

*Artículo de reflexión*

## INSTALACIONES NIMBY: REFLEXIONES ASOCIADAS A LA ESTRUCTURACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO GLOBAL

Gabriel Ernesto Barragán Moreno<sup>1</sup>

---

**Recibido:** 4 de julio de 2017

**Aprobado:** 18 de septiembre de 2018

**Cómo citar este artículo:** Barragán G. (2018). Instalaciones Nimby: reflexiones asociadas a la estructuración de cadenas de suministro global. *Agustiniana Revista Académica*, 12, pp. 39-55.

**Resumen.** La estructuración de cadenas de suministro como decisión de tipo estratégico requiere que se establezca el número de instalaciones asociadas a la producción del bien o servicio y su ubicación geográfica, así como la definición de modelos de gestión integrada. En contextos globales, la ubicación de dichas instalaciones puede llevarse a cabo en cualquier lugar del mundo, lo que implica incorporar una serie de factores y variables globales que permitan la localización óptima. La naturaleza de las instalaciones integradas a una cadena de suministro es diversa, dado que sus funciones para el sistema difieren del tipo de negocio y la definición de sus procesos logísticos; no obstante, existe una serie de instalaciones asociadas con actividades riesgosas que son difíciles de localizar por la oposición que suele presentar la comunidad del lugar a emplazar. El presente artículo estudia la naturaleza de las instalaciones no deseables (Nimby) y su integración a cadenas de suministro global. Asimismo, identifica los criterios y variables de localización comúnmente usados para la ubicación de instalaciones de este tipo, con lo cual precisa los retos que tiene el tomador de decisiones para abordar el problema de localización y su integración en el entorno global.

**Palabras clave:** localización, Nimby, cadenas de suministro, logística.

---

<sup>1</sup> Maestría en Diseño y Gestión de Procesos, con énfasis en Sistemas Logísticos de la Universidad de la Sabana. Profesor de tiempo completo de Negocios Internacionales en la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universitaria Agustiniana. Correo electrónico: gabriel.barragan@uniagustiniana.edu.co

## Introducción

La localización de instalaciones industriales o de tipo logístico ha sido tratada desde el siglo XIX y principios del siglo XX, cuando las primeras teorías se caracterizaban por considerar la distancia como factor determinante para el propósito (teoría de von Thünen, teoría de Weber, etc.). Su principio está asociado a la distancia de la instalación en relación con el mercado, para la satisfacción de la demanda, y la distancia de la instalación en relación con los proveedores de materias primas. Desde entonces, se intenta incorporar criterios de eficiencia que permitan dar solución a los problemas de localización.

Algunos de los factores comúnmente incorporados en los modelos matemáticos para el apoyo a la toma de decisiones en problemas de localización son: los costos y la disponibilidad de transportes, los costos y la disponibilidad de mano de obra, la disponibilidad de suelo para la explotación industrial, la cercanía a los mercados, el servicio de apoyo disponible, la proximidad con las fuentes de suministro de materias primas, las características geográficas y climáticas adecuadas, los impuestos y aspectos legales, la actitud de la comunidad, la seguridad y estabilidad nacional y la proximidad a los socios integrados verticalmente, entre otros.

La literatura suele clasificar los modelos de localización de acuerdo con características operativas y aplicaciones particulares, de manera que, encontramos modelos de cobertura, P-centro y P-mediana, entre muchos otros; sin embargo, existen instalaciones indeseables (Nimby) que deben ser localizadas, las cuales, han dado origen a un nuevo grupo de modelos y técnicas de localización.

El acrónimo Nimby (Not In My Back Yard, ‘No en mi patio trasero’) se vincula al movimiento social relacionado con la oposición a la ubicación de aquellas instalaciones que son consideradas de gran importancia para la sociedad, las cuales representan un beneficio general, pero a su vez son una afectación para la población hospedadora. En consecuencia, se define como la “resistencia que provocan entre la población ciertas instalaciones o emplazamientos asociados a diferentes factores de riesgo” (Martín y Muro, 1996). Bajo este concepto, es posible encontrar —acuñados al término— todos aquellos equipamientos, infraestructuras o servicios vistos como incómodos, desagradables o peligrosos, realmente indeseables para un núcleo poblacional, dentro de los cuales es posible citar las penitenciarías, los rellenos sanitarios y las centrales nucleares.

Para el tomador de decisiones, la localización de instalaciones Nimby presenta una serie de dificultades, ya que las variables económicas y de eficiencia que usualmente se incorporan en un modelo o técnica de localización se fundamentan en la percepción de perjuicios económicos en la propiedad privada como, por ejemplo, la pérdida de valor comercial de los predios afectados o la identificación de riesgos de la salud relacionados con contaminación ambiental. Con frecuencia la oposición se justifica como consecuencia de la falta de justicia, esto se debe a que la población hospedadora es concebida como aquella que recibe todo el riesgo y a cambio solo recibe una parte del beneficio. Lo anterior invita a pensar que la localización de

este tipo de instalaciones no obedece tan solo a un proceso de consecución de la eficiencia, sino también de la equidad.

En la mayoría de los casos, las instalaciones Nimby se asocian con instalaciones de carácter dotacional, lo que indica la instalación de un rol eminentemente social, esto hace que la decisión de localizar esté en función de los procesos de negociación y compensación con las comunidades hospedadoras. Sin embargo, las instalaciones Nimby no necesariamente lo son, pues aparecen instalaciones de carácter privado, que desarrollan actividades percibidas como indeseables, como aquellas dedicadas al procesamiento de todo tipo de material recuperable, cuyo fin es reintegrar materiales al ciclo productivo (cartón, papel, metal, vidrio, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, entre otros). La cantidad de estos últimos se ha incrementado en el mundo, producto de una creciente preocupación de la humanidad por el agotamiento de recursos, el calentamiento global, la responsabilidad industrial con el ambiente y la tendencia marcada al desarrollo de políticas globales hacia la reutilización de materiales de toda índole.

La literatura actual trata las instalaciones Nimby como un problema de ubicación local, lo anterior debido al tipo de instalaciones. Por ejemplo, cuando se trata de una prisión o una planta nuclear es claro que la afectación y el beneficio es inmediato para una región cercana, pero hoy en día es posible encontrar instalaciones que se integran con socios estratégicos de negocio en otras latitudes y esa consideración deberá tratarse en su problema de localización. La dimensión del problema se traslada, entonces, del contexto local al contexto global, a tal punto que, tanto el transporte transfronterizo como los países que pueden procesar legalmente este tipo de materiales obedecen a fuertes regulaciones. Estas restricciones adicionales se deben considerar en los procesos de localización de dichas instalaciones, aunados a criterios de justicia espacial y de eficiencia en el entorno global.

El presente artículo procura reflexionar sobre la dinámica de las instalaciones Nimby y su rol en las cadenas de suministro contemporáneas, a fin de establecer los factores a considerar en procesos de decisión para su localización y su integración en cadenas de suministro global como fenómeno poco estudiado y carente de un análisis sistémico. En la primera parte, se desarrolla el concepto de cadenas de suministro global asociadas al negocio internacional del acondicionamiento y comercialización de materias primas recuperadas; de esta manera, se identifican las consideraciones que facultan la integración de empresas, la generación de valor en cadenas globales contemporáneas, las implicaciones macroeconómicas y la organización geográfica de los procesos de manufactura en el mundo de este tipo de materiales. Este contexto hará posible la comprensión de los criterios de integración de las cadenas de suministro global en función de las consideraciones económicas y logísticas, características del entorno. El primer apartado finaliza con la identificación de algunas herramientas que permiten la optimización de las cadenas de suministro global. En la segunda parte, se establece el rol de las instalaciones Nimby en las cadenas de suministro global contemporáneas, se presenta una revisión de las técnicas de modelamiento para la localización de este tipo de instalaciones y se analizan los retos y limitaciones

que presentan las mismas. Por último, se desarrollan las conclusiones y se delimitan posibles líneas de acción para trabajos futuros en torno a la temática.

### **Estructuración de cadenas de suministro global**

La literatura se ha enriquecido con el aporte conceptual de diversos autores que han tratado de definir lo que es una cadena de suministro; sin embargo, para el desarrollo del presente trabajo, se adopta el planteamiento de Lambert y Pohlen (2001), quienes la definen como el

conjunto de empresas eficientemente integradas por los proveedores, los fabricantes, distribuidores y vendedores mayoristas o detallistas coordinados, que busca ubicar uno o más productos en las cantidades correctas, en los lugares correctos y en el tiempo preciso, buscando el menor costo de las actividades de valor de los integrantes de la cadena y satisfacer los requerimientos de los consumidores.

El conjunto de empresas eficientemente integradas sugiere la gestión total del conjunto, lo que indica que la estructuración de una cadena de suministro debe abordarse como un problema sistémico; en consecuencia, de su operacionalización se obtendrá la valoración de múltiples configuraciones, que se constituyen en un reto para el tomador de decisiones, quien debe seleccionar aquella que optimice el consumo de recursos (Chopra y Sodhi, 2014).

La integración de empresas en una cadena de suministro surge de la necesidad de aprovechar economías de escala, imposibles de lograr cuando se gestiona cada una de las compañías de manera independiente. Bajo esta consideración, la integración con proveedores y clientes sugiere la gestión conjunta de las capacidades logísticas y operacionales de las compañías integradas. La estructuración de la cadena de suministro considera el flujo de información ininterrumpido, el flujo de productos y materiales y demás flujos característicos entre las instalaciones que componen la cadena, cuya ubicación geográfica resulta de un análisis juicioso en el que los criterios estratégicos y de eficiencia son, con frecuencia, los más utilizados. No obstante, la natural tendencia de la instalación a ubicar y sus funciones en la cadena de suministro sugieren criterios especiales para la localización.

Las instalaciones para ensamble, los centros de distribución y las plataformas *Cross docking* son solo algunos de los tipos de instalaciones que pueden ser localizados en cualquier lugar del mundo y que obedecen a restricciones comunes de uso de suelos y criterios de eficiencia. Pero, no siempre es así, pues, en cadenas de suministro global asociadas a la comercialización de materiales recuperados y específicamente de materiales peligrosos, como define Naciones Unidas a los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEES), se presentan regulaciones en términos de transporte internacional y lugares de destino para este tipo de materiales de manera que se garantice su procesamiento seguro, condición que limita la localización de instalaciones de esta naturaleza a países que suponen un elevado nivel de desarrollo, con frecuencia se hace referencia a miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

El complejo entorno económico mundial, caracterizado por la reducción de barreras de carácter cultural, político y social que facilitan el comercio internacional de materiales recuperados, ha promovido la integración de compañías de todo el mundo, para lo cual ha conformado cadenas de suministro global, cuyo interés, más allá de establecer una relación temporal, persigue el fortalecimiento de las relaciones a través de modelos de gestión integral. Esto ocurre porque la gestión de la cadena de suministro es considerada como una actividad generadora de valor, en la que el desarrollo de ventajas competitivas en costos, calidad, tiempos, etc., soportadas en relaciones de largo plazo, facultan ventajas sostenibles en el tiempo (Fajnzylber, 2006), razón por la cual, son la tendencia en los esquemas de negocio actuales. Es en ese punto en el que se hacen grandes esfuerzos desde la administración de cadenas de suministro para definir modelos de negocio y estructuras de red eficientes, que se caractericen por el óptimo aprovechamiento de recursos, el alto valor agregado y su capacidad de reconfigurar permanentemente las competencias para asimilar rápidamente los cambios en el contexto. En ese orden de ideas, es pertinente iniciar con una caracterización del campo económico global, la competencia entre cadenas de suministro, su dinámica y las complejas relaciones comerciales, así como los aspectos logísticos que definen la operación.

### *Consideraciones económicas*

Las consideraciones económicas asociadas a la globalización de los mercados se constituyen como el escenario que define y caracteriza la naturaleza, desarrollo y evolución de las entidades empresariales organizadas y gestionadas como cadenas de suministro. La configuración de estas redes de suministro responde a criterios de orden macroeconómico, pues factores como la disponibilidad de materias primas, los acuerdos comerciales entre naciones y el costo de mano de obra, entre otros, son determinantes para la localización de las instalaciones de carácter industrial y/o logístico que compondrán la red y afectarán de manera inmediata el desarrollo económico y los niveles de competitividad del sector industrial del país en el que se lleve a cabo el emplazamiento.

El contexto económico del comercio internacional de materiales recuperados manifiesta un crecimiento no cuantificable con precisión a la fecha, pues según la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA), no hay cumplimiento estricto de las regulaciones propuestas por la comunidad europea y las condiciones consignadas en el convenio de Basilea en relación con el transporte transfronterizo. Esto hace difícil cuantificar los volúmenes negociados y transportados, así como la identificación de viajes furtivos de Raees con destino a África, donde se desmantelan de manera insegura. En 2016, la comunidad europea reportó la exportación de más de un millón de toneladas de material hacia el continente asiático, el cual concentra históricamente una gran cantidad del volumen procesado de materiales recuperados en el mundo (entre 1997 y 2007 se cuadruplica el número de viajes de materiales recuperados desde países de la comunidad europea con destino a Asia). Lo anterior obedece a la alta demanda de materias primas recuperadas por parte de la industria china, que

no solamente importa una alta cantidad de material recuperado, sino que, además, lo incorpora a la manufactura de los múltiples productos que fabrica en virtud de su bajo costo (EEA, 2009).

La estructuración de cadenas de suministro global y la integración de instalaciones a redes globales de valor como sistemas internacionales de producción integrada suponen un estrecho vínculo entre las compañías que la componen y que día a día se ven fortalecidas por la rápida evolución de las tecnologías de la información y telecomunicaciones, el desarrollo en los modelos de transporte y la infraestructura logística, que permite explotar las ventajas de cadenas de transporte multimodal. Este proceso, aunado a los esquemas de integración económica entre países, genera un ambiente propicio para la producción de bienes, a través de la integración de recursos desde diferentes latitudes. El propósito de lograr la plena satisfacción del cliente exige que la estructuración de las cadenas de suministro se plantee desde la identificación de tales necesidades y del nivel de servicio que la organización empresarial esté dispuesta a ofrecer. De acuerdo a lo anterior —y al considerar que las empresas generan valor a través del desarrollo de actividades relacionadas con el flujo físico de materiales (Porter, 2000)—, la localización de instalaciones dentro de la estructura, su función, los niveles de inventario y las políticas de aprovisionamiento, producción y distribución se convierten en factores determinantes dentro del proceso de diseño de la cadena.

La nueva configuración del comercio internacional, entendido en este contexto, invita a pensar que la ubicación geográfica de los nodos debe obedecer a las relaciones o interacción de los mismos; sin embargo, a diferencia de las cadenas de suministro convencionales, estas hacen parte de iniciativas de economía circular, cuyos principios sugieren la restauración y regeneración de recursos, con lo cual, se desvincula el crecimiento económico del aprovechamiento de recursos finitos (Ellen MacArthur Foundation, 2015). En consecuencia, la adopción de esta iniciativa económica surge de la evolución normativa de algunas naciones comprometidas con el desarrollo tecnológico, la protección de los sistemas naturales y una nueva concepción de generación de valor, lo cual, condiciona de manera drástica la localización y emplazamiento de instalaciones Nimby y sugiere ubicaciones que favorezcan a los países involucrados que comulguen con los principios económicos mencionados.

El elevado grado de coordinación que requiere cualquier cadena de suministro global está en función de la capacidad individual de cada una de las organizaciones que la componen, en las que la heterogeneidad en tamaño, los recursos, los conocimientos e intereses hacen de la coordinación de la cadena un reto. Por otra parte, la complejidad existente en las actividades de control sobre materias primas, productos semiterminados y terminados, además de actividades de monitoreo y seguimiento a las operaciones logísticas e industriales, entre otras, en entornos económicos distantes, se agudizan gracias a la extensión de la cadena y al número de eslabones que la componen. De esta manera, el liderazgo y la gestión de la cadena de suministro debe recaer sobre una entidad, que será aquella que realice las actividades de mayor valor agregado en la estructura (Kaplinsky y Morris, 2000).

La integración de cadenas de suministro global dedicadas al procesamiento de materiales recuperados no es ajena a los esfuerzos de coordinación, más aún, se hace evidente el control que ejerce sobre la cadena aquella instalación que tiene la capacidad de procesar el material y cuyo poder obedece en parte a rigurosas políticas ambientales y económicas del país en el que se encuentra emplazada. Tal es el caso de las plantas de procesamiento de materiales reciclados (Nimby) ubicadas en china y las exigencias a sus proveedores de materiales recuperados en términos de presentación, estándares de limpieza y prácticas de control sobre el material transado (EEA, 2009).

Las relaciones entre la organización que concentra el poder y autoridad dentro de la red y las demás organizaciones que la estructuran permiten la definición eficaz de funciones dentro de la red, además de las condiciones operacionales del sistema logístico a partir de las necesidades del cliente. La concentración de poder y la distribución del mismo dentro de la red dependen de la diferencia tecnológica y el nivel competitivo de las compañías que componen la cadena, de manera que, cuando las compañías presentan una capacidad competitiva similar, es posible desarrollar fácilmente estrategias colaborativas que beneficien al sistema en el que se percibe un gobierno descentralizado. No obstante, en el caso en que los socios estratégicos distan de manera marcada en términos de capacidad y tecnología, se asocian con un elevado riesgo; por esta razón, el sistema de gobierno tiende a ser jerárquico (Humphrey y Schmitz, 2000).

### *Consideraciones logísticas*

La dinámica actual del comercio internacional, caracterizado por la férrea competencia de compañías de todo el mundo, orientadas a satisfacer de manera eficiente las necesidades del cliente, sugiere el desarrollo de sistemas logísticos ágiles, capaces de responder a los cambios repentinos de diversa índole que presenta el mercado. La agilidad como capacidad de la cadena de suministro es el resultante del desarrollo de sistemas veloces, flexibles y visibles (Mandal, 2012). Dicha agilidad faculta el desarrollo de las otras dos capacidades, ya que persigue la transmisión interrumpida y en tiempo real de la información que requiere todo nodo en la cadena de suministro para la toma de decisiones. La velocidad en la cadena de suministro global está asociada a la capacidad que tiene para reaccionar rápidamente a cambios percibidos (Blackhurst, Dunn y Craighead, 2011) y la flexibilidad obedece a la capacidad de adaptarse a los cambios fundamentales del entorno, a través de su rápida reconfiguración (Christopher y Holweg, 2011).

Los cambios repentinos en la demanda de materiales, la emisión de nuevas normativas o las exigencias precisas por parte de la industria que consume este tipo de materiales, pueden provocar la fractura de las cadenas de suministro mencionadas e inducir de manera rápida y oportuna a la reconfiguración de la misma. Sin embargo, no resulta fácil tal reconfiguración, debido a la percepción negativa que tienen las instalaciones vinculadas a cadenas de suministro de este sector. La coyuntura actual que evidencia el mundo da cuenta de ello, tras la notificación de china a la Organización Mundial de Comercio (OMC) el 16 de noviembre de 2017, en la cual manifiesta la exigencia de límites

estériles para dar continuidad a la importación de materiales recuperados, pues se aduce una gran carga contaminante en el material recibido.

El impacto logístico que suscita una medida como la descrita exige la rápida búsqueda de instalaciones adecuadas para el procesamiento en otros países. Según el Bureau of International Recycling (BIR), Turquía e India son mercados que consumen materias primas recuperadas, por lo tanto, las exportaciones pueden redirigirse hacia allí; no obstante, las cantidades demandadas no alcanzan a igualar a las cantidades demandadas al año por la industria china. Las implicaciones económicas resultan peligrosas para un modelo de recuperación de materiales que, de acuerdo con el BIR, es generador de aproximadamente trecientos mil puestos de trabajo, que se verán afectados con la reducción de exportaciones de material desde Estados Unidos, Canadá y Europa.

Otra tendencia clara en la estructuración de las cadenas de suministro globales —y que resulta también de la incertidumbre y de los entornos cambiantes— es la aparición del concepto de cadenas de suministro dinámicas, las cuales cuestionan la suficiencia de una configuración única de cadena de suministro y sugieren la pertinencia de varias configuraciones de cadena, cada una con diferentes capacidades, denominadas *multicadenas de suministro* (Gattorna, 2009). El concepto propone abandonar los esquemas tradicionales de cadenas de suministro estáticas y concebir sistemas que cambian conforme se causan cambios en el entorno e, incluso, considerar la relación entre cadenas de suministro. El planteamiento requiere la alineación de las cadenas de suministro con el mercado, pues solo al identificar el mercado y los comportamientos de compra de los clientes es posible lograr cambios estructurales muy rápidos en pro del servicio.

En la actualidad, las cadenas de suministro asociadas al procesamiento de materiales recuperados presentan una escasa integración, con lo cual, reducen la relación a transacciones internacionales de material, lo que para Gattorna (2009) corresponde a cadenas tipo “Lean”, concentradas en la eficiencia del sistema. Sin embargo, dada la incidencia económica y ambiental que tiene este tipo de cadenas, es necesario estimar la necesidad de lograr cadenas “totalmente flexibles”, las cuales, según Gattorna, se concentran en la reacción oportuna a precios muy elevados, ante soluciones extraordinarias en las que los clientes piden soluciones extremas.

### ***Optimización de cadenas de suministro global***

El interés de académicos e industriales por desarrollar sistemas eficientes y competitivos globalmente ha dado como resultado una serie de modelos de optimización que en la literatura pueden ser categorizados en dos grandes grupos. El primero de ellos corresponde a aquellos modelos que tienen como propósito la localización espacial de instalaciones o nodos dentro de la cadena de suministro, a fin de configurar la red, los cuales, en la mayoría de los casos obedecen a criterios de eficiencia, es decir, buscan la minimización de los costos asociados al flujo de materiales dentro de la red. Por consiguiente, es posible encontrar en su estructura



costos de transporte, de almacenamiento, de acondicionamiento de producto, de emplazamiento de facilidades y capacidad de las instalaciones, entre otros.

Por otra parte, en la literatura, se encuentran modelos que persiguen la óptima integración y coordinación de las cadenas de suministro, gracias a los cuales se comprende la importancia que tienen el flujo de información entre los nodos de la red y los modelos de gestión de la misma para el propósito. Estos tratan de integrar tiempos y cantidades de reposición, políticas de inventario y *stocks* de seguridad, entre otros. La toma de decisiones conjuntas en la cadena de suministro, asociadas con el desarrollo e implementación de estrategias colaborativas, también ha dado origen a una serie de modelos que pretenden integrar los problemas de localización y gestión de inventarios, producción y selección de modos de transporte (Jayaraman, 1998).

Pero el desarrollo de modelos en el área de estructuración de cadenas de suministro se ha visto afectado por la gran complejidad que presentan estas estructuras empresariales, debido a que resultan de un sinnúmero de relaciones que deben ser consideradas al intentar recrear de manera matemática los sistemas. Como resultado, se obtienen modelos de gran complejidad que dificultan su solución, en ocasiones, en tiempo razonable, lo que se traduce, entonces, en un reto para las herramientas computacionales existentes.

La aplicación de técnicas de programación entera mixta es ampliamente usada para el modelamiento de cadenas de suministro, sin embargo, es posible encontrar el uso de heurísticas (Chandra y Fisher, 1994) en la optimización de la producción y ruteo en distribución o algoritmos genéticos (Piplani y Fu, 2005), para la minimización de costos de inventarios en procesos de coordinación de la cadena de suministro, entre otras. Es claro, entonces, que la complejidad en el modelamiento no solo se atribuye a la complejidad del sistema, sino también a la eficiencia de la técnica empleada para cada caso.

A partir de la complejidad descrita en el diseño de cadenas de suministro y al comprender que la eficiencia de los sistemas está en función del número de instalaciones dentro de la red, se advierte que, a menor número de instalaciones, los costos fijos se reducen y, aunque difícilmente se puede conocer de manera intuitiva los costos variables que compensarán de manera positiva una red ante la reducción de instalaciones, es necesario considerar aspectos estratégicos que permitan no solo establecer el número de instalaciones a integrar, sino también su ubicación espacial. Las cadenas de suministro se diseñan para operar en respuesta a un largo horizonte de planeación, no obstante, los riesgos asociados a las mismas han adquirido gran importancia para el tomador de decisiones, pues sugieren el diseño de sistemas altamente flexibles, lo cual señala el desarrollo de algunos modelos que consideran el equilibrio entre la eficiencia de la cadena de suministro y el riesgo de la misma (Goetschalckxa, Huang y Mital, 2013).

Actualmente, los académicos muestran gran interés por el diseño de cadenas de suministro sostenibles, área que atiende presiones sociales, políticas y legales, que exigen el mejoramiento de prácticas que mitiguen el impacto ambiental de sus

operaciones. En este aspecto, es posible encontrar el concepto de gestión de la cadena de suministro verde (GSCM) (Sheu y Chou, 2005) (Nicole, Jolley y Handfield, 2008) y múltiples investigaciones dedicadas a incorporar nuevas variables a la estructuración de cadenas de abastecimiento global, alineadas a propósitos ambientales. Tal es el caso de Pishvae (2011), quien propone un modelo de programación matemática *fuzzy* multiobjetivo para diseñar una cadena de suministro ambiental bajo incertidumbre, el cual persigue la minimización de múltiples impactos ambientales al lado del objetivo tradicional de minimización de costos para lograr un justo equilibrio entre ellos.

Criterios como el costo de calidad e integración de actividades de diseño son otros de los hallazgos, dentro de los cuales, se consideran algunas tendencias en la estructuración y modelamiento de cadenas de suministro global, que deben ser tenidas en cuenta como puntos de partida para futuras investigaciones y, por supuesto, para el análisis de la estructuración de cadenas de suministro y su relación con la localización de instalaciones indeseables.

### **Instalaciones Nimby en cadenas de suministro global**

La localización de instalaciones dedicadas al acopio y acondicionamiento de materiales recuperados ha sido tratada por los académicos como instalaciones indeseables (Nimby), puesto que son instalaciones a las cuales se atribuyen una serie de efectos adversos sobre la comunidad. Pero, los estudios académicos tan solo han considerado algunos aspectos que caracterizan dichas instalaciones, por lo tanto, los modelos y técnicas para el propósito carecen del enfoque holístico que exige el entorno comercial global.

De acuerdo a la Cepal, los procesos de fabricación se concentran principalmente en tres cadenas que mundialmente son definidas como: “fábrica América del Norte”, “fábrica Europa” y “fábrica Asia”. Esto deja claro que tales cadenas son lideradas por un país, alrededor del cual se articulan otros países que lo proveen de materias primas y materiales intermedios para su ensamble y exportación de bienes terminados. Existe una creciente demanda de materiales recuperados en estas “fábricas globales”, lo cual, en los últimos años, ha sido aprovechado por países en desarrollo para promover acciones de recuperación y exportación de materiales; no obstante, la actividad se realiza de manera desarticulada con la cadena, solo como exportaciones furtivas u ocasionales, en las que los niveles de integración son reducidos o nulos.

El entorno económico descrito y el permanente cambio en la estructuración de las cadenas de suministro hacen evidente una tendencia a la configuración de redes cuyo, propósito es la generación de valor a partir de las ventajas competitivas individuales de cada uno de los países que se integran a la red global de valor. Para el caso de las instalaciones no deseables y, especialmente, las plantas de procesamiento de material recuperado, el contexto no es ajeno, pues se empieza a ver un crecimiento importante de los mercados mundiales de materiales recuperados, estimulado por la evidencia de los efectos devastadores de las condiciones climáticas actuales, el exceso de volúmenes energéticos consumidos, el calentamiento global y la escasez de recursos naturales. Todo esto da origen a la aparición de redes globales que se encargan de la recuperación, acondicionamiento y comercialización de este tipo de materiales.

Los fenómenos identificados en América Latina y el Caribe exponen avances positivos en términos de integración, particularmente, para dos casos. En el caso brasileño, es necesario destacar el suministro continuo de materias primas, y en el caso mexicano, se percibe un elevado grado de integración a través de la exportación de bienes intermedios; sin embargo, para el resto de Latinoamérica, la integración representa por lo pronto solo una oportunidad, que seguramente será explotada a corto plazo. Seguramente, la exportación de materiales recuperados y la gran aceptación de los mismos van a ser, bajo este contexto, una fuente de ingresos para aquellas naciones que logren estimular dicha industria y promover así la integración a cadenas globales de valor.

Para la Cepal, la integración a redes industriales se debe a varios principios, entre los cuales, se destaca la cercanía geográfica al centro manufacturero como mecanismo para reducir la incertidumbre en los plazos de entrega, facilitar la coordinación de operaciones y responder oportunamente a los cambios repentinos de la demanda. Otro aspecto determinante es la aparición de exenciones arancelarias y zonas francas que alientan la integración de compañías a la red. Asimismo, en la decisión de integración, juegan un papel importante la infraestructura logística, las destrezas y competencias de la mano de obra, así como su costo, la abundancia de recursos naturales, el clima para el desarrollo de negocios y las estrategias de gobernanza.

Como se puede notar, la localización de instalaciones y ubicación y selección de fuentes de suministro no dependen solamente de los costos de transporte o costos fijos de emplazamiento, sino que, por el contrario, es importante incluir en la toma de decisiones todos los factores que realmente inciden en un problema de carácter global como el desarrollado a través de estas líneas. Ahora bien, si adicionalmente consideramos que las variables a tener en cuenta a la hora de localizar una instalación industrial o logística dentro de una red de suministro global no son solamente las descritas, sino que, adicionalmente, se trata de una instalación que representa alguna serie de riesgos para la población —o por lo menos así se percibe—, debería ser necesario incluir variables para localización de instalaciones Nimby, lo que haría el problema mucho más complejo.

### ***La localización de instalaciones no deseables***

La localización de instalaciones no deseables se ha tratado por la comunidad científica a través del desarrollo de modelos matemáticos, que obedecen esencialmente a tres principios. El primero de ellos se conoce académicamente como “justicia espacial”, y se define como la distribución equitativa de las externalidades provocadas por la instalación. En segunda instancia, se establece el principio de “justicia ambiental”, el cual procura evitar el impacto desigual o desproporcionado de las amenazas ambientales sobre los grupos de población más desaventajados y, por tanto, más vulnerables (Bosque y Díaz, 2001). Finalmente, se considera como principio “la eficiencia espacial” como el resultado económico de la operación de la instalación al interactuar con los demás elementos del sistema logístico.

La consideración de dichos factores en los modelos matemáticos de localización exige estimar la distancia entre las instalaciones a localizar y la demanda — la cual, por eficiencia, se sugiere que sea minimizada—; así mismo, debido a las externalidades generadas, la distancia entre la instalación y la población afectable debe ser maximizada. Identificados estos elementos comunes para la localización de instalaciones Nimby, es fácil deducir que esta obedece a la satisfacción de varios objetivos. El modelamiento de problemas similares conocidos difiere en todos los casos, pues para la construcción de las funciones se han tenido en cuenta diferentes parámetros y variables según el caso.

La complejidad en la toma de decisiones para instalaciones de esta naturaleza radica en la operacionalización de sentimientos de aversión que manifiesta la comunidad hospedadora. Salado, Rodríguez y Artigado (1995) logra relacionar la distancia con las plantas de reciclaje y su repercusión en la percepción social de riesgo, asociada a la oposición provocada por las externalidades atribuidas a la instalación. Sin embargo, es importante aclarar que no toda externalidad se difunde proporcionalmente con la distancia; de esta manera, el modelamiento de las externalidades ha originado el desarrollo de múltiples funciones de difusión espacial de efectos ambientalmente nocivos, utilizadas por modelos de localización y estructuradas de acuerdo con el tipo de instalación y tipo de externalidad generada (Salado, Rodríguez y Artigado, 1995; Fernández, Fernández y Pelegrin, 2000).

En este contexto, se empieza a tratar el caso específico de la localización de plantas de reciclaje, que buscan la optimización de la localización al maximizar la accesibilidad y, simultáneamente, minimizar el efecto nocivo de la planta (Flahaut, Laurent y Thomas, 2002). No obstante, los efectos nocivos de una instalación no solo afectan ambientalmente (emisiones de ruido, olores, etc.) un área de influencia, sino que también es posible percibir un impacto social importante (pérdida de valor en predios colindantes, inseguridad, etc.). Esto se traduce en aversión de la comunidad al emplazamiento de instalación en su área de influencia; de esta manera, se exige la consideración de este tipo de impactos para el modelamiento.

Por ejemplo, Rahman y Kuby (1995) propone en su modelo discreto una función de oposición empírica que asume la magnitud de la resistencia proporcional al número de habitantes afectados y que desciende al aumentar la distancia entre la población y la instalación. Por su parte, Erkut y Newman estructuran para su modelo multiobjetivo una función de desutilidad concebida a partir de la distancia entre la instalación y la población y la capacidad de la instalación (Erkut y Neuman, 1992). A su vez, la devaluación de predios como impacto social es tratada por Medina y Cerda (2008), quienes desarrollan un modelo econométrico que establece la pérdida de valor de los predios según su distancia frente a la instalación. Dado que, en muchos casos, este es un problema de percepción, Crespo y Paredes (2009) proponen la inclusión de sistemas de compensación como un recurso que permita mitigar la resistencia generada por la vecindad de una instalación Nimby. Igualmente, en 2013, Song y Morris (2013) desarrollan un modelo cuyo objetivo es minimizar el grado total de fenómenos Nimby; dado que la compensación podría desempeñar un papel para ayudar a eliminar dichos

fenómenos, reducir el grado total de ellos puede interpretarse como una minimización de la compensación total.

El desarrollo de modelos de localización de Nimby ha tenido una evolución importante, dada la relevancia de este tipo de instalaciones para la comunidad; pero, en la mayoría de los casos, su estructuración desatiende de manera parcial o total los pilares a los que deben obedecer los mismos (justicia espacial, justicia ambiental y eficiencia espacial), en ocasiones asociados al tipo de modelo empleado. Bosque y Franco (1995), por ejemplo, tratan el modelo anticobertura y sugieren el modelo p-dispersión como una mejor solución a los problemas en los que prima la justicia espacial. De manera antagónica, Bosque y Gómez (2006) desarrollan un modelo MinMaxSum, a través del cual, priorizan la eficiencia espacial del sistema. En razón a lo anterior, se percibe que la complejidad no solo radica en el modelamiento de la externalización, sino también en el tipo de modelo empleado, de forma que atienda de manera integral los propósitos de localización.

La dinámica actual de algunas instalaciones indeseables y su carácter global hacen pensar que el contexto que se debe considerar para la localización es diferente al mencionado anteriormente, pues obedecen a la necesidad de integrar cadenas de suministro. Lo anterior conlleva la necesidad de integrar otro tipo de variables, especialmente relacionadas con la eficiencia espacial, cuyo propósito inherente a los modelos de localización requiere considerar la cantidad de recursos consumidos (recursos monetarios como posible unidad de medida) en la transferencia de materiales, a través de las instalaciones emplazadas, y, por lo tanto, las cantidades de material a transportar, las distancias de los generadores de carga frente a los sitios candidatos a recibir la instalación y de estos a los centros de consumo, los costos de transporte por unidad y los costos fijos de emplazamiento en entornos globales.

Para Bosque et al. (2006), “la eficiencia puede medirse también en función de los beneficios netos y, en términos de economías de escala, será mayor en la medida en que se logre el tamaño y emplazamiento que maximice el consumo del servicio”. De acuerdo a esto, es importante lograr la identificación de tales beneficios en una cadena de suministro global cuyo grado de integración se pueda percibir no solamente en términos de flujo de materiales y flujo de información, sino también en la distribución de poder o gobernanza y otros aspectos de relevancia estratégica para el sistema.

## Conclusiones

La integración de instalaciones consideradas Nimby a las redes de suministro global genera un reto para los académicos e industriales, dado que se estiman instalaciones que obedecen a principios de localización muy diferentes de las instalaciones que no precisan de su condición de indeseables; por esta razón, se deben analizar detenidamente no solamente los modelos de localización, sino que, además, se debe considerar la integración de la red en conjunto y sus procesos, a fin de lograr la optimización en su gestión. Debido a la percepción local del impacto de los mismos, los modelos existentes orientados a la localización de Nimby persiguen, en todos los casos, la microlocalización de la instalación, lo que quiere decir, que concentran su

criterio de eficiencia en entornos locales. No obstante, la optimización de cadenas de suministro sugiere la macrolocalización de instalaciones. Entonces, el desarrollo de modelos de optimización para el diseño de cadenas de suministro con instalaciones Nimby debe incorporar costos asociados a la mitigación del riesgo o a la compensación del mismo, además de la cercanía a instalaciones de tipo logísticos (terminales portuarias, fluviales, férreas, Hubs, etc.), que permitan la conexión con modos de transporte, de acuerdo con los requerimiento de la cadena.

La preocupación mundial por las condiciones ambientales seguramente estimulará en un futuro próximo la reutilización de materiales y el comercio internacional de los mismos y fortalecerá la tendencia al diseño de cadenas de suministro sostenibles. Variables como la emisión de carbono dentro de las cadenas y el consumo energético dentro de las mismas serán de gran importancia en procesos de optimización de las redes. La deslocalización de procesos de producción y servucción, enmarcados dentro de esquemas de integración vertical y horizontal, identificados como prácticas frecuentes de las cadenas de valor contemporáneas, incidirá seguramente en la definición de criterios de localización de instalaciones Nimby dentro de la red global.

La configuración de redes de transporte internacional, las ventajas evidentes en términos de eficiencia del transporte multimodal y la importancia del impacto contaminante de cada uno de los modos, han conducido a la reactivación, en gran parte, del mundo del transporte férreo. Ahora bien, si se considera el material recuperado en términos de valor agregado y simplicidad en las técnicas de manipulación, se podría pensar que cumple con las características que debe tener cualquier carga con vocación férrea, lo cual tendría que incorporarse como criterio a la hora de estructurar la cadena de suministro y específicamente la cadena de distribución física internacional. En términos de modelamiento, es importante asociar a la configuración de redes de transporte problemas de tipo combinatorio, que seguramente exigirán ser tratados a través de heurísticas como lo demuestra Eskandarpour, Dejax y Péton (2017), quien trata el multimodalismo y el diseño de la cadena de suministro a través de la búsqueda en entornos amplios Large Neighborhood Search (LNS).

La incertidumbre experimentada por cualquier cadena de suministro en el mundo ha sido considerada como criterio de optimización, pero lo que se percibe, además de las variables anteriormente descritas (tiempos de transporte, fallas en suministro, fallas en producción, etc.), es el riesgo asociado a desastres naturales. Al revisar la literatura relacionada con la estructuración de cadenas de suministro, es posible notar que gran parte de los académicos consideran este criterio como un riesgo que afecta el suministro en la red y, dada la configuración de las cadenas de suministro globales, puede dañar notablemente varias cadenas de suministro en el mundo. Por esta razón, surge la necesidad de generar sistemas resilientes, que sean capaces de lograr la continuidad del negocio en muy corto tiempo. En el caso de las instalaciones dedicadas al acopio de material recuperado, es claro que la capacidad de suministro de material a su cadena de suministro se ve condicionada a la capacidad de recuperación “aguas arriba”; a su vez, esta capacidad está directamente asociada a la legislación vigente en el lugar donde se aloja la instalación y las campañas de promoción de actividades de

recuperación, lo cual deja en evidencia la imposibilidad de la instalación para estimar con precisión su capacidad de suministro, proceso que resulta completamente incierto.

La calidad de este tipo de materiales y los requerimientos de eslabones en la cadena de suministro también se convierten en una variable de importancia para el sistema. La mayoría de los estudios al respecto toma el concepto de calidad como una serie de atributos o variables medibles dentro de una compañía; no obstante, para la cadena de suministro, este debe ser considerado como un elemento estratégico, cuyo costo debe concebirse como una medida de desempeño global (Castillo, Smith y Simonton, 2012), de manera que su análisis permita el diseño de cadenas que minimicen el costo total de calidad.

Desde el punto de vista económico y de desarrollo competitivo de las naciones, también es posible hacer inferencias sobre el posible rumbo que puede tomar la estructuración de cadenas de suministro global que incluyan instalaciones Nimby, pues, en términos de generación de valor, se puede buscar la cercanía de la instalación indeseable a socios estratégicos *inshoring*, que agreguen mayor valor al material que esta suministra —lo que tendría un impacto positivo para la economía de un país—, el aprovechamiento de parques industriales o la configuración de clúster industriales que logren la exportación posterior de materiales tratados.

Finalmente, es importante destacar que ya se encuentran en la literatura científica iniciativas que responden parcialmente al problema tratado en este artículo; sin embargo, se percibe la escasa valoración de algunos aspectos tratados en líneas anteriores. Tal es el caso de Xu et al. (2017), quien trata el problema de estructuración de la cadena de suministro para una planta de reciclaje como una cadena global de suministro inverso y procura dar solución específicamente a tres aspectos: la incertidumbre en los niveles de recolección, las emisiones de carbono asociadas a la cadena y los tipos de cambio que caracterizan los negocios internacionales. Aunque el autor lo define como el primer intento de integrar cadenas de esta naturaleza, es importante mencionar que falta mucho por analizar en relación con este tipo de problemas, si se tiene en cuenta que incorporan instalaciones indeseables y que su localización debe ser tratada a través de la minimización de impactos o la compensación a la población hospedadora, características que definitivamente afectarán la eficiencia del sistema.

## Referencias

- Blackhurst, J., Dunn, K. y Craighead, C. (2011). An empirically derived framework of global supply resiliency. *Journal of Business Logistics*, pp. 374-391.
- Bosque, J. y Díaz, M. (2001). De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la comunidad de Madrid. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, pp. 89-114.
- Bosque, J. y Franco, S. (1995). Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables. *Serie Geográfica*, pp. 97-112.

- Bosque, J., Gómez, M. y Rojas, P. (2006). Un nuevo modelo para localizar instalaciones no deseables: ventajas derivadas de la integración de modelos de localización-asignación y SIG. *Cuadernos Geográficos*, pp. 53-68.
- Castillo, K., Smith, N. y Simonton, J. (2012). A model for supply chain design considering the cost of quality. *Applied Mathematical Modelling*, pp. 5920-5935.
- Chandra, P. y Fisher, M. (1994). Coordination of production and distribution planning. *European Journal of Operational Research*, pp. 503-517.
- Chopra, S. y Sodhi, M. (2014). *Reducing the risk of supply chain*. Londres: University of London Institutional Repository.
- Christopher, M. y Holweg, M. (2011). Supply Chain 2.0: managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal of Physical Distribution y Logistics Management*, pp. 63-82.
- Crespo, F. y Paredes, R. (2009). Un mecanismo para localización eficiente y equitativa de Nimby. *Dyna*, 76, pp. 293-303.
- European Environment Agency (EEA). (2009). *No en mi patio trasero. Los traslados internacionales de residuos y el medio ambiente*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe*. UE: McKinsey Center for Business and Environment.
- Erkut, E. y Neuman, S. (1992). A multiobjective model for locating undesirable facilities. *Annals of Operations Research*, 40, pp. 209-227.
- Eskandarpour, M., Péton, O. y Dejax, P. (2017). A large neighborhood search heuristic for supply chain network design. *Computers y Operations Research*, pp. 23-37.
- Fajnzylber, F. (2006). *Una visión renovadora del desarrollo de América Latina*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).
- Fernández, J., Fernández, P. y Pelegrin, B. (2000). A continuous location model for siting a non-noxious undesirable facility within a geographical region. *European Journal of Operational Research*, 121, pp. 259-274.
- Flahaut, B., Laurent, M.-A. y Thomas, I. (2002). Locating a community recycling center within a residential area: a Belgian case study. *Journal the Professional Geographer*, pp. 67-82.
- Gattorna, J. (2009). *Dynamic supply chain alignment, a new business model for peak performance in enterprise*. Estados Unidos: Ashgate Pub Co.
- Goetschalckxa, M., Huang, E. y Mital, P. (2013). Trading off supply chain risk and efficiency through supply. *Procedia Computer Science*, 16, pp. 658-667.
- Humphrey, J. y Schmitz, H. (2000). *Governance and upgrading: linking industrial cluster and global value chain research*. Institute of Development Studies.
- Jayaraman, V. (1998). Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design: An investigation. *International Journal of Operations y Production Management*, 18, pp. 471-494.



- Kaplinsky, R. y Morris, M. (2000). *A handbook for value chain*. Brighton: Institute of development studies.
- Lambert, D. y Pohlen, T. (2001). Supply chain metrics. *The International Journal of Logistics Management*, 12, pp. 1-19.
- Mandal, S. (2012). An empirical investigation into supply chain resilience. *IUP Journal of Supply Chain Management*, pp. 46-61.
- Martin, M. y Muro, C. (1996). Por qué sí y por qué no en mi patio de atrás. Una revisión al concepto del síndrome “Nimby” en torno al tema de gestión de residuos radioactivos. *Política y Sociedad*, 23, pp. 147-152.
- Medina, M. y Cerda, J. (2008). Modelo de localización óptima de actividades no deseadas, aplicado a los residuos sólidos en la región metropolitana. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 16, pp. 211-219.
- Nicole, D., Jolley, J. y Handfield, R. (2008). Environmental management systems and green supply chain management: Complements for sustainability? *Business Strategy and the Environment*, 17, pp.30-45.
- Piplani, R. y Fu, Y. (2005). A coordination framework for supply chain inventory alignment. *Journal of Manufacturing Technology Management*, pp. 598-614.
- Pishvae, M. y Razmi, J. (2011). *Green manufacturing and recovery network design using multiobjective mixed integer programming*. *Proceedings of the 23rd Cancam*. Vancouver: University of British Columbia.
- Porter, M. (2000). *Ventaja competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. México: Continental.
- Rahman, M. y Kuby, M. (1995). A multiobjective model for locating solid waste transfer facilities using an empirical opposition function. *Journal Information Systems and Operation Research*, pp. 34-49.
- Salado, M., Rodríguez, A. y Artigado, L. (1995). Estudio geográfico de percepción social: resultados de encuesta realizada en torno a tres tipos de instalaciones de tratamiento y/o almacenaje de residuos de la comunidad de Madrid. *Serie Geográfica*, pp. 173-206.
- Sheu, J.-B. y Chou, Y.-H. (2005). An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 41, pp. 287-313.
- Song, B., Morrison, J. y Ko, Y. (2013). Efficient location and allocation strategies for undesirable facilities considering their fundamental properties. *Computers y Industrial Engineering*, 65, pp. 475-484.
- Xu, Z., Elomri, A., Pokharel, S., Zhang, Q., Ming, X. y Liu, W. (2017). Global reverse supply chain design for solid waste recycling under uncertainties and carbon emission constraint. *Waste Management*, pp. 358-370.