

# La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual

## Supply chain management of photovoltaic solar energy systems in Colombia and their current situation

Mateo Valderrama Mendoza<sup>1</sup>, Pablo César Ocampo<sup>2</sup>, Herberth Gracia León<sup>3</sup>,  
Leonardo Rodríguez Urrego<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad EAN, Bogotá, Colombia, [mvalderr6602@universidadean.edu.co](mailto:mvalderr6602@universidadean.edu.co)

<sup>2</sup>Universidad EAN, Bogotá, Colombia, [pablo.ocampo@universidadean.edu.co](mailto:pablo.ocampo@universidadean.edu.co)

<sup>3</sup>Universidad EAN, Bogotá, Colombia, [hgracia@universidadean.edu.co](mailto:hgracia@universidadean.edu.co)

<sup>4</sup>Universidad EAN, Bogotá, Colombia, [lrodriguez@universidadean.edu.co](mailto:lrodriguez@universidadean.edu.co)

Fecha de recepción: 05/16/2018 Fecha de aceptación: 10/12/2018



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.1368>

**Como citar:** Valderrama Mendoza, M., Ocampo, P. C., Gracia León, H. & Rodríguez Urrego L. (2018). La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual. AVANCES: INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA, 15 (1), 112-130. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.1368>

### Resumen

La energía solar fotovoltaica en Colombia se ha convertido en una alternativa significativa para reemplazar o complementar la generación de energía convencional, por esto es importante analizar la cadena de suministro de sistemas fotovoltaicos en el país. Actualmente no hay ningún vínculo en las etapas de los procesos logísticos de la energía solar, únicamente enlaces aislados que dificultan su expansión. De acuerdo con lo anterior, en este artículo se realiza un análisis de la cadena de suministro de sistemas fotovoltaicos en Colombia a nivel general, especialmente en zonas no interconectadas. Por otra parte, se tiene como objetivo contemplar la estrategia de orientación de la cadena de suministro como primer paso para madurar un modelo que permita potenciar todas las etapas de la cadena de suministro de este tipo de sistemas en Colombia. En este caso, se utiliza una red de Petri como herramienta para su representación matemática.

**Palabras clave:** sistemas fotovoltaicos en Colombia, cadena de suministro, zonas no interconectadas, orientación de la cadena de suministro, red de Petri.

## Abstract

Photovoltaic solar energy in Colombia has become a significant alternative to replace or supplement the generation of conventional energy, so it is important to analyze the supply chain of photovoltaic systems in the country. Currently there is no link in the stages of the logistic processes of solar energy, only isolated links that hinder their expansion. According to the foregoing, this article performs an analysis of the supply chain of photovoltaic systems in Colombia at a general level, especially in non-interconnected areas. On the other hand, it aims to contemplate the strategy of supply chain orientation, first step to mature a model that allows to strengthen all the stages of the supply chain of this type of systems in Colombia, in this case it use a Petri Net like tool for its mathematical representation.

**Keywords:** photovoltaics systems in Colombia, supply chain, non-interconnected areas, supply chain orientation, Petri Net.

## Introducción

En Colombia el desarrollo industrial y la concientización ambiental han transformado la manera de pensar y actuar por parte de las personas y empresas. Actualmente se buscan procesos amigables con el medio ambiente y que conlleven disminuir la huella de carbono [1, 2] a lo largo de los procesos y la cadena de suministro [3]. Por ello cobra importancia el concepto conciencia ambiental, que es un pilar fundamental en el mundo globalizado, donde la sostenibilidad [4] de las organizaciones socioeconómicas en un nivel agregado depende fundamentalmente de tres dimensiones: la ambiental, la social y la económica [5]. Sumado a lo anterior el diseño de las cadenas de suministro se debe reevaluar para repotenciar la forma de obtención de recursos económicos, teniendo la mínima incidencia en el medio ambiente por medio de culturas como la gestión verde de la cadena de suministro

[6, 7]this study examines the drivers and consequences of green supply chain management (GSCM, especialmente en sistemas de obtención de energía renovable amigable con el medio ambiente, que lo que pretenden es disminuir las emisiones de CO<sup>2</sup> y mitigar los efectos climáticos negativos de otras tecnologías de generación.

El cambio de energía convencional a energía proveniente de fuentes renovables es un tema que viene en aumento de forma exponencial en Colombia [8]. Este crecimiento se da gracias a la creación de normas a nivel local y global, además del desarrollo tecnológico y la disminución en los costes que han experimentado los sistemas de generación de energía. Una de las formas de generación más utilizadas e implementadas actualmente es el FV (fotovoltaica) con una capacidad instalada mundial de 385,674 MW [9]. Además experimentando un crecimiento significativo, la

capacidad mundial de energía solar fotovoltaica en el mercado anual de 2015 fue diez veces mayor que hace una década [10], incremento apoyado por la protección al medio ambiente y el cambio climático [11].

Actualmente en Colombia se cuenta con un marco regulatorio en desarrollo en el tema de la energía solar y en general en fuentes renovables de energía, desarrollado a partir del incremento en los requerimientos energéticos del país que para 2016 fue una demanda anual de 66,315 GWh [12]. Los problemas de suministro y confiabilidad en términos energéticos afrontan dificultades en la red de interconexión del país, debido a la influencia de los fenómenos naturales, la variedad climática y la seguridad, entre otros [13].

La energía solar FV proviene de una fuente renovable, por lo que los procesos que se utilizan para su instalación, captación, mantenimiento y transporte deben ser lo menos contaminantes posibles, para que este sistema de generación de energía traiga beneficios, partiendo de la concepción de su cadena de suministro y la utilización de enfoques de logística sostenible [14], además de gestión interna para una correcta articulación.

La cadena de suministro de los sistemas solares fotovoltaicos [15, 16] tiene una serie de etapas inmersas, que en el país hasta ahora se está empezando a evolucionar, como lo son la planeación, gestión y ejecución, basadas en los procesos de la gerencia de la cadena de abastecimiento [17], tales como planeación,

abastecimiento, producción, entrega y logística inversa [18].

De acuerdo con lo anterior, la cadena de suministro de este tipo de sistemas requiere una sincronización en todas sus áreas y procesos, además del apoyo por parte del Estado con la generación y creación de políticas gubernamentales para la expansión y el crecimiento de este tipo de generación de energía en Colombia.

Este artículo tiene la siguiente estructura: primero, se analiza la situación actual de la energía a nivel global y local en cuanto a generación y demanda, el potencial solar en el país, las zonas no interconectadas y la legislación a nivel local relacionada con energías renovables. Segundo, se realiza una revisión general de la logística y la infraestructura de transporte en Colombia. Tercero, una conceptualización general de cadena de suministro y orientación a la gerencia de la cadena de suministro. Por último, con todo el fundamento teórico anterior, se analiza la cadena de suministro de los sistemas FV en el país y se propone un modelo general a través de una red de Petri como primer paso para proponer un modelo matemático más elaborado.

## Situación actual

El aumento de la demanda energética mundial es un factor a considerar. La tasa de crecimiento promedio de consumo de electricidad desde el año 1974 ha sido del 3,4 % anual [19].

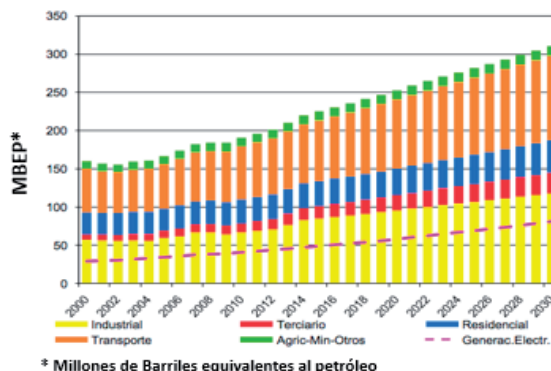
De acuerdo con la demanda, se requiere un aumento en la producción de energía eléctrica para suplir las necesidades existentes y futuras, en la cual su obtención se da principalmente a partir del carbón, el gas natural, las hidroeléctricas y la energía nuclear, respectivamente [20].

Globalmente, el 85% del total de la energía comercial se genera por los combustibles fósil, cerca del 36% proviene de petróleo, el 38% del carbón y el 23% de gas natural [21].

Por otra parte, en el caso de energías renovables, la que presenta una mayor tasa de crecimiento es la energía solar fotovoltaica con el 46.2% [19], lo que indica que es una alternativa energética a la cual se le está apostando a nivel mundial.

En Colombia el consumo energético va ligado al cambio climático [22], específicamente a fenómenos como el de La Niña o El Niño que pueden afectar el suministro y la generación de la red eléctrica nacional, especialmente por la generación por embalse, filo de agua e hidráulica [23]. De igual manera el PIB del país y la situación económica tienen un impacto en la demanda energética. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la proyección es que entre los años 2010 y 2020 una tasa media de crecimiento del 3,4% y del 3.1% para el periodo 2020 a 2030 [21].

El crecimiento en la demanda energética en Colombia se ilustra en la Figura 1, en la cual se hace una proyección hasta el año 2030, clasificando la demanda por sectores.



**Figura 1.** Demanda de energía en Colombia por sectores, histórico y proyección [24].

En el país, las fuentes disponibles de información de recurso solar indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/d [25, 26], la cual supera el promedio mundial de 3,9 kWh/m<sup>2</sup>/d, y está muy por encima del promedio recibido en Alemania (3,0 kWh/m<sup>2</sup>/d), país que hace mayor uso de la energía solar FV a nivel mundial, con aproximadamente 36 GW de capacidad instalada a 2013 [10]. Además Colombia presenta un potencial para la energía solar caracterizado por una constante horas de sol constante durante el año [27], especialmente en el departamento de La Guajira con valores de radiación media de 4,5 a 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, los mayores del país con valores que pueden alcanzar los 6,8 kWh/m<sup>2</sup>/día [28] en la cual se promueve el desarrollo y utilización de las fuentes no convencionales de energía (FNCE).

Así que aprovechar el territorio de La Guajira para la generación de energía solar PV [29] podría cubrir una buena parte energética de Colombia que para 2031 es de 92.540 GWh según las proyecciones de la UPME [30].

En consecuencia, para afrontar los problemas ambientales que trae la generación de energía a partir de fuentes convencionales y el agotamiento de los recursos, el país debe seguir la tendencia mundial de la utilización de fuentes alternativas de generación, que para el año 2017 a nivel mundial la capacidad de generación por medio de renovables fue de 2.180 GW en total [31], ya que como en la mayoría de países del mundo la demanda energética va en aumento [32] y los recursos disponibles cada vez se van consumiendo, especialmente los provenientes de fuentes fósiles [33]. Por eso el país debe incentivar este tipo de sistemas; ya se han dado los primeros pasos, pero hace falta mayor apoyo por parte de los entes estatales sumado a un trabajo conjunto para garantizar una trazabilidad en la cadena de suministro y su desarrollo a partir de procesos verdes y sostenibles [34].

El dinamismo que tiene el mercado actualmente obliga a las empresas a cambiar su modelo de procesos. Impulsar el crecimiento del negocio a través de la innovación en la cadena de suministro [35], no solo a través de productos y servicios, sino también con modelos de negocio. La implementación de la tecnología permite agilizar y mejorar las tareas de reconocimiento, organización y respuesta en la cadena de suministro.

Aunque los combustibles fósiles son la principal fuente de energía en el mundo de hoy, se está cambiando la concepción a tener generación de energía alternativa más económica y respetuosa con el medio ambiente [36]when Energy

storage systems (ESSs. Las energías alternativas poseen grandes beneficios convirtiéndose en una opción atractiva para la transformación de las cadenas de suministro, especialmente la energía fotovoltaica, la cual está siendo implementada en mayor medida, afirmación justificada por cifras ya mencionadas.

### 2.1 Zonas no interconectadas (ZNI)

Las ZNI son un ejemplo claro de la problemática. Para “los efectos relacionados con la prestación del servicio público de energía eléctrica, se entiende por ZNI a los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no interconectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN)” [37].

Figura 2. Mapa de ZNI y SIN [38].



Generalmente este tipo de zonas cuentan con una población dispersa, con una baja densidad de población. Aproximadamente el 52% del territorio nacional es catalogada como ZNI [39]. Para suplir la demanda energética de estas comunidades, y reemplazar el uso de combustibles fósiles o de leña, se llevan a cabo algunos proyectos pequeños en zonas seleccionadas [40, 41]. Sin embargo, es insuficiente especialmente en las poblaciones alejadas de difícil acceso para montar una infraestructura que supla sus necesidades energéticas y de agua potable.

## 2.2 Legislación y política pública

En el tema legislativo una de las leyes más importantes es la Ley 1715/2014, que tiene como objetivo principal promover el desarrollo y la utilización de fuentes de energía no convencionales, especialmente las renovables, para su integración en las ZNI, para lograr un desarrollo sostenible, asegurar el suministro energético y finalmente reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [42].

Actualmente se están desarrollando normativas para promover el uso de las energías alternativas [43, 44], con el fin de redoblar esfuerzos para conectar las zonas aisladas que no cuentan con el servicio eléctrico y la autogeneración en SIN [45] y en ZNI [46] por medio de resoluciones que impulsan este tipo de iniciativas. De igual manera, este desarrollo se ve apoyado por los Planes de Energización Rural Sostenible (PERS) [47], que consisten en planes

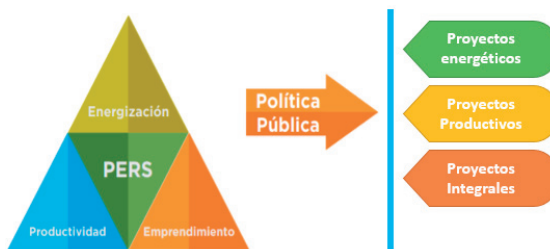


Figura 3. Estructura de los PERS [48].

estructurados a partir de un análisis de los elementos regionales relevantes en materia de emprendimiento, productividad y energización rural que permiten identificar, formular y estructurar lineamientos y estrategias de desarrollo energético rural, así como proyectos integrales y sostenibles de suministro y aprovechamiento de energía para un periodo de mínimo 15 años, cuando no solamente su objeto sea proveer el servicio, sino que apoye el crecimiento y el desarrollo de las comunidades rurales de las regiones objetivo.

## 3. La logística en Colombia

La situación de Colombia en cifras se puede mostrar a través de los siguientes indicadores, además según el Foro Mundial Económico.

Tabla 1. Índice global de competitividad [56]

Índice global de competitividad		
1	Suiza	5.8
2	Singapur	5.7
3	EE.UU.	5.7
42	Panamá	4.5
51	México	4.4
1	Colombia	4.3

**Tabla 2.** Índice de infraestructura [56]

Índice de infraestructura		
1	Hong Kong	6.7
2	Singapur	6.5
3	Holanda	6.4
36	Panamá	4.9
44	Chile	4.7
47	Uruguay	4.5
84	Colombia	3.7

Colombia es un país que está avanzando en términos logísticos, según los indicadores presentados anteriormente de competitividad e infraestructura de transporte. Falta mucho por hacer y por mejorar; actualmente se está trabajando en la infraestructura vial y aeroportuaria.

### 3.1 Plan Maestro Logístico (PNL)

Por parte de la infraestructura vial se están adelantando las obras de las denominadas vías de cuarta generación 4G, proyecto para modernizar la infraestructura vial, que inició en 2013 por parte del Gobierno nacional para mejorar en la competitividad. En total son 19 proyectos que pretenden mejorar el tiempo y la calidad de las vías para transitar por el territorio nacional con carreteras doble calzada, que en promedio disminuirían el tiempo de traslado en un 30% [57].

El proyecto se divide en dos partes, denominadas primera ola y segunda ola [58]. Estas autopistas están concentradas principalmente en puntos estratégicos del centro, el norte y el occidente del país consecuente con la ubicación de los puertos y sitios de mayor flujo e ingreso de producto y mercancía al

país. En aras de aumentar la competitividad en Colombia, en octubre de 2015, el director del Departamento de Nacional de Planeación (DNP), Simón Gaviria, dio a conocer el Plan Maestro Logístico para 2016, de acuerdo con lo arrojado por la Encuesta Nacional Logística, realizada por el DNP. Entre sus indicadores está que el costo de la logística como porcentaje de los productos de las empresas es del 15 %, con mayor participación de los rubros de transporte y almacenamiento con el 57% del total.

De igual manera las normas aduaneras pasaron de 15,000 a 25,000, de modo que la logística es un punto en el que hay mucho por mejorar y trabajar para lograr mejores resultados. La innovación en las empresas del sector logístico es bajo: únicamente el 37% de los empresarios cuentan con un operador para atender sus requerimientos logísticos [58]. El PML busca tener un impacto positivo en la competitividad del país, ya que el costo total de la logística en Colombia es del 14,9% sobre el total de la venta [59]. Se busca dar respuesta a las principales necesidades presentes en el sector logístico, integrando varios aspectos en torno a comercio exterior, distribución urbana y regional, logística sostenible, promoción de la intermodalidad, entre otros.

### 3.2 Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI)

Este plan fue planteado en 2015 por el Gobierno nacional y en Ministerio de Transporte de Colombia. Consiste en organizar en forma eficiente y estratégica

el crecimiento del país, a través de una red de infraestructura que logre conectar a las ciudades, regiones, fronteras y puertos, priorizando los proyectos que mayor impacto tendrán para la economía nacional [60, 61, 62].

Este plan es uno de los más importantes ya que según cifras de la Vicepresidencia de la República la inversión anual es de aproximadamente COP 10 billones, cifra considerable y que se espera tenga sus frutos en términos de mejoramiento de los indicadores y que pueda integrar y conectar todas las zonas del país de una u otra forma. La idea es integrar los 32 departamentos del país a través del Gobierno nacional y las entidades privadas, para realizar un trabajo conjunto que permita impulsar la movilidad y el comercio a través de la optimización y repotenciando las redes de transporte.

En 2017 la inversión en infraestructura es significativa, ya que fue de COP 7.1 billones, con un incremento del 9.8% para 2018, un valor cercano a COP 7.8 billones [63, 64] 8 billones de pesos será la inversión en carreteras concesionadas para el 2018 -En 2017, la inversión en infraestructura fue de 7,1 billones de pesos y crecerá 9,8% el próximo año. -Con el programa de Cuarta Generación (4G, dando así un espaldarazo a la logística y el desarrollo terrestre.

## 4. Infraestructura de transporte en Colombia

Históricamente el país ha venido evolucionando en sus redes de transporte,

a pesar de que su geografía dificulta la expansión y construcción de nuevos canales, además de las dificultades climáticas [49]. Actualmente se han realizado esfuerzos para gestionar proyectos que lleven al mejoramiento de la infraestructura del país a través de entes estatales como la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), el Ministerio de Transporte, entre otros, todos bajo la dirección del Gobierno nacional.

### 4.1 Infraestructura vial

La Red Nacional de Carreteras a 2016 es de 206,500 km, que corresponde a la Red Primaria Nacional: 45,137 km a la Red Secundaria Nacional y 142,284 km a la Red Terciaria Nacional. Asimismo cuenta con 5,097 puentes a nivel nacional y 1,266.80 km en doble calzada, 10 viaductos y 40 túneles [50].

### 4.2 Infraestructura ferroviaria

La Red Férrea de Colombia está compuesta de 3304 km de trocha yárdica (914 mm) [51], en las cuales se destacan dos zonas principales, que son la del Atlántico y la del Pacífico. La primera conformada por los trayectos, con una extensión de 1,493 km atravesando los departamentos del Cesar, Magdalena, Santander, Boyacá, Antioquia, Cundinamarca, Caldas.

La segunda es la Red Férrea del Pacífico que cubre 498 km en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. En la parte de carga, resaltan los siguientes productos: pulpa e insumos de papel,

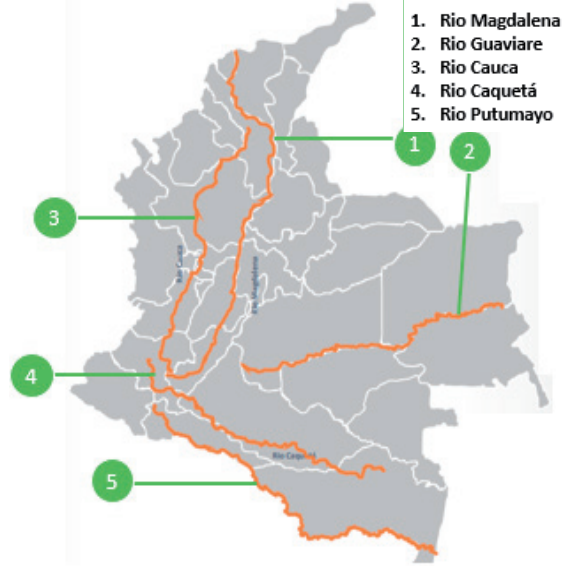


azúcar, láminas, traviesas, productos e insumos químicos, repuestos, chatarra, maíz, materias primas, tubería y carga en general contenerizada. Teniendo en cuenta el estado actual de la red vial y los altos costos de operación para el transporte de grandes volúmenes de carga, el ferrocarril tiene una oportunidad única para desarrollarse y ofrecer un servicio de transporte competitivo, con nuevas opciones logísticas y económicamente más convenientes para el país [52].

### 4.3 Infraestructura marítima

Por otro lado, está la red portuaria, que conecta más de 4,200 rutas marítimas de exportación en servicio regular, directas y con conexión, ofrecidas por 40 navieras con destino a más de 590 ciudades en el mundo, además de más 198 millones de toneladas movilizadas por los puertos colombianos en 2015 [53]. Los puertos principales pertenecen a las sociedades portuarias regionales (TCBUEN, Spr Buenaventura, Spr Cartagena, Spr Santa Marta, Spr Barranquilla) [54]. El sistema fluvial colombiano tiene una longitud total de 24,725, de los cuales 18,225 km son navegables. De igual manera cuenta con 32 puertos de interés nacional y 52 puertos que prestan servicios de transporte local y regional. Es importante destacar que este sistema es una alternativa especialmente en zonas de difícil acceso. Para 2014 algo más de 3.4 millones de toneladas de carga fueron transportadas por este medio [55].

El acceso a zonas alejadas por medio de las fuentes hídricas resulta una



**Figura 4.** Sistema fluvial de Colombia. Principales ríos [53].

solución para el traslado y movimiento de mercancía, objetos y personas. Por ejemplo, en la zona del departamento de Amazonas, que no cuenta con acceso vial propicio por sus condiciones geográficas, los ríos Putumayo, Caquetá y Amazonas se convierten en una opción para el transporte.

### 4.4 Infraestructura aérea

En la parte aérea se movilizaron más de 735,000 toneladas de carga exportadas vía aérea en 2015, a través de más 2,200 rutas de exportación para carga, directas, y con conexión prestadas por 32 aerolíneas de carga [17]. Los principales aeropuertos internacionales, como se puede ver en la Figura 5 (Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla) y otros internacionales (Cúcuta, Bucaramanga, Pereira, Armenia, Riohacha, Leticia, San Andrés, Cartagena y Santa Marta) [53].



**Figura 5.** Red primaria de aeropuertos y puertos en Colombia [54].

## 5. Conceptualización

### 5.2 La cadena de suministro

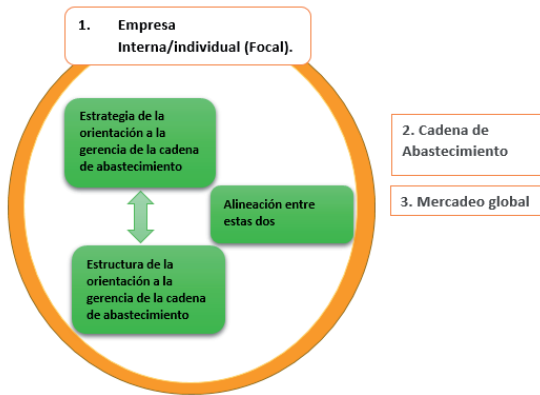
Una definición propuesta señala que la cadena de suministro “está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almaceneros, vendedores al detalle (o menudeo) e incluso a los mismos clientes” [18]. En términos generales las cadenas de suministro buscan indicadores que les permitan soportar su avance y el impacto que tengan los cambios en sus procesos, en la búsqueda de un desarrollo sostenible [65], de modo que este último es una ciencia, la ciencia de la sostenibilidad, que explora relaciones e interacciones de la actividad humana con los ecosistemas que soportan la vida para encontrar

un camino hacia el desarrollo humano sostenible [66, 67]. Además la cadena se caracteriza por el flujo de información constante que permite la conexión entre todos los actores que la componen [68].

### 5.2 Orientación a la gerencia de la cadena de suministro (OGCS)

La primera perspectiva estratégica caracterizada por la importancia que tienen las empresas por adoptar el concepto de la gerencia de la cadena de abastecimiento, visto como un solo sistema y estrategia, que compite a través de las capacidades de la red logística e impulsa el rendimiento de las unidades de negocio, mediante una óptima coordinación y gestión de los flujos de la cadena de suministro. La perspectiva estratégica de la OGCS consiste en alentar al personal de una organización a actuar de manera que gestione los flujos de proveedor a cliente, adoptando un enfoque sistémico para ver la cadena de suministro de forma holística y no como partes constituyentes y buscando la integración, capacidad operativa y estratégica firme [69, 70].

La segunda perspectiva estructural de la OGCS, por otro lado, enfatiza los artefactos organizacionales que facilitan la gestión de la cadena de abastecimiento. Por ejemplo, [71, and the potential mediating role of SCO and SCM in the MO-firm business performance (PERF72] sugieren que la OGCS consiste en construir y mantener elementos de comportamientos internos que faciliten el intercambio relacional.



**Figura 6.** Los elementos de la orientación a la gerencia de la cadena de abastecimiento [70].

En la figura 6, se explica la estructura general OGCS, que tiene tres partes principales: la estrategia, la estructura y la unión de las dos. El modelo se da en el interior de la empresa, para gestionar la logística desde el interior. Un tema importante a trabajar para desarrollar la cadena de suministro de adentro hacia afuera [73].

## 6. Cadena de suministro de los sistemas solares fotovoltaicos en Colombia

En Colombia se tienen dificultades en diferentes aspectos que afectan la expansión de este tipo de sistemas, los cuales son:

- La mayoría de componentes no se fabrican en el país, el gran problema se encuentra en distribuir el producto hasta las diferentes zonas, por las condiciones, las limitaciones de velocidad y capacidad de la red vial principalmente. De igual manera la falta de otros medios de transporte

que podrían agilizar el traslado como las vías férreas.

- Los proyectos de energía de este tipo en el país se están enfocando en zonas con problemas de conexión a la red eléctrica nacional ZNI. Por ejemplo, en 2014 en el departamento de La Guajira [74], en los corregimientos de Puerto Estrella y Nazaret, se llevó a cabo un proyecto robusto de 330 kW de capacidad instalada con 1,300 paneles solares y 480 vasos de baterías de plomo ácido para suministrar energía a estas poblaciones, aproximadamente 2000 habitantes. Este proyecto tuvo un sinnúmero de problemas logísticos por el transporte, ya que está ubicado en una zona desértica de difícil acceso, por la cultura de la etnia wayuu y por la falta de personal técnico en la zona. Así mismo, en 2017 se terminaron tres proyectos en el departamento del Amazonas, específicamente en las comunidades de Puerto Nariño, San Martín de Amacayacu y Macedonia. En estas poblaciones se montaron 2,376 paneles fotovoltaicos para una capacidad instalada de 594 kW. Los proyectos tuvieron grandes inconvenientes en la logística por el transporte fluvial, así como algunas de las importaciones se hicieron por Manaus, en Brasil, como lo fue el caso de las baterías, lo cual repercutió fuertemente en los tiempos de traslado por el río Amazonas y tiempo perdido en la nacionalización por las normativas entre ambos países en términos de importación de productos con elementos de peligrosidad (baterías de

plomo ácido). Un inventario completo de proyectos solares a 2017 tanto en ZNI como en SIN puede verse en [11].

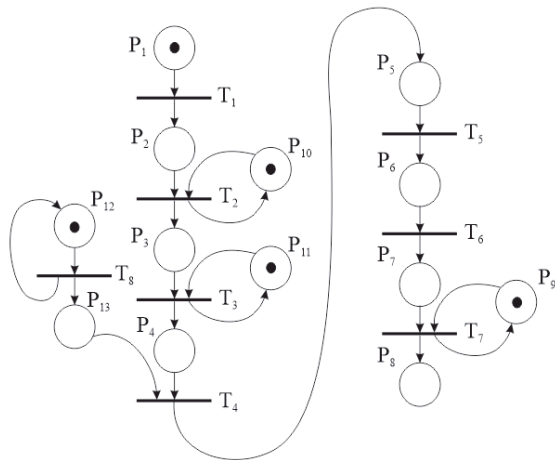
Los sistemas de energía solar FV son una alternativa para reducir los costos y tener fiabilidad en la entrega de energía. Actualmente varias empresas están incursionando en el diseño y la planeación de nuevas estrategias en la cadena de suministro para el tratamiento de los diferentes elementos que componen un sistema de este tipo.

La cadena de suministro de los sistemas solares en Colombia está compuesta por varios actores. En la Figura 8 se muestra a nivel general cada uno de ellos y la interacción de algunos procesos significativos que hacen parte del flujo de productos y materiales. Este proceso se ilustra a través de una red de Petri, que de forma gráfica y lógica muestra la evolución y el comportamiento de la cadena. Las redes de Petri [75, 76, 77], introducidas en la literatura gracias a la tesis doctoral de Carl Adam Petri [78, 79], son una herramienta de modelado de sistemas dinámicos de eventos y sirve para la simulación de las propiedades dinámicas de sistemas complejos mediante modelos gráficos de procesos concurrentes, ideal en sistemas logísticos. Su estudio ha tenido un auge importante a través del tiempo gracias a la gran cantidad de aplicaciones que se les ha encontrado. Estas redes son muy eficientes en el modelado de sistemas de eventos discretos, caracterizando el comportamiento e interacción de distintos subprocesos que cooperan en los objetivos de un sistema.

El formalismo aportado en conceptos tales como sincronismo, concurrencia, exclusión mutua y compartición de recursos son de especial interés y han aportado una mayor capacidad y potencia de representación en los modelos resultantes. Algunas aplicaciones importantes en modelos discretos para el proceso de compras verdes o en el diagnóstico de fallos de sistemas complejos pueden verse en [80, 81], respectivamente. En la Figura 7 se representan de manera circular los llamados lugares (P) en los cuales suceden las acciones, y representadas por una línea negra gruesa las transiciones (T) en las cuales se detectan las condiciones. Los arcos representados por flechas muestran la dirección de las acciones y las marcas representadas por puntos negros el estado en que se encuentra el proceso, en este caso el proceso logístico.

La cadena de suministro parte de la extracción de materiales y elaboración de materias primas (MP), que son elementos como silicio, vidrio, aluminio, plástico, entre otros. Luego son trasladados y entregados a las empresas encargadas de fabricar los sistemas solares (SS), que se componen de las placas solares, baterías, inversores, entre otros. Posterior a ello las empresas ubicadas en Colombia importan los productos provenientes de diversas partes del mundo, para comercializarlos localmente, esto les permite tener un *stock* disponible para la venta. Cuando un cliente compra un sistema solar o alguno de sus componentes, de acuerdo con sus requerimientos, la compañía genera la orden de compra y

- P1: Extracción materiales para MP
- P2: Elaboración MP
- P3: Manufactura de elementos SS
- P4: Empresa comercio local
- P5: Proceso de Venta
- P6: Producto entregado
- P7: Instalación
- P8: Mantenimiento
- P9: Preparación (MO, herramienta)
- P10: Distribución materiales para MP
- P11 Componentes FV internacionales
- P12: Cliente
- P13: Orden de compra
- T1: Entrega materiales par
- T2: Transporte de MP para
- T3: Importación de elemer
- T4: Productos en disponibl
- T5: Alistamiento de pedidc
- T6: Transporte de SS para
- T7: Plan de mantenimientc
- T8: Requerimientos del cli



**Figure 7.** Cadena de suministro de la energía solar en Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

verifica el *stock* para finalizar el proceso de venta. En el caso de que no haya suficientes existencias del producto, se procede a solicitar al proveedor e importar los elementos necesarios. Con el pedido listo, finalmente es entregado.

El sistema de generación de energía debe ser transportado al sitio de la instalación, labor que requiere un especial cuidado con las piezas para evitar su afectación. Ya con todos los equipos y elementos en el sitio, se procede a realizar la instalación del sistema solar FV. El último paso es realizar los mantenimientos necesarios según el plan de mantenimiento elaborado antes de la puesta en marcha.

Para la articulación se requiere un esquema logístico riguroso a razón de que los sistemas fotovoltaicos deben ser manipulados de una forma especial; en su traslado recorren grandes distancias y están en constante movimiento. Por ejemplo, los paneles solares deben ser empacados, transportados y manipulados de manera adecuada, es un elemento crítico dentro de los sistemas fotovoltaicos, cerca del 10% se dañan durante el transporte; con frecuencia solo se descubren las averías en estos módulos después de su montaje [82].

## Conclusión

- A través de la construcción de la red de Petri se comprende la interacción y evolución en todas las fases de la cadena de suministro de los sistemas FV en Colombia, como primer paso para proponer un modelo logístico que incluya los conceptos de SCM y OGCS de acuerdo con la situación actual. Este modelo matemático se está desarrollando para una futura publicación.
- En el país se está trabajando para mejorar los indicadores de competitividad a través los planes PML o las vías 4G y el PMTI para el transporte intermodal, con una gran inversión económica. Por parte del Gobierno de Colombia se le está dando importancia a este tema de transporte y logística, lo que beneficia directamente a la cadena de suministro de los sistemas FV para tener mayores facilidades para su trazabilidad.

- Lograr la articulación de la cadena de suministro de estos sistemas no es una tarea sencilla, se requiere tener un modelo logístico y de infraestructura eficiente, lo que actualmente no está muy fortalecido, no solo en cuanto a llevar los productos desde los proveedores hasta los clientes, sino también trasladarlos hasta los usuarios finales, que en la mayoría de las ocasiones se ubican en zonas de difícil acceso.

## Referencias

- [1] Á. Restrepo, R. Becerra y J. E. Tibaquirá G., "Energetic and carbon footprint analysis in manufacturing process of bamboo boards in Colombia", *Journal of Cleaner Production*, vol. 126, pp. 563-571, jul. 2016.
- [2] Y. D. Rivera-Méndez, D. T. Rodríguez y H. M. Romero, "Carbon footprint of the production of oil palm (*Elaeis guineensis*) fresh fruit bunches in Colombia", *Journal of Cleaner Production*, vol. 149, pp. 743-750, abr. 2017.
- [3] S. Ninsawat y M. Hossain, "Identifying potential area and financial prospects of rooftop solar photovoltaics (PV)", *Sustainability*, vol. 8, no. 10, p. 1068, oct. 2016.
- [4] R. Rajesh, "On sustainability, resilience, and the sustainable-resilient supply networks", *Sustainable Production and Consumption*, vol. 15, pp. 74-88, jul. 2018.
- [5] C. R. Carter y D. S. Rogers, "A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 38, no. 5, pp. 360-387, 2008.
- [6] S. K. Srivastava, "Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review", *International Journal of Management Reviews*, vol. 9, no. 1, pp. 53-80, mzo. 2007.
- [7] Z. Wang, Q. Wang, S. Zhang y X. Zhao, "Effects of customer and cost drivers on green supply chain management practices and environmental performance", *Journal of Cleaner Production*, vol. 189, pp. 673-682, jul. 2018.
- [8] SER Colombia. (nov. 2017). *Justificación no DAA proyectos energías renovables* [En línea]. Disponible en: <http://www.ser-colombia.org/imagenes/Anexo-4.pdf>
- [9] IRENA. (2018). *Renewable Energy Capacity Statistics 2018* [En línea]. Disponible en: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2018.pdf).
- [10] REN21 Steering Committee. (2016). *Rewables 2016 global Status Report* [En línea]. Disponible en: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR\\_2016\\_Full\\_Report\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf).
- [11] M. M. Zhang, D. Q. Zhou, P. Zhou y G. Q. Liu, "Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis", *Energy Policy*, vol. 97, pp. 181-192, oct. 2016.
- [12] XM. (2016). *Demanda energética nacional Colombia* [En línea]. Disponible en: <http://informesanual.xml.com.co/2016/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>.

- [13] UPME. (2018). *Energía eléctrica* [En línea]. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Paginas/Energia-Electrica.aspx>.
- [14] M. Bortolini, F. G. Galizia, and C. Mora, "Efficiency & sustainability model to design and manage two-stage logistic networks", *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 2170-2177, 2017.
- [15] E. Dehghani, M. S. Jabalameli y A. Jabbarzadeh, "Robust design and optimization of solar photovoltaic supply chain in an uncertain environment", *Energy*, vol. 142, pp. 139-156, en. 2018.
- [16] M. Liu, K. H. van Dam, A. M. Pantaleo y M. Guo, "Optimisation of integrated bioenergy and concentrated solar power supply chains in South Africa", *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 43, pp. 1463-1468, en. 2018.
- [17] S. Li, B. Ragu-Nathan, T. S. Ragu-Nathan y S. Subba Rao, "The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance", *Omega*, vol. 34, no. 2, pp. 107-124, abr. 2006.
- [18] S. Chopra y P. Meindl, *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*, 3.ª ed. México: Pearson Educación, 2008.
- [19] IEA. (2016). Statistics: Key electricity trends 2016 [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/april/statistics-key-electricity-trends-2016.html>.
- [20] The Shift Project Data Portal. (2018). *Breakdown of Electricity Generation by Energy Source* [En línea]. Disponible en: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart>.
- [21] UPME. (2015). *Plan Energético Nacional - Colombia: Ideario Energético 2050* [En línea]. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/Paginas/Plan-Energetico-Nacional-Ideario-2050.aspx>.
- [22] University of Cambridge. (2014). *Cambioclimático: implicaciones para el sector energético* [En línea]. Disponible en: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf>.
- [23] XM. 2018. Informe oferta y generación enero 2018 [En línea]. Disponible en: <https://www.xm.com.co/Informes%20Mensuales%20de%20Analisis%20del%20Mercado/Forms/AllItems.aspx>.
- [24] UPME. (2010). *Proyección de demanda de energía en Colombia*.
- [25] IDEAM. (2018). *Atlas interactivo - radiación* [En línea]. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlas-Radiacion.html>.
- [26] Consultoría Regulatoria. (mzo. 2017). *Alternativas para la inclusión de FNCER en la matriz energética colombiana* [En línea]. Disponible en: <http://energycolombia.org/images/MEMORIAS/2017/ENERGIASRENOVABLES/EYAlternativasparalainclusiondeFNCERenlamatrizenergeticacolombiana.pdf>.
- [27] A. A. Radomes Jr y S. Arango, "Renewable energy technology diffusion: An analysis of photovoltaic-system support schemes in Medellín, Colombia", *Journal of Cleaner Production*, vol. 92, pp. 152-161, abr. 2015.

- [28] M. V. Chamorro, E. Villicaña Ortiz y L. A. Viana, "Quantification and characterization of solar radiation at the department of La Guajira-Colombia by calculating atmospheric transmissivity", *Prospect*, vol. 13, pp. 54-63, jul.-dic. 2015.
- [29] A. Vides-Prado, E. O. Camargo, C. Vides-Prado, I. H. Orozco, F. Chenlo, J. E. Candelero y A. B. Sarmiento, "Techno-economic feasibility analysis of photovoltaic systems in remote areas for indigenous communities in the Colombian Guajira", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 4245-4255, febr. 2018.
- [30] UPME. (2017). Proyección regional de demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia [En línea]. Disponible en: [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Proyeccion\\_demanda\\_regional\\_energia\\_electrica\\_2017.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Proyeccion_demanda_regional_energia_electrica_2017.pdf).
- [31] REN21. (2018). Renewables 2018: Global Status Report [En línea]. Disponible en: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf).
- [32] IEA. (2017). *World Energy Outlook 2017* [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/weo2017/>
- [33] I. Capellán-Pérez, M. Mediavilla, C. de Castro, Ó. Carpintero, L. Javier Miguel, and L. Aguirre, "Agotamiento de los combustibles fósiles y escenarios socio-económicos: un enfoque integrado", *Energy*, vol. 1, pp. 1-62, sept. 2014.
- [34] V. Sahajwalla, "Green Processes: Transforming Waste into Valuable Resources", *Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 309-310, jun. 2018.
- [35] J.-Y. Chen (Jay), S. Dimitrov y H. Pun, "The impact of government subsidy on supply Chains' sustainability innovation", *Omega*, jul. 2018.
- [36] A. Mohd, E. Ortjohann, A. Schmelter, N. Hamsic y D. Morton. (2008, junio). "Challenges in integrating distributed Energy storage systems into future smart grid", en *2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. Cambridge: IEEE, 2008, pp. 1627-1632.
- [37] Colombia, Congreso de la República. (18 dic. 2003). *Ley 855 de 2003, por la cual se definen las zonas no interconectadas*. Bogotá: Diario Oficial.
- [38] D. Rodríguez-Urrego y L. Rodríguez-Urrego, "Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 160-170, sept. 2018.
- [39] IPSE. (jul. 2014). *Soluciones energéticas para las zonas no interconectadas de Colombia* [En línea]. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/742159/09C-SolucionesEnergeticasZNI-IPSE.pdf/2871b35d-eaf7-4787-b778-ee73b18dbc0e>.
- [40] UPME. (2016). *Planes de energización rural sostenible —PERS—: herramienta de información para el desarrollo rural* [En línea]. Disponible en: [http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/Documents/Memorias%20dia%20UPME/Herramienta\\_informacion\\_Pers.pdf](http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/Documents/Memorias%20dia%20UPME/Herramienta_informacion_Pers.pdf).
- [41] A. M. Aguirre-Mendoza, C. Díaz-Mendoza, and J. Pasqualino. (11 sept. 2017). "Renewable energy potential



- analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipelago, Colombia”, *Ecological Engineering*.
- [42] Colombia, Congreso de la República. (13 may. 2014). Ley 1715, *por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá: Diario Oficial.
- [43] UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia* [En línea]. Disponible en: [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf).
- [44] F. León-Vargas, M. García-Jaramillo y E. Krejci, “Pre-feasibility of wind and solar systems for residential self-sufficiency in four urban locations of Colombia: Implication of new incentives included in Law 1715”, *Renewable Energy*, vol. 130, pp. 1082-1091, en. 2019.
- [45] Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (26 febr. 2018). *Resolución 30, por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional*. Bogotá: Diario Oficial.
- [46] Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (26 febr. 2018). *Resolución 30, por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional*. Bogotá: Diario Oficial.
- [47] UPME, *Guía para la elaboración de un plan de Energización rural sostenible*. Bogotá: UPME, 2015.
- [48] UPME. (2018). *Planes de energía rural sostenible* [En línea]. Disponible en: [http://www.ipse.gov.co/pages/ipse/Informe\\_PERS\\_Direcci%C3%B3n1.pdf](http://www.ipse.gov.co/pages/ipse/Informe_PERS_Direcci%C3%B3n1.pdf)
- [49] F. Gordillo, S. Calderón, G. Romero, D. A. Ordóñez, A. Álvarez, L. Sánchez-Aragón y C. E. Ludeña, *Impactos económicos del cambio climático en Colombia: sector transporte*. Washinton D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, 2015.
- [50] Logcluster. (2018). Colombia Red Carretera [En línea]. Disponible en: <http://dlca.logcluster.org/display/public/DLCA/2.3+Colombia+Red+Carretera>.
- [51] Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2012). *Seguimiento a proyectos de infraestructura de transporte* [En línea]. Disponible en: <https://www.infraestructura.org.co/revistacci/seguimientoproyectos/CCI-SEGUIMIENTO FERREO-MAYO08.pdf>.
- [52] M. Arango, C. Díaz, J. Arias y H. Lamos, “Indicadores clave de desempeño para el sistema ferroviario: el caso colombiano”, *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, vol. 11, no. 2, 2015.
- [53] Procolombia. (2015). *Infraestructura logística y transporte de carga en Colombia 2015*.
- [54] Procolombia. (2016). *Infraestructura logística y transporte de carga en Colombia*.
- [55] Ministerio de Transporte. (2015). *Plan Maestro Fluvial de Colombia 2015* [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiWhYmc2eDeAhXH3VM>

- KHToYAR4QFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.mintransporte.gov.co%2Fdescargar.php%3FidFile%3D13276&usg=AOvVaw2EkyOKTUsR1\_G0JSnb7I\_1.
- [56] World Economic Forum. (2017). *The Global Competitiveness Report 2017-2018* [En línea]. Disponible en: <http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>.
- [57] *Portafolio*. (3 oct. 2016). “Todo lo que debe saber sobre las vías 4G que modernizarán las carreteras del país” [En línea]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/ventajas-de-tener-vias-4g-en-el-pais-500367>
- [58] DNP. (2016). *Encuesta Nacional Logística 2016* [En línea]. Disponible en: <http://imetrica.co/estudios-realizados/encuesta-nacional-de-logistica-2015-colombia-es-logistica/>
- [59] DNP. (2016). Misión logística y comercio exterior [En línea]. Disponible en: <http://fitac.net/documents/SimonGaviriaMisionLogistica.pdf>
- [60] Ministerio de Transporte. (2015). Plan Maestro de Transporte Intermodal [En línea]. Disponible en: <https://www.ani.gov.co/planes/plan-maestro-de-transporte-intermodal-22006>
- [61] Mundo FITAC. (2014). *PMTI: una política de estado para hacer de Colombia un país más competitivo* [En línea]. Disponible en: <http://www.fitac.net/documents/NotaPlanMaestroTransporteIntermodal.pdf>
- [62] Fedesarrollo. (2015). *Plan Maestro de Transporte Intermodal 2015-2035* [En línea]. Disponible en: [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2462/PMTI\\_30\\_NOV\\_2015\\_INF\\_FINAL.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2462/PMTI_30_NOV_2015_INF_FINAL.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- [63] ANI. (2017). *Colombia: Balance 2017 y perspectivas 2018* [En línea]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/Uploads/ANDIBalance2017Perspectivas%202018.pdf>.
- [64] ANI. (27 dic. 2017). “7,8 billones de pesos será la inversión en carreteras concesionadas para el 2018” [En línea]. Disponible en: <https://www.ani.gov.co/78-billones-de-pesos-sera-la-inversion-en-carreteras-concesionadas-para-el-2018>
- [65] M. Geissdoerfer, S. N. Morioka, M. M. de Carvalho y S. Evans, “Business models and supply chains for the circular economy”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 190, pp. 712-721, jul. 2018.
- [66] M. Feitó Cespón, R. Cespón Castro y M. A. Rubio Rodríguez, “Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos”, *Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 24, no. 1, pp. 135-148, en. 2016.
- [67] A. Qorri, Z. Mujkić y A. Kraslawski, “A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 189, pp. 570-584, jul. 2018.
- [68] B. M. Beamon, “Supply chain design and analysis: Models and methods”, *International Journal of Production Economics*, vol. 55, no. 3, pp. 281-294, ago. 1998.
- [69] S. Min y J. T. Mentzer, “Developing and measuring supply chain

- management concepts”, *Journal of Business Logistics*, vol. 25, no. 1, pp. 63-99, my. 2004.
- [70] T. L. Esper, C. Clifford Defee y J. T. Mentzer, “A framework of supply chain orientation”, *The International Journal of Logistics Management*, vol. 21, no. 2, pp. 161-179, 2010.
- [71] S. Min, J. T. Mentzer y R. T. Ladd, “A market orientation in supply chain management”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 35, no. 4, pp. 507-522, dic. 2007.
- [72] M. L. Lengnick-Hall, C. A. Lengnick-Hall y C. M. Rigsbee, “Strategic human resource management and supply chain orientation”, *Human Resource Management Review*, vol. 23, no. 4, pp. 366-377, dic. 2013.
- [73] T. Lee y H. Nam, “A An empirical study on the impact of individual and organizational supply chain orientation on supply chain management”, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, vol. 32, no. 4, pp. 249-255, dic. 2016.
- [74] Cámara De Comercio de La Guajira. (2015). *Caracterización social y económica del departamento de La Guajira* [En línea]. Disponible en: <https://www.camaraguajira.org/publicaciones/informes/informe-socio-economico-la-guajira-2015.pdf>
- [75] C. Chen, Y. Yang, M. Wang y X. Zhang, “Characterization and evolution of emergency scenarios using hybrid Petri net”, *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 114, pp. 133-142, febr. 2018.
- [76] A. Dideban y H. Zeraatkar, “Petri Net controller synthesis based on decomposed manufacturing models”, *ISA Transactions*, vol. 77, pp. 90-99, jun. 2018.
- [77] L. M. Guevara-Ortega, L. Rodríguez Urrego y L. R. Urrego, “Modelado de compras verdes mediante redes de Petri coloreadas”, *DYNA*, vol. 84, no. 203, pp. 177-183, oct. 2017.
- [78] C. A. Petri, “Kommunikation mit Automaten”, *Fakultät für Mathematik und Physik*, vol. Doktor. p. 128, 1962.
- [79] M. Silva, “Half a century after Carl Adam Petri’s Ph.D. thesis: A perspective on the field”, *Annual Reviews in Control*, vol. 37, no. 2, pp. 191-219, dic. 2013.
- [80] L. M. G. Ortega, L. R. Urrego, D. G. Gutiérrez, J. G. Chenet y W. I. T. Press, “Green procurement model using petri nets: A perspective developed from the models applied to the supply chain”, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 195, pp. 267-277, 2015.
- [81] L. Rodríguez Urrego, E. Garcia Moreno, F. Morantanglada, A. Correchersalvador y E. Quilescucarella, “Hybrid analysis in the latent nestling method applied to fault diagnosis”, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 10, no. 2, abr. 2013.
- [82] DB Schenker. (26 abr. 2016). “Sun protection factor” [En línea]. Disponible en: <https://www.dbschenker.com/global/about/press/sun-protection-factor-4924>.