepreneur
- 3/34** What is the number of employees for your company (choose one) \*
  - 1-9
  - 10-49
  - 50-249
  - 250-499
  - 500 or more
- 4/34** The freight mode you typically deal with in your work (choose one)
  - Maritime
  - Road
  - Rail
  - Air Transport
  - Express delivery
  - Multimodal
- 5/34** Direction of trade and transport you are primarily dealing with (choose one)
  - Export
  - Import
  - Export and Import
  - Domestic
  - International transit
  - Most of the above
- 6/34** Main line of your work (choose one)
  - Full Container/Trailer Loads
  - Less than Full Container/Trailer Loads
  - Bulk/Break Bulk Cargo
  - Customer Tailored Logistics Solutions
  - Warehousing and Distribution
  - Courier Services
  - Most of the above
- 7/34** Which of the following geographical regions do you deal with most in your work (choose one)
  - Select ---
- 8/34** The country you are currently working in \*
  - Select ---
  - Check here to confirm country selection
  - You have selected
  - as the country you are currently working in. If this is not correct, please go back and select the correct country.
- 9/34** Enter the postal or ZIP code of your facility (alternatively enter the name of the city)
  - Text input field

At the bottom, there is an "Email" field with a note: "Please enter your email address to use the 'resume later' button (optional)".

Fuente: (The World Bank, 2014)

Para el LPI internacional, cada profesional en la logística califica a 8 mercados (países) y se escogen en base a los países más importantes en cuanto a la exportación e importación del país del profesional, estos 8 mercados se evalúan en los seis componentes mencionados anteriormente. La calificación es de 1 a 5, siendo 5 la calificación más alta y 1 la más baja.

En la ilustración 5 se muestra un ejemplo de estas preguntas. Donde el profesional es de Estados Unidos y evaluó a los países: Corea, Taiwán, República de Chad, Georgia, El Salvador, Dinamarca, Sudán y Libia.

Ilustración 5 Preguntas LPI Internacional

**11/34 Evaluate the quality of trade and transport related infrastructure (e.g. ports, railroads, roads, information technology) in...**

	Very low	Low	Average	High	Very high
Korea, Rep.	<input type="radio"/>				
Taiwan	<input type="radio"/>				
Chad	<input type="radio"/>				
Georgia	<input type="radio"/>				
El Salvador	<input type="radio"/>				
Denmark	<input type="radio"/>				
Sudan	<input type="radio"/>				
Libya	<input type="radio"/>				

**12/34 Assess the ease of arranging competitively priced shipments to ...**

	Very Difficult	Difficult	Average	Easy	Very Easy
Korea, Rep.	<input type="radio"/>				
Taiwan	<input type="radio"/>				
Chad	<input type="radio"/>				
Georgia	<input type="radio"/>				
El Salvador	<input type="radio"/>				
Denmark	<input type="radio"/>				
Sudan	<input type="radio"/>				
Libya	<input type="radio"/>				

Fuente: (The World Bank, 2014)

The World Bank maneja una matriz para la selección de los 8 mercados dependiendo si el país al que pertenece el profesional es costero o es un país sin litoral y si sus ingresos son bajos, medios o altos. La matriz se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2 Metodología para seleccionar grupos de países encuestados

	Respondents from low-income countries	Respondents from middle-income countries	Respondents from high-income countries
Respondents from coastal countries	Five most important export partner countries + Three most important partner countries	Three most important export partner countries + The most important import partner country + Four countries randomly, one from each country group: a. Africa b. East, South, and Central Asia c. Latin America d. Europe less Central Asia and OECD	Two countries randomly from a list of five most important export partner countries and five most important import partner countries + Four countries randomly, one from each country group: a. Africa b. East, South, and Central Asia c. Latin America d. Europe less Central Asia and OECD
Respondents from landlocked countries	Four most important export partner countries + Two most important import partner countries + Two land-bridge countries	Three most important export partner countries + The most important import partner country + Two land-bridge countries + Two countries randomly, one from each country group: a. Africa, East, South, and Central Asia, and Latin America b. Europe less Central Asia and OECD	Two countries randomly from the combined country groups a, b, c, and d

Fuente: (The World Bank, 2016)

Si el profesional no contesta alguna pregunta o algún ítem de una pregunta, se hace una interpolación, es decir que el valor que falte se llena con la media de las respuestas del país por lo tanto se ajusta a la desviación media de las preguntas contestadas por los profesionales.

Una vez que ya se tienen todas las respuestas de los 6 componentes y de los mercados, se utiliza el PCA (Principal Components Analysis – Análisis de Componente Principales). La idea central del PCA es reducir la dimensión de un conjunto de datos que consiste en un gran número de variables interrelacionadas, conservando al mismo tiempo la variación presente en el conjunto de datos (Jolliffe, 2002).

Los datos de entrada del PCA son todas las puntuaciones de los países dadas por las respuestas de las preguntas promediándolos en todos los profesionales encuestados; después las puntuaciones se normalizan con la siguiente ecuación:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Siendo:

z Distribución normal estándar

x El dato a normalizar

$\mu$  Es el promedio de la muestra

$\sigma$  Es la desviación estándar

El resultado del PCA es un único indicador que es un promedio ponderado de esos resultados con los pesos de los 6 componentes. Las ponderaciones se eligen para maximizar el porcentaje de variación de los valores originales de los seis componentes principales del LPI. El peso de cada componente se relaciona en la Tabla 3.

Tabla 3 Pesos de los componentes

Component	Weight
Customs	0.41
Infrastructure	0.41
International shipments	0.41
Logistics quality and competence	0.41
Tracking and tracing	0.41
Timeliness	0.40

Fuente: (The World Bank, 2016)

Para crear el LPI internacional, las puntuaciones normalizadas para cada uno de los seis indicadores originales se multiplican por los pesos de los componentes y después se suman.

## 2.5 LPI COLOMBIA

En cuanto a la situación del desempeño logístico en Colombia está en el puesto 94 en el 2016 con un LPI de 2.61, se encuentra en un nivel medio (50.0%) comparado con Alemania que es el número uno con un LPI internacional de 4.11.

En la Tabla 1 se evidencia el rendimiento logístico de Colombia a lo largo de las cinco ediciones del LPI bajo los 6 componentes. Del 2007 al 2012 Colombia había mejorado su puesto del 82 al 64, sin embargo, tuvo un retroceso significativo en 2014 ocupando el puesto 97.

En el año 2012, donde Colombia obtuvo su mejor puesto, año en el cual, entró en vigencia el tratado de libre comercio entre Colombia y Estados Unidos afectando así las importaciones y exportaciones.

Tabla 4 LPI Internacional Colombia (2007-2016)

COLOMBIA	2016	2014	2012	2010	2007
LPI Rank	94	97	64	72	82
LPI Score	2.61	2.64	2.87	2.77	2.5
Customs	2.21	2.59	2.65	2.5	2.1
Infrastructure	2.43	2.44	2.72	2.59	2.28
International shipments	2.55	2.72	2.76	2.54	2.61
Logistics competence	2.67	2.64	2.95	2.75	2.44
Tracking & tracing	2.55	2.55	2.66	2.75	2.63
Timeliness	3.23	2.87	3.45	3.52	2.94

Fuente: (The World Bank, 2016)

En los procesos de control fronterizo en el que ocupa el puesto 129 y en la calidad de las infraestructuras para el comercio y transporte con el puesto 95 son los puntos débiles de Colombia como se observa en la Tabla 4.

Por otro lado, Colombia se destaca a los largo de los años en la eficiencia en el tiempo de entrega pero no dejan de ser puntuaciones con un nivel medio bajo, es decir que Colombia debe implementar medidas correctivas e innovadoras para mejorar su logística comercial.

En la Tabla 5 se muestran los factores que se evalúan en LPI Domestico en la categoría Performance junto con los países que se usaron para comparar con Colombia, la elección de los países se hizo teniendo en cuenta el informe del año 2016-2017 que realiza el Concejo privado de Competitividad de Colombia en su apartado del Desempeño Logístico (Concejo Privado de Competitividad, 2016)

Tabla 5 Domestic LPI, Performance

	Colombia	United States	Brazil	Mexico
<b>Export time and cost / Port or airport supply chain</b>				
Distance (kilometers)	109km	427km	173km	255km
Lead time (days)	4 days	3 days	3 days	2 days
Cost (US\$)	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Export time and cost / Land supply chain</b>				
Distance (kilometers)	474km	1081km	415km	1690km
Lead time (days)	3 days	4 days	8 days	5 days
Cost (US\$)	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Import time and cost / Port or airport supply chain</b>				
Distance (kilometers)	178km	237km	281km	219km
Lead time (days)	3 days	3 days	4 days	3 days
Cost (US\$)	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Import time and cost / Land supply chain</b>				
Distance (kilometers)	300km	483km	944km	1601km
Lead time (days)	7 days	4 days	20 days	4 days
Cost (US\$)	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Shipments meeting quality criteria (%)</b>				
Shipments meeting quality criteria (%)	94.72%	96.34%	90.49%	79.15%
Number of agencies - exports	4	3	3	3
Number of agencies - imports	4	2	3	2
Number of documents - exports	5	3	3	4
Number of documents - imports	4	3	3	3
Clearance time without physical inspection (days)	3 days	1 days	3 days	1 days
Clearance time with physical inspection (days)	5 days	2 days	4 days	2 days
Physical inspection (%)	5.15%	4.29%	6.26%	8.68%
Multiple inspection (%)	5.85%	2.58%	1.77%	3.47%
Declarations submitted and processed electronically and on-line (%)	66.67%	100%	100%	83.33%
Importers use a licensed Customs Broker (%)	66.67%	100%	100%	66.67%
Able to choose the location of the final clearance (%)	100%	100%	85.71%	66.67%
Goods released pending customs clearance (%)	33.33%	57.14%	60%	16.67%

Fuente: (The World Bank, 2016)

De esta tabla se puede resaltar que:

- Para la exportación en puertos o aeropuertos, Estados Unidos es un 422% más eficiente que Colombia ya que, en lo que Estados Unidos tarda 3 días en Colombia serían 15.67 días.
- En cuanto a la exportación por carretera, México es un 114% más eficiente que Colombia ya que, en México tarda 5 días en Colombia sería 10.70 días, sin embargo, comparado con Brasil, Colombia sería más eficiente.
- En la importación con puertos o aeropuertos, Estados Unidos es un 33% más eficiente que Colombia ya que, en lo que Estados Unidos tarda 3 días en Colombia serían 3.99 días.
- Para la importación en carretera, México es un 834% más eficiente que Colombia ya que, en lo que México tarda 4 días en Colombia serían 37.36 días.

Esta información se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 6 Porcentaje eficiencia

	Estados Unidos	Brasil	Mexico
<b>Puertos o aeropuertos (Exportación)</b>			
Días que Colombia tardaría	15.67	6.35	9.36
Días reales	3	3	2
% eficiencia	422%	112%	368%
<b>Carretera (Exportación)</b>			
Días que Colombia tardaría	6.84	2.63	10.70
Días reales	4	8	5
% eficiencia	71%	-67%	114%
<b>Puertos o aeropuertos (Exportación)</b>			
Días que Colombia tardaría	3.99	4.74	3.69
Días reales	3	4	3
% eficiencia	33%	18%	23%
<b>Carretera (Exportación)</b>			
Días que Colombia tardaría	11.27	22.03	37.36
Días reales	4	20	4
% eficiencia	182%	10%	834%

Fuente: Elaboración propia

Otros aspectos relevantes de la Tabla 5 son:

- La cantidad de agencias de exportaciones son 33% más que en Estados Unidos, Brasil y México.
- En cuanto a las agencias de importaciones llegan a ser el doble en cantidad comparándolo con Estados Unidos y México.
- El número de documentos para exportar son un 67% más en Estados Unidos y Brasil.
- La cantidad de documentos de importaciones son 33% más que en Estados Unidos, Brasil y México.
- El tiempo sin inspecciones físicas son 200% mayor que en Estados Unidos y México.
- El tiempo en las inspecciones físicas son 150% mayor que en Estados Unidos y México.

Tabla 7 Porcentajes de Agencias y Tiempos

	Estados Unidos	Brasil	Mexico
<b>Número de agencias - exportaciones</b>	33%	33%	33%
<b>Número de agencias - importaciones</b>	100%	33%	100%
<b>Número de documentos - exportaciones</b>	67%	67%	25%
<b>Número de documentos - importaciones</b>	33%	33%	33%
<b>Tiempo libre sin inspección física (días)</b>	200%	0%	200%
<b>Tiempo libre con inspección física (días)</b>	150%	25%	150%

Fuente: Elaboración propia

La segunda categoría del LPI Doméstico es Environment and Institutions en el cual se destaca que:

- En Nivel de tasas y cargos, en cuanto a los puertos y aeropuertos el porcentaje es menor comparando con Estados Unidos, Brasil y México. Sin embargo en carretera es mayor el porcentaje de alto/ muy alto comparado con Estados Unidos y Brasil. En cuanto al ferrocarril es 5% mayor que Estados Unidos, lo que para este país es un porcentaje bastante bajo. En los gastos de almacenaje y trasbordo Colombia tiene mayor porcentaje. Por último, existe gran deficiencia en los honorarios de los agentes ya que el 0% de los encuestados opinaron que es alto/muy alto.

Tabla 8 Nivel de Honorarios y Tarifas

	Colombia	United States	Brazil	Mexico
<b>Level of Fees and Charges</b>	<b>% of respondents answering high/very high</b>			
<b>Port charges</b>	40%	60%	72.73%	71.43%
<b>Airport charges</b>	50%	66.67%	60%	71.43%
<b>Road transport rates</b>	60%	40%	40%	71.43%
<b>Rail transport rates</b>	25%	20%	36.36%	42.86%
<b>Warehousing/transloading charges</b>	50%	40%	45.45%	42.86%
<b>Agent fees</b>	0%	30%	40%	85.71%

Fuente: (The World Bank, 2016)

- En la calidad en las infraestructuras de los puertos, aeropuertos y carreteras en Colombia es mejor comparado con Brasil y México según los profesionales encuestados y ocurre lo mismo en las Telecomunicaciones y la Tecnología e Información. Pero los ferrocarriles, el 75% opinan que la calidad es bajo/muy bajo. En cuanto a las facilidades de almacenamiento y trasbordo Colombia tiene un mejor resultado que en Estados Unidos, Brasil y México ya que ninguno opino que sea bajo/muy bajo.

Tabla 9 Calidad de Infraestructura

	Colombia	United States	Brazil	Mexico
<b>Quality of Infrastructure</b>	<b>% of respondents answering low/very low</b>			
<b>Ports</b>	20%	20%	63.64%	14.29%
<b>Airports</b>	20%	0%	45.45%	28.57%
<b>Roads</b>	25%	11.11%	63.64%	71.43%
<b>Rail</b>	75%	30%	81.82%	85.71%
<b>Warehousing/transloading facilities</b>	0%	10%	9.09%	28.57%
<b>Telecommunications and IT</b>	0%	0%	27.27%	28.57%

Fuente: (The World Bank, 2016)

- Competencia y calidad de servicios, en aspectos como la carretera, aeropuertos, ferrocarril, distribución de almacenamiento y trasbordo y agentes de aduanas el porcentaje es mayor que en los 3 países y los Transitarios, Agencias aduanales, Agencias de control de calidad, Agencias de salud, Agentes de aduanas, Asociaciones comerciales y de transporte, Destinatarios o consignatarios tiene mayor calidad Colombia que en México y Brasil.

Tabla 10 Competencia y Calidad de Servicios

	Colombia	United States	Brazil	Mexico
Competence and Quality of Services	% of respondents answering high/very high			
Road	60%	50%	27.27%	28.57%
Rail	33.33%	25%	0%	14.29%
Air transport	80%	62.50%	20%	42.86%
Maritime transport	50%	37.50%	27.27%	71.43%
Warehousing/transloading and distribution	60%	50%	45.45%	42.86%
Freight forwarders	80%	87.50%	20%	28.57%
Customs agencies	60%	100%	20%	14.29%
Quality/standards inspection agencies	40%	50%	11.11%	14.29%
Health/SPS agencies	40%	62.50%	20%	14.29%
Customs brokers	75%	71.43%	20%	28.57%
Trade and transport associations	60%	75%	20%	28.57%
Consignees or shippers	50%	50%	40%	28.57%

Fuente: (The World Bank, 2016)

- En todos los aspectos de la eficiencia de procesos, Colombia obtuvo mejor porcentaje con respecto a Brasil pero mejor porcentaje que Estados Unidos. Y comparándolo con México, el porcentaje de Colombia fue más bajo en cuanto a la Liquidación y entrega de las exportaciones, Suministro de información adecuada y oportuna sobre los cambios regulatorios y Despacho aduanero acelerado para comerciantes con altos niveles de cumplimiento

Tabla 11 Eficiencia de Procesos

	Colombia	United States	Brazil	Mexico
Efficiency of Processes	% of respondents answering often or nearly always			
Clearance and delivery of imports	100%	100%	27.27%	57.14%
Clearance and delivery of exports	80%	100%	54.55%	100%
Transparency of customs clearance	60%	75%	36.36%	57.14%
Transparency of other border agencies	60%	66.67%	18.18%	57.14%
Provision of adequate and timely information on regulatory changes	50%	87.50%	9.09%	57.14%
Expedited customs clearance for traders with high compliance levels	60%	75%	27.27%	71.43%

Fuente: (The World Bank, 2016)

- Las fuentes de retrasos en Colombia se presentan más que en los tres países en cuanto a Almacenamiento / transbordo obligatorio e Inspección de pre-envío. Y en Transbordo marítimo, Actividades criminales (por ejemplo, carga robada) y Solicitud de pagos informales se presentan con mayor frecuencia en Brasil y México comparándolos con Colombia.

Tabla 12 Fuentes de retrasos

	Colombia	United States	Brazil	Mexico
Sources of Major Delays	% of respondents answering often or nearly always			
Compulsory warehousing/transloading	20%	16.67%	20%	14.29%
Pre-shipment inspection	40%	0%	30%	14.29%
Maritime transshipment	20%	14.29%	30%	28.57%
Criminal activities (e.g., stolen cargo)	20%	0%	40%	28.57%
Solicitation of informal payments	20%	14.29%	30%	28.57%

Fuente: (The World Bank, 2016)

- En cuanto a los cambios logísticos de Colombia en infraestructura de Telecomunicaciones y Tecnologías e Información y servicios privados Logísticos se han mejorado en un 80%, sin embargo en Procedimientos de despacho de aduanas, otros procedimientos oficiales de liquidación y solicitud de pagos informales los porcentajes de mejora son bajos.

Tabla 13 Cambios en el entorno logístico desde 2013

	Colombia	United States	Brazil	Mexico
Changes in the Logistics Environment Since 2013	% of respondents answering improved or much improved			
Customs clearance procedures	20%	71.43%	66.67%	71.43%
Other official clearance procedures	20%	57.14%	11.11%	57.14%
Trade and transport infrastructure	50%	42.86%	33.33%	71.43%
Telecommunications and IT infrastructure	80%	85.71%	44.44%	57.14%
Private logistics services	80%	71.43%	66.67%	57.14%
Regulation related to logistics	60%	57.14%	12.50%	42.86%
Solicitation of informal payments	0%	50%	44.44%	42.86%

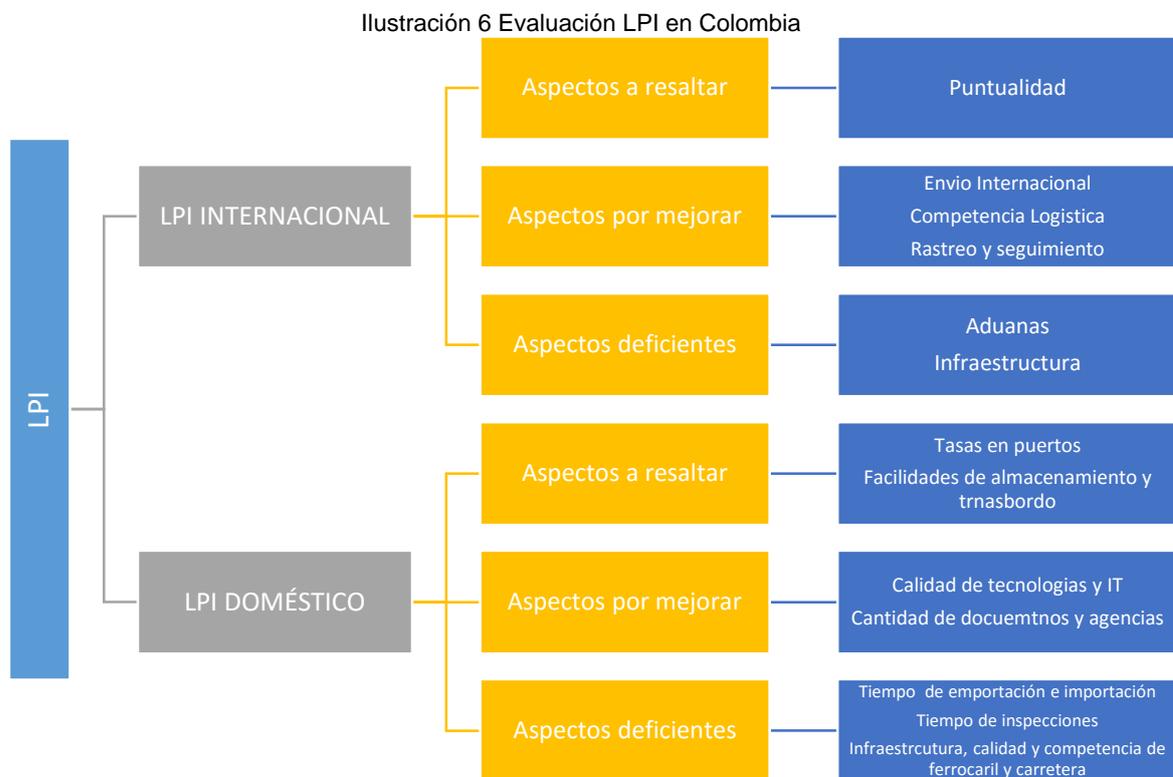
Fuente: (The World Bank, 2016)

De la información anterior, se destaca que el LPI (Logistics Performance Index) es una herramienta ideal para evaluar de manera comparativa el rendimiento logístico. Ya que, presenta una evaluación de cada país basada en una encuesta de ámbito mundial, realizada por los actores del ámbito logístico que realizan transacciones comerciales con dicho país, por lo que ofrece una información neutral y basada en experiencias.

El LPI entrega dos perspectivas, la primera es el LPI internacional, indicador principal del LPI que evalúa 6 factores: la aduanas (control de la frontera en canto a la eficiencia, velocidad, claridad), Infraestructura (calidad de la infraestructura en el transporte), Envío internacional (acuerdos de precios competitivos), Competencia logística (calidad de los servicios logísticos), rastreo y seguimiento (capacidad de ubicar las mercancías) y puntualidad (en referencia a la llegada de mercancías en los plazos acordados).

