

MODELO DE PLANIFICACIÓN AMBIENTAL DE INDUSTRIAS FORESTALES

Ibacache, X.⁽¹⁾, Troncoso, J.J.⁽²⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. Universidad Mayor. Camino La Pirámide 5750. Huechuraba. Santiago. Chile. ximena.ibacache@umayor.cl.

⁽²⁾ Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 306. Correo 22. Santiago. Chile

RESUMEN

En el último tiempo, lamentablemente la industria forestal no ha sido un buen ejemplo en términos de desempeño ambiental. Han habido casos de plantas de celulosa con problemas ambientales y sociales por una falta de previsión de dichos factores, y por ende, sin haberlos considerados al momento de decidir la ubicación de las mismas. Todos esos problemas en la práctica se traducen en costos ambientales, que son posibles de estimar mediante las metodologías de valoración ambiental, entre las cuales el gasto en medidas de mitigación, compensación, y restauración, son las que destacan. Bajo estos conceptos, el presente trabajo de investigación une dos herramientas: los modelos matemáticos para la localización de instalaciones y la valoración económica de impactos ambientales, con las cuales se genera un modelo de planificación ambiental de industrias forestales. Para realizar la selección del sitio se trabaja sobre un grafo compuesto por los nodos potenciales para la ubicación de una determinada industria, y además considera los nodos que son oferentes de materia prima para la industria, y los nodos que se constituyen en centros de demanda del producto elaborado. La localización óptima para la industria se determina utilizando para ello un modelo de programación entera mixta, que permite analizar los costos y beneficios de optar por diferentes ubicaciones, y además establece la logística forestal asociada. Los parámetros del modelo son principalmente costos fijos y ambientales de las distintas ubicaciones, así como distancias y costos de transporte. La aplicación del modelo de planificación ambiental para industrias forestales se espera pueda orientar a los ejecutivos a tomar decisiones que son ambientalmente más sustentables y menos criticables por parte de la sociedad.

INTRODUCCIÓN

Desde la publicación de la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente en 1994, y la creación conjunta de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), nuestro país logró readecuarse parcialmente a las exigencias de sustentabilidad ambiental que debe cumplir cualquier proyecto de desarrollo industrial o social, que pueda generar alteraciones o daños en el medioambiente directamente asociado. Sin embargo, desde esa fecha hasta hoy, la mayor parte de las evaluaciones ambientales aplicadas a los diferentes proyectos se han concentrado en los estudios de impacto ambiental (EIA), enfoque de gestión que sólo analiza el impacto individual del proyecto, sin establecer relaciones espaciales y temporales con otros ya existentes en las cercanías, o bien, dentro del territorio nacional. Además, los sistemas de control que se establecen tienen una perspectiva estática, perdiendo de ese modo la capacidad de valorar dinámicamente el daño que se genera tanto in-situ como ex-situ.

Por otra parte, y a pesar de que el enfoque del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aplicado en Chile cumple con la mayoría de los estándares internacionales, la visión y análisis individual de los proyectos ha generado varios conflictos sociales y ecológicos en los últimos años. Lo anterior ha impedido una evaluación más estratégica del impacto ambiental potencial, tanto a nivel del proyecto individual como a nivel global.

En esa línea, se ha hecho candente la necesidad de desarrollar una planificación ambiental estratégica de los proyectos, con la finalidad de que los tomadores de decisión puedan considerar a largo plazo los potenciales efectos de su actividad en el entorno social y en los recursos naturales directa e indirectamente aprovechados y asociados. En este sentido, y por ejemplo durante la planificación de un proyecto industrial, se debe contar con herramientas que permitan evaluar distintas alternativas de localización para dicho proyecto, y de este modo ser capaces de anticipar, prever y minimizar durante la toma de decisiones en un nivel estratégico, cualquier tipo de conflicto y/o daño ambiental que pueda provocar la construcción, operación y abandono del proyecto en cuestión, de modo de optar por aquel lugar que minimiza dichos efectos.

Modelos de Localización de Instalaciones o Plantas

El Problema de Localización de Instalaciones (PLI) es uno de los problemas típicos que la Investigación de Operaciones ha estudiado casi en todas sus variantes y desde hace mucho tiempo. Similares investigaciones se han realizado, por ejemplo, sobre el *Problema de Transporte* y el *Problema de la Mochila*.

Para Brandeau y Chiu (1989) y Revelle y Laporte (1996), la investigación del PLI se inicia con el trabajo de Weber en 1909, quien analiza el problema de localizar un almacén para minimizar la distancia total de viaje entre dicho almacén y sus clientes espacialmente distribuidos. Tiempo después, en la década de los 50 aparecen algunas aplicaciones que estudian el problema del Layout de instalaciones. Luego en la primera mitad de la década de los 60, se generan más aplicaciones pero con poca unificación teórica. Destacan las investigaciones en la localización de: cuerpos de bomberos, vertederos, fábricas, centros telefónicos, patios de clasificación en redes ferroviarias, etc.

