

# Academic<sup>th</sup>

INTERNATIONAL WORKSHOP  
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION”

## **Cadenas de Suministros Sostenibles y Huella de Carbono, el Caso de Costa Rica**

ROBLES, N.

*Instituto Tecnológico de Costa Rica*

*nrobles@itcr.ac.cr*

---

### **Resumen**

En este artículo se investiga la sostenibilidad en las cadenas de suministros y se definen sus principales condiciones entre las que se resalta la colaboración de los actores de la cadena de suministros. Además se presenta una panorámica del sector industrial de Costa Rica, las características de sus cadenas de suministros y las propuestas para su sostenibilidad. También se analizan los alcances del indicador huella de carbono para la sostenibilidad y se presentan algunas estimaciones de emisiones en torno a factores derivados de la configuración de las cadenas de suministros, concluyendo que es importante analizarlos para apoyar las iniciativas en torno a la sostenibilidad. Finalmente se presentan opciones a seguir y retos que deberán afrontar las empresas industriales en Costa Rica en torno a la sostenibilidad del sector y del país.

**Palabras clave:** *Sostenibilidad, Cadenas de suministros, Huella de carbono*

---

### **1. Introducción**

La incorporación del concepto de sostenibilidad en los negocios y más allá en las cadenas de suministros es reciente pero se ha presentado de distintas formas y ha cambiado a través del tiempo. Payman y Searcy (2013) indican que la sostenibilidad de los negocios se ha definido de varias formas, entre ellas como la creación de organizaciones resilientes capaces de afrontar la adversidad, mediante sistemas económicos, ambientales y sociales integrados, con iniciativas como la sostenibilidad corporativa y la responsabilidad social empresarial, lo que ha enfatizado el estudio de la administración de la cadena de suministros. Taticchi et al. (2013) señalan que se han formulado diferentes definiciones de cadenas de suministros sostenibles y de prácticas para su gestión, iniciando con el concepto de administración de la cadena de suministros verde, evolucionando a la administración sostenible de la red de suministros, suministros y demanda sostenible en redes de responsabilidad social corporativa, compras verdes, proveeduría verde, proveeduría ambiental, logística verde y logística ambiental, revisión de la cadena de suministros incorporando el concepto multi-jugador, el concepto del triple objetivo, de suministros sostenibles y administración de la cadena de suministros sostenible. Así, se puede ver la evolución del concepto de sostenibilidad, que ha pasado de someter el problema solo a los proveedores para finalmente extenderse a toda la cadena, así como del paso del enfoque ambiental, denotado mediante la palabra verde, a la incorporación del objetivo social en la sostenibilidad.

### **2. Condiciones para la sostenibilidad en las cadenas de suministros**

Zhou et al. (2013) indican que un requerimiento para el desarrollo sostenible, además de ser un nicho para la competencia de las compañías de manufactura moderna, es la producción verde, enunciada con

---

“CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION”

términos como green production (GP) o green manufacturing. La producción verde aplica los principios de la protección medioambiental y de la conservación de energía a las actividades de producción para reducir los desechos industriales, conservar los recursos escasos así como minimizar la contaminación del ambiente, para alcanzar la economía de producción deseada. Beamon (1999) indica que la nueva era medioambiental representa un reto para la manufactura y la producción, que implica encontrar la forma en que ambos puedan coexistir simbióticamente, y que el primer paso es redefinir la estructura de la cadena de suministros completa acomodando preocupaciones ambientales como la minimización del uso de los recursos y de la basura. Por esto señala que la estructura tradicional de la cadena de suministros se debe extender para recuperar el producto, lo que hace más compleja su estructura. Sin embargo, destaca que la cadena de suministros extendida conlleva sus propios problemas, entre ellos la incertidumbre sobre la recuperación del producto o empaque en términos de tiempo, calidad, cantidad y también la administración del proceso de distribución inversa, pues la recolección, transporte, y empaque pueden llegar a afectar la ubicación de las facilidades, las estrategias de compra y hasta el desempeño ambiental. Por ende, hay que considerar que el cerrar el ciclo de la cadena de suministros, además de ser una meta difícil o hasta imposible de lograr para algunos productos, puede no ser la condición óptima para la sostenibilidad de la cadena de suministros. Muchas empresas que requieren envasar sus productos, al notar que los clientes utilizan el envase por poco tiempo, se han dirigido a la búsqueda de empaques biodegradables, incrementado la tendencia de vender alimentos en envases oxo-biodegradables tal y como se observa en la actualidad.

Cabe destacar que algunas metas económicas de la gestión de las empresas apoyan también a la sostenibilidad, un caso es la búsqueda de reducción de desperdicios en los procesos operativos. Martínez-Jurado y Moyano-Fuentes (2013) indican que los conceptos de esbelto (lean) y verde o ambiental son complementarios y se encuentran gobernados por principios como la reducción de la basura, el enfoque centrado en el proceso, el enfoque preventivo y por presentar altos niveles de participación de las personas. Indican que se ha encontrado que las compañías esbeltas crean oportunidad para aplicar principios de manufactura verde, y además que los principios y prácticas esbeltas facilitan lograr mejoras ambientales. Destacan que uno de los mayores retos de las empresas que se involucran en iniciativas esbeltas es la integración con proveedores claves y clientes. Hong et al. (2009) indican que el incremento en el nivel de los requisitos ambientales impacta la naturaleza de los esfuerzos de colaboración entre los suplidores y los distribuidores. Tiwary et al. (2013) indican que muchas estrategias de administración de la cadena de suministros sugieren una coordinación y colaboración robusta entre sus miembros y que la coordinación entre los actores de la cadena de suministros tiene implicaciones también a nivel de sostenibilidad. Van Hoof y Thiel (2013) señalan que la sostenibilidad demanda iniciativas multi-interesados por lo que un requisito para la implementación de una gestión sostenible es la capacidad de los distintos actores para colaborar con los otros. Concluyen que la colaboración puede contribuir a una dinámica inter organizacional por medio de la capacidad de absorción de conocimiento, de la estructuración de soluciones y la motivación mediante metas como la producción más limpia. Destacan que la colaboración es esencial para la implementación efectiva de la producción más limpia y ésta a su vez permite avances en torno a la gestión de cadenas de suministros sostenibles. Por ende se confirma que la producción más limpia es un primer paso hacia las cadenas de suministros sostenibles.

Arvis et al. (2014) indican que la preocupación por las cadenas de suministros sostenibles se ha incrementado principalmente en los países desarrollados, por lo que los países subdesarrollados al comercializar con ellos deberán considerar su huella logística y revisar los modelos de gobernanza y operatividad para lograr una infraestructura con medios de transporte, especialmente férreos, pues si bien las cadenas se han expandido hacia muchos países siguen siendo críticas para la competitividad de una nación. Hassini et al. (2012) señalan como factores para las operaciones de una cadena de suministros sostenible, las fuerzas del mercado, las regulaciones políticas, la ciencia y tecnología, el desarrollo del producto, la capacidad del proceso, las operaciones y proveeduría, los transportes y logística, el mercadeo y las preocupaciones sociales. Testa e Iraldo (2010) señalan que actualmente las compañías van más allá de los límites de sus procesos de producción y de su organización, enfocándose al ciclo de vida de sus productos y servicios, es decir, a su cadena de suministros. Por lo tanto, las cadenas de suministros sostenibles deben cuantificar los impactos de todos los eslabones y además la colaboración entre ellos para reducirlos. La reciente tendencia al análisis de ciclo de vida revela la necesidad de la colaboración entre los actores así como el impacto de la laxa colaboración de un actor.

### 3. La Huella de Carbono

Recientemente se ha intensificado la medición de la huella de carbono en organizaciones y en productos, usándola como indicador del impacto ambiental de la cadena de suministros, en procura de su sostenibilidad, aunque aún no como una práctica regular. El marco o modelo más popular para medir el desempeño de una cadena de suministros, el modelo Supply Chain Operations Reference (SCOR) creado por el Supply Chain Council SCC, contempla en su sección de mejores prácticas a la administración de la responsabilidad ambiental, con el GreenSCOR. Éste considera como métricas ambientalmente estratégicas las emisiones de carbono, las emisiones de contaminantes al aire, así como la basura generada, tanto líquida como sólida y la cantidad de basura que se recicla.

Bockel et al. (2011) indican que la huella de carbono es un término propio del análisis del ciclo de vida para el estudio de emisiones de gases de efecto invernadero. Señalan que la forma más común de expresar la huella de carbono es en términos de las unidades de carbono equivalente emitidas por kilogramo o gramo de producto e indican que a la fecha se han establecido diversas iniciativas metodológicas como lo son PAS 2050, en Gran Bretaña, BPX30-323, en Francia, la norma ISO 14040/44, y el protocolo del World Resource Institute (WRI) y del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). El Instituto Nacional de Normas Técnicas INTECO (2007) define el análisis de ciclo de vida como el tratamiento de aspectos ambientales e impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio. Lee (2013) indica que la diferencia entre el análisis de ciclo de vida del producto y la huella de carbono del producto está en los parámetros significativos, que son más amplios en el primero, puesto que la huella de carbono se enfoca solo al impacto sobre el calentamiento global.

Por lo tanto la huella de carbono tiene la gran ventaja de ser un indicador simple y de fácil comprensión pero limitado para establecer el impacto ambiental de un determinado producto. Sin embargo, es importante reconocer que las emisiones de carbono son críticas en la actualidad, Doyle (2014) señala que a fines del 2014 científicos destacados reiteraron la urgencia de llevar a cero las emisiones netas de gases efecto invernadero para el 2100, e instaron a las naciones, principalmente desarrolladas, a intensificar los esfuerzos en este sentido. Más allá, Sachs (2014) afirma que la era del desarrollo sostenible ha llegado y por ello se debe pasar a un sistema energético de bajo nivel de emisiones de carbono, esto es, usar menos energía para lograr el mismo nivel de bienestar, en segundo lugar dar paso a energías que no estén basadas en combustibles fósiles y finalmente capturar las emisiones de CO<sub>2</sub> antes de que escapen a la atmósfera para inyectarlas bajo tierra o en el océano.

### 4. Configuraciones de cadenas de suministros en Costa Rica

Cimoli (2005) indica que la gran mayoría de las exportaciones de las industrias nacionales de Costa Rica son alimentos y manufacturas tradicionales que consisten de productos agrícolas de bajo valor agregado. Aunque, Gil (2012) indica que las exportaciones del sector plástico para el 2010 crecieron en un 14%. Al ser los productos agrícolas los más exportados se tienen agro-cadenas establecidas por ejemplo para el caso del café, de la leche, del banano y de la piña. Según Muñoz y Zamora (2013) el sector lácteo ocupó un 11,4% de la producción del sector agropecuario en el año 2011. El Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG (2013) indica que un 43% de las fincas de producción de leche son lecherías especializadas, de ellas más del 86% son pequeñas con extensiones inferiores a 50 hectáreas (el otro 57 % son de carne y leche). Los compradores del país son solo ocho plantas o empresas procesadoras de leche fluida de vaca que industrializan y distribuyen en el territorio nacional el 55% de la producción conformando una estructura oligopólica, hay pocos compradores y muchos vendedores que compiten por un producto idéntico. Hay cooperativas y empresas de capital privado, ambas con un alto grado de integración con la producción agropecuaria que se caracteriza por la compra de materias primas durante todo el año. CEPAL (2013) indica que la cadena de valor de lácteos de Costa Rica presenta una alta integración de las pymes y que las empresas han conseguido mantener su competitividad a pesar de los costos adicionales que les originan las medidas ambientales, diferenciando su producto justamente por su desempeño ambiental y logrando así ser el mayor exportador de leche de la subregión centroamericana. La Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, el principal productor, tiene dos plantas de producción y para la distribución dentro del país tiene once centros o almacenes.

En el caso de la piña, Barrientos y Porras (2010) indican que la plantación de piña se ha intensificado en las últimas décadas y actualmente se exporta un 90% de cultivo. Hay gran cantidad de medianos y pequeños productores que han originado una variedad de organizaciones y empresas como empacadoras y hasta pequeñas cooperativas. La exportación se da principalmente vía marítima desde puerto Limón, lo que implica el recorrido del cargamento por transporte terrestre hasta ese puerto, en los mejores casos, del orden de los 75 km, pero en otros casos como el de PINDECO, una de las mayores productoras, aproximadamente del 50% del producto exportado a Europa, puede ser ascender a los 400 km.

Otro sector cuya cadena se ha consolidado es el de supermercados. La Cámara de Comercio de Costa Rica (2013) indica que la cadena de distribución de productos alimenticios hacia almacenes, hipermercados, supermercados y hacia pequeñas y medianas tiendas de conveniencia está bien desarrollada y que incluso hay cadenas de supermercados que importan directamente. Destacan que las grandes empresas multinacionales y transnacionales de consumo masivo controlan los canales de distribución con gran énfasis para mantener la posición de sus marcas en el mercado, por lo que usualmente realizan ellas mismas las operaciones de distribución de sus productos, señalan a Unilever, P&G y Coca Cola. Una importante empresa del sector, Walmart, abrió en Costa Rica, en el 2013, su centro de distribución más grande de Centroamérica, el cual abarca un espacio de 52 776 m<sup>2</sup>. (Camacho, 2013)

El sector de manufactura de alimentos y bebidas, es uno de los mayores productores y exportadores del país. La empresa Florida Bebidas posee una planta de fabricación en el país y para su distribución hace uso de centros de distribución, además ha adquirido franquicias de tiendas de conveniencia que son puntos de venta para sus productos. Unilever también opera con un centro de distribución además de su planta de producción de alimentos. La empresa Tío Pelón es otro caso del sector que opera un centro de distribución. El sector de manufactura farmacéutica al estar en crecimiento denota la ampliación de su configuración como ha sido el caso de COFASA con un nuevo centro de distribución de 700 m<sup>2</sup> que afirman les permite aumentar sus inventarios en un 80%. Hay también otros subsectores del sector de manufactura como Holcim (Costa Rica) S.A. que operan con centros de distribución y Kimberly Clark que recientemente incluso duplicó la capacidad de su centro de distribución a 20 000 m<sup>2</sup>. (Vindas, 2014)

Es importante destacar que las reformas estructurales en Costa Rica se han caracterizado por una intensa atracción de inversión extranjera directa, mediante zonas de libre comercio. Matarrita (2004) resalta que a pesar de la política de atracción de inversión extranjera directa se estima que las empresas de la industria médica, electrónica de alta tecnología y de servicios solo adquieren el 7% de sus insumos en el país mientras que importan cerca de un 70%. Cimoli (2005) indica que solo 36% de los proveedores nacionales de las empresas son de hecho productores locales, pues 47% son más bien intermediarios y 13% son proveedores de servicios. Concluye que la atracción de inversión extranjera directa ha impulsado los valores de exportación total del país, pero no ha logrado encadenamientos hacia atrás, ni ha conducido al país a una transformación cultural. Además, CEPAL (2014) indica que América Latina no es un proveedor importante de bienes intermedios para cadenas de Norteamérica, ni es un importador relevante de bienes intermedios originados en los países que las integran.

Por otra parte, muchas empresas del sector de manufactura distribuyen sus productos desde sus fábricas de producción directamente a los detallistas o clientes, diariamente, y aún con mayor frecuencia para el caso de productos de consumo masivo, y aun siendo algunas medianas empresas. El operar de esta forma puede tener algunos efectos que son importantes de estudiar pues a pesar de su reducido territorio, el país presenta un alto nivel de ocupación en su meseta central, congestionando el transporte en ella. Herrera-Murillo et al. (2014) encontraron que el crecimiento de la flota vehicular fue sostenido al 13,3% anual durante el período 2001-2009 y ha continuado con similar intensidad, mientras que el tránsito privado ha venido creciendo a una tasa del 8% anual, sin embargo la infraestructura de carreteras no se ha desarrollado de igual manera, lo que ha llevado a la saturación con una fuerte congestión de tránsito, que desencadena desperdicio de hidrocarburos, altos costos de operación de vehículos, alto tiempo de usuarios y otros efectos igualmente serios. OCDE/CEPAL/CAF (2013) señalan que Costa Rica se ve afectada por su deficitaria infraestructura de carreteras, aduanas y servicios logísticos, donde su mayor rezago está en el sector transporte, principalmente por la condición de sus carreteras. Cabe resaltar que las líneas férreas para transporte de carga son escasas

en el país, teniendo solo una obsoleta infraestructura hacia los puertos del Pacífico y del Caribe, de 150 y 300 km, que en los últimos 20 años estuvo prácticamente sin operación y pese a esfuerzos recientes no ha logrado recuperarse. Aunado a ello la irregular topografía del territorio dificulta el actuar sobre esta problemática. Por ende, las condiciones de la infraestructura del país en unión con las mismas prácticas operativas de las empresas son un reto para la sostenibilidad del país. Por otra parte, en materia económica, los aspectos anteriores incrementan los costos del transporte de bienes que al ser altos en el país, le restan competitividad. Barquero (2014) indica que empresas costarricenses agregan los costos del transporte de los productos a los motivos para su expansión fuera del país, como lo han sido las inversiones recientes en Nicaragua. Más allá, CONARE (2014) indica en el informe del Estado de la Nación que para los empresarios los disparadores de los costos de producción en el país son en primer lugar el precio de la electricidad y en segundo lugar el de los combustibles.

La Cámara de Industrias de Costa Rica (2009) señala que en el periodo 2005-2008 la intensidad carbono, medida en toneladas de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente por cada US\$ 1000 de producto industrial, aumentó un 14% anual, en promedio, debido primordialmente al uso de combustibles y procesos térmicos (como el del cemento). Indica que el sector industrial se posiciona en el quinto lugar por emisiones de gases de efecto invernadero con un estimado de 800 000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, de los que la energía (incluido el transporte) representa un 46%, la ganadería un 29%, los residuos sólidos un 12%, la agricultura un 7%, los procesos industriales un 6%, mientras que el cambio de uso de suelo tiene un balance negativo.

Además, el transporte para distribución de productos contribuye a las emisiones que afectan la salud de la población. Ortiz (2011) indica que el congestionamiento y los vehículos con más de 18 años de servicio son responsables de la contaminación de la gran área metropolitana. Indica que un 45% de los vehículos anteriores al año 1993 emiten el 62% de los gases orgánicos reactivos y el 42% de los óxidos de nitrógeno. Herrera-Murillo et al. (2014) indican que los vehículos de transporte son las principales fuentes de emisión de contaminantes del aire, especialmente en las zonas urbanas, y que un 28.1% de las unidades que utilizan diesel son del año 1993 y anteriores, por lo que carecen de control de emisiones.

Para ilustrar el impacto que tiene la congestión en el transporte y otros aspectos mencionados anteriormente, se plantea el caso de un camión de carga liviana de hasta 3 toneladas, que utiliza diesel como combustible. A continuación se toman los factores de emisión de este tipo de vehículo que establece el Protocolo GHG, para los gases dióxido de carbono, gas metano y óxido nitroso. Las emisiones de estos gases se convierten en emisiones de carbono equivalente mediante las estimaciones del potencial de calentamiento de cada uno proyectados a 100 años, para ello se usaron los potenciales que sugiere el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) como se muestra seguidamente. Los factores de emisión considerados para la estimación son los del transporte de carga, que están dados en términos del peso de la carga y de la distancia de transporte como se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Factores de emisión para vehículo de carga liviana de hasta 3 toneladas

Gas	Factores de Emisión para el vehículo *	Potencial calentamiento global a 100 años	
Dióxido de Carbono	0,1845 kg CO <sub>2</sub> /ton-km	1	0,1845 kg CO <sub>2e</sub> /ton-km
Gas Metano	0,0035 g MH <sub>4</sub> /ton-km	25	0,0000875 kg CO <sub>2e</sub> /ton-km
Óxido Nitroso	0,0027 g N <sub>2</sub> O/ton-km	298	0,0008046 kg CO <sub>2e</sub> /ton-km
		<b>FACTOR=</b>	<b>0,1854 kg CO<sub>2</sub> equivalente/ton-km</b>

\*Tomados del protocolo GHG del WRI y WBCSD versión abril 2014

Si el vehículo de carga liviana considerado para el caso transporta una carga de una y media tonelada de producto por un trayecto de 10 km, las emisiones totales del transporte de la carga en esa distancia, partiendo del factor calculado se estiman en: 2,781 kgCO<sub>2</sub> equivalente.

Ahora bien si el trayecto aumenta a 15km las emisiones subirían a: 4,1715 kgCO<sub>2</sub> equivalente

Y si el peso aumenta a 2 toneladas manteniendo los 10km serían de: *3,708 kgCO<sub>2</sub> equivalente*

Nótese que tanto el aumento en la carga como en la distancia incrementan las emisiones resultantes.

Cabe recalcar que el factor anterior, es el que indica el protocolo GHG para la categoría de “freight transport” la cual tiene emisiones para vehículos de Estados Unidos establecidas por la agencia EPA (Environmental Protection Agency), y para vehículos de Gran Bretaña por DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs). Este factor se ha obtenido considerando condiciones promedio para el transporte. En este caso se utilizaron los factores para la categoría de región “otras” que corresponden a valores globales y por ende no son tan precisos como los valores específicos por país.

Para demostrar estimaciones más cercanas a las situaciones de congestión vehicular que se han mencionado, las cuales tiene como principal efecto la reducción de la velocidad y del rendimiento del combustible, se presenta otra estimación, esta vez con el factor de emisión de dióxido de carbono por litro de combustible del Instituto Meteorológico de Costa Rica, que para el caso del diesel indica que es 2,69 kg CO<sub>2</sub>e/litro (el protocolo GHG del 2014 lo reporta como 2,68 kg CO<sub>2</sub>e/litro). Regresando al caso del vehículo anterior si este transita con un rendimiento de 10 km por litro, en el trayecto de 10 km requerirá de un litro de combustible por lo que las emisiones resultantes serán: *2,69 kg CO<sub>2</sub> equivalente*. Según Villegas y Camacho (2005) el rendimiento real de vehículos carga liviana fue de 33 kilómetros por galón es decir de 8,72 km/l en el año 2004, asumiendo ese rendimiento el consumo de combustible para el trayecto sería de 1,15 litros y las emisiones resultantes aumentarían a *3,08kgCO<sub>2</sub> equivalente*. En un escenario de congestión que obligue al vehículo a viajar a un rendimiento inferior, por ejemplo de 5 km por litro, para el trayecto de 10 km requerirá dos litros de combustible por lo que las emisiones resultantes se duplicarían llegando a los *5,38 kg CO<sub>2</sub> equivalente*.

Ahora, si se considera el caso de la autopista General Cañas que es una zona de muy alta congestión, donde se reportó el tránsito de 90 mil vehículos al día en el año 2011. (Herrera-Murillo et al., 2013), y si se considera que un 20% de los vehículos que transitaron por día tuvieron rendimientos de 5km por litro en lugar de 10km por litro, a lo largo de un trayecto congestionado de 10 km de extensión, y considerando que un 19% de la flota del país es carga liviana de la que un 88% opera con diesel (Villegas y Camacho, 2005), las emisiones que pudieron ser solo de 8,1 toneladas de CO<sub>2</sub>e por día con buen rendimiento podrían ascender a las 16,2 toneladas de CO<sub>2</sub>e por día.

No obstante que estas estimaciones han simplificado el caso en estudio, los resultados demuestran el valor de realizar este tipo de estimaciones y la necesidad de encontrar medidas correctivas. Es por lo tanto importante estudiar periódicamente el diseño de la distribución de los productos, volumen de los cargamentos, flotillas, rutas y distancias que se recorren según las configuraciones de las cadenas de suministros, principalmente para el caso de las compañías de manufactura de productos de consumo masivo. También es evidente que indicadores como la huella de carbono son de gran valor para los análisis, y que éste a pesar de ser un indicador ambiental, también es útil para señalar aspectos que inciden en la salud de las personas.

## 5. Opciones para las configuraciones de cadenas de suministros

El diseño de la configuración de la cadena de suministro de una compañía incluye desde la selección de los proveedores de las materias primas, hasta la ubicación de las fábricas de producción y el diseño de la distribución de los productos. En todas estas etapas hay decisiones que tomar y que pueden incidir en la sostenibilidad de toda la cadena y más allá de los productos. En el diseño de la distribución existe la posibilidad de crear centros de distribución o almacenes, así como de subcontratar. Muchas compañías alrededor del mundo han modificado las configuraciones de sus cadenas de suministros en beneficio de la sostenibilidad. Nagurney et al. (2013) indican que la cadena sueca de dulces ICA, modificó sus operaciones para que en lugar de que cada proveedor enviara un camión pequeño de forma directa a cada tienda, ahora los despachan primero a un centro o almacén desde donde la empresa envía la carga consolidada en un camión de mayor dimensión a la tienda. A pesar de ser mayor la carga por kilómetro se recorren menos kilómetros lo que resultó aproximadamente en un 20% de reducción de emisiones. También señalan que la compañía Hennes & Mauritz (H&M) identificó que un 51% de su huella de carbono en el 2009 se debió al transporte, por lo que recurrieron a un

mayor transporte directo para eliminar almacenamientos intermedios, redujeron sus transportes marítimos y aéreos en un 40%, e incrementaron el transporte en ferrocarril reduciendo de esta manera sus emisiones en 700 toneladas. Por lo tanto es importante destacar que la adecuada configuración de la red de la cadena de suministros y sus decisiones operativas puede aportar grandes beneficios.

En el caso de los centros de distribución o almacenes, es importante destacar que consisten en enlaces intermedio entre la planta y la empresa (Chopra, 2012). Los centros de distribución tienen un costo operativo pero también emisiones propias de sus operaciones por lo que tanto en términos económicos como de huella de carbono se deben valorar sus beneficios y desventajas. Como se mencionó anteriormente en Costa Rica muchas empresas operan sin centros de distribución. Para González (2014) el país debe idear nuevas formas de mejorar la eficiencia relacionada con el transporte, como por ejemplo el diseño y ubicación de centros de distribución para grandes empresas en zonas claves, y de acuerdo con las características de la industria de cada empresa. La Cámara de Industrias de Costa Rica (2013) propone que la industria y el país deben transitar a una economía verde con una política de compras verdes, que se promueva la eco-eficiencia en las cadenas de valor, los productos sostenibles, la adopción de instrumentos de eco-diseño, la producción más limpia, la disminución de la contaminación, así como el desarrollo y adopción de tecnologías sustentables.

Por lo tanto, la cadena de suministros con sus actores y operaciones logísticas, tiene impactos económicos, ambientales y sociales, que se deben evaluar en conjunto para apoyar la sostenibilidad, la misma modificación de la configuración como tal puede ser una de las opciones a seguir. A continuación se plantean varias opciones de modificación de la configuración de la cadena de suministros para buscar su sostenibilidad:

- Crear centros de distribución o almacenes
- Cerrar el ciclo de la cadena de suministros
- Mejorar las operaciones logísticas
- Seleccionar proveedores y/o materias primas alternativas

Las opciones anteriores difieren pues afectan a distintos actores de la cadena de suministros y a distintas operaciones a través de ella. Además algunas pueden ser difíciles o imposibles, por ejemplo encontrar diferentes proveedores para las materias primas. Otras pueden depender en gran medida del comportamiento del cliente, por ejemplo cerrar el ciclo de la cadena de suministros creando una estructura de logística reversa, conocida también como inversa. Otras son más operativas, como la opción que consiste en mejorar las operaciones logísticas y la de crear centros de enlace entre la manufactura y los clientes, llamados centros de distribución que incluso pueden tratarse de centros de distribución subcontratados o compartidos por varias empresas. La siguiente figura presenta el actor u operación de la cadena de suministros que se ve afectada por cada opción:

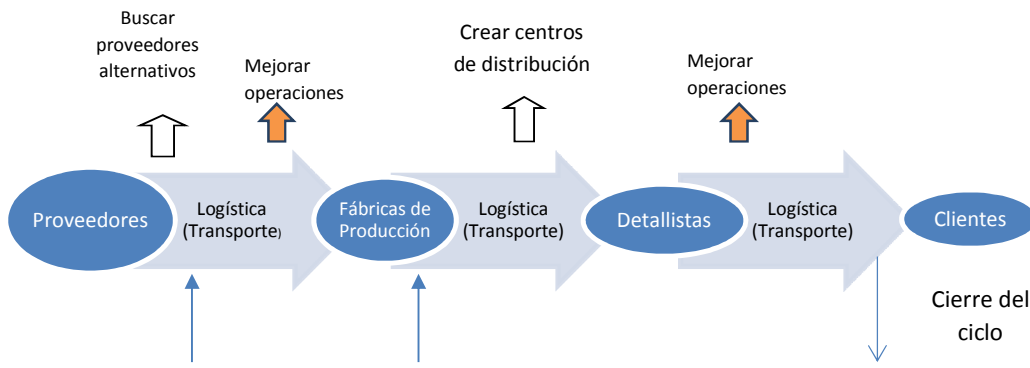


Figura 1. Opciones de modificación de la configuración de una cadena de suministros

En síntesis, las opciones de modificación deben analizarse bajo las condiciones propias de la cadena de suministros de cada producto, valorando sus beneficios y limitaciones para lo que indicadores como la huella de carbono son de utilidad.

Costa Rica tiene la meta de ser carbono neutral para el año 2021. El Instituto Nacional de Normas Técnicas INTECO (2011) dispuso en la norma INTE 12-01-06:2011 "Sistemas de gestión para verificar la carbono neutralidad", cuantificar las emisiones directas y las emisiones indirectas de segundo alcance. Las emisiones directas son las propias de la organización, mientras que las indirectas corresponden a las del proveedor de la energía, a los viajes de ejecutivos, principalmente y también a los servicios subcontratados. La norma estipula que la organización puede consolidar sus emisiones de gases efecto invernadero por medio de dos enfoques, el de control en el que solo debe considerar las operaciones de las que tiene control o bien bajo el enfoque de proporcionalidad a su cuota de participación. Por lo tanto, la norma permite alejar la atención del impacto de las actividades relacionadas con la cadena de suministros de una empresa, máxime si son actividades subcontratadas. Por estas razones es evidente que con miras a un desarrollo sostenible, la certificación de carbono neutralidad contribuye pero limitadamente, y el esquema de compensación de emisiones que permite actualmente en acato a lo que dispone el protocolo de Kyoto amerita una mayor profundización.

Finalmente se enlistan a continuación tres importantes retos que deben afrontar las cadenas de suministros en Costa Rica:

-En primer lugar lograr mayor vinculación y valor agregado de los sectores productivos en Costa Rica hacia la región centroamericana y más allá.

-En segundo lugar se requiere mejorar la infraestructura no solo de carreteras sino férrea y facilitar los accesos a zonas industriales así como mejorar su localización. La Cámara de Industrias de Costa Rica (2009) planteó que para evolucionar a una economía baja en carbono del sector industrial, es importante el ordenamiento territorial efectivo para priorizar la localización de empresas y zonas industriales cerca de rutas de transporte de menor emanación de gases de efecto invernadero, y según lo encontrado en este estudio es una tarea aún pendiente.

-En tercer lugar se requieren cambios que lleven a la reducción de costos del transporte en el país, para mejorar su competitividad. El Banco Mundial (2013) indica que el transporte en Centroamérica resulta costoso debido al alto precio de los combustibles, los costos por la seguridad, el traslado de contenedores vacíos, el tiempo excesivo de viaje y la escasa inversión y crédito para la flotilla vehicular. Hay mejoras operativas que pueden hacer las empresas y con ello generar una reducción, pero otros cambios requieren ser consensuados entre los sectores industriales y el gobierno pues son más complejos.

## 6. Conclusiones

La sostenibilidad demanda la concordancia entre los aspectos económicos, ambientales y sociales. Los negocios requieren mantener su rentabilidad y capacidad de expandirse, pero a su vez en su actividad deben proteger al ambiente y a las personas. Las cadenas de suministros sostenibles son clave para abordar la meta de la ecología industrial. Es importante analizar en detalle el impacto de las decisiones en torno a lograr una cadena de suministros más sostenible, para ello se requiere una mayor coordinación entre los actores de la cadena, implementar estrategias internas como la producción más limpia y buscar respuesta a preguntas complejas sobre opciones de modificación de la configuración como: ¿Es posible cerrar el ciclo de la cadena de suministros para el producto? ¿Es la configuración actual de la cadena de suministros la mejor, cuál es su huella de carbono, cuál es el costo operativo de la configuración? ¿Es conveniente operar con o sin centros de distribución? ¿Es conveniente buscar nuevos proveedores de materias primas? ¿Qué impacto tienen las operaciones de la cadena de suministros para la sociedad? Responder a estas preguntas obliga a realizar valoraciones que permitan sopesar los distintos componentes del estudio, pues se requiere mantener la competitividad en costos, dentro de un análisis exhaustivo y muy complejo, donde la modelación matemática resulta indispensable. Para el caso de Costa Rica se encontraron con estimaciones sencillas aspectos importantes a considerar para la sostenibilidad así como retos para tener cadenas de suministros sostenibles que requieren del trabajo conjunto del gobierno y del sector industrial.



## 7. Bibliografía

Arvis, J.F., Saslavsky, D., Ojala, L., Shepherd, B., Busch, C. y Raj, A. (2014) *Connecting to Compete Trade Logistics in the Global Economy The Logistics Performance Index and its indicators*. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Recuperado de <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Trade/LPI2014.pdf>

Banco Mundial (2013) ¿Por qué el transporte de mercancías es tan caro en Centroamérica? Grupo del Banco Mundial. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/02/07/costos-del-transporte-en-centroamerica>

Barquero (2014) Empresas de Costa Rica aumentan sus inversiones en Nicaragua. La Nación. 6 de setiembre 2014. Recuperado de [http://www.nacion.com/economia/empresarial/Empresas-Costa-Rica-inversiones-Nicaragua\\_0\\_1437456257.html](http://www.nacion.com/economia/empresarial/Empresas-Costa-Rica-inversiones-Nicaragua_0_1437456257.html)

Barrientos O. y Porras, S. (2010) *Sector Agropecuario Cadena Productiva de Piña Políticas y Acciones*. SEPSA MAG. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.infoagro.go.cr/MarcoInstitucional/Documents/Politica-Pi%C3%B1a.pdf>

Beamon, B. (1999) Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), 332-342. Recuperado de <http://journal.oscm-forum.org/file/Vol%201No%5B1%5D.2%20Beamon.pdf>

Bockel, L., Touchemoulin, O. y Jönsson, M. (2011) *Carbon footprinting across the food value chain: a new profitable low carbon initiative?*. A review of the main benefits for business, public bodies and issues for developing countries. Food and Agriculture Organization of the United States FAO. Recuperado de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex\\_act/pdf/Policy\\_briefs/C\\_footprint\\_draft.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/Policy_briefs/C_footprint_draft.pdf)

Camacho, A. (2013) Walmart abre centro de distribución de 52.776 m<sup>2</sup> en El Coyol de Alajuela. El Financiero. 16 de mayo 2013 [http://www.elfinanciero.cr/negocios/Walmart-Centro\\_Distribucion-Coyol\\_0\\_300569954.html](http://www.elfinanciero.cr/negocios/Walmart-Centro_Distribucion-Coyol_0_300569954.html)

Cámara de Industrias de Costa Rica (2009) *Estrategia Industrial ante el Cambio Climático. Marco de la Alianza Público Privada (PPP) suscrita entre Cámara de Industrias de Costa Rica, Cámara Nacional de la Industria de Transformación de México y el Programa de Competitividad y Medio Ambiente (CYMA-GTZ)*. Recuperado el 23 de agosto del 2014 de [http://www.cicr.com/files/documentGallery/files/105\\_estrategiaindustrialanteelcambioclimtico.pdf](http://www.cicr.com/files/documentGallery/files/105_estrategiaindustrialanteelcambioclimtico.pdf)

Cámara de Industrias de Costa Rica (2013) *Hacia la empresa industrial del 2030. Propuesta para una política industrial*. Recuperado de [http://www.cicr.com/files/documentGallery/files/38\\_politica\\_industrial.pdf](http://www.cicr.com/files/documentGallery/files/38_politica_industrial.pdf)

CEPAL/OCDE/CAF (2013) "Perspectivas Económicas para América Latina: Logística y Competitividad para el Desarrollo. OCDE Editorial. Doi: <http://dx.doi.org/10.17877/leo-2014-es>

CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2014) *Panorama de la Inserción Internacional de América Latina y el Caribe 2014: Integración regional y cadenas de valor en un escenario externo desafiante*. ECLAC.

Chopra, S. y Meindl, P. (2008) *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, Planeación y Operación* (3<sup>a</sup>.ed.). México. Pearson Educación.

Cimoli, M. (2005) *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina*. Publicaciones ECLACS. pp. 1-162. Santiago, Chile. Recuperado de <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/3832>

- CONARE (2014) Capítulo 3: Oportunidades Estabilidad y Solvencia Económica. Informe Estado de la Nación 2014. Programa Estado de la Nación CONARE. Recuperado de <http://www.estadonacion.or.cr/20/assets/cap-3-estado-nacion-20-2014-baja.pdf>
- Doyle, A. (2014) *Developing nations urge deeper climate cuts to zero emissions*. Sustainability UNEP. Thomson Reuters. December. [http://sustainability.thomsonreuters.com/2014/12/03/developing-nations-urge-deeper-climate-cuts-zero-emissions/#.VK\\_yEyz24.mailto](http://sustainability.thomsonreuters.com/2014/12/03/developing-nations-urge-deeper-climate-cuts-zero-emissions/#.VK_yEyz24.mailto)
- Gil, J. (2012) *Perfil de la industria en Costa Rica 2012*. Recuperado de <http://www.youblisher.com/p/291282-Perfil-de-la-Industria-en-Costa-Rica-2012/>
- González, G. (2014) Costa Rica en deuda con el desempeño logístico, El Financiero, 9 setiembre 2014. Recuperado de [http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/Costa-Rica-deuda-desempeno-logistico\\_0\\_589141090.html](http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/Costa-Rica-deuda-desempeno-logistico_0_589141090.html)
- Hassini, E., Surti, C., Searcy, C. (2012) A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *International Journal on Production Economics*, 140, 69-82. doi: 10.1016/j.ijpe.2012.01.042
- Herrera-Murillo, J, Rojas-Marín, J. Rodríguez-Román, S. (2013) Evaluación de posibles medidas para reducir las emisiones de fuentes móviles en Costa Rica, 2010 -2015. *Tecnología en Marcha*. Vol-27. N°1. Pág. 23-37. Recuperado de [http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/tec\\_marcha/article/view/176](http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/tec_marcha/article/view/176)
- Hong, P., Kwon, H.B. y Roh, J.J. (2009) Implementation of strategic green orientation in supply chain. An empirical study of manufacturing firms. *European Journal of Innovation Management*, 12(4), 512-532. doi: [10.1108/14601060910996945](https://doi.org/10.1108/14601060910996945)
- Instituto Nacional de Normas Técnicas INTECO (2007) *Análisis del Ciclo de Vida: Principios y Marco de Referencia*. INTECO 14040: 2007. Costa Rica.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica INTECO (2011) *Norma nacional para demostrar la C-neutralidad: requisitos*. INTE 12-01-06:2011. Costa Rica.
- Lee, K. (2013) Product Life Cycle Assessment (PLCA) and Product Carbon Footprint (PCF). En Kauffman, J. & Lee, K-M. (Eds.), *Handbook of Sustainable Engineering* (371-388). Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-1-4020-8939-8\_37
- Martínez-Jurado, P.J. y Moyano-Fuentes, J. (2013) Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review. *Journal of Cleaner Production*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.042>
- Matarrita, R. (2004) *Encadenamientos y Exportaciones. Undécimo Informe sobre el Estado de la Nación en el Desarrollo Humano Sostenible*. Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Recuperado de [http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca\\_virtual/011/Encadenamientos\\_exportaciones.pdf](http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/011/Encadenamientos_exportaciones.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG (2013) *Caracterización de la Agrocadena de Leche, Región Central Oriental*. Biblioteca Virtual MAG. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00079.pdf>
- Muñoz y Zamora (2013) *Caracterización del sector lácteo en Costa Rica*. Recuperado de <http://reventazon.meic.go.cr/informacion/estudios/2013/lacteos/julio/informe.pdf>
- Nagurney, A.Yu, M. & Floden, J. (2013) Supply chain network sustainability under competition and frequencies of activities from production to distribution. *Computational Management Science* 10:397-422. doi 10.1007/s10287-013-0190-6

- Ortiz, L. (2011) Carros "viejitos nos ahogan". Semanario Campus UNA. Página 6. Costa Rica.
- Payman, A. Searcy, C. (2013) A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 52, 329-341. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.02.018
- Sachs, J. (2014) Una profunda descarbonización. La Nación, 5 de febrero del 2014. Costa Rica.
- Taticchi, P., Tonelli, F. y Pasqualino, R. (2013) Performance Measurement of Sustainable Supply Chains. *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 62, No.8, Pp. 782-804. DOI 10.1108/IJPPM-03-2013-0037
- Testa, F. & Iraldo, F. (2010) Shadows and lights of GSCM (Green Supply Chain Management): determinants and effects of these practices based on a multi-national study. *Journal of Cleaner Production*, 18, 953-962. doi:10.1016/j.jclepro.2010.03.005
- Tiwari M.K., Mahanty B., Sarmah, S.P. & Jenamani, M. (2013) *Modeling of Responsive Supply Chain*. United States of America. CRC Press Taylor and Francis Group.
- Van Hoof, B. y Thiell, M. (2013) Collaboration for sustainable supply chain management: small and medium sized enterprises in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 67, 239-248. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.030
- Villegas, G. y Camacho, M.A. (2005) Encuesta de consumo energético nacional en el sector transporte de Costa Rica año 2004. MINAE Dirección Sectorial de Energía. Costa Rica. Recuperado de <http://www.dse.go.cr/>
- Vindas, L. (2014) Kimberly-Clark terceriza su centro de distribución en Costa Rica. El financiero, 28 marzo 2014 [http://www.elfinancierocr.com/negocios/Kimberly-Clark-terceriza-distribucion-Costa-Rica\\_0\\_490150984.html](http://www.elfinancierocr.com/negocios/Kimberly-Clark-terceriza-distribucion-Costa-Rica_0_490150984.html)
- WRI World Resource Institute y WBSCD World Business Council for Sustainable Development (2014) *Emission Factors From Cross-Sector Tools*. Greenhouse Gas Protocol. Recuperado de <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>
- Zhu, Q., Geng, Y. y Sarkis, J. (2013) Motivating green public procurement in China: An individual level perspective. *Journal of Environmental Management*, 126, 85-95 DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.04.009