La segunda perspectiva es el LPI doméstico, el cual proporciona información adicional y complementaria al LPI internacional, que se divide en dos secciones, la primera es Medioambiente e Instituciones que busca suministrar información sobre costos, calidad y eficiencia de recursos humanos como instituciones involucrados en los procesos de comercio internacional. La segunda sección es Rendimiento, en el que se evalúa tiempos, costos, documentos, y procesos realizados en las fronteras en las importaciones y exportaciones.

Como el presente trabajo, se focaliza a mejorar el desempeño logístico de Colombia, se evalúa su rendimiento en referencia al LPI. De manera general se identifica que LPI en Colombia tiene una valoración de 2.61 para el 2016, lo que representa un rendimiento bajo, y de forma específica se concluye del LPI en Colombia lo expresado en la siguiente ilustración:



Fuente: Elaboración propia

A continuación se caracterizará el PCA (Principal Components Analysis), metodología utilizada en LPI por el World Bank y en el presente trabajo.

### 3. CARACTERIZACIÓN DEL PCA

#### 3.1 DEFINICIÓN

El análisis de componentes principales es una herramienta estadística que linealmente transforma un conjunto original de variables en un conjunto sustancialmente menor de variables no correlacionadas que representan la mayor parte de la información en el conjunto original de variables. Un pequeño grupo de variables no correlacionadas es mucho más fácil de entender y usar en futuros análisis que un gran grupo de variables correlacionadas (Dunteman, 1989).

Es decir, cuando se recogen un grupo de varios datos de variables independientes y dependientes cuyas relaciones entre si son desconocidas; el PCA disminuye la cantidad de variables, eliminando las que aportan menos información, dejando así las variables más importantes.

#### 3.2 COMPONENTES PRINCIPALES

Los datos de entrada están representados por una matriz X con p variables (X1, X2...Xp) con una muestra de n individuos (1,2...n) como se observa en la siguiente a continuación:

Tabla 14 Matriz datos de entrada PCA

$$X = \begin{array}{c|cccc} & X1 & X2 & \dots & XP \\ \hline 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ 2 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{np} \end{array}$$

Fuente: (Peña, 2002)

Al trabajar con muchas variables es posible que se presenten datos atípicos, por lo tanto para representar la disparidad de los datos se deben centralizar.

La medida de centralización más utilizada para describir datos de múltiples variantes es el vector de medias, que es un vector de dimensión p cuyos componentes son las medias de cada una de las p variables (Peña, 2002). La matriz de datos centralizados se obtiene con la resta de cada dato con su media  $\bar{x}$ .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \begin{array}{c} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p \end{array}$$

Fuente: (Peña, 2002)

Las variables centradas son:  $Y_i = X_i - \bar{x}_i \quad i = 1, 2, 3 \dots p$

Los datos centrados son:  $y_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_j$   $i = 1, 2, 3 \dots p$   $j = 1, 2, 3 \dots n$

La matriz de los datos centralizados es la que se observa a continuación:

Tabla 15 Matriz de datos centralizados

$$Y = \begin{matrix} & & Y_1 & Y_2 & \dots & Y_p \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ N \end{matrix} & \begin{matrix} | \\ | \\ | \\ | \\ | \end{matrix} & \begin{matrix} y_{11} \\ y_{21} \\ \vdots \\ y_{n1} \end{matrix} & \begin{matrix} y_{12} \\ y_{22} \\ \vdots \\ y_{n2} \end{matrix} & \begin{matrix} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{matrix} & \begin{matrix} y_{1p} \\ y_{2p} \\ \vdots \\ y_{np} \end{matrix} \end{matrix}$$

Fuente: (Peña, 2002)

Por lo tanto el vector de las variables aleatorias centradas son:  $Y = Y_1, Y_2, \dots, Y_p$

Ahora se requiere hallar la matriz de covarianzas que se obtiene a partir de la matriz de datos centralizados Y dando como resultado:

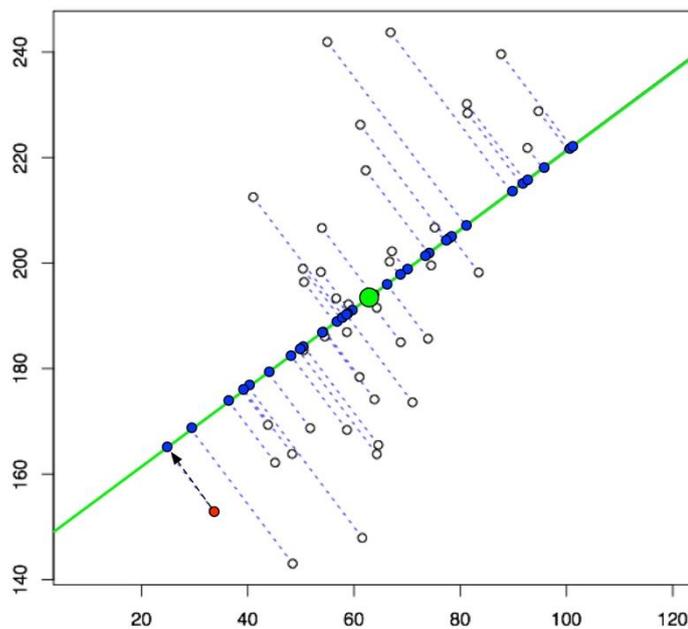
$$S_y = \frac{1}{n} Y'Y$$

Fuente: (Peña, 2002)

La función del PCA es hallar un vector Z que transforme linealmente las distancias ortogonales que existen entre los datos de entrada en X.

Este vector  $Z_1$  es la primera componente principal se realiza mediante la combinación lineal del vector Y con la máxima varianza. La siguiente ilustración es una descripción gráfica de la primera componente principal:

Ilustración 7 Primera componente principal



Fuente: (Koios, 2016)

Dando como resultado:

$$Z_1 = a'_1 Y = a_{11} Y_1 + a_{21} Y_2 + \dots + a_{p1} Y_p$$

Fuente: (Molina, 2015)

Donde  $a_1 = (a_{11} + a_{21} + \dots + a_{p1})$  es el vector de coeficientes o pesos de la combinación lineal.

La varianza del vector  $Z_1$  es  $s_{z_1}^2 = \frac{1}{n} \sum_p z_{p1}^2$

El vector  $a_1$  se obtiene resolviendo el siguiente problema:

$$\max_{a_1} s_{z_1}^2$$

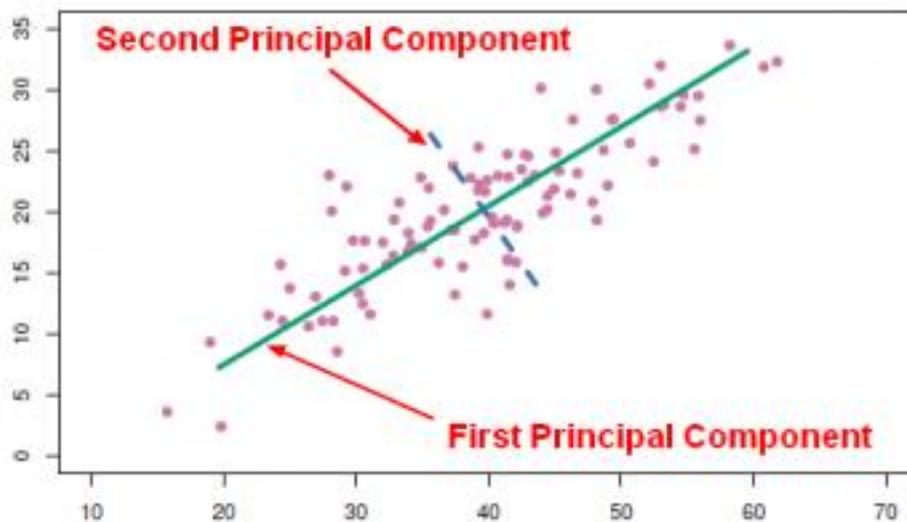
s. a.  $a'_1 a_1 = 1$

Fuente: (Molina, 2015)

Se llamará  $\lambda_1$  al valor máximo para la solución del problema anterior.

La segunda componente principal  $Z_2$  es la resultante es la combinación lineal del vector  $Y$  no correlacionada con  $Z_1$  con la máxima varianza. Los dos componentes principales se pueden observar en la siguiente ilustración.

Ilustración 8 Primera y segunda componente principal



Fuente: (Gerardnido, 2015)

El resultado es:

$$Z_2 = a'_2 Y = a_{12} Y_1 + a_{22} Y_2 + \dots + a_{p2} Y_p$$

Fuente: (Molina, 2015)

La varianza del vector  $Z_2$  es  $s_{z_2}^2 = \frac{1}{n} \sum_p z_{p2}^2$

Él vector  $a_2$  se obtiene resolviendo el siguiente problema:

$$\max_{a_2} s_{z_2}^2$$

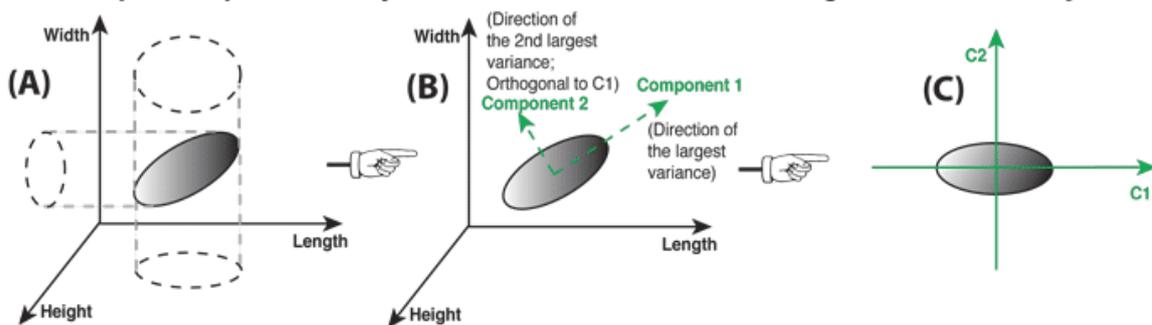
$$\text{s. a. } \begin{aligned} a_2' a_2 &= 1 \\ a_1' S_y a_2 &= 0 \end{aligned}$$

Fuente: (Molina, 2015)

Se llamará  $\lambda_2$  al valor máximo para la solución del problema anterior, y se debe cumplir que:  $\lambda_1 \geq \lambda_2$

Entonces el componente principal final  $j$ -ésima será  $Z_j$  es la combinación lineal de la  $Y$  no correlacionada con  $Z_1, Z_2, \dots, Z_{j-1}$  con la máxima varianza. El resultado de este proceso se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 9 Proceso PCA



Fuente: (Xu, 2013)

El resultado es:

$$Z_j = a_j' Y = a_{1j} Y_1 + a_{2j} Y_2 + \dots + a_{pj} Y_p$$

Fuente: (Molina, 2015)

La varianza del vector  $Z_j$  es  $s_{z_j}^2 = \frac{1}{n} \sum_p z_{pj}^2$

Él vector  $a_j$  se obtiene resolviendo el siguiente problema:

$$\max_{a_j} s_{z_j}^2 = a_j' S_y a_j$$

$$\text{s. a. } \begin{aligned} a_j' a_j &= 1 \\ a_i' S_y a_j &= 0 \end{aligned}$$

Fuente: (Molina, 2015)

Donde  $i = 1, 2, \dots, j - 1$

Se verifica que  $\lambda_j$  es el máximo  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_j$

### 3.3 ELECCIÓN NÚMERO DE COMPONENTES

Existen 3 criterios:

1. Porcentaje de varianza:

Retener un número de componentes tales que en conjunto recojan un porcentaje de variabilidad de al menos un 75 % (Molina, 2015)

Proporción de la variabilidad total de la i-esima componente:

$$\frac{\lambda_i}{\text{tr}(\text{Sy})} = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^p y_k}$$

Fuente: (Molina, 2015)

Donde  $i = 1, 2, \dots, p$

Proporción de variabilidad de las primeras  $p_1 < p$  componetes

$$\frac{\sum_{k=1}^{p_1} y_i}{\text{tr}(\text{Sy})} = \frac{\sum_{k=1}^{p_1} y_k}{\sum_{k=1}^p y_k}$$

Fuente: (Molina, 2015)

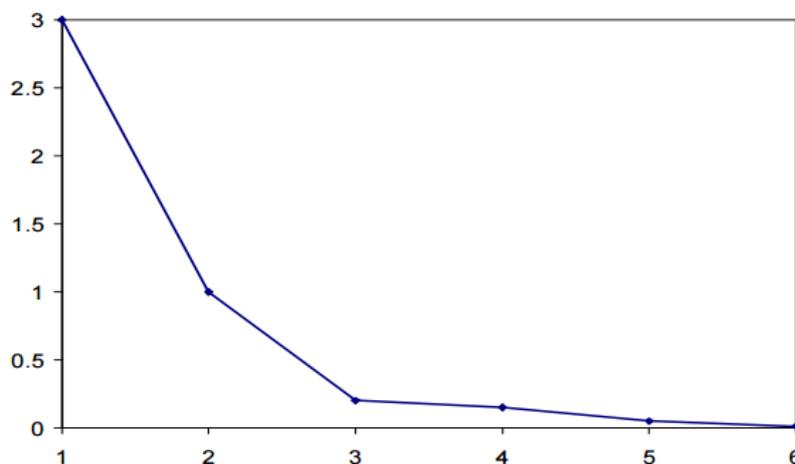
2. Elegir los componentes cuyos valores propios es decir las varianzas sean mayores la media de los valores propios es decir la media de la varianza.

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \lambda_k$$

Fuente: (Molina, 2015)

3. Utilizar el test scree o gráfico de sedimentación: Aquí se deben descartar los componentes que no contribuyen a la varianza. En este grafico se representa los valores propios asociado con el componente frente al número del componente.

Ilustración 10 Test scree



Fuente: (Molina, 2015)

### 3.4 COMUNALIDADES

Comunalidad de una variable original: Cantidad de su varianza que recogen las componentes principales seleccionadas (Molina, 2015)

Por el teorema de descomposición espectral

$$S_y = A\Lambda A' = \lambda_1 a_1 a_1' + \dots + \lambda_p a_p a_p'$$

Fuente: (Molina, 2015)

La varianza de cada variable original  $Y_i$  se descompone en una suma de aportaciones de cada componente principal  $Z_j$

$$s^2 = \lambda_1 a_{i1}^2 + \dots + \lambda_p a_{ip}^2$$

Fuente: (Molina, 2015)

Donde  $i = 1, 2, \dots, p$

La comunalidad de una variable  $Y_i$  es la cantidad de variabilidad que está en el sumatorio anterior al seleccionar solo para las  $p_1 < p$  las primeras componentes principales:

$$h_{y_i}^2 = \lambda_1 a_{i1}^2 + \dots + \lambda_{p_1} a_{ip_1}^2$$

Fuente: (Molina, 2015)

Donde  $i = 1, 2, \dots, p$

Por lo tanto las comunidades muestran que tan bien están representadas las variables iniciales (originales) por el grupo de componentes seleccionados.

### 3.5 CORRELACIONES

- Correlaciones entre variables y componentes principales

Sea la componente principal  $j$ -ésima

$$z_j = a_{1j} Y_1 + \dots + a_{1jp} Y_{1p}$$

Fuente: (Molina, 2015)

Las correlaciones de  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$  con  $Z_j$  son

$$r_{Y_1, Z_j} = \frac{\sqrt{\lambda_j} a_{1j}}{s_{Y_1}}, r_{Y_2, Z_j} = \frac{\sqrt{\lambda_j} a_{2j}}{s_{Y_2}}, \dots, r_{Y_p, Z_j} = \frac{\sqrt{\lambda_j} a_{pj}}{s_{Y_p}}$$

Fuente: (Molina, 2015)

➤ Análisis de la matriz de correlaciones

Cuando las variables originales  $X_j$  siendo  $j = 1, \dots, p$ , tienen rangos muy diferentes, o tienen unidades de medida no comparables, es necesario estandarizarlas de la siguiente manera:

$$Y_j = \frac{X_j - \bar{x}_j}{\sqrt{s_j^2}}, \quad s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

Fuente: (Molina, 2015)

Donde  $i = 1, 2, \dots, p$

Por lo tanto la matriz de covarianzas  $S_Y$  del vector  $(Y_1, \dots, Y_p)$  debe coincidir con la matriz de correlaciones  $R_Y$ . Por lo tanto se verifica:

- $\text{tr}(S_Y) = \text{tr}(R_Y) = \dots = \sum_{i=1}^p \lambda_i = \sum_{i=1}^p s_{Zi}^2$
- La media es  $\bar{\lambda} = \sum_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{p} \dots$
- La correlación entre la variable  $Y_i$  y la componente principal  $Z_j$  es

$$r_{Y_i, Z_j} = \frac{\sqrt{\lambda_j} a_{ij}}{s_{Y_i}}$$

Fuente: (Molina, 2015)

- ✓ Las comunidades son:

$$h_{y_i}^2 = \sum_{j=1}^{p1} \lambda_j a_{ij}^2$$

Fuente: (Molina, 2015)

- ✓ La matriz factorial es  $A^* = [a_1^* \dots a_p^*]$ , donde

$$a_j^i = \sqrt{\lambda_j} a_{ij} = (r_{y_i, z_j}, \dots, r_{y_p, z_j})'$$

Fuente: (Molina, 2015)

Donde  $i = 1, 2, \dots, p$

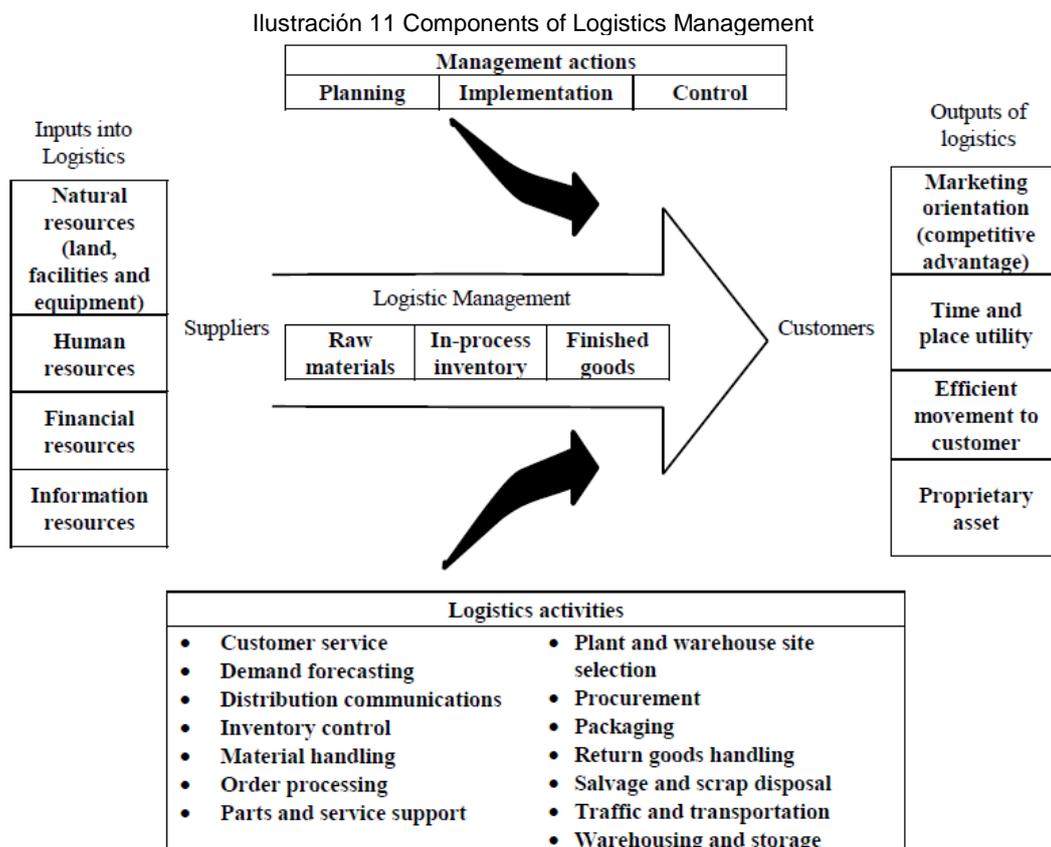
A partir de la caracterización del PCA se determina que, para desarrollar esta técnica es necesario identificar variables externas que determinen de forma más adecuada el rendimiento logístico de un país es decir el LPI.

#### 4. IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES EXTERNOS

Para identificar los indicadores externos que evalúan aspectos relacionados con el desempeño logístico de un país; se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Indicadores realizados por organizaciones reconocidas.
- Existencia de información para los años 2007, 2010, 2012, 2014 y 2016.
- Incluya gran cantidad de países.
- La Información está abierta al público.

Para identificar aquellos aspectos relacionados con la logística de un país se usó el diagrama de los componentes para la gestión de la logística:



Fuente: (Lambert, Stock, & Ellram, 1998)

Para cada componente se realizó una búsqueda de indicadores que los evaluaran dando como resultado 6 indicadores:

- Competitividad
- Tecnología
- Importaciones y exportaciones
- Conectividad Marítima
- Infraestructura
- Aduanas

Aunque existen más variables que determinan el rendimiento logístico, los parámetros utilizados en la búsqueda limitan el uso y apropiación de indicadores existentes.

Ilustración 12 Indicadores a evaluar



Fuente: Elaboración propia

Para cada una de estas variables se identificó su relevancia dentro del ámbito logístico y su medidor cuantitativo.

#### 4.1 COMPETITIVIDAD

La prosperidad de una nación depende de su competitividad, la cual se basa en la productividad con la cual esta produce bienes y servicios. Políticas macroeconómicas e instituciones legales sólidas y políticas estables, son condiciones necesarias, pero no suficientes para asegurar una economía próspera. La competitividad está fundamentada en las bases microeconómicas de una nación: la sofisticación de las operaciones y estrategias de una compañía y la calidad del ambiente microeconómico de los negocios en la cual las compañías compiten. Entender los fundamentos microeconómicos de la competitividad es vital para la política nacional (Porter, 1991).

Atendiendo a la importancia de la competitividad de un país explicado por Michael Porter. La logística empieza a ser un elemento crítico para la competitividad de un país en cuanto a su productividad en la capacidad de producir, diseñar, vender y transportar con calidad en los mercados nacionales e internacionales.

Para medir la competitividad de un país se utilizará el “Índice de competitividad global”. El índice lo publica anualmente el Foro Económico mundial (World Economic Forum , 2016).

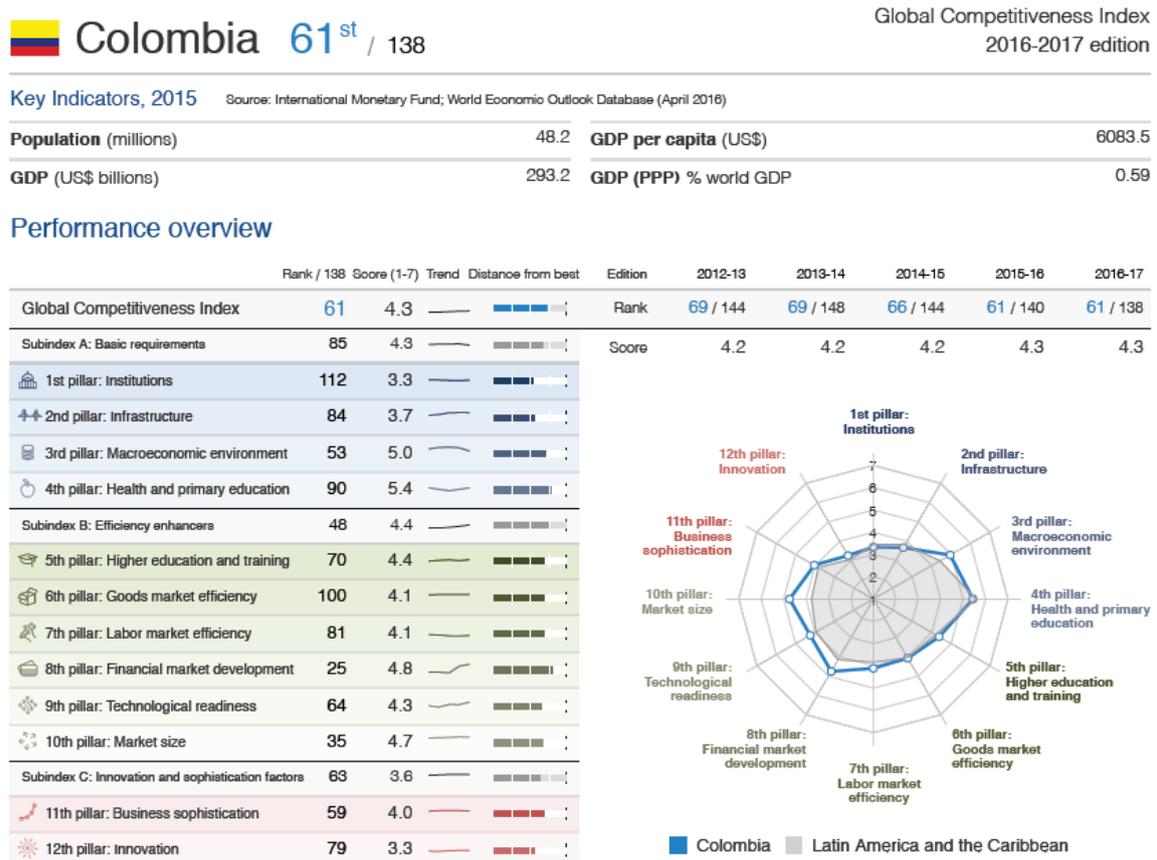
Este es un índice intenta cuantificar el impacto de una serie de factores clave que contribuyen a crear las condiciones para la competitividad, con especial énfasis en el entorno macroeconómico, la calidad de las instituciones del país y el estado de la infraestructura tecnológica y de apoyo del país.

El índice se compone de doce pilares evaluados de 1 a 7 siendo 7 la calificación más alta.

1. Instituciones
2. Infraestructura
3. Ambiente Macroeconómico
4. Salud y Educación primaria
5. Educación superior y formación
6. Eficiencia en el mercado de bienes
7. Eficiencia en el mercado de trabajo
8. Desarrollo del mercado financiero
9. Preparación tecnológica
10. Tamaño del mercado
11. Sofisticación empresarial
12. Innovación

A continuación se muestra un ejemplo del índice para Colombia del año 2016:

Ilustración 13 Global Competitiveness Index Colombia



Fuente: (World Economic Forum , 2016)

## 4.2 TECNOLOGÍA

Las exigencias de los clientes son cada vez mayores, los clientes piden rapidez, seguridad, calidad, seguimiento, personalización entre otros. Para suplir estas necesidades el desarrollo tecnológico se convierte en una herramienta fundamental.

La logística y la tecnología siempre han trabajado juntas, por ejemplo, la logística ha estado utilizando la tecnología de código de barras en envases, pallets y contenedores durante muchos años como una forma de monitorear entregas entrantes y despachos salientes desde almacenes. Y con el fin de abordar procesos de control de inventario, las empresas logísticas buscan una solución automatizada utilizando técnicas de IoT y tecnologías inalámbricas (Gilchrist, 2016).

La adopción de sistemas y dispositivos tecnológicos en países facilita el transporte de mercancías, rastreo y seguimiento de mercancías, comunicación con las partes de la cadena de suministro, diseño de almacenes y en general con los procesos logísticos.

Para medir los aspectos tecnológicos en un país se utilizará “El Índice de Preparación en Red” publicado como parte de su informe anual de tecnología de la información global del Foro Económico Mundial (World Economic Forum, 2016). Este índice mide la tendencia de los países a aprovechar las oportunidades que ofrecen las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Este informe se considera la evaluación más completa de cómo las TIC afectan la competitividad y el bienestar de las naciones.

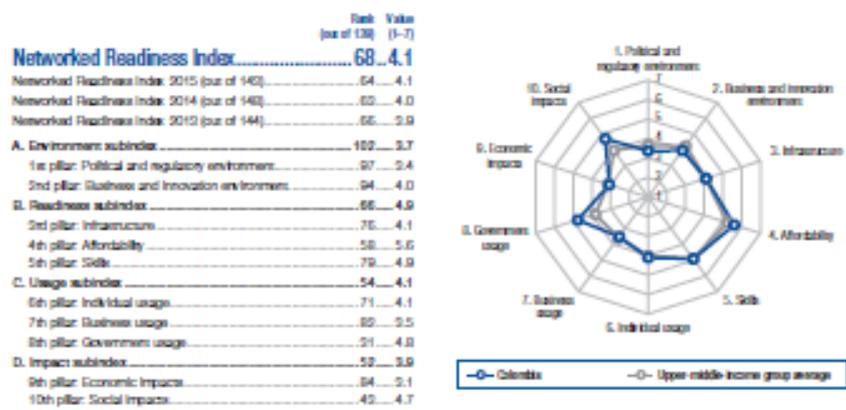
El índice se compone de diez pilares evaluados de 1 a 7 siendo 7 la calificación más alta.

1. Entorno político y normativo
2. Entorno empresarial e innovación
3. Infraestructura
4. Asequibilidad
5. Habilidades
6. Uso individual
7. Uso comercial
8. Uso del gobierno
9. Impactos económicos
10. Impactos sociales

A continuación se muestra un ejemplo del índice para Colombia del año 2016:

Ilustración 14 Networked Readiness Index Colombia

# Colombia



## The Networked Readiness Index in detail

INDICATOR	RANGE	VALUE	INDICATOR	RANGE	VALUE
<b>1st pillar: Political and regulatory environment</b>					
1.01 Effectiveness of law-making bodies*	121	3.8	6.01 Mobile phone subscriptions/100 pop.	71	53.1
1.02 Laws relating to ICTs*	59	4.1	6.02 Individuals using Internet, %	66	52.6
1.03 Judicial independence*	114	2.7	6.03 Households w/ personal computer, %	75	44.5
1.04 Efficiency of legal system in settling disputes*	105	3.1	6.04 Households w/ Internet access, %	75	38.0
1.05 Efficiency of legal system in challenging regts*	100	3.0	6.05 Fixed broadband Internet subs/100 pop.	67	10.3
1.06 Intellectual property protection*	79	3.7	6.06 Mobile broadband subs/100 pop.	65	45.1
1.07 Software piracy rate, % software installed	41	5.0	6.07 Use of virtual social networks*	69	5.4
1.08 No. procedures to enforce a contract	34	3.0	<b>7th pillar: Business usage</b>		
1.09 No. days to enforce a contract	123	1.988	7.01 Firm-level technology absorption*	80	4.4
<b>2nd pillar: Business and innovation environment</b>					
2.01 Availability of latest technologies*	89	4.5	7.02 Capacity for innovation*	63	3.7
2.02 Venture capital availability*	70	3.7	7.03 PCT patents, applications/million pop.	59	1.7
2.03 Total tax rate, % profits	134	62.7	7.04 ICT use for business-to-business transactions*	69	4.7
2.04 No. days to start a business	67	1.1	7.05 Business-to-consumer Internet use*	56	4.7
2.05 No. procedures to start a business	99	8	7.06 Extent of staff training*	63	3.7
2.06 Intensity of local competition*	25	5.4	<b>8th pillar: Government usage</b>		
2.07 Tertiary education gross enrollment rate, %	54	51.3	8.01 Importance of ICTs to gov't vision*	46	4.2
2.08 Quality of management schools*	79	4.0	8.02 Government Online Service Index, 0-1 (best)	17	0.79
2.09 Gov't procurement of advanced tech*	68	3.3	8.03 Gov't success in ICT promotion*	53	4.9
<b>3rd pillar: Infrastructure</b>					
3.01 Electricity production, kWh/capita	80	1366.2	<b>9th pillar: Economic impacts</b>		
3.02 Mobile network coverage, % pop.	1	100.0	9.01 Impact of ICTs on business models*	56	4.6
3.03 Int'l Internet bandwidth, kb/s per user	67	35.0	9.02 ICT PCT patents, applications/million pop.	69	0.3
3.04 Secure Internet servers/million pop.	66	47.1	9.03 Impact of ICTs on organizational models*	43	4.5
<b>4th pillar: Affordability</b>					
4.01 Prepaid mobile cellular tariffs, PPP \$/min.	84	0.39	9.04 Knowledge-intensive jobs, % workforce	63	11.7
4.02 Fixed broadband Internet tariffs, PPP \$/month	63	21.34	<b>10th pillar: Social impacts</b>		
4.03 Internet & telephony competition, 0-3 (best)	1	3.00	10.01 Impact of ICTs on access to basic services*	67	4.9
<b>5th pillar: Skills</b>					
5.01 Quality of education system*	109	3.1	10.02 Internet access in schools*	77	4.1
5.02 Quality of math & science education*	117	3.1	10.03 ICT use & gov't efficiency*	56	4.9
5.03 Secondary education gross enrollment rate, %	59	99.9	10.04 G-Participation Index, 0-1 (best)	11	0.88
5.04 Adult literacy rate, %	50	94.7	<small>Note: Indicators followed by an asterisk (*) are measured on a 1 to 7 (best) scale. For further details and explanation, please refer to the section "How to Read the Country Economy Profiles" on page 33.</small>		

Fuente: World Economic Forum, 2016

## 4.3 IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES

Como se sabe la logística son aquellas actividades de movimiento que ayudan al flujo de bienes desde la adquisición es decir la compra hasta el punto donde el producto es consumido por el cliente es decir la venta.

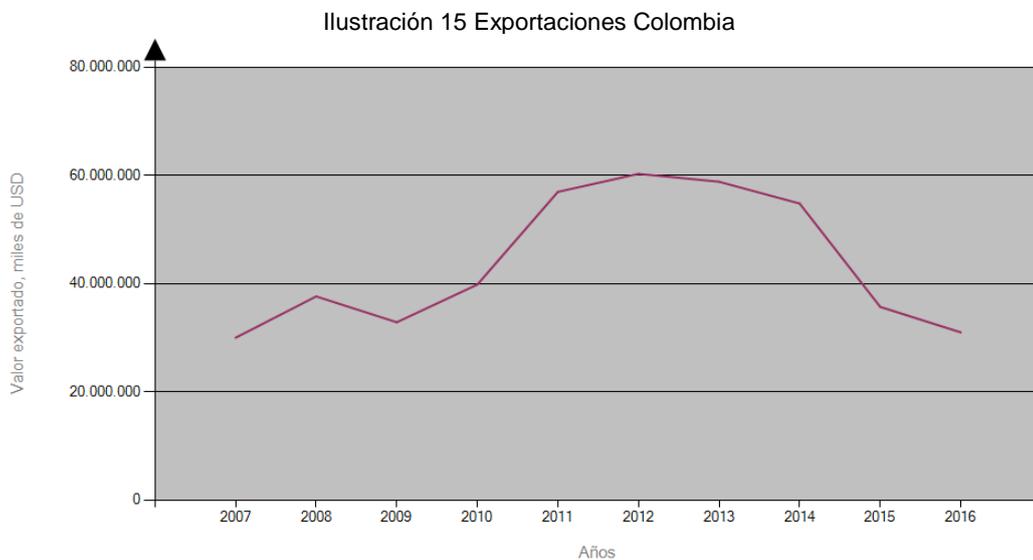
En una economía abierta interactúa con otras economías en dos formas: compra y vende bienes y servicios en los mercados de productos del mundo, y compra y vende activos de capital en los mercados financieros del mundo (Mankiw, 2012).

El flujo de bienes en los países (Economías) se conocen con los términos de exportación e importación. Las exportaciones son bienes y servicios producidos en la economía doméstica que se venden en el extranjero y las importaciones son bienes y servicios producidos en el extranjero que se venden en la economía doméstica (Mankiw, 2012).

Para medir las importaciones y exportaciones de los países se utiliza el valor en miles de dólares americanos en Exportaciones de productos e Importaciones de productos proporcionados por el Centro de Comercio Internacional (International Trade Statistics, 2017)

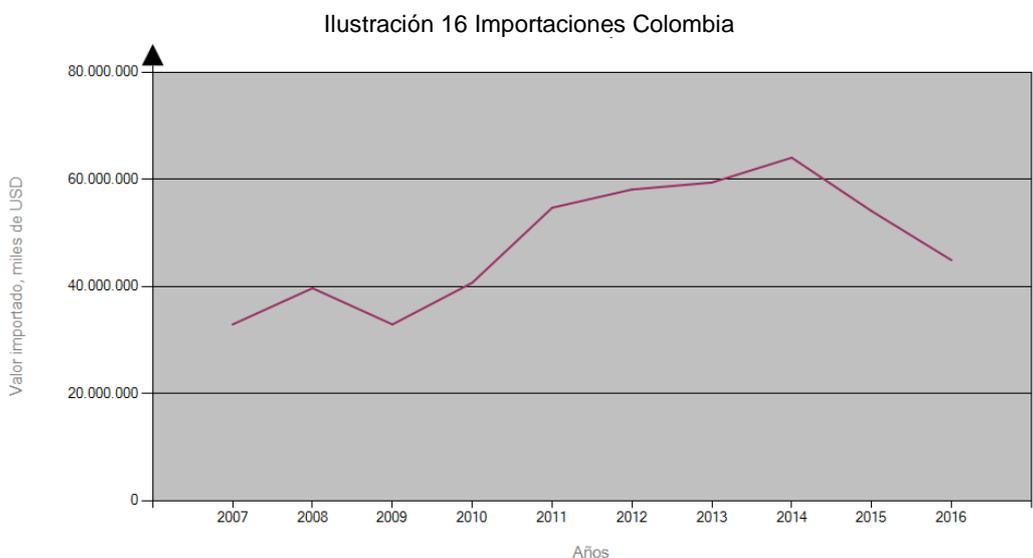
A continuación se muestra un ejemplo de los porcentajes de exportaciones e importaciones para Colombia.

Exportaciones:



Fuente: (International Trade Statistics, 2017)

Importaciones:



Fuente: (International Trade Statistics, 2017)

#### 4.4 CONECTIVIDAD MARITIMA

El adecuado desempeño de la Logística depende en gran medida del Transporte. En cada etapa de la cadena de suministro se encuentran en los extremos el abastecimiento y la distribución. En el primero, el Transporte garantiza la materia prima necesaria para la producción, mientras que el segundo asegura que los productos sean entregados a clientes o consumidores finales (Urrutia, 2011).

Para el movimiento de productos terminados, materias primas e insumos los países utilizan diferentes medios como el transporte por carretera, marítimo, ferroviario. Sin embargo a nivel mundial el medio más utilizado es el transporte marítimo.

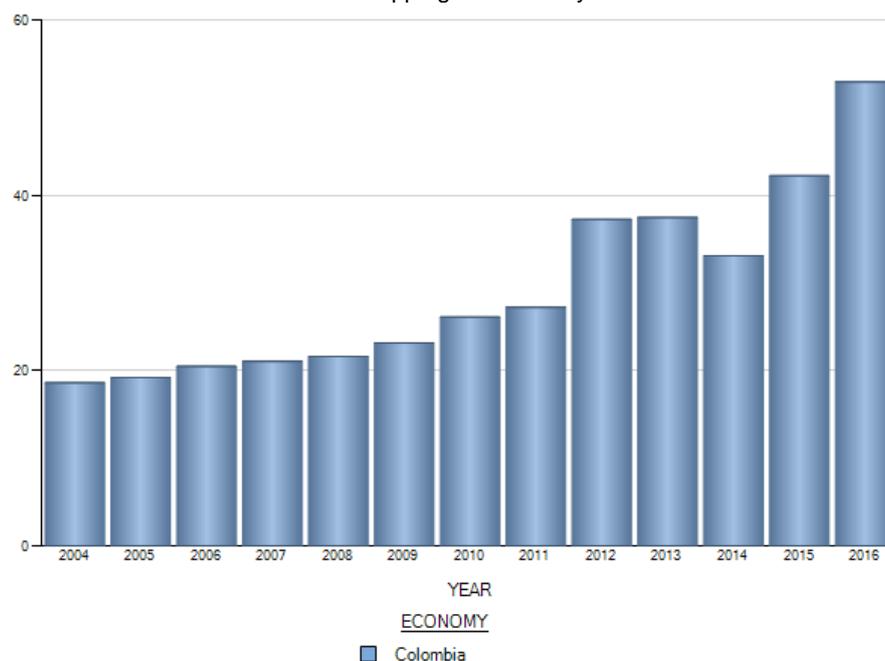
Para medir la conectividad marítima se utiliza “El Índice de Conectividad de Navegación de Línea”. Este índice capta lo bien que los países están conectados a las redes de transporte global. Es calculado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (United Nations Conference on trade and development, 2016).

El índice está basado en 5 componentes del sector del transporte marítimo:

1. Número de buques
2. Capacidad de transporte de contenedores
3. Tamaño máximo del buque
4. Número de servicios
5. Número de empresas que despliegan buques portacontenedores en los puertos de un país.

A continuación se muestra un ejemplo del índice para Colombia:

Ilustración 17 Liner Shipping Connectivity Index Colombia



Fuente: (United Nations Conference on trade and development, 2016)

## 4.5 INFRAESTRUCTURA

La infraestructura es una de las herramientas más importantes para la logística, ya que facilita el intercambio comercial de bienes, ya que con esta es posible trasladar los bienes a través de toda la cadena de suministro, desde los proveedores hasta el cliente final. Es decir que la infraestructura es estrechamente ligada con el transporte, comercio internacional, integración y comunicación de países y costos logísticos. Por esta razón una infraestructura de calidad se relaciona con el desarrollo económico de un país.

Para evaluar la infraestructura se utilizara el pilar de “Infraestructura” perteneciente al “Índice de competitividad global” (World Economic Forum , 2016). El pilar se compone de la siguiente manera:

Tabla 16 Infraestructura

Icono	2nd pillar: Infrastructure 1-7 (best)	Rank	Score	Line	Bar
	A. Transport infrastructure 1-7 (best)	99	3.0	—	■
	Quality of overall infrastructure 1-7 (best)	113	3.0	—	■
	Quality of roads 1-7 (best)	120	2.8	—	■
	Quality of railroad infrastructure 1-7 (best)	104	1.4	—	■
	Quality of port infrastructure 1-7 (best)	83	3.7	—	■
	Quality of air transport infrastructure 1-7 (best)	76	4.2	—	■
	Available airline seat kilometers millions/week	35	693.7	—	■
	B. Electricity and telephony infrastructure 1-7 (best)	74	4.3	—	■
	Quality of electricity supply 1-7 (best)	70	4.8	—	■
	Mobile-cellular telephone subscriptions /100 pop.	70	115.7	—	■
	Fixed-telephone lines /100 pop.	71	14.4	—	■

Fuente: World Economic Forum, 2016

## 4.6 ADUANAS

Las aduanas son unos de los miembros de la cadena de suministro que interceden en los trámites de las importaciones y exportaciones del país, para facilitar estos trámites debe existir eficiencia aduanera y otros entornos físicos y reglamentarios en los que se efectúa el comercio internacional, la concordancia de las normas y la conformidad con las reglamentaciones internacionales y la logística del traslado de bienes y documentación conexas a través de países y puertos.

Para evaluar las aduanas se utilizará el “Doing business” específicamente en el apartado de Comercio “Transfronterizo” (World Economic Forum, 2016).

Tabla 17 Aduanas

<b>Trading across borders (rank)</b>	<b>168</b>
<b>DTF score for trading across borders (0–100)</b>	<b>38.19</b>
<i>Time to export</i>	
Documentary compliance (hours)	87
Border compliance (hours)	99
Domestic transport (hours)	4
<i>Cost to export</i>	
Documentary compliance (US\$)	188
Border compliance (US\$)	319
Domestic transport (US\$)	377
<i>Time to import</i>	
Documentary compliance (hours)	338
Border compliance (hours)	218
Domestic transport (hours)	3
<i>Cost to import</i>	
Documentary compliance (US\$)	500
Border compliance (US\$)	669
Domestic transport (US\$)	253

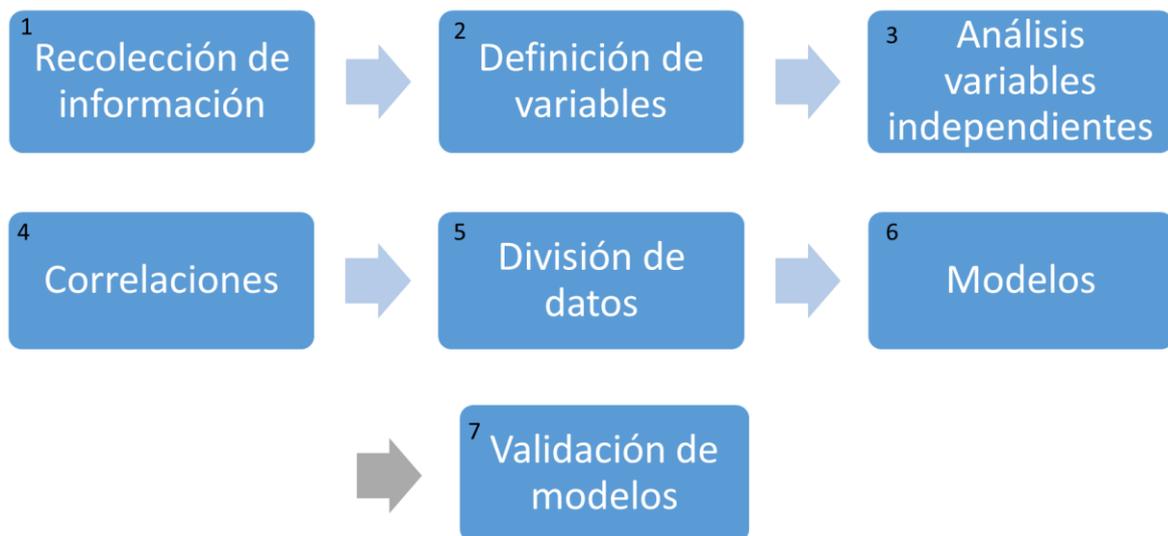
Fuente: (World Economic Forum, 2016)

## 5. MODELO DE PREDICCIÓN DEL LPI

Se construye el modelo de regresión lineal para predecir el LPI utilizando indicadores que evalúan aspectos como la competitividad, Tecnología, Importación, Exportaciones, Conectividad Marítima, Infraestructura y Aduanas de los países.

La metodología que se desarrollara se describe a continuación:

Ilustración 18 Metodología del PCA



Fuente: Elaboración propia

1. Recolección de la información: Utilizando las diferentes fuentes de información se recogen y organizan los datos. Además se analizan de forma general para determinar características como cantidad de datos y la identificación de variables dependientes e independientes.
2. Definición de variables: Se establece que mide cada variable.
3. Análisis de variables independientes: De las variables independientes, se determina cuál es su comportamiento en el modelo.
4. Correlaciones: Determinar las correlaciones más altas entre variables, con base a esto se tomaran decisiones en el planteamiento de los modelos.
5. División de datos: Se dividen los datos en dos grupos, un grupo con alrededor del 70% de los datos con los que se realizaran los modelo, y el segundo grupo con el 30% aproximadamente del total de los datos, usados para probar los modelos planteados.
6. Modelos: Se desarrollaran diferentes modelos en base a las correlaciones, comportamiento de las variables y grado de importancia.
7. Validación de modelos: Calculo del error y  $R^2$  de los modelos plantados.

### 5.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMERA PARTE

Se recopilaron los datos que suministran los indicadores. La tabla se puede observar en el Anexo 1. Esta tabla se carga al programa R Studio, para examinar los datos y construir el modelo de predicción del LPI. Una vez cargados los datos se establecieron las siguientes características utilizando la función de resumen de datos y la función de despliegue de estructuras de objetos:

- Existen 255 observaciones de 10 variables
- Las variables año, importaciones, exportaciones y aduanas son tipo “integer”, la variable país es “character”, y las demás variables son “numeric”
- Los datos no contienen valores nulos o perdidos.
- Los datos no tienen “outliers”.

El análisis de los outliers se basó en la información que se proporciona en la siguiente ilustración, donde se observó la media, mínimo y máximos de los datos.

Ilustración 19 Summary

```
> summary(modelo1pi1)
```

year	logística	competitividad	tecnología	importacion	exportacion
Min. :2007	Min. :2.150	Min. :3.300	Min. :2.600	Min. :2.445e+06	Min. :1.082e+06
1st Qu.:2010	1st Qu.:2.940	1st Qu.:4.200	1st Qu.:3.900	1st Qu.:3.007e+07	1st Qu.:2.982e+07
Median :2012	Median :3.330	Median :4.500	Median :4.300	Median :8.227e+07	Median :1.016e+08
Mean :2012	Mean :3.336	Mean :4.635	Mean :4.505	Mean :2.621e+08	Mean :2.544e+08
3rd Qu.:2014	3rd Qu.:3.810	3rd Qu.:5.200	3rd Qu.:5.200	3rd Qu.:3.685e+08	3rd Qu.:3.711e+08
Max. :2016	Max. :4.230	Max. :5.700	Max. :6.000	Max. :2.411e+09	Max. :2.342e+09

conectividad_maritima	infraestructura	aduanas
Min. : 3.62	Min. :1.900	Min. :0.0000
1st Qu.: 13.29	1st Qu.:3.900	1st Qu.:0.4438
Median : 33.60	Median :4.600	Median :0.7160
Mean : 41.85	Mean :4.618	Mean :0.6555
3rd Qu.: 59.20	3rd Qu.:5.500	3rd Qu.:0.8905
Max. :167.48	Max. :6.700	Max. :1.0000

Fuente: Elaboración Propia con software R

Una vez analizadas las características específicas se clasificaron de la siguiente manera:

- La Variable Dependiente se define “logística” del indicador LPI por ser el indicador que determina el desempeño logístico.
- Las variables independientes son “año”, “país”, “competitividad”, “tecnología”, “importaciones”, “exportaciones”, “conectividad\_maritima”, “infraestructura” y “aduanas”

## 5.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES

A continuación se definen cada una de las variables:

1. País: Es el país al que se examina los indicadores. En total son 51 países.
2. Año: El año de observación que toma los valores 2007, 2010, 2012, 2014, 2016.
3. Logística: Es el LPI en un país y año específico.
4. Competitividad: Índice de competitividad global en un país y año específico.
5. Tecnología: Es el Índice de Preparación en Red en un país y año específico.
6. Importación: Son los miles de dólares de bienes importados en un país y año específico.
7. Exportación: Son los miles de dólares de bienes exportados en un país y año específico.
8. Conectividad marítima: Es el Índice de Conectividad de Navegación de Línea en un país y año específico
9. Infraestructura: Es el indicador de infraestructura proporcionado en el índice de competitividad global en un país y año específico
10. Aduanas: Es el puesto del comercio “Transfronterizo proporcionado por el “Doing business” en un país y año específico.

Como resultado de la definición de las variables se establece que la variable “país” no afectará el modelo de predicción, ya que el desempeño logístico a nivel global no dependerá de que país sea a menos de que se quiera un modelo de predicción a nivel continente.

### 5.3 ANÁLISIS VARIABLES INDEPENDIENTES

Se evaluaron y analizaron las variables independientes recolectadas como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 18 Análisis Variables Independientes

VARIABLE	año	competitividad	tecnología	infraestructura	conectividad_maritima	importaciones	exportaciones	aduanas
¿COMÓ AFECTA?	Determina las características de la logística en un espacio de tiempo	Al elevarse los indicadores significa un mayor rendimiento en estos aspectos en el país				Al decrecer las importaciones se fortalece la industria y suple necesidades internas	Se entiende que entre mayores sean las exportaciones existe mas actividad economica en el país	Cuando el valor sea cercano a 1 significa mejor procesos de aduanas ya que el puesto es mejor
COMPORTAMIENTO ESPERADO	No establecido	X > competitividad >logistica X < competitividad <logistica	X > tecnología >logistica X < tecnología <logistica	X > infraestructura >logistica X < infraestructura <logistica	X > conectividad_maritima >logistica X < conectividad_maritima <logistica	X > importaciones <logistica X < importaciones >logistica	X > exportaciones >logistica X < exportaciones <logistica	X > aduanas >logistica X < aduanas <logistica
SIGNO DEL COEFICIENTE ESPERADO EN EL MODELO	+ ó -	+	+	+	+	-	+	+

Fuente: Elaboración Propia

Como aduanas no es un indicador, sino un puesto, estos valores se normalizaron de 0 a 1, teniendo en cuenta que el país con el primer puesto tomara el valor de 1 y el país con el último puesto tomara el valor de 0.

### 5.4 CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES PRIMERA PARTE

Se comprueba las correlaciones entre cada una de las variables, y así determinar posibles anomalías en el momento de construir el modelo de predicción. Las correlaciones se pueden observar en la siguiente ilustración:

Tabla 19 Correlaciones entre variables

```
> cor(modelo1pi1)
      year  logística competitividad tecnología importacion exportacion conectividad_maritima infraestructura aduanas
year      1.0000000  0.08045460   0.05358144  0.14343690  0.03671685  0.04686069  0.13418984  0.15117977  0.50827202
logística  0.08045460  1.00000000   0.86283093  0.82361083  0.47874574  0.47533793  0.53062602  0.82848714  0.04622215
competitividad  0.05358144  0.86283093   1.00000000  0.92636124  0.49866463  0.49156847  0.50958372  0.85829778  0.01762728
tecnología  0.14343690  0.82361083   0.92636124  1.00000000  0.35439324  0.32800166  0.38558785  0.86881361  0.07467732
importacion  0.03671685  0.47874574   0.49866463  0.35439324  1.00000000  0.94290758  0.73142524  0.43223375  0.02917125
exportacion  0.04686069  0.47533793   0.49156847  0.32800166  0.94290758  1.00000000  0.77962446  0.42508149  0.05225393
conectividad_maritima  0.13418984  0.53062602   0.50958372  0.38558785  0.73142524  0.77962446  1.00000000  0.55175029  0.07783769
infraestructura  0.15117977  0.82848714   0.85829778  0.86881361  0.43223375  0.42508149  0.55175029  1.00000000  0.08172865
aduanas      0.50827202  0.04622215   0.01762728  0.07467732  0.02917125  0.05225393  0.07783769  0.08172865  1.00000000
```

Fuente: Elaboración Propia con software R

Las correlaciones más altas son entre las variables tecnología y competitividad con un valor de 0.92636124 y exportación con importación con el valor de 0.94290758. Estos datos se consideraran en la construcción del modelo de predicción.

## 5.5 DIVISIÓN DE LOS DATOS

Para la construcción del modelo, los datos se van a dividir en dos grupos. Una parte será destinada a la construcción del modelo llamado Train y la otra parte se usará para realizar la validación llamada Test. Para esto se usó como referencia el variable año. En la siguiente ilustración se muestra la cantidad de datos por año:

Ilustración 20 Cantidad de datos por año  
`> table(modelo1pi$year)`

```

2007 2010 2012 2014 2016
  51   51   51   51   51

```

Fuente: Elaboración Propia con software R

Por lo tanto la división de las variables es de la siguiente manera:

Tabla 20 División de datos

	2016	2014	2012	2010	2007
<b>Cantidad de datos</b>	51		204		
<b>Porcentaje sobre el total</b>	20%		80%		
<b>Grupo de Variables</b>	Test		Train		

Fuente: Elaboración Propia

## 5.6 MODELADO PRIMERA PARTE

A continuación se realiza el primer modelo para determinar las variables poco y altamente significativas.

Tabla 21 Modelo 0

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	3.332e+00	1.474e+01	0.226	0.82138
year	-1.430e-03	7.321e-03	-0.195	0.84535
competitividad	4.258e-01	9.849e-02	4.324	2.44e-05 ***
tecnologia	6.470e-02	7.258e-02	0.891	0.37381
importacion	3.290e-11	1.282e-10	0.257	0.79780
exportacion	2.309e-11	1.531e-10	0.151	0.88025
conectividad_maritima	8.783e-04	9.097e-04	0.965	0.33549
infraestructura	1.206e-01	3.617e-02	3.336	0.00102 **
aduanas	1.299e-02	6.674e-02	0.195	0.84591

Fuente: Elaboración Propia con software R

Como se puede observar competitividad es altamente significativa. Sin embargo la competitividad es un concepto muy amplio y dentro de su indicador lo afectan 12 aspectos. Por lo tanto para identificar cuales aspectos dentro de la competitividad afectan al desempeño logístico, a continuación se realizaran modelos pero incluyendo los 12 aspectos del Índice de Competitividad Global.

## 5.7 CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES SEGUNDA PARTE

A continuación se realizan las correlaciones entre cada una de las variables incluyendo los 12 aspectos del índice de competitividad.

Tabla 22 Correlaciones segunda parte

> cor(modelo1pi)

	year	logistica	Instituciones	infraestructura	ambiente_macroeconomico	salud_y_educacion_primaria
year	1.00000000	0.0804546	-0.03518109	0.1404193	-0.011976821	0.1358011
logistica	0.08045460	1.00000000	0.73459535	0.8326991	0.213151580	0.6457316
Instituciones	-0.03518109	0.7345954	1.00000000	0.7421280	0.364292998	0.5933004
infraestructura	0.14041932	0.8326991	0.74212803	1.00000000	0.21259220	0.7426413
ambiente_macroeconomico	-0.01197682	0.2131516	0.36429300	0.2125922	1.00000000	0.1847258
salud_y_educacion_primaria	0.13580110	0.6457316	0.59330042	0.7426413	0.18472599	1.0000000
la_educacion_y_la_formacion_superior	0.15683279	0.7815944	0.74569601	0.8201025	0.239791563	0.8503294
eficiencia_del_mercado_de_bienes	0.01615294	0.7475728	0.89202197	0.7530835	0.370686533	0.5487288
eficiencia_del_mercado_laboral	-0.11007231	0.4998629	0.71157427	0.5149677	0.380958694	0.4336127
desarrollo_del_mercado_financiero	-0.18302107	0.5739774	0.75801957	0.5133077	0.434525499	0.3046139
preparacion_tecnologica	0.31342752	0.8030816	0.74357723	0.8567587	0.199693019	0.7693981
tamano_de_mercado	0.06125339	0.5183877	0.12406959	0.4290314	-0.002696243	0.2366218
sofisticacion_de_negocios	-0.05540583	0.8404798	0.80184598	0.7870691	0.218571763	0.5877488
innovacion	0.05784467	0.8172163	0.80900409	0.7850312	0.201605309	0.6263841
importacion	0.03671685	0.4787457	0.20437683	0.4408362	0.022081981	0.2471960
exportacion	0.04686069	0.4753379	0.20559920	0.4375536	0.124271079	0.2699947
conectividad_maritima	0.13418984	0.5306260	0.25616834	0.5645932	0.110813140	0.3019924
tecnologia	0.14343690	0.8236108	0.85323279	0.8695678	0.342473884	0.7639445
aduanas	0.06848938	0.6345323	0.57287339	0.6435361	0.225400476	0.6144678
		la_educacion_y_la_formacion_superior	eficiencia_del_mercado_de_bienes	eficiencia_del_mercado_laboral		
year		0.1568328	0.01615294	-0.1100723		
logistica		0.7815944	0.74757278	0.4998629		
Instituciones		0.7456960	0.820102197	0.7115743		
infraestructura		0.8201025	0.75308353	0.5149677		
ambiente_macroeconomico		0.2397916	0.37068653	0.3809587		
salud_y_educacion_primaria		0.8503294	0.54872881	0.4336127		
la_educacion_y_la_formacion_superior		1.00000000	0.70088783	0.5419598		
eficiencia_del_mercado_de_bienes		0.7008878	1.00000000	0.7411077		
eficiencia_del_mercado_laboral		0.5419598	0.74110768	1.00000000		
desarrollo_del_mercado_financiero		0.5044446	0.76587062	0.6431087		
preparacion_tecnologica		<b>0.9065143</b>	0.73422403	0.5476715		
tamano_de_mercado		0.3080193	0.18118980	0.1293714		
sofisticacion_de_negocios		0.7457263	0.82459471	0.6004898		
innovacion		0.8001027	0.79154641	0.6311965		
importacion		0.2940367	0.28501165	0.3219962		
exportacion		0.2742074	0.26370116	0.2747393		
conectividad_maritima		<b>0.9151320</b>	0.36924219	0.2175900		
tecnologia		<b>0.9151320</b>	0.83411055	0.6557099		
aduanas		0.6494521	0.66510901	0.5166411		
		desarrollo_del_mercado_financiero	preparacion_tecnologica	tamano_de_mercado	sofisticacion_de_negocios	
year		-0.1830211	0.3134275	0.06125339	-0.05540583	
logistica		0.5739774	0.8030816	0.518387718	0.84047979	
Instituciones		0.7580196	0.7435772	0.124069593	0.80184598	
infraestructura		0.5133077	0.8567587	0.429031413	0.78706914	
ambiente_macroeconomico		0.4345255	0.36429300	-0.002696423	0.21857176	
salud_y_educacion_primaria		0.3046139	0.7693981	0.236621838	0.58774877	
la_educacion_y_la_formacion_superior		0.5044446	<b>0.9065143</b>	0.308019322	0.74572627	
eficiencia_del_mercado_de_bienes		0.7658706	0.7342240	0.181189800	0.82459471	
eficiencia_del_mercado_laboral		0.6431087	0.5476715	0.129371395	0.60048979	
desarrollo_del_mercado_financiero		1.00000000	0.4691871	0.220541931	0.66821587	
preparacion_tecnologica		0.4691871	1.00000000	0.239996434	0.73413933	
tamano_de_mercado		0.2205419	0.2399964	1.000000000	0.46276942	
sofisticacion_de_negocios		0.6682159	0.7341393	0.462769423	1.00000000	
innovacion		0.5923918	0.7890331	0.425414217	<b>0.92820323</b>	
importacion		0.2339050	0.2774373	0.737135670	<b>0.47948444</b>	
exportacion		0.1802112	0.2483380	0.735901028	0.45985134	
conectividad_maritima		0.2158867	0.3397526	0.709879697	0.49917751	
tecnologia		0.6408087	<b>0.9252091</b>	0.307556771	0.83842915	
aduanas		0.4129604	<b>0.6916654</b>	0.103109953	0.61102642	
		innovacion	exportacion	conectividad_maritima	tecnologia	aduanas
year		0.05784467	0.03671685	0.04686069	0.1341898	0.06848938
logistica		0.81721632	0.47874574	0.47533793	0.5306260	0.8236108
Instituciones		0.80900409	0.20437683	0.20559920	0.2561683	0.8532328
infraestructura		0.78503115	0.44083615	0.43755363	0.5645932	0.8695678
ambiente_macroeconomico		0.20160531	0.02208198	0.12427108	0.1108131	0.3424739
salud_y_educacion_primaria		0.62638407	0.24719599	0.26999473	0.3019924	<b>0.7639445</b>
la_educacion_y_la_formacion_superior		0.80010268	0.29403668	0.27420737	0.3039358	<b>0.9151320</b>
eficiencia_del_mercado_de_bienes		0.79154641	0.28501165	0.26370116	0.3692422	0.8341106
eficiencia_del_mercado_laboral		0.63119652	0.32199625	0.27473928	0.2175900	0.6557099
desarrollo_del_mercado_financiero		0.59239178	0.23390502	0.18021122	0.2158867	<b>0.6408087</b>
preparacion_tecnologica		0.78903312	0.27743731	0.24833797	0.3397526	<b>0.9252091</b>
tamano_de_mercado		<b>0.42541422</b>	0.73713567	0.73590103	0.7098797	0.3075568
sofisticacion_de_negocios		<b>0.92820323</b>	0.47948444	0.45985134	0.4991775	0.8384291
innovacion		1.00000000	0.50186363	<b>0.94290758</b>	0.4616410	0.8905846
importacion		0.50186363	<b>1.00000000</b>	<b>0.94290758</b>	0.7314252	0.3543932
exportacion		0.47813189	<b>0.94290758</b>	<b>1.00000000</b>	0.7796245	0.3280017
conectividad_maritima		0.46164097	0.73142524	0.77962446	1.0000000	0.3855879
tecnologia		0.89058465	0.35439324	0.32800166	0.3855879	1.0000000
aduanas		0.61017622	0.23854205	0.21400611	0.2967519	0.68665702

Fuente: Elaboración Propia con software R

Como se puede observar las correlaciones más altas son:

- ✓ La educación y formación superior y preparación tecnológica con 0.9065143
- ✓ La educación y formación superior y tecnología con 0.9151320
- ✓ Preparación tecnológica y tecnología con 0.9252091
- ✓ Sofisticación de negocios e innovación con 0.92820323
- ✓ Importaciones y exportaciones con 0.94290758

## 5.8 MODELADO SEGUNDA PARTE

A continuación, se realiza el modelo 1, el cual incluye todas las variables.

Tabla 23 Modelo 1

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	7.853e-01	3.011e-01	2.608	0.00985 **
Instituciones	1.131e-01	5.063e-02	2.234	0.02670 *
infraestructura	3.484e-02	3.586e-02	0.971	0.33258
ambiente_macroeconomico	1.390e-02	2.576e-02	0.540	0.59013
salud_y_educacion_primaria	8.730e-03	5.165e-02	0.169	0.86597
la_educacion_y_la_formacion_superior	1.904e-02	6.425e-02	0.296	0.76727
eficiencia_del_mercado_de_bienes	9.668e-02	8.341e-02	1.159	0.24792
eficiencia_del_mercado_laboral	-1.135e-01	4.266e-02	-2.660	0.00850 **
desarrollo_del_mercado_financiero	6.947e-02	4.343e-02	1.599	0.11141
preparacion_tecnologica	2.679e-01	5.077e-02	5.277	3.63e-07 ***
tamano_de_mercado	1.348e-01	2.764e-02	4.877	2.31e-06 ***
sofisticacion_de_negocios	1.223e-01	7.199e-02	1.698	0.09112 .
innovacion	5.031e-02	6.585e-02	0.764	0.44581
importacion	-6.479e-11	1.335e-10	-0.485	0.62800
exportacion	1.423e-10	1.529e-10	0.931	0.35327
conectividad_maritima	-7.727e-04	8.769e-04	-0.881	0.37937
tecnologia	-2.846e-01	1.020e-01	-2.791	0.00581 **
aduanas	2.105e-01	8.843e-02	2.381	0.01829 *

Fuente: Elaboración Propia con software R

De la anterior ilustración se observa que las variables Infraestructura, Ambiente macroeconómico, salud y educación primaria, Educación y formación superior, Eficiencia del mercado de bienes, Desarrollo del mercado financiero, innovación, importación, exportación, conectividad marítima se establecen como variables poco significativas. Además, se puede observar un comportamiento anormal de las variables eficiencia del mercado laboral, tecnología y conectividad marítima ya que su coeficiente es negativo y se esperaba que fuera positivo.

El modelo 2 se realizó basándose en el modelo 1 eliminando las variables que tienen un comportamiento anormal.

Tabla 24 Modelo 2

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	7.099e-01	3.012e-01	2.357	0.0194 *
Instituciones	7.744e-02	5.103e-02	1.518	0.1307
infraestructura	2.994e-02	3.448e-02	0.868	0.3864
ambiente_macroeconomico	-2.841e-02	2.373e-02	-1.197	0.2326
salud_y_educacion_primaria	-3.091e-02	5.224e-02	-0.592	0.5548
la_educacion_y_la_formacion_superior	1.167e-02	6.282e-02	0.186	0.8528
eficiencia_del_mercado_de_bienes	1.410e-02	8.095e-02	0.174	0.8619
desarrollo_del_mercado_financiero	3.839e-02	4.356e-02	0.881	0.3793
preparacion_tecnologica	1.884e-01	4.545e-02	4.146	5.10e-05 ***
tamano_de_mercado	1.255e-01	2.708e-02	4.635	6.64e-06 ***
sofisticacion_de_negocios	1.918e-01	7.154e-02	2.680	0.0080 **
innovacion	-6.141e-02	5.726e-02	-1.072	0.2849
importacion	-2.045e-10	1.316e-10	-1.554	0.1218
exportacion	2.406e-10	1.478e-10	1.628	0.1052
aduanas	1.760e-01	9.054e-02	1.944	0.0534 .

Fuente: Elaboración Propia con software R

Como se puede observar existen nuevos comportamientos anormales de las variables ambiente macroeconómico, salud y educación primaria e innovación, además de ser poco significativas junto con Instituciones, infraestructura, importación, exportación, la educación y formación superior, eficiencia en el mercado de bienes y desarrollo del mercado financiero.

Para el modelo 3 se realizó eliminando las variables con un comportamiento anómalo en el modelo 2.

Tabla 25 Modelo 3

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	5.633e-01	2.181e-01	2.583	0.01054	*
instituciones	6.033e-02	4.827e-02	1.250	0.21287	
infraestructura	3.274e-02	3.328e-02	0.984	0.32646	
la_educacion_y_la_formacion_superior	-2.479e-02	4.950e-02	-0.501	0.61707	
eficiencia_del_mercado_de_bienes	1.495e-02	8.074e-02	0.185	0.85329	
desarrollo_del_mercado_financiero	3.486e-02	3.906e-02	0.892	0.37331	
preparacion_tecnologica	1.846e-01	4.438e-02	4.159	4.82e-05	***
tamano_de_mercado	1.300e-01	2.687e-02	4.838	2.68e-06	***
sofisticacion_de_negocios	1.581e-01	5.316e-02	2.973	0.00333	**
importacion	-1.609e-10	1.179e-10	-1.365	0.17395	
exportacion	1.578e-10	1.313e-10	1.202	0.23086	
aduanas	1.606e-01	8.838e-02	1.818	0.07068	.

Fuente: Elaboración Propia con software R

En este último modelo se puede observar que las variables instituciones, infraestructura, importación, exportación, la educación y formación superior, eficiencia en el mercado de bienes y desarrollo del mercado financiero son poco significativas. Además, teniendo en cuenta que La educación y formación superior y preparación tecnológica, y con Importaciones y exportaciones son altamente correlacionadas por lo que es necesario eliminarlas del modelo.

Para el modelo 4 se eliminaron las variables no significativas del modelo 3.

Tabla 26 Modelo 4

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	0.60662	0.11085	5.473	1.33e-07	***
preparacion_tecnologica	0.20529	0.02520	8.145	4.12e-14	***
tamano_de_mercado	0.11180	0.01654	6.761	1.49e-10	***
sofisticacion_de_negocios	0.26008	0.03941	6.599	3.66e-10	***
aduanas	0.17511	0.08412	2.082	0.0387	*

---

Fuente: Elaboración Propia con software R

Este modelo no tiene variables con comportamiento anormal, todas las variables son altamente significativas y no existen variables que sean altamente correlacionadas.

El modelo 5 se realizó utilizando la función step en base al modelo 1. Es decir que el computador realizó iteraciones para buscar el mejor modelo.

Tabla 27 Modelo 5

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	0.90643	0.14554	6.228	2.85e-09	***
Instituciones	0.15952	0.04292	3.717	0.000263	***
eficiencia_del_mercado_laboral	-0.09494	0.03701	-2.565	0.011067	*
desarrollo_del_mercado_financiero	0.05516	0.03346	1.648	0.100867	
preparacion_tecnologica	0.27137	0.04132	6.567	4.55e-10	***
tamano_de_mercado	0.14677	0.01810	8.108	5.59e-14	***
sofisticacion_de_negocios	0.17186	0.04941	3.479	0.000622	***
tecnologia	-0.20915	0.07454	-2.806	0.005529	**
aduanas	0.24544	0.08227	2.983	0.003216	**

---

Fuente: Elaboración Propia con software R

De este modelo se destaca que existen dos variables con comportamiento anormal que son eficiencia en el mercado laboral y tecnología; ya que presentan coeficientes negativos. Además, la variable desarrollo del mercado financiero no es significativa.

El modelo 6, se realizó eliminando las variables con comportamiento anormal del modelo 5.

Tabla 28 Modelo 6

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.58216	0.11609	5.015	1.18e-06 ***
Instituciones	0.08877	0.04054	2.190	0.02972 *
desarrollo_del_mercado_financiero	0.02079	0.03355	0.620	0.53613
preparacion_tecnologica	0.18299	0.02742	6.673	2.48e-10 ***
tamano_de_mercado	0.13481	0.01839	7.332	5.73e-12 ***
sofisticacion_de_negocios	0.15716	0.05014	3.134	0.00199 **
aduanas	0.17300	0.08297	2.085	0.03835 *

Fuente: Elaboración Propia con software R

Del modelo 6 se analiza que la variable desarrollo del mercado financiero continua siendo una variable poco significativa.

Para el modelo 7 se eliminó la variable poco significativa del modelo 6.

Tabla 29 Modelo 7

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.60761	0.10841	5.604	6.94e-08 ***
Instituciones	0.10358	0.03269	3.168	0.00178 **
preparacion_tecnologica	0.17790	0.02612	6.810	1.14e-10 ***
tamano_de_mercado	0.13698	0.01802	7.601	1.15e-12 ***
sofisticacion_de_negocios	0.15974	0.04989	3.202	0.00159 **
aduanas	0.17894	0.08228	2.175	0.03084 *
---				

Fuente: Elaboración Propia con software R

Este modelo no tiene variables con comportamiento anormal, todas las variables son altamente significativas y no existen variables que sean altamente correlacionadas.

## 5.9 VALIDACIÓN DEL MODELO

Tomando como referencia los modelos creados se realiza la validación de los mismos y así certificar cual es el modelo más preciso para la predicción del desempeño logístico.

Para esta validación se utilizan los datos del grupo de variables "Test", los cuales se aplica el modelo de predicción generando un vector de predicciones del desempeño logístico para cada modelo. Dadas estas predicciones se realiza el cálculo de RMSE (Root Mean Square Error) y consecutivamente el cálculo del R2.

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n e_t^2$$

$$e_t = X_t - Y_t$$

Los cálculos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30 Evaluación de Modelos 1

Modelo	VARIABLES CONTENIDAS	VARIABLES POCO SIGNIFICATIVAS	VARIABLES CON COMPORTAMIENTO ANORMAL	RMSE	R <sup>2</sup> DE DATA TEST
1	Todas (Menos año)	Infraestructura Ambiente macroeconómico salud y educación primaria Educación y formación superior Eficiencia del mercado de bienes Desarrollo del mercado financiero innovación importación exportación conectividad marítima	Eficiencia del mercado laboral tecnología conectividad marítima	0.19643902	0.86024021
2	Todas (Menos año eficiencia del mercado laboral tecnología conectividad marítima)	Instituciones Infraestructura Ambiente macroeconómico salud y educación primaria Educación y formación superior Eficiencia del mercado de bienes Desarrollo del mercado financiero innovación importación exportación	Ambiente macroeconómico Salud y educación primaria Innovación	0.19915948	0.85634237
3	Instituciones Infraestructura Educación y formación superior Eficiencia del mercado de bienes Desarrollo del mercado financiero Preparación Tecnológica Tamaño de mercado Sofisticación de negocios Importación Exportación Aduanas	Instituciones Infraestructura Educación y formación superior Eficiencia del mercado de bienes Desarrollo del mercado financiero Importación Exportación	N/A	0.19939260	0.85600586
4	Preparación Tecnológica Tamaño de mercado Sofisticación de negocios Aduanas	N/A	N/A	0.21062470	0.83932610

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31 Evaluación de Modelos 2

Modelo	VARIABLES CONTENIDAS	VARIABLES POCO SIGNIFICATIVAS	VARIABLES CON COMPORTAMIENTO ANORMAL	RMSE	R <sup>2</sup> DE DATA TEST
5	Instituciones Eficiencia del mercado laboral Desarrollo del mercado financiero Preparación Tecnológica Tamaño de mercado Sofisticación de negocios Tecnología Aduanas	Desarrollo del mercado financiero	Eficiencia del mercado laboral Tecnología	0.19773609	0.85838847
6	Instituciones Desarrollo del mercado financiero Preparación Tecnológica Tamaño de mercado Sofisticación de negocios Aduanas	Desarrollo del mercado financiero	N/A	0.20319316	0.85046430
7	Instituciones Preparación Tecnológica Tamaño de mercado Sofisticación de negocios Aduanas	N/A	N/A	0.20128799	0.85325529

Fuente: Elaboración Propia

De los modelos planteados, el quinto y séptimo cumplen con las especificaciones de no contener variables con comportamiento anormal, todas sus variables son altamente significativas y entre sus variables no existe alta correlación. De estos dos modelos el séptimo es el más asertivo ya que tiene menor error (RMSE) y mayor R<sup>2</sup> que el quinto.

De lo anterior se concluye que las variables que mejor describen el desempeño logístico de un país dado por el LPI son las instituciones, preparación tecnológica, tamaño de mercado, sofisticación de negocios y adunas. Por lo que el modelo de predicción del LPI es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot PT + \beta_3 \cdot TM + \beta_4 \cdot SN + \beta_5 \cdot A$$

Siendo:

$$Y = LPI$$

Ilustración 21 Valores modelo de predicción

	I	PT	TM	SN	A
Intercepto	Instituciones	Preparación Tecnológica	Tamaño de Mercado	Sofisticación de Negocios	Aduanas
B <sub>0</sub>	β <sub>1</sub>	β <sub>2</sub>	β <sub>3</sub>	β <sub>4</sub>	β <sub>5</sub>
0.60761	0.10358	0.17790	0.13698	0.15974	0.17894

Fuente: Elaboración Propia

## 6. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEL MODELO

Una vez identificadas las variables más importantes en el desarrollo logístico de un país de forma cuantitativa a través del modelo de predicción, se define de forma teórica su qué aspectos influyen en la logística.

### 6.1 INSTITUCIONES

Las instituciones son los conceptos relacionados con la protección de los derechos de propiedad, eficiencia y transparencia de la administración pública, independencia del poder judicial, seguridad física, ética empresarial y gobierno corporativo (World Economic Forum , 2016).

El entorno institucional de un país depende de la eficiencia y el comportamiento de los actores públicos y privados. El marco jurídico y administrativo en el que interactúan los individuos, las empresas y los gobiernos determina la calidad de las instituciones públicas de un país y tiene una fuerte influencia sobre la competitividad y el crecimiento. Influye en las decisiones de inversión y en la organización de la producción y juega un papel clave en las formas en que las sociedades distribuyen los beneficios y soportan los costos de las estrategias y políticas de desarrollo (World Economic Forum , 2016) .

Las buenas instituciones privadas también son importantes para el desarrollo sano y sostenible de una economía. La crisis financiera mundial de 2007-2008, junto con numerosos escándalos corporativos, ha puesto de relieve la importancia de las normas contables y de presentación de informes y la transparencia para prevenir el fraude y la mala gestión, garantizar la buena gobernanza y mantener la confianza de los inversores y los consumidores (World Economic Forum , 2016).

El papel que desarrollan los actores públicos y privados en la logística se evidencia en aquellos servicios que ayudan a facilitar el comercio nacional o internacional.

Tabla 32 Actores Públicos o Privados

CLIENTE	PROVEEDOR	INTERMEDIARIO	AUTORIDAD
Comprador	Vendedor	Servicios de transporte	Aduana
Importador	Exportador	Transitorio	Puerto
Consignatario	Consignador	Banco	Cámara de comercio
Envié a	Nave de	Proveedor de seguros	Agricultura
Pagador	Tenedor	Agente de seguros	Ambiente
		Corredor	Salud y narcóticos
		Comisionista	OEG

Fuente: (UNECE, 2017)

En cuanto a las instituciones privadas, se puede contar con fabricantes, minoristas, mayoristas para compra la compra y venta de mercancías, también empresas de transporte que se encargan del movimiento físico y manipulación de las mercancías, igualmente bancos que se emplean para los pagos por las mercancías, seguros, etc. También se debe resaltar que muchos de estos también pueden ser instituciones públicas.

La parte vital de las instituciones públicas es el gobierno o los organismos públicos que abarcan agencias ejecutivas, departamentos gubernamentales o ministerios a nivel estatal y federal. Su función o actividad consiste en autorizar y controlar el movimiento transfronterizo de mercancías y hacer cumplir la legislación nacional (UNECE, 2017).

Además del control fronterizo, la importancia del gobierno en la logística se refleja en inversiones, políticas o iniciativas para el desarrollo de infraestructuras, proyectos de índole logístico, transporte, entre otros. Algunos ejemplos se contemplan a continuación:

- El Gobierno licita la elaboración de un estudio para definir la Estrategia Logística de Navarra hasta 2028: El Departamento de Desarrollo Económico ha licitado la redacción de un estudio para definir la Estrategia Logística de Navarra 2018-2028, que pretende avanzar en el objetivo señalado en la Estrategia de Especialización Inteligente de fomentar la importancia y crecimiento del transporte intermodal sostenible e integrarlo en las redes europeas mediante unas infraestructuras y servicios logísticos que apoyen el desarrollo de la Comunidad Foral (Navarra.es, 2017).
- Nuevo impulso del Gobierno regional a la Plataforma Logística de Alcázar de San Juan: Bajo la denominación 'Mancha Centro', esta Plataforma pretende extender su ámbito de influencia por 53 municipios de las provincias de Ciudad Real, Cuenca, Toledo y Albacete. La consejera adquirió públicamente entonces el compromiso de impulsar desde el Gobierno regional un estudio especializado basado en la documentación municipal al objeto de complementar el proyecto y dotarlo así de mayores posibilidades de éxito, tanto para los potenciales inversores privados como para la Administración General del Estado, de la que se requieren inversiones (El diario, 2017).
- Gobierno construirá 35 parques logísticos multimodales: El gobierno desarrollará 35 parques logísticos multimodales (MMLP) en India, lo que reducirá los costos logísticos en gran medida y ayudará a la economía del país. Los parques serán desarrollados conjuntamente por la Autoridad Nacional de Carreteras de India (NHAI), la Corporación Nacional para el Desarrollo de la Infraestructura de Carreteras (NHIDCL), otros paraestatales y los respectivos gobiernos estatales (The Pioneer, 2017)

Las instituciones están típicamente limitadas por un conjunto de contextos sociales, políticos, económicos y jurídicos que determinan las bases de la producción, el intercambio y la distribución de bienes y servicios (Davis & North, 1971). Las instituciones son factores exógenos a la logística y SCM (Lee & Wyk, 2014). Con esto quiere decir que las instituciones de áreas como la política, leyes, economía pueden influir en el desempeño logístico. Los países democráticos con altos niveles de estabilidad y gobernabilidad también tienen altos niveles de desempeño logístico (Lee & Wyk, 2014). En el estudio de Lee y Wyk establecieron que las instituciones, a nivel de país, tienen importantes influencias en el desempeño logístico, especialmente los niveles de libertad políticas y económicas, la exposición al riesgo y la competitividad en los países anfitriones.

Las instituciones nacionales de los países de acogida difieren considerablemente en cuanto a las políticas de apoyo a la logística, como el desarrollo de infraestructuras, las normas favorables a las empresas y la transparencia. Incluso en los países receptores que adoptan políticas de apoyo a la logística, puede tomar tiempo antes de que los beneficios se vuelvan evidentes o las políticas incluso pueden quedar por debajo de las expectativas del negocio (Lee & Wyk, 2014).

## 6.2 PREPARACIÓN TECNOLÓGICA

El pilar de preparación tecnológica mide la agilidad con la que una economía adopta las tecnologías existentes para mejorar la productividad de sus industrias, haciendo hincapié en su capacidad de aprovechar plenamente las tecnologías de la información y la comunicación en las actividades cotidianas y los procesos de producción para aumentar la eficiencia y permitir la innovación Competitividad. El punto central es que las empresas que operan en el país necesitan tener acceso a productos avanzados y la capacidad de absorberlos y usarlos. (World Economic Forum , 2016)

La adopción de la tecnología en la gestión logística proporciona la facilidad de suministrar el producto en el lugar, el momento, la calidad, la cantidad y el costo correcto. Los beneficios de la información y las tecnologías relacionadas suelen ir desde la mejora de la eficiencia, la calidad del servicio y la flexibilidad, hasta la reducción de los costos logísticos (Closs, Goldsby, & Clinton, 1997). A través de las tecnologías de la información, los miembros de la cadena de suministro aguas arriba y aguas abajo pueden estar mejor posicionados para coordinar y sincronizar las actividades logísticas (Wang, Lai, & Zhao, 2008).

Según la investigación de Chieh-Yu Lin y Yi-Hui Ho existen 4 categorías de la tecnología de la industria según las actividades logísticas (Lin & Ho, 2007):

- Tecnologías de adquisición de datos: La colección e intercambio de datos es indispensable para poder controlar y gestionar toda aquella información relacionada con la gestión logística. Algunas de estas tecnologías son el código de barras y el RFID.
- Tecnologías de la información: Son todas aquellas infraestructuras o dispositivos los cuales su función principal es la facilitar la comunicación de la información entre dos o más actores. Los ejemplos de esta tecnología son el EDI, VAN, POS Y EOS.
- Tecnologías de almacenamiento: Un almacén no es solamente un espacio para almacenar inventario, sino que, visto desde una gestión logística es la facilidad de buscar y mover los productos de forma rápida y eficiente. Un ejemplo de este es AS/RS, sistema de clasificación automática, sistema de picking asistido por computadora, entre otros.
- Tecnologías de transporte: El objetivo del transporte es el movimiento mercancías desde el origen al destino predeterminado, a tiempo, con el menor costo, sin daños a la mercancía. A esto se le suma la disponibilidad de información que funcionan como rastreo y seguimientos, guía y planificados de rutas óptimas. Algunos ejemplos son el GPS y SIG.

### 6.3 TAMAÑO DEL MERCADO

El tamaño del mercado afecta a la productividad, ya que los grandes mercados permiten a las empresas explotar economías de escala. Tradicionalmente, los mercados disponibles para las empresas se han visto limitados por las fronteras nacionales. En la era de la globalización, los mercados internacionales se han convertido en un sustituto de los mercados nacionales, especialmente para los países pequeños. Así, las exportaciones pueden considerarse como un sustituto de la demanda interna para determinar el tamaño del mercado de las empresas de un país (World Economic Forum , 2016).

El World Economic Forum divide este pilar en dos indicadores, el tamaño del mercado interno y el tamaño del mercado extranjero, para calcular cada indicador lo realiza de la siguiente manera:

Tabla 33 Medición del tamaño de mercado

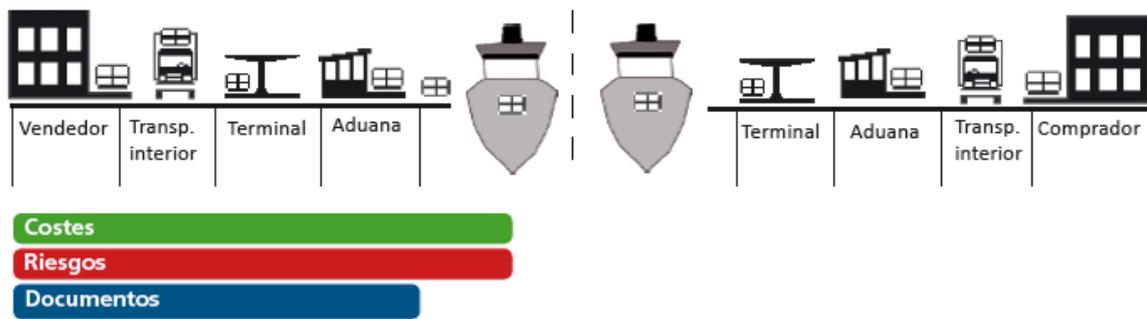
Índice de tamaño del mercado interno	Índice de tamaño de mercado extranjero
<p>El tamaño del mercado interno se calcula tomando el logaritmo natural de la suma del producto interno bruto valorado a la paridad de poder comprada (PPC) más el valor total (estimaciones de PPC) de las importaciones de bienes y servicios, Menos el valor total (estimaciones de PPC) de las exportaciones de bienes y servicios. Los datos se normalizan entonces en una escala de 1 a 7. Las estimaciones de PPC de las importaciones y las exportaciones se obtienen tomando el producto de las exportaciones como un porcentaje del PIB y el PIB valorado en la PPC.</p>	<p>El tamaño del mercado externo se estima como el log natural del valor total (estimaciones de PPC) de las exportaciones de bienes y servicios, normalizado en una escala de 1 a 7. Las estimaciones de PPA de las exportaciones se obtienen tomando el producto de las exportaciones como un porcentaje del PIB y el PIB valorado en PPC.</p>

Fuente: (World Economic Forum , 2016)

Como se puede observar los dos indicadores, las importaciones y exportaciones son calculadas en base al PIB (Producto interno bruto). El PIB es el valor monetario de todos los bienes y servicios producidos en una nación durante un período de tiempo determinado, básicamente, es un recuento de todo comprado por dinero durante el transcurso de un año (Brezina, 2012).

El World Economic Forum utiliza el PIB proporcionado por el International Monetary Fund y World Economic Outlook. Estos valores se basan en el PIB en moneda nacional convertida en dólares estadounidenses utilizando los tipos de cambio del mercado (promedio anual). El PIB está basado en los precios (incluyendo el valor FOB (Free on Board) de las exportaciones de bienes y servicios), menos el FOB valor de las importaciones de bienes y servicios (International Monetary Found, 2016). Es decir que el valor de las mercancías exportadas e importadas se valora a bordo (FOB) en la frontera del país exportador. El FOB se describe en la siguiente ilustración.

Ilustración 22 FOB



Fuente: (Global Negotiator, 2010)

Entendiendo esto, se puede deducir que la relación entre la logística y del PIB viene dada por los costos logísticos que intervienen en las exportaciones e importaciones, por ejemplo, en España el sector logístico representó en el 2016 un 3% del PIB (Cadena de suministro, 2016). Existen muchos factores que influyen en la estructura de los costos que como se detalla a continuación:

Tabla 34 Estructura de costos logísticos en PIB

Factores	Efecto
<b>Infraestructura del transporte</b>	Influye en los costos de transporte, capacidad y confiabilidad. Las extensas infraestructuras de transporte están ligadas a menores costos logísticos.
<b>Papel de los sectores económicos</b>	Las economías que dependen de los sectores primarios (por ejemplo, agricultura y minería) y secundarias (manufacturas) tienen mayores costos logísticos que las economías que dependen del sector terciario (servicios).
<b>Tasas de interés</b>	Principalmente impactan los costos transaccionales y de inventario. Tasas de interés más altas.
<b>Nivel de competencia</b>	Los mercados monopólicos (por ejemplo, las empresas estatales) tienden a tener mayores costos logísticos ya que los interesados tienen menos incentivos para innovar y utilizar la infraestructura (por ejemplo, los puertos) desde una perspectiva de búsqueda de rentas.
<b>Infraestructuras de telecomunicaciones</b>	Costos de transacción y de gestión de inventario.
<b>Sistema jurídico</b>	Ejecución de contratos y protección de la propiedad privada (por ejemplo, terminales, almacenes).
<b>Regulaciones y fiscalidad</b>	El nivel de restricciones que el sector de transporte está sujeto, como las regulaciones ambientales, así como su nivel de impuestos.

Fuente: (Transport Geography on the Web)

## 6.4 SOFISTICACIÓN DE NEGOCIOS

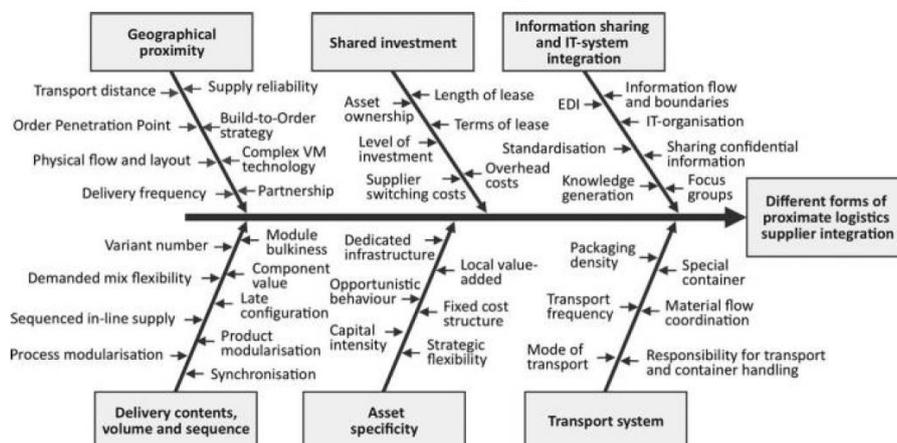
La sofisticación empresarial se refiere a dos elementos que están estrechamente vinculados: la calidad de las redes globales de un país y la calidad de las operaciones y estrategias de cada empresa. Estos factores son especialmente importantes para los países en una fase avanzada de desarrollo cuando, se han agotado las fuentes más básicas de mejoras de la productividad (World Economic Forum , 2016). La calidad de las redes empresariales y de las industrias de apoyo de un país, medida por la cantidad y calidad de los proveedores locales y el alcance de su interacción, es importante por diversas razones. Cuando las empresas y los proveedores de un determinado sector están interconectados en grupos geográficamente próximos, llamados clusters, se aumenta la eficiencia, se crean mayores oportunidades de innovación en procesos y productos y se reducen las barreras de entrada para las nuevas empresas (World Economic Forum, 2016).

De los procesos que engloba la logística, se encuentra el aprovisionamiento de materiales, dentro de esta actividad se incluye la realización de los pedidos, el transporte y el almacenaje de las materias primas y otros aprovisionamientos necesarios para iniciar el proceso de producción (Lopez, 2014). Los proveedores en la logística es el actor que provee de mercancía que el comprador necesita para iniciar el proceso de producción. Así que, la falta de establecer el compromiso del proveedor, una empresa compradora puede sufrir de la escasez de insumos continuos y confiables que van desde suministros de oficina y equipo, a mantenimiento de la instalación y servicios de reparación en apoyo de sus operaciones (Wong, 2012).

Crear una base excepcional de suministro y fortalecer las relaciones con los proveedores es fundamental para el éxito empresarial. Cuando se combinan las funciones corporativas del contacto con el cliente (mercadotecnia, diseño de productos, ventas o servicio al cliente) con las habilidades de gestión de los proveedores, se puede obtener un excelente desempeño y grandes resultados de ventas (Rogers, 2009).

Para una integración cliente-proveedor eficiente, la calidad de los proveedores es fundamental para el buen desempeño de la empresa. Algunos aspectos importantes a tener en cuenta del proveedor se describen a continuación:

Ilustración 23 Análisis de las condiciones logísticas relevantes del proveedor



Fuente: (Bennett & Klug, 2012)

## 6.5 ADUANAS

Los indicadores de comercio transfronterizo capturan el tiempo y el costo de la preparación de documentos y el cumplimiento de los procedimientos fronterizos para exportar e importar bienes (World Economic Forum, 2016).

La aduana es una oficina pública, establecida generalmente en las costas y fronteras, donde se controla el movimiento de mercancías sujetas a arancel, y se cobran los derechos que estas adeudan (Real Academia Española, 2014). Las funciones principales de la aduana se ilustran a continuación:

Ilustración 24 Funciones de la aduana

Collects customs taxes	• The efficient collection of the customs taxes based on the tariff classification, customs value and the origin of the goods
Ensures the protection of companies (national industry)	• Applying the measures required to discourage the trade with counterfeit goods
Ensures the protection of the consumers (health and safety)	• Reviewing the Kyoto Convention and a new approach for risk management
Facilitates commercial trades; Ensures the safety of the whole logistics chain	• Adopting safety standards, for example, the aggregated economic operator status
Ensures the protection of the environment	• Adopting initiatives in the green customs area

Fuente: (Popa, Belu, Paraschiv, & Marinoiu, 2015)

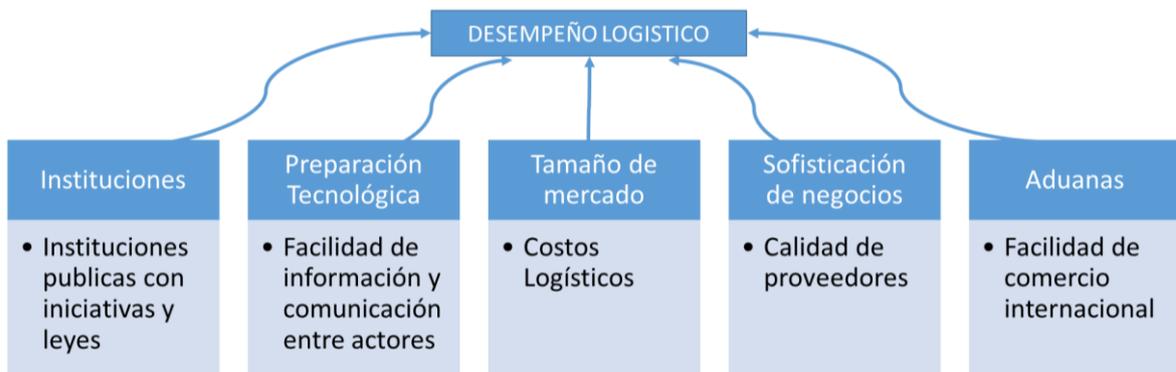
El correcto desempeño de las funciones de la aduana puede fomentar un mercado justo, certificar la entrega oportuna y reducir los costos del comercio internacional, lo que conlleva a la optimización de la logística internacional y la ventaja competitiva de las empresas y naciones en la cadena de valor global (Shujie & Zhao, 2009).

De lo anterior se destaca que existen dos ventajas principales en el buen desarrollo del procesos aduanero para los actores que realizan el comercio, a primera es la reducción de costos logísticos y la segundo la disminución del tiempo de tránsito de la mercancía. La actividad de liquidación de bienes, un componente de la solución logística es una condición para la rentabilidad de una operación de exportación / importación. La duración total de las operaciones logísticas (el tiempo de tránsito) también se determina por la duración de las formalidades de despacho de aduana y el costo total de las operaciones logísticas también incluye los costos de despacho de aduana (Popa, Belu, Paraschiv, & Marinoiu, 2015).

Un entorno logístico comercial pobre, se refleja en una mala combinación de factores que integran el costo de transacción (costos de aduanas, costos de transporte, costo por certificaciones diversas, costos de documentos no arancelarios, ente otros) que contribuyen al fracaso de muchos países en desarrollo que buscan integrarse con éxito a la economía mundial (De Wulf & Sokol, 2009). Lo anterior se debe a que ofrecer el mejor producto no es sinónimo de competitividad internacional; es necesario que éste atraviese por diversos procesos durante la comercialización, los cuales podrían convertirse en posibles obstáculos o bien en factores de competitividad; entre ellos se incluyen el paso por aduanas, los procesos de carga y descarga, los servicios de transporte y otros servicios logísticos; puntos por los que debe atravesar la mercancía para llegar a su destino (Zamora & Navarro, 2013).

De la investigación teórica anterior se concluye lo siguiente:

*Ilustración 25 Caracterización de las variables externas*



Fuente: Elaboración propia

Basado en esta información, en el siguiente capítulo se desarrolla el caso Colombia, realizando dos pasos:

- A. Análisis del indicador de cada uno de los factores externos de los cinco años para dar una visión general de cómo se encuentra el país en cada una de estas variables.
- B. Una búsqueda de la información basada en los aspectos claves de cada una de las variables externas a través de informes nacionales e instituciones públicas que estén relacionadas o proporcionen información de los aspectos mencionados en la ilustración anterior.

## 7. ANÁLISIS DEL MODELO EN CASO COLOMBIA

### 7.1 ANÁLISIS DE VARIABLES EN COLOMBIA

A continuación, se realiza un estudio de las variables más influyentes en el desempeño logístico de Colombia.

#### 7.1.1 Instituciones

Como se observa en la siguiente imagen, desde el año 2007 el indicador para Colombia ha tenido un comportamiento decreciente en un rango de 3.7 a 3.3, teniendo en cuenta que el valor máximo del indicador es 7, se puede decir que Colombia está en un nivel medio-bajo.

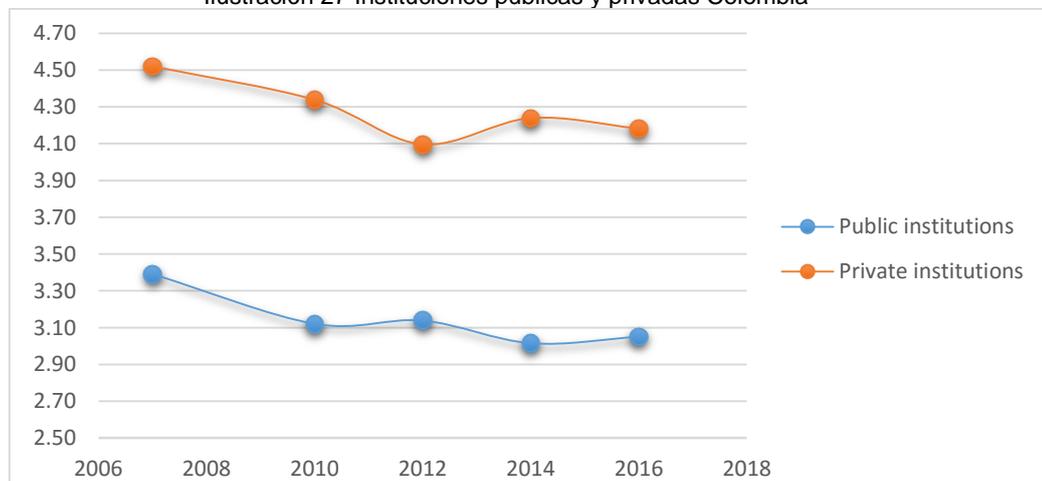
Ilustración 26 Instituciones Colombia



Fuente: Elaboración propia con datos del (World Economic Forum , 2016)

Comprando las instituciones públicas y privadas, Colombia presenta déficit en cuanto a sus instituciones públicas, es decir todo aquello relacionado con el gobierno, aunque las instituciones privadas presentan mejor indicador tiene un comportamiento decreciente, como se observa en la siguiente ilustración:

Ilustración 27 Instituciones públicas y privadas Colombia



Fuente: Elaboración propia con datos del (International Monetary Found, 2016)

El Gobierno de Colombia (GdC) ha mostrado un compromiso con la mejora de la competitividad y productividad del país desde hace más de una década. La creación del Consejo Nacional de Competitividad en 1994 fue el primer paso en la evolución de las políticas para logística. En 2008, el GdC definió las principales estrategias para el desarrollo del sistema logístico nacional a través del documento CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social) 3547 de 2008 -Política Nacional Logística- (PNL). Este sistema incluye todos los actores públicos y privados involucrados en la adquisición, movimiento, almacenamiento y control de mercancías, y es el encargado de apoyar la competitividad y la productividad del país a través de la generación de alto valor agregado en los bienes (BID, 2016).

La política nacional logística definió como un eje problemático la debilidad en la institucionalidad. Ya que, dadas las características del Sistema Logístico Nacional y desde el punto de vista institucional, la logística es un tema de índole transversal que involucra al sector transporte, al comercio y desarrollo empresarial, a las tecnologías de la información y las comunicaciones, y al control de la mercancía y facilitación del comercio, entre otros; y por ende a las entidades que representan y velan por cada uno de dichos intereses. Así mismo, involucra al sector privado, representado en los productores, distribuidores, prestadores de servicios logísticos y de transporte, y cada uno de los actores involucrados en el intercambio de mercancías (CONPES, 2008).

Actualmente, en Colombia, existe un marco institucional de la logística donde se realizan proyectos estratégicos para mejorar la logística a nivel nacional, se observa a continuación:

Ilustración 28 Marco Institucional de la logística en Colombia



Fuente: (BID, 2016)

Como se estudió anteriormente, en el desarrollo eficiente de la logística intervienen actores públicos y privados, que requieren que actúen de forma conjunta y organizada. Por lo anterior, es necesario fortalecer el funcionamiento del Comité para la Facilitación de la Logística del Comercio y el Transporte (Comifal) como organismo de coordinación que asesore al Gobierno Nacional en temas de facilitación, logística y transporte, y que a su vez sirva de interlocutor y articulador de los sectores público y privado (CONPES, 2008).

El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 profundizó posteriormente esta recomendación y determinó la creación de una estructura institucional más amplia, que incluye al Comité Nacional de Logística de Transporte (CNL, que remplaza al Comifal), el Comité Programático de Logística (CPL) y la Unidad Técnica de Ejecución Logística (UTEL) (BID, 2016).

Entre los años 2011-2014 se realizaron cooperaciones técnicas de alrededor de los 3 millones de dólares para apoyar la implementación de la política nacional logística, de la siguiente manera:

Ilustración 29 Cooperaciones técnicas 2011-2014

NÚMERO	NOMBRE	MONTO (US\$)
CO-TI233	Apoyo a la implementación de la política nacional logística	500.000
CO-TI237	Apoyo a la iniciativa de eficiencia energética en transporte de carga	600.000
CO-TI230	Apoyo para mejorar el uso de las TIC en logística de carga y facilitación del comercio exterior	650.000
CO-TI238	Apoyo a la expansión del modo fluvial	1.000.000
CO-TI229	Estudio piloto NAMA - Plan nacional de transporte de carga	175.000

Fuente: (BID, 2016)

Para el 2014-2018 el Gobierno de Colombia, con el objetivo de dar continuidad a las acciones ya emprendidas en materia logística, inició la ejecución de un crédito con el BID denominado “Apoyo a la implementación de la Política Nacional Logística (CO-L1109)”, por valor de US\$15 millones (BID, 2016). Este crédito apoyara a dos partes:

- Consolidación y articulación del Comité Nacional de Logística de Transporte
- Implementación de la política nacional de transporte de carga y estará a cargo del Ministerio de Transporte (MdT)

### 7.1.2 Preparación Tecnológica

Colombia en la preparación tecnología ha tenido un comportamiento creciente, como se observa en la ilustración 23. Teniendo en cuenta la valoración más alta es 7, Colombia en el 2007 estaba en un nivel bajo con una puntuación del 2.98 paso a tener un nivel medio-alto para el 2016 con una puntuación del 4.25, es decir que mejoro en un 43% en este indicador.

Tabla 35 Caracterización del valor del indicador

Rangos del indicador	Caracterización
7-6	Alto
6-5	Medio-Alto
5-4	Medio
4-3	Medio-Bajo
Menor que 3	Bajo

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30 Preparación tecnológica Colombia



Fuente: Elaboración propia con datos del (World Economic Forum , 2016)

El plan nacional de logística también definió como eje problemático el limitado uso y aprovechamiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).

El desarrollo de la logística ha sido facilitado en gran medida por la tecnología, hasta el punto en que no se puede hablar de intercambio de bienes y/o servicios sin el uso de las TIC, las TIC son un elemento articulador entre los procesos de producción, distribución y disposición final en la cadena de abastecimiento, vinculando adicionalmente a los diferentes actores involucrados en los flujos de bienes e información tanto en la solicitud y recepción de pedidos, órdenes de servicios, transporte y almacenamiento de los bienes (CONPES, 2008).

Para ejecutar la recomendación realizada por el PNL de normalizar, promocionar e implementar tecnologías basadas en estándares internacionales para sistemas de almacenamiento, posicionamiento de mercancías y vehículos, consolidación de la oferta de servicios logísticos y procedimientos administrativos ante autoridades de control de comercio exterior (BID, 2016). El BIP desarrollo un proyecto para la socialización y adopción del Sistema Nacional de Identificación Electrónica Vehicular (SINIEV) apoyado por el ministerio de transporte.

A continuación se detalla el proyecto ejecutado en el 2013:

Ilustración 31 Apoyo para mejorar el uso de la TIC Colombia

<b>Año de ejecución</b>	2013
<b>Monto total</b>	US\$92.700
<b>Cooperación técnica</b>	Apoyo para mejorar el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones en logística de carga y facilitación del comercio (CO-T1230).
<b>Firma consultora / Consultor Individual</b>	GSD+.
<b>Principales resultados o conclusiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Expedición del Decreto 2846 de 2013 del MdT – Por medio del cual se adoptan estándares de tecnología para sistemas de recaudo electrónico vehicular.</li> <li>· Recomendaciones sobre pasos a seguir por el GdC para lograr un sistema de Recaudo Electrónico Vehicular (REV) interoperable a nivel nacional.</li> </ul>
<b>Aporte a la PNL</b>	<p>La PNL identificó el limitado uso y aprovechamiento de las TIC en la industria de la logística, el transporte y el control de mercancías como una de las principales problemáticas del sector. El Decreto 2846 dio el primer paso en la creación de un sistema REV interoperable a nivel nacional. Este sistema facilitará las operaciones de pago de peajes por parte de vehículos de carga, disminuyendo sus tiempos de recorrido en carreteras. Adicionalmente, el estándar tecnológico definido facilitará las actividades de seguimiento y posicionamiento de vehículos de carga por parte de empresas de transporte o empresas productivas que realizan directamente sus procesos de transporte de carga.</p>

Fuente: (BID, 2016)

Entre otros aspectos que marcan la preparación tecnológica en Colombia se destaca el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, es la entidad que se encarga de diseñar, adoptar y promover las políticas, planes, programas y proyectos del sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, dentro de sus funciones está incrementar y facilitar el acceso de todos los habitantes del territorio nacional a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y a sus beneficios (MINTIC, 2016).

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) trabaja en 4 iniciativas principalmente, Infraestructuras, Servicios, Aplicaciones y usuarios. De estas iniciativas existen proyectos que afectan indirectamente al desarrollo logístico del país. En la siguiente tabla se describen estos proyectos:

Tabla 36 Iniciativas MINTIC para la logística parte 1

Iniciativa	Proyecto	Objetivo	Afectación a la logística
Infraestructura	Asignación de Espectro para IMT	Realizar la estructuración de procesos de selección objetiva para la asignación de espectro en bandas destinadas a Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), buscando asegurar la disponibilidad del espectro necesario para la masificación de internet móvil y la ampliación de cobertura y servicios, mediante su imposición como obligaciones de hacer por parte de los operadores.	Facilidad de comunicación entre los actores de la cadena de suministro
	Facilitación de despliegue de infraestructura de telecomunicaciones	Encontrar mecanismos a través de política pública y/o reglamentación que permitan desplegar infraestructura de telecomunicaciones en redes urbanas, regional o nación.	
	Infraestructura para zonas rurales	Lograr que el 100% de las cabeceras municipales tengan cobertura de internet inalámbrico Lograr que todos los centros poblados rurales con más de 100 habitantes cuenten con un sitio de acceso público a internet.	Disminución de los intermediarios para la compra de mercancías producidas en el campo, debido a la facilidad de comunicación con los compradores
	Conexiones Internacionales	Esta iniciativa está orientada a promover la inversión en conectividad internacional en Colombia, con el fin de motivar a la industria y al sector privado para que inviertan en infraestructura de conectividad internacional, en particular en infraestructura de cables submarinos.	Facilidad de comunicación entre Colombia y actores internacionales en la cadena de suministro global

Fuente: Elaboración propia con información del MINTIC

Tabla 37 Iniciativas MINTIC para la logística parte 2

Iniciativa	Proyecto	Objetivo	Afectación a la logística
Aplicaciones	Fortalecimiento de la industria TI/SW e ITO	Convertir la industria colombiana de Ti/Sw en una industria de clase mundial	Aumentar el uso de aplicaciones en las pequeñas y medianas empresas que pueden mejorar sus procesos internos.
	Servicios Financieros móviles	Promover transacciones bancarias vía celular para usuarios en municipios pequeños y orientar estas acciones a los beneficiarios de los programas asistenciales que sean entregados a través del Banco. Masificar el uso de servicios transaccionales en el país, a través de medios digitales.	Mayor facilidad de pago en los procesos de comercio.
	Promoción de la Industria de Contenidos Digitales	*Fomentar la industria de Contenidos Digitales en Colombia *Promover Aplicaciones y Contenidos Digitales *Política de Desarrollo Administrativo *Gestión misional y de Gobierno	Fortalecer los procesos de pre-producción, producción y postproducción para facilitar el acceso a mercados con mecanismos de financiación y aseguramiento de calidad
Usuarios	MiPyme	Promueve la transformación de los modelos de negocio de las Pyme colombianas a partir del uso estratégico de la tecnología. Buscan que las empresas del país pasen del Internet del consumo, al Internet de la productividad y emprendan la ruta digital.	Con el uso de tecnologías en las pequeñas y medianas empresas pueden mejorar las relaciones con proveedores, distribuidores, etc. por el intercambio de información.

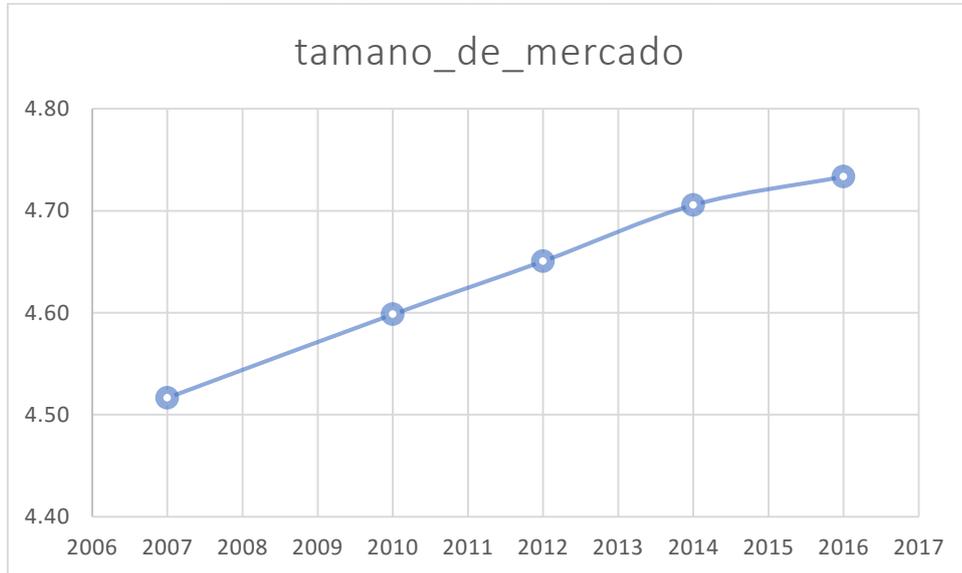
Fuente: Elaboración propia con información del MINTIC

Existe otro aspecto clave en Colombia para preparación tecnología que afecta la logística y es la creación del Centro de Excelencia y Apropiación (CEA) en Internet de las cosas, donde piensan gestionar el sector de la logística con la Zona Franca Bogotá trabajando un proyecto que permite medir la trazabilidad de los productos, desde que están en puerto hasta que llegan a las locaciones de la zona franca, redundando en mayor productividad y seguridad (MINTIC, 2016).

### 7.1.3 Tamaño de mercado

Para el indicador el tamaño de mercado Colombia, ha tenido un comportamiento creciente, en un rango de 4.5 y 4.8, es decir un nivel medio.

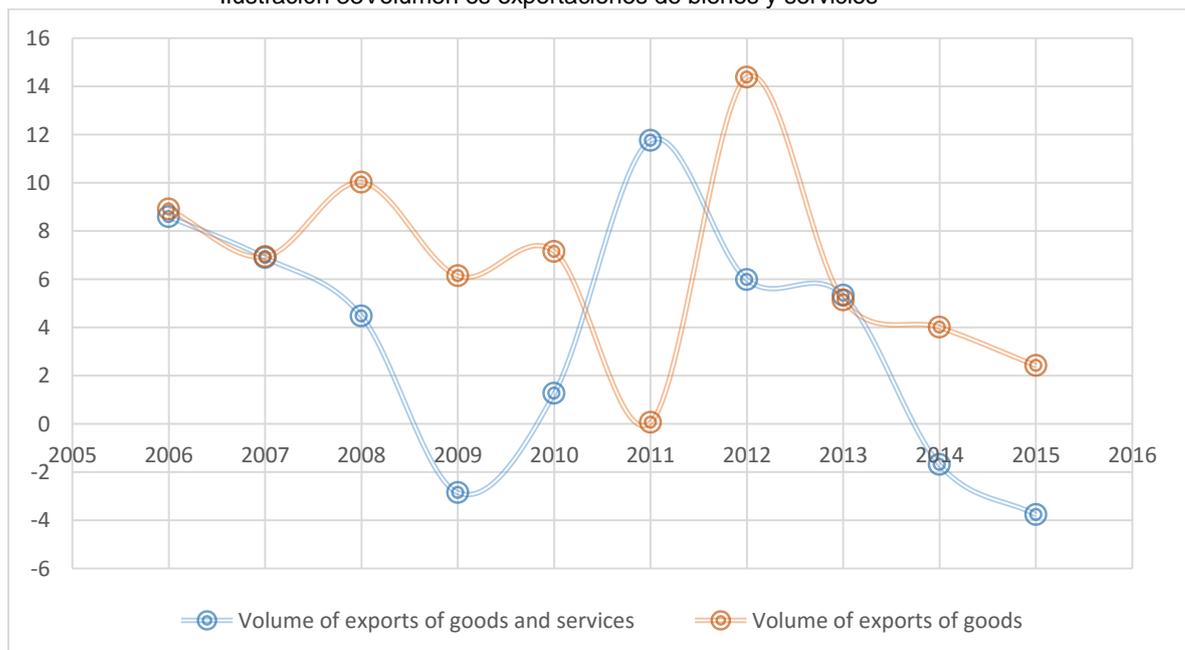
Ilustración 32 Tamaño de mercado Colombia



Fuente: Elaboración propia con datos del (World Economic Forum , 2016)

Aunque Colombia presente este comportamiento en el indicador, los factores en los que se evalúan en el tamaño de mercado presentan un comportamiento diferente, como se observa en la siguiente ilustración, el porcentaje de variación del volumen de exportaciones de bienes y bienes y servicios. Lo que se puede analizar es que no hay un comportamiento estable a lo largo de los años y desde el año 2012 ha venido en declive.

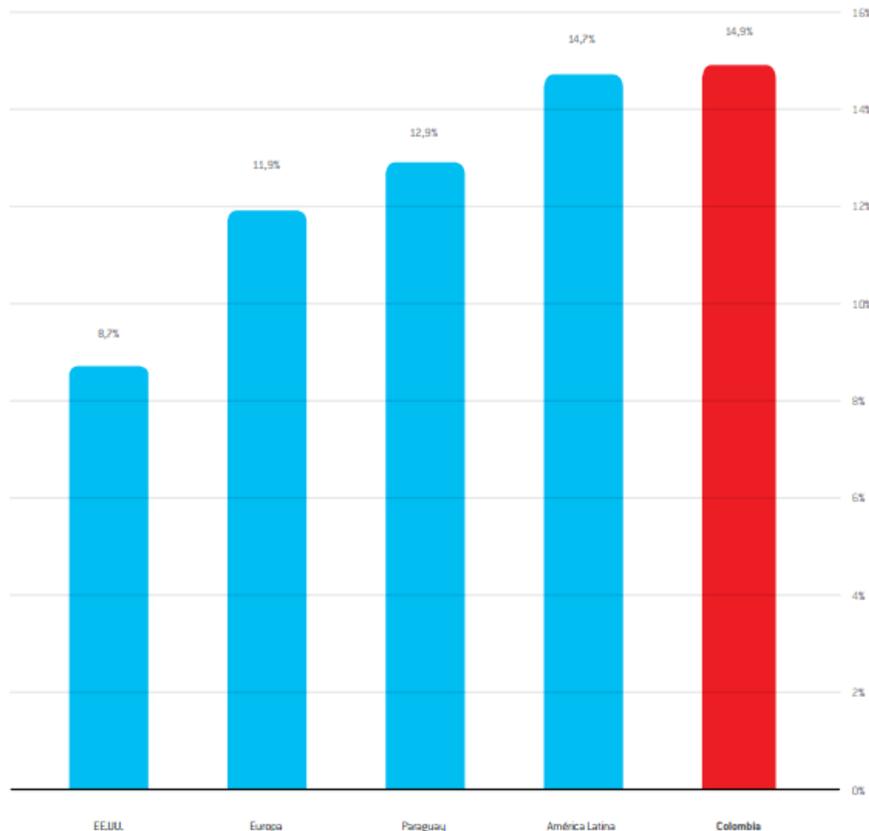
Ilustración 33 Volumen es exportaciones de bienes y servicios



Fuente: Elaboración propia con datos del IMF

Otro factor crítico para Colombia son los costos logísticos. Como se observa en la siguiente ilustración para Colombia representa un 14.91% los costos logísticos sobre las ventas, una proporción alta comparándola con América Latina con 14,7, Europa con 11.9% y Estados Unidos con 8.7%

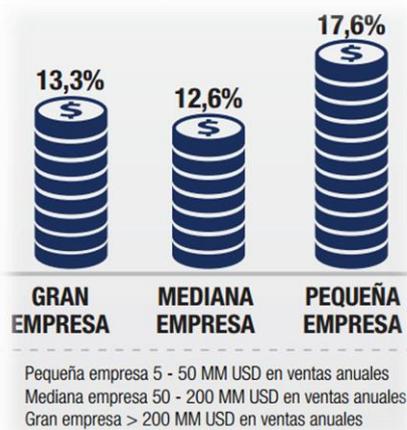
Ilustración 34 Costo Logístico sobre ventas



Fuente: (Concejo Privado de Competitividad, 2016)

Al observar el comportamiento del costo de logística por tamaño de empresa, para la empresa pequeña es más costoso administrar sus procesos logísticos. Las PyMES representan el 96% de las empresas en Colombia y son las que están más rezagadas en la obtención de beneficios logísticos (DNP, 2015).

Ilustración 35 Costos Logísticos sobre ventas en empresas



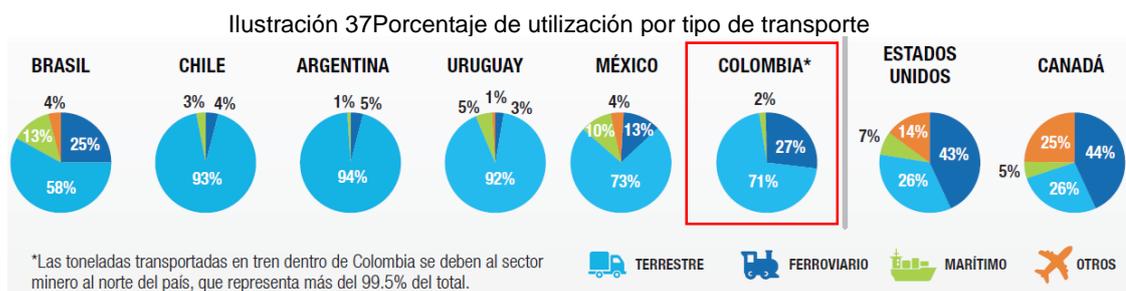
Fuente: (SINTEC, 2016)

De los 14.7% que representa los costos logísticos sobre las ventas, el 37% lo representan los costos de transporte y distribución, como se observa en la siguiente ilustración:



Fuente: (DNP, 2015)

En América Latina, el transporte terrestre es el más importante comparado con otros medios de transporte, representa entre 60% y 90% de toneladas transportadas para varios países de Latinoamérica. En el caso de Estados Unidos y Canadá la participación de este medio transporte es menor (SINTEC, 2016). Para Colombia específicamente representa el 71% el transporte de carretera, seguido del transporte ferroviario con 27%, sin embargo, el 99.5% de esto se debe al sector minero.



Fuente: (SINTEC, 2016)

Algunos de los factores que afectan a los costos de transporte en Colombia son:

- Altos costos en gasolina.
- Infraestructura insuficiente.
- Seguridad Vial.
- Congestiones.
- Procesos de carga y descarga manuales.

#### 7.1.4 Sofisticación de negocios

Del comportamiento de la sofisticación de negocios en Colombia se observa que tiene una tendencia al declive, ya que solo del año 2012 al 2014 hubo un crecimiento, pero de los años 2007 al 2012 y del 2014 al 2016 tuvo un comportamiento decreciente. En general Colombia se encuentra en un nivel medio-bajo.

Ilustración 38 Sofisticación de los negocios Colombia

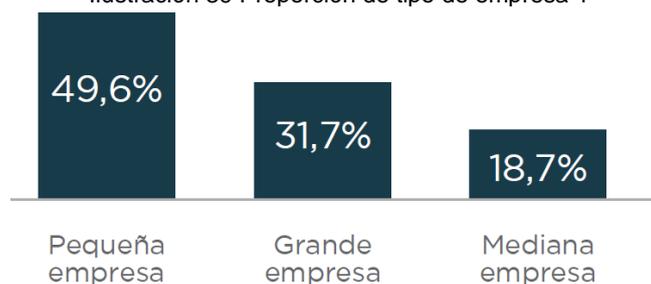


Fuente: Elaboración propia con datos del (World Economic Forum , 2016)

Como parte de los costos logísticos también se encuentra la gestión que se hace con la compra y manejo de los proveedores, que en Colombia representa el 17% sobre las ventas en las empresas como se detalla en la Ilustración 30. Además, de los costos, la calidad de los proveedores afecta directamente a la calidad de las empresas.

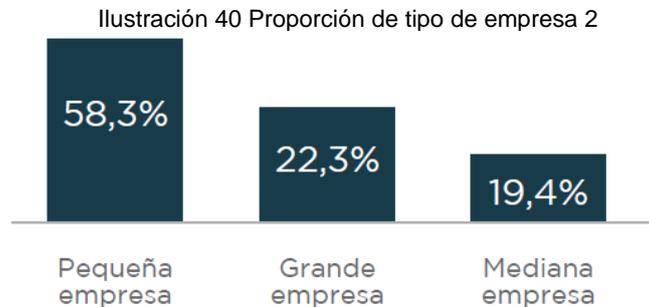
En Colombia, de una muestra de 504 empresas pertenecientes a sectores, que son el sector básico: Conformado por las empresas que pertenecen a las actividades de minería, agricultura, ganadería, hidrocarburos. Sector Manufactura: Conformado por las empresas industriales productoras de bienes. Sector Comercio Mayorista y Minorista: Conformado por las empresas de distribución y comercialización de productos. Sector de Proveedores de Servicios No logísticos: Conformado por aquellas empresas que pertenecen a otro tipo de actividades (comunicaciones, ingeniería, banca, educación, etc.) (DNP, 2015). El 81.3% son pequeñas empresas y medianas empresas como se observa a continuación:

Ilustración 39 Proporción de tipo de empresa 1



Fuente: (DNP, 2015)

De 264 empresas proveedoras de servicios logísticos (Operación logística terrestre, Operación logística integral, Otros servicios, Operación logística comercio Exterior, Operación logística marítima (puertos), Operación logística de almacenamiento, Operación logística zonas francas Operación logística aérea) tienen el mismo panorama, ya que el 80.6% son Pymes como se observa a continuación:



Fuente: (DNP, 2015)

Para evaluar estas empresas en cuanto a su desempeño logísticos se tiene en cuenta 3 niveles que se describen a continuación:

Ilustración 41 Desempeño Logístico de empresas

NIVEL BÁSICO	NIVEL MEDIO	NIVEL AVANZADO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visual a <b>corto plazo</b>.</li> <li>- Procesos logísticos definidos.</li> <li>- Identificación e incorporación al proceso logístico de mejores prácticas.</li> <li>- Realización de medición básica de la gestión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visual a <b>mediano plazo</b>.</li> <li>- Control de costos y seguimiento al nivel de servicio.</li> <li>- Definición de políticas claras de inventario.</li> <li>- Desarrollo de programas con proveedores.</li> <li>- Re-diseño de su red logística.</li> <li>- Evaluación e implementación de nuevas tecnologías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visual a <b>largo plazo</b>.</li> <li>- Logística como un área estratégica.</li> <li>- Definición e implementación de una estrategia logística.</li> <li>- Desarrollo de procesos de gestión de demanda.</li> <li>- Desarrollo de proyectos colaborativos con clientes.</li> <li>- Desarrollo de proyectos de eficiencia ambiental: Logística verde.</li> </ul>

Fuente: (DNP, 2015)

Del total de las empresas pertenecientes a los 4 sectores, el 42,6%, cuentan con un nivel de desarrollo logístico medio, en donde las empresas grandes y medianas vienen trabajando en hacer más eficiente su cadena de valor; Por el lado de las empresas proveedoras de servicios logísticos el 34% de las empresas de gran tamaño se encuentran en un nivel de desarrollo avanzado, esto puede evidenciarse en los grandes Operadores Logísticos del país que han incorporado elementos de valor para su oferta de servicios a empresas (DNP, 2015).

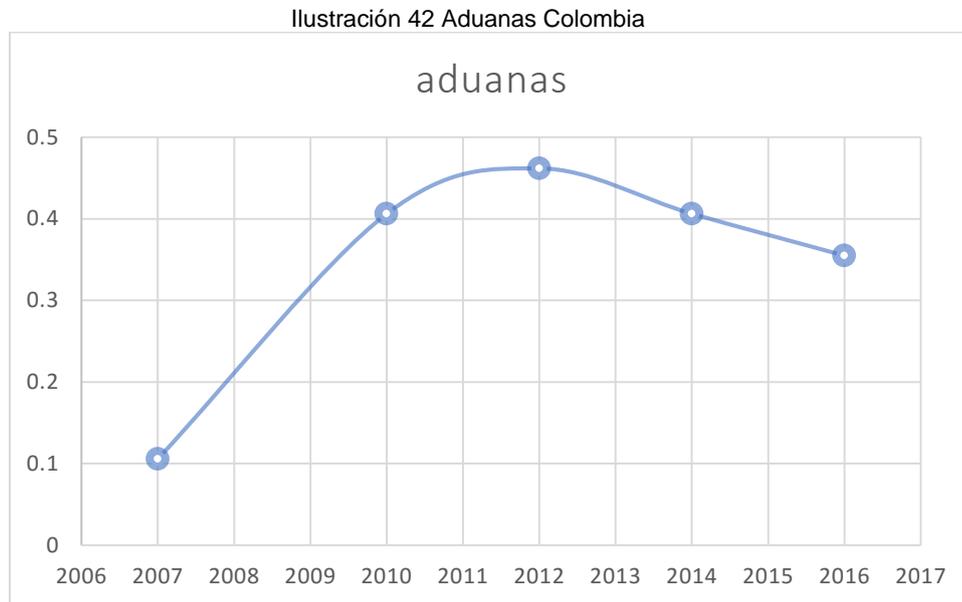
Estos resultados indican que Colombia tiene muchos retos Logísticos que afrontar, una de las razones por la cual se instauró en el 2016 Política de Desarrollo Productivo PDP que establece la implementación de un programa de servicios de emparejamiento para facilitar la inserción de proveedores colombianos en cadenas globales, regionales y locales (Concejo Privado de Competitividad, 2016). Donde se establecieron dos objetivos principales

2. Mitigar la falta de información que afecta a los proveedores nacionales
3. Ayudarles a cumplir con los estándares exigidos por los compradores.

Cabe destacar que ProColombia, a través de misiones exploratorias, ha avanzado en la identificación de la demanda potencial en otros mercados. Durante estas misiones, las empresas reciben capacitaciones sobre los distintos mercados, sus tendencias, costumbres y exigencias. En 2015 esta entidad logró que 2.289 empresas exportaran a 123 países. (Concejo Privado de Competitividad, 2016).

### 7.1.5 Aduanas

Las aduanas en Colombia, en los primeros años (2007,2010 y 2012) fueron marcado por un comportamiento creciente significativo, sin embargo desde el 2012 hasta el 2016 ha descendido paulatinamente, como se observa en la siguiente ilustración:



Fuente: Elaboración propia con datos del WEB

De acuerdo con la encuesta nacional de logística, las mayores dificultades que se presentan en la ejecución de las operaciones logísticas se clasificaron en 3 grandes grupos Infraestructura, Gestión aduanera y Gestión Empresarial (DNP, 2015).

Las variables principales que determinan la gestión aduanera son el tiempo, costos y documentos. En la siguiente ilustración detallan los costos y tiempo de los tramites de documentos y procesos de la frontera para exportación e importación de Colombia comparándolo con Latinoamérica y el Caribe, donde claramente se evidencia que los mayores problemas son en los tiempos del cumplimiento en la frontera, donde en exportar es 78% y en importar es 75% más que el tiempo promedio en Latinoamérica y el caribe, sin embargo en los costos del cumplimiento en la frontera en exportar es 23% y en importar 140% menor que el costo invertido en Latinoamérica y el caribe.

Ilustración 43 Tiempo y costo de exportación e importación para el comercio transfronterizo en Colombia

	Colombia	Latin America & Caribbean
Time to export: Border compliance (hours)	112	63
Cost to export: Border compliance (USD)	545	527
Time to export: Documentary compliance (hours)	60	56
Cost to export: Documentary compliance (USD)	90	111
Time to import: Border compliance (hours)	112	65
Cost to import: Border compliance (USD)	545	685
Time to import: Documentary compliance (hours)	64	83
Cost to import: Documentary compliance (USD)	50	120

Fuente: (World Economic Forum, 2016)

## 7.2 EVALUACIÓN DOFA DE COLOMBIA

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado en la evaluación de Colombia de las variables que influyen directamente en su desarrollo logístico, la siguiente tabla de evaluación DOFA resume la situación de Colombia:

Tabla 38 DOFA Colombia

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos buenos en la documentación requerida para importar mercancías</li> <li>• Costos buenos en la documentación requerida para importar mercancías</li> <li>• Existencia de Política Nacional Logística</li> <li>• Existencia de un marco institucional de la logística</li> <li>• Ubicación geográfica estratégica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto tiempo para exportar mercancías</li> <li>• Alto tiempo de importar mercancías</li> <li>• Altos costos logísticos de transporte de carga al interior del país</li> <li>• Bajo uso de las tecnologías de información en empresas               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logística Urbana poco desarrollada</li> </ul> </li> <li>• Deficiente infraestructura para el transporte de mercancías               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inseguridad Vial</li> </ul> </li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura en transporte</li> <li>• Uso y calidad del transporte multimodal.</li> <li>• Mejora de procedimientos aduaneros y fronterizos</li> <li>• Plan Nacional de desarrollo enfocado en los proveedores               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación del centro de excelencia y apropiación para la trazabilidad                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplia red fluvial</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Planes por el MinTic dirigidos a las pequeñas y medianas empresas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento superior de los países con respecto a Colombia en desempeño logístico</li> <li>• Nuevas formas o exigencias en el comercio internacional.</li> <li>• Situación política y económica del país</li> <li>• Complicaciones en temas de seguridad               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reticencia del sector empresarial a adaptarse a las nuevas formas de concebir la logística internacional</li> </ul> </li> <li>• Inestabilidad de las relaciones diplomáticas</li> <li>• Disminución en el volumen de exportaciones</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 7.3 ANÁLISIS DEL LPI POR CLUSTER

Para realizar un análisis comparativo del desempeño logístico y las variables que mejor lo describen de Colombia con los otros 50 países incluidos en el modelo se realiza por medio del cluster.

Antes de realizar las recomendaciones se establece una meta en cuanto al desarrollo logístico en Colombia. La meta se define como: ser altamente competitivo a nivel Latinoamérica y el Caribe. Por lo que se toma como referencia a Chile, ya que es el país que tiene mejor desempeño logístico como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 39 Desempeño Logístico en Latinoamérica

País	Logística	Instituciones	Preparación tecnológica	Tamaño de mercado	Sofisticación de negocios	Aduana
<b>Chile</b>	3,25	4,51	5,09	4,50	4,09	0,63
<b>México</b>	3,11	3,30	3,97	5,64	4,24	0,66
<b>Brasil</b>	3,09	3,24	4,37	5,73	4,01	0,15
<b>Uruguay</b>	2,97	4,72	5,16	3,27	3,74	0,10
<b>Argentina</b>	2,96	3,04	4,08	4,93	3,68	0,16
<b>Perú</b>	2,89	3,37	3,56	4,40	3,78	0,49
<b>El Salvador</b>	2,71	2,99	3,40	3,18	3,69	0,73
<b>Costa Rica</b>	2,65	4,09	4,77	3,35	4,30	0,61
<b>Colombia</b>	2,61	3,33	4,25	4,73	4,04	0,36
<b>Honduras</b>	2,46	3,34	3,12	3,06	3,85	0,20

Fuente: Elaboración propia

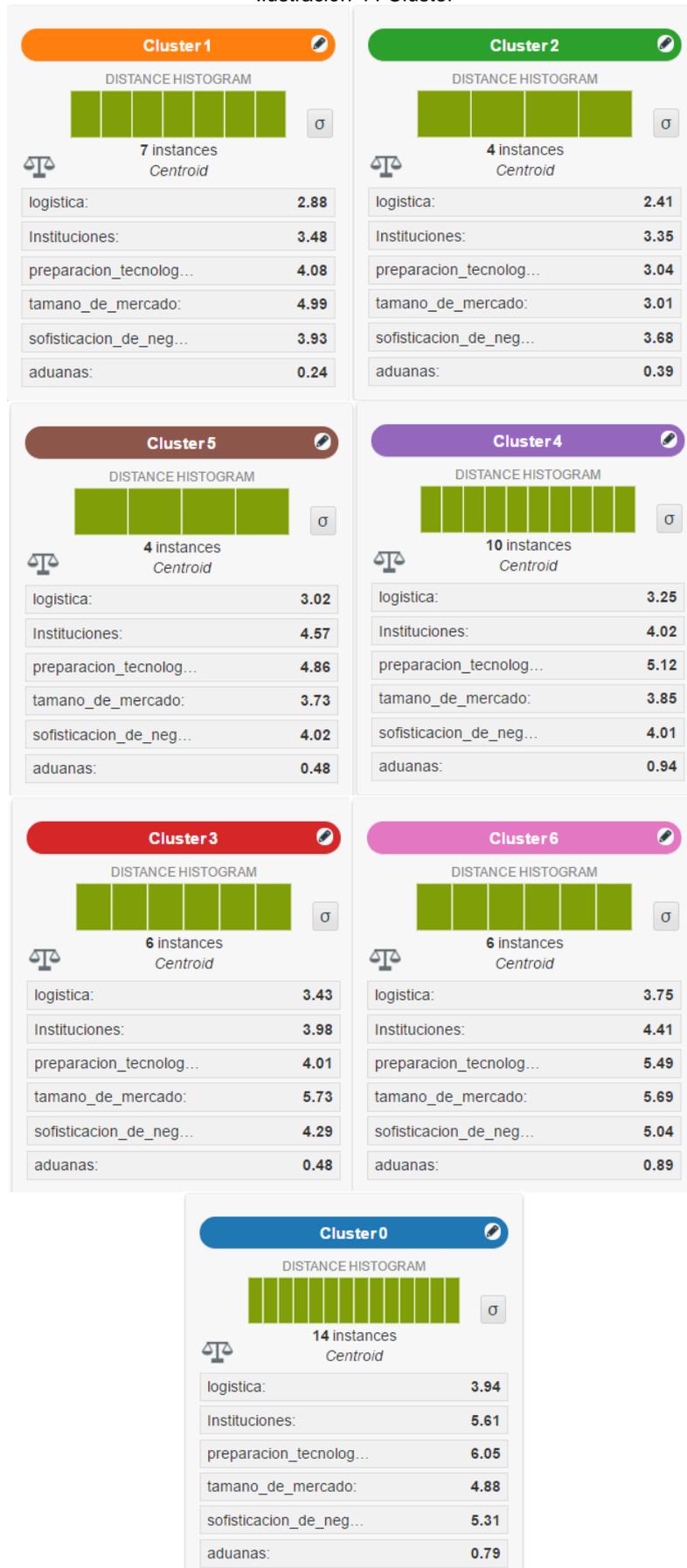
Una vez definida la meta, se genera el modelo del cluster arrojando como resultado 7 cluster con la siguiente clasificación:

- Cluster 0: 14 Países
- Cluster 1: 7 Países (Colombia)
- Cluster 2: 4 Países
- Cluster 3: 6 Países
- Cluster 4: 10 Países
- Cluster 5: 4 Países (Chile)
- Cluster 6: 6 Países

De esta clasificación se observa que Colombia se encuentra en el cluster 1 y la meta es pertenecer al cluster 5.

Los datos promedio del LPI y las variables de los 7 clusters se describen a continuación:

Ilustración 44 Cluster



Fuente: Elaboración propia usando el software BigML

En la siguiente ilustración se puede visualizar que tan lejos está Colombia de pertenecer al cluster 5 con Chile, tomando como centro el cluster 1.



Fuente: Elaboración propia usando el software BigML

Tomando como base el clúster 1 y con el objetivo de pertenecer a los clústeres 5, Colombia debe tener especial interés en implementar estrategias de mejora principalmente en las instituciones, preparación tecnológica y aduanas, pero sin dejar a un lado la sofisticación de negocios y tamaño de mercado.

## 7.4 RECOMENDACIONES A NIVEL ESTRATEGICO PARA MEJORAR EL LPI EN COLOMBIA

A continuación, se enuncian las recomendaciones para cada uno de los factores más influyentes en el desarrollo logístico de Colombia. Se debe tener en cuenta que para algunas recomendaciones se involucran más de un factor.

Tabla 40 Convenciones para las recomendaciones

Instituciones	Preparación Tecnológica	Tamaño de mercado	Sofisticación de negocios	Aduana

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41 Recomendaciones

RECOMENDACIONES					
Fomentar políticas de gobierno abierto y plataformas de información logística, que garanticen la transparencia y la competitividad de los actores de la logística en Colombia.	X			X	
Fomentar políticas de desarrollo de sistemas de información, que permitan fortalecer las operaciones de las pymes.	X	X			
Creación de un plan para el transporte multimodal para mejorar la eficiencia del transporte, desarrollando el transporte fluvial.			X		
Atacar las principales fuentes de retraso de la entrega y despacho de mercancías en el país.					X
Desarrollar formas de optimización de las inspecciones físicas en puertos y eliminar las inspecciones reiteradas por múltiples agencias.					X
Utilización de los sistemas de información y comunicación para agilizar los trámites, reducir el número de agencias en los procesos y la cantidad de documentos necesarios para los procedimientos comerciales, reduciendo así los tiempos de importación y exportación de mercancías.		X			X
Garantizar una inversión pública en infraestructura terrestre sostenida en el tiempo, proyectando las necesidades de los mercados en el futuro.	X		X		
Implementar medidas para disminuir costos en gasolina y peajes para el transporte de mercancías el interior del país.			X		
Promover el desarrollo del clúster entre proveedores con el fin de establecer los medios de comunicación y tecnologías para el flujo de mercancías.				X	
Capacitar a los proveedores rurales y urbanos en la apropiación de las tecnologías de información		X		X	
Establecimiento de políticas y regulaciones nacionales que permeen la actividad comercial, con el fin de optimizar los procesos de despacho de aduanas y gestión fronteriza	X				X
Implementar política logística dirigidas a las Pymes para incrementar su participación en el comercio internacional	X		X		

Fuente: Elaboración propia

## 8. CONCLUSIONES

- De la investigación del “Logistics Performance Index (LPI)”, se establece que es la mejor herramienta que permite a gobiernos y empresas entender el desarrollo logístico del país para determinar las áreas y estrategias de mejora. Esto se debe a que el LPI abarca gran cantidad de países, la información se obtiene por profesionales del área y además evalúa los factores más importantes que intervienen en la logística, sin embargo, al ser la logística un campo de acción que abarca gran cantidad de aspectos es necesario complementar el LPI con indicadores externos y determinar nuevas relaciones causales de estos indicadores con LPI.

En cuanto al análisis de LPI en Colombia se determinó que el desempeño logístico comparándolo a nivel mundial es bajo, donde las mayores deficiencias están en infraestructuras y aduanas. En cuanto a la infraestructura se evidencia baja calidad ya que el tiempo de transporte al interior del país es muy extenso, en las aduanas se evidencian altos costos y tiempo en los procesos de importación y exportación. Por esta razón se deben establecer estrategias para lograr una mejora en el desempeño Logístico en Colombia.

- Como el LPI es el único indicador que evalúa el desempeño logístico por país. La búsqueda de los factores externos al LPI que determinan la logística nacional, se basó en variables claves de la logística a nivel organizacional ampliándolos a nivel nacional, por ejemplo, los productos terminados con los que una organización realiza sus ventas, a nivel nacional serán las exportaciones e importaciones la cantidad de bienes con que el país realiza la actividad de comercio. Una vez determinado esto, se buscó exhaustivamente indicadores que los evaluaran, dando como resultado los factores de Competitividad, Tecnología, Importaciones y exportaciones, Conectividad Marítima, Infraestructura y Aduanas. Como la búsqueda se basó en ciertos criterios para que el modelo de predicción fuera más preciso, existieron algunos indicadores que son determinantes en el desarrollo logístico pero que no se incluyeron en el modelo por razones como: falta de datos en ciertos años, los datos no están abiertos al público o no abarcaban gran cantidad de países, entre otros.
- Con la exploración teórica del “Principal Component Analysis (PCA)” se concluye que es un instrumento eficaz para tratar un gran conjunto de datos y determinar sus relaciones además de disminuir su dimensional. Dada esta funcionalidad, se realizó el proceso del PCA con los indicadores externos y el LPI con 51 países para determinar cuáles de estos factores externos son los que predicen con mayor precisión el índice de desempeño logístico. Del desarrollo del PCA, se concluye que la competitividad de un país es uno de los factores más influyentes en el desarrollo logístico, sin embargo, como la competitividad abarca gran cantidad de factores, se decidió realizar el modelo incluyendo cada uno de estos factores. Estableciendo que los factores en ámbito cualitativo que mejor describen la logística en un país son las instituciones, preparación tecnológica, sofisticación de negocios, tamaño de mercado, y aduanas.

Evaluando de manera teórica estos cinco factores se determinó que las instituciones influyen en cuanto a las políticas y regulaciones que apoyan las actividades logísticas del país. En cuanto a la preparación tecnológica, es evidente que el uso de tecnologías de información y comunicación son elementos definitivos para que las empresas sean eficientes en el desarrollo de sus actividades, y en relación a la logística son herramientas que apoyan a actividades como seguimiento y rastreo de mercancía, planificación de aprovisionamiento y distribución, gestión de almacenes, procesos aduaneros, entre otros. En el tamaño de mercado, se relaciona a la logística en cuanto a los costos, que están determinados mayoritariamente por la infraestructura en transporte y telecomunicaciones, regulaciones, sectores económicos, tipos de mercado, entre otros. La sofisticación de negocios está dada por la calidad de los proveedores, actores fundamentales para realizar el comercio nacional e internacional, por último, en las aduanas, los costos, documentos y tiempo son fundamentes para el buen desarrollo aduanero.

Entre estos cinco factores también existen relaciones estrechas, por ejemplo, las instituciones pueden afectar a los otros factores con la implementación de políticas. Otro ejemplo es que las tecnologías afectan directamente con la calidad de proveedores, facilitación del comercio, disminución de costos logísticos entre otros.

- De la exploración de la situación actual de Colombia en los cinco factores determinados en el modelo de predicción se concluye que:
  - ✓ Instituciones: Existe un marco institucional de la logística y una política de logística que puede ser aprovechada como una oportunidad para implementar regulaciones, políticas o apoyo para mejorar los procesos logísticos en Colombia, como mejorar la infraestructura en transporte o apoyar a las pymes.
  - ✓ Preparación tecnológica: Existe una entidad pública que diseña y realiza políticas, planes y programas del área de la tecnología de la información y comunicaciones, esto es una gran ventaja ya que algunos de sus programas son dirigidos a las empresas especialmente a las pymes.
  - ✓ Tamaño de mercado: En Colombia los mayores costos logísticos son generados principalmente por el transporte, esto se debe a la mala infraestructura, altos costos de gasolina, peajes y poca seguridad.
  - ✓ Sofisticación de negocios: En cuanto a los proveedores alrededor de un 80% son pymes por los que es un gran reto para Colombia que, estas empresas puedan ser más competitivas, eficientes y presten servicios y productos con mayor calidad.
  - ✓ Aduanas: La mayor debilidad en Colombia tiempos de exportación, sin dejar a un lado que el costos, documentos generan también grandes dificultades a la hora de exportar e importar.
- De las recomendaciones planteadas para mejorar el desempeño logístico en Colombia se concluye se debe atacar principalmente aspectos como: infraestructura, aumentar competitividad de las pymes, mejorar procesos aduaneros, implementación de políticas logísticas y mayor apropiación de las tecnologías de información.

## 9. REFERENCIAS

- Bennett, D., & Klug, F. (2012). Logistics supplier integration in the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 1281-1305.
- BID. (2016). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7443/La%20evoluci%C3%B3n%20de%20la%20pol%C3%ADtica%20nacional%20log%C3%ADstica%20en%20Colombia%20y%20el%20apoyo%20del%20BID%20.pdf?sequence=1>
- Brezina, C. (2012). *Understading the gross domestic product and the gross national product*. New York: Rosen Publishing.
- Cadena de suministro. (14 de 09 de 2016). *Cadena de suministro*. Obtenido de <http://www.cadenadesuministro.es/noticias/el-sector-logistico-representa-un-3-del-pib-espanol/>
- Closs, D., Goldsby, T., & Clinton, S. (1997). Information technology influences on world class logistics capability. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 4-17.
- Coca, P. (2016). Introducción a la Logística. Valencia, España: Material de clase. Concejo Privado de Competitividad. (2016). *Iniciativas para el desempeño Logístico*. Bogota: Concejo Privado de Competitividad.
- CONPES. (2008). *Política nacional logística*. Bogota. Obtenido de [https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjs3qzJ34XUAhVCzxQKHWYBCeEQFggvMAI&url=http%3A%2F%2Fwww4.unfccc.int%2Fsites%2Fnama%2F\\_layouts%2FUND%2FFCCC%2FNAMA%2FDownload.aspx%3FListName%3DNAME%26ID%3D82%26FileName](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjs3qzJ34XUAhVCzxQKHWYBCeEQFggvMAI&url=http%3A%2F%2Fwww4.unfccc.int%2Fsites%2Fnama%2F_layouts%2FUND%2FFCCC%2FNAMA%2FDownload.aspx%3FListName%3DNAME%26ID%3D82%26FileName)
- Davis, L., & North, D. (1971). *Institutional Change and American Economic Growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- De Wulf, L., & Sokol, J. (2009). *Customs modernization handbook*. Washington: The World Bank.
- DNP. (2015). *Encuesta Ncional Logística*. Bogota: Departamento Nacional de Planeación.
- Dunteman, G. (1989). *Principal Components Analysis*. California: Sage Publications.
- El diario. (01 de 03 de 2017). Nuevo impulso del Gobierno regional a la Plataforma Logística de Alcázar de San Juan. Alcazar.
- Erkan, B. (2014). The Importance and Determinants of Logistics Performance of. *Journal of Emerging Issues in Economics, Finance and Banking (JEIEFB)*, 1237-1254.
- Gerardnido. (2 de Febrero de 2015). *Data Mining - Principal Component (Analysis/Regression) (PCA)*. Obtenido de [http://gerardnico.com/wiki/data\\_mining/pca](http://gerardnico.com/wiki/data_mining/pca)
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0*. Thailand: Apress.
- Global Negotiator. (2010). *Global Negotiator*. Obtenido de <http://www.globalnegotiator.com/es/incoterm-fob-es>
- Gonzalez, A. (28 de Junio de 2016). Alemania lidera el índice de desempeño logístico 2016. (T. W. Bank, Entrevistador) Obtenido de Alemania lidera el índice de desempeño logístico 2016: <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/06/28/germany-tops-2016-logistics-performance-index>

- Hurtado, J. (2010). *Metodología de la Investigación*. Caracas: Quiron.
- International Monetary Found. (04 de 2016). *World Economic Outlook Database*.  
Obtenido de  
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2016/01/weodata/index.aspx>
- International Trade Statistics. (2017). *Trade Map*. Obtenido de  
<http://www.trademap.org/tradestat/Index.aspx>
- Jolliffe, I. (2002). *Principal Component Analysis*. New York: Springer.
- Koios. (25 de Agosto de 2016). *Principal Component Analysis and Dimensionality Reduction*. Obtenido de <http://datinker.com/?p=219>
- Lambert, D., Stock, J., & Ellram, L. (1998). *Fundamentals of logistics management*. Pensilvania: McGraw-Hill.
- Lee, S.-H., & Wyk, J. (16 de 07 de 2014). National institutions and logistic performance: a path. Springer.
- Lin, C.-Y., & Ho, Y.-H. (2007). Technological innovation for china's logistics industry. *Journal of Technology Management and Innovation*.
- Lopez, R. (2014). *Logística de aprovisionamiento*. Madrid: Paraninfo.
- Mankiw, G. (2012). *Principios de Economía*. Mexico: Cengage Learning.
- MINTIC. (19 de 12 de 2016). *El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. Obtenido de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-540.html>
- MINTIC. (26 de 04 de 2016). *Nace el primer Centro de Excelencia y Apropiación (CEA) en Internet de las Cosas*. Obtenido de  
<http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-15169.html>
- Molina, I. (2015). *Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de  
<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/imolina/MiDocencia/Tecnicas Investigacion/SlidesACPEstudi00809.pdf>
- Navarra.es. (29 de 03 de 2017). El Gobierno licita la elaboración de un estudio para definir la Estrategia Logística de Navarra hasta 2028. Navarra.
- Peña, D. (2002). *Análisis de Datos Multivariantes*. McGraw hill. Obtenido de  
<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema2am.pdf>
- Popa, I., Belu, M., Paraschiv, D., & Marinoiu, A. (2015). Best Practices in customs procedures. *Bucharest University of Economic Studies*, 1095-1107.
- Porter, M. (1991). *La Ventaja Competitiva de las naciones*. España: Plaza Editores.
- Qilan, Z., Huiping, D., Hongzhi, L., & Hong, Q. (2005). The Analysis of Correlation between Logistics and GDP. *IEEE*, 435-439.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua española*. Obtenido de  
<http://dle.rae.es/?id=NZJWMiV>
- Redacción T21. (07 de 06 de 2016). *T21*. Obtenido de  
<http://t21.com.mx/logistica/2016/06/07/sector-transporte-logistica-genera-65-pib>
- Rivera, L., Gligor, D., & Sheffi, Y. (2016). The benefits of logistics clustering. *International Journal of Physical Distribution & Logistics management*, 242-268.
- Rogers, S. (2009). *The Supply-Based Advantage: How to Link Suppliers to Your Organization's*. AMACON.
- Shujie, Z., & Zhao, S. (2009). The implication of customs modernization on export. *Impact of Trade Facilitation on Export Competitiveness: A Regional Perspective, Studies in Trade and Investment No. 66*. UNESCAP.

- SINTEC. (2016). *Transporte, el verdadero reto en Latinoamérica y Colombia*.  
Obtenido de <http://www.sintec.com/wp-content/uploads/2016/01/20150125-infografia-transporte-Latam-Colombia.pdf>
- The Pioneer. (03 de 04 de 2017). GOVERNMENT TO CONSTRUCT 35 MULTIMODAL LOGISTICS PARKS: GADKARI. New Delhi.
- The World Bank. (2014). *LPI Survey*. Washington, DC: The World Bank.
- The World Bank. (2016). *The Logistics Performance Index and Its Indicators*. Washington, DC: The World Bank.
- Transport Geography on the Web. (s.f.). *The geography of transport systems*.  
Obtenido de  
<https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/logisticsecodev.htm>  
|
- UNECE. (2017). *Trade facilitation implementation guide*. Obtenido de  
<http://tfig.unece.org/contents/stakeholders.htm>
- United Nations Conference on trade and development. (2016). *Unctadstat*.  
Obtenido de <http://unctadstat.unctad.org/wds/TableView/dimView.aspx>
- Urrutia, W. (Agosto de 2011). *Logística Transporte Distribución*. Obtenido de  
<http://www.emb.cl/negociosglobales/articulo.mvc?xid=259>
- Wang, A. (2010). Research of Logistics and Regional Economic. *iBusiness*, 395-400.
- Wang, Q., Lai, R., & Zhao, X. (2008). The impact of information technology on the financial performance of third-part logistics firms in China. *Supply Chain Management: An International Journal*, 138-150.
- Wong, C. (2012). A study on the antecedents of supplier commitment. *Int. J. Shipping and Transport Logistics*, 5-16.
- World Economic Forum . (2016). *The Global Competitiveness Report*. Obtenido de <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2016-2017-1>
- World Economic Forum . (2016). *Weforum*. Obtenido de  
[http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/GCR\\_Flyer\\_2015-16.pdf](http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/GCR_Flyer_2015-16.pdf)
- World Economic Forum. (2016). *Doing Business*. Obtenido de  
<http://espanol.doingbusiness.org/>
- World Economic Forum. (2016). *Networked Readiness Index*. Obtenido de  
<http://reports.weforum.org/global-information-technology-report-2016/networked-readiness-index/>
- Xu, M. (8 de Mayo de 2013). *An intuitive explanation of PCA (Principal Component Analysis)*. Obtenido de <http://mengnote.blogspot.com.es/2013/05/an-intuitive-explanation-of-pca.html#more>
- Zamora, A., & Navarro, J. (2013). Competitividad de la administración de las. San nicolas de hidalgo.

## ANEXO 1

El archivo [ModeloLPI](#) se encuentran el data set utilizado para realizar los modelos.

## ANEXO 2

A continuación se muestra el lenguaje R utilizado para la creación de los modelos y validación.

```
modelolpi=read.csv("modelolpi.csv")
summary(modelolpi)
str(modelolpi)
cor(modelolpi)
table(modelolpi$year)
str(modelolpi)
set.seed(3000)
modelolpitrain<-subset(modelolpi,year<2016)
modelolpitest<-subset(modelolpi,year>2014)

modelo1<-lm(logistica~.-year,data = modelolpitrain)
summary(modelo1)

modelo2<-lm(logistica~.-year-eficiencia_del_mercado_laboral-
conectividad_maritima-tecnologia,data = modelolpitrain)
summary(modelo2)

modelo3<-lm(logistica~.-year-eficiencia_del_mercado_laboral-
conectividad_maritima-tecnologia-ambiente_macroeconomico-
salud_y_educacion_primaria-innovacion,data = modelolpitrain)
summary(modelo3)

modelo4<-
lm(logistica~preparacion_tecnologica+tamano_de_mercado+sofisticacion_de_neg
ocios+aduanas ,data = modelolpitrain)
summary(modelo4)

modelo5<-step(modelo1)
summary(modelo5)

modelo6<-
lm(logistica~Instituciones+desarrollo_del_mercado_financiero+preparacion_tecnol
ogica+tamano_de_mercado+sofisticacion_de_negocios+aduanas,data =
modelolpitrain)
summary(modelo6)

modelo7<-
lm(logistica~Instituciones+preparacion_tecnologica+tamano_de_mercado+sofistic
acion_de_negocios+aduanas,data = modelolpitrain)
summary(modelo7)
```

```
predTest<-predict(modelo1,newdata=modelolpitest)
SSE<- sum((modelolpitest$logistica-predTest)^2)
RMSE=sqrt(SSE/nrow(modelolpitest))
baselineTrain<-mean(modelolpitrain$logistica)
SST<-sum((baselineTrain-modelolpitest$logistica)^2)
R2<- 1-SSE/SST
```

```
predTest<-predict(modelo2,newdata=modelolpitest)
SSE<- sum((modelolpitest$logistica-predTest)^2)
RMSE=sqrt(SSE/nrow(modelolpitest))
baselineTrain<-mean(modelolpitrain$logistica)
SST<-sum((baselineTrain-modelolpitest$logistica)^2)
R2<- 1-SSE/SST
```

```
predTest<-predict(modelo3,newdata=modelolpitest)
SSE<- sum((modelolpitest$logistica-predTest)^2)
RMSE=sqrt(SSE/nrow(modelolpitest))
baselineTrain<-mean(modelolpitrain$logistica)
SST<-sum((baselineTrain-modelolpitest$logistica)^2)
R2<- 1-SSE/SST
```

```
predTest<-predict(modelo4,newdata=modelolpitest)
SSE<- sum((modelolpitest$logistica-predTest)^2)
RMSE=sqrt(SSE/nrow(modelolpitest))
baselineTrain<-mean(modelolpitrain$logistica)
SST<-sum((baselineTrain-modelolpitest$logistica)^2)
R2<- 1-SSE/SST
```

```
predTest<-predict(modelo5,newdata=modelolpitest)
SSE<- sum((modelolpitest$logistica-predTest)^2)
RMSE=sqrt(SSE/nrow(modelolpitest))
baselineTrain<-mean(modelolpitrain$logistica)
SST<-sum((baselineTrain-modelolpitest$logistica)^2)
R2<- 1-SSE/SST
```

```
predTest<-predict(modelo6,newdata=modelolpitest)
SSE<- sum((modelolpitest$logistica-predTest)^2)
RMSE=sqrt(SSE/nrow(modelolpitest))
baselineTrain<-mean(modelolpitrain$logistica)
SST<-sum((baselineTrain-modelolpitest$logistica)^2)
R2<- 1-SSE/SST
```

```
predTest<-predict(modelo7,newdata=modelolpitest)
SSE<- sum((modelolpitest$logistica-predTest)^2)
RMSE=sqrt(SSE/nrow(modelolpitest))
baselineTrain<-mean(modelolpitrain$logistica)
SST<-sum((baselineTrain-modelolpitest$logistica)^2)
R2<- 1-SSE/SST
```