Sin embargo, Revelle y Laporte (1996) señalan que sólo desde 1964 con el trabajo de Hakimi -que analiza el problema de localización de una o más instalaciones sobre una red-, comienzan los desarrollos más teóricos del PLI; lográndose la implementación de algoritmos principalmente debido a la llegada de la computación. A partir de ese momento, aparecen cuatro clases de problemas: el de localización en plano continuo, en plano discreto, en plano mixto y sobre redes. También aparecen los desarrollos de los problemas de *p-centros* y *p-mediana*.

Para Brandeau y Chiu (1989) el PLI es simplemente un problema de asignación espacial de recursos, cuyo objetivo es ubicar instalaciones (y quizás asignar clientes a las instalaciones) para optimizar un objetivo implícito o explícito, espacialmente dependiente. Murty (1976) en cambio, señala que el PLI consiste en determinar un subconjunto óptimo de sitios para localizar las plantas y en programar las rutas a seguir durante todo el horizonte de tiempo en que éstas funcionen, con tal de minimizar los costos de construcción de plantas, los de

construcción de las rutas y los de transporte. La diferencia principal de la modelación que propone este autor con la mayoría de las definiciones y aplicaciones encontradas en la literatura, es la de incorporar el costo de construcción de las rutas de transporte.

Por su parte, Ahuja *et al.* (1993) indican que los Modelos de Localización de Instalaciones (MLI) son típicamente macroscópicos, ya que consideran las relaciones entre instalaciones y no al interior de ellas como los modelos de Layout. Además, señalan que muchos de los PLI son modelos de programación entera y que pueden ser representados como una estructura de flujo en redes. Nemhauser y Wolsey (1988) también señalan que la mayoría de los problemas de localización pueden ser formulados como modelos de programación mixta.

El PLI y la Planificación Estratégica

En la mayoría de los sectores donde deben tomarse decisiones de localización de alguna nueva instalación o de expansión de las existentes, se considera este tema como estratégico y clave para cumplir con el objetivo social y/o económico fijado por la empresa o institución. Es por ello que la mayoría de los autores coincide en este punto. Al respecto, Lin *et al.* (1996) establecen que las decisiones de localización de instalaciones están en un nivel estratégico, y que están asociadas a los ejecutivos de más importancia en cualquier empresa. Esto debido principalmente a los altos montos de inversión que la construcción de plantas significa. Schroeder (1981) señala además las clásicas preguntas que se realizan los ejecutivos al momento de planificar, preguntas que también indica Daskin (1995). Para este último autor, las 4 preguntas claves que los modelos matemáticos desarrollados para resolver los problemas de localización deben responder, son:

- 1.- ¿Cuántas instalaciones deben ser construidas?
- 2.- ¿Dónde debe localizarse cada una de las instalaciones?
- 3.- ¿Qué tamaño debe tener cada instalación?.
- 4.- ¿Cuánta demanda debe ser asignada a cada una de las instalaciones?

Obviamente el número de instalaciones a localizar así como el tamaño de cada una de ellas depende generalmente de las *curvas de trade-off* entre servicio y costos. En muchos casos, la calidad del servicio mejora a medida que aumenta el número de instalaciones, pero aumenta el costo de proveer el servicio.

En general, frente a la interrogante de dónde localizar alguna instalación dada, la mayoría de los autores coincide en que son los costos de transporte (actuales y futuros), los más influyentes en la decisión final (Abdalla *et al.*, 1995; Harrington y Warf, 1995).

Impactos Ambientales de Proyectos de la Industria Forestal.

La implementación y ejecución de las diversas acciones y actividades específicas de un Proyecto Industrial Forestal, como una planta de celulosa, de papel, astillados, aserraderos y de tableros y remanufacturas, generarán diferentes impactos en el ambiente, pudiendo ser éstos positivos, neutros o negativos. Por lo general, la fase de Construcción considera sólo actividades de carácter temporal y se circunscribe al terreno donde se implementará el Proyecto.

Por otra parte, la etapa de Operación corresponde al proceso productivo de la planta, que en el caso de los proyectos antes mencionados, es la etapa que genera los impactos más importantes. Respecto a las medidas de manejo ambiental, las que corresponden principalmente a las medidas de mitigación, reparación y de compensación, éstas consisten en un conjunto de medidas elaboradas para que los proyectos –desde la etapa de construcción hasta la de abandono– puedan ser compatibles con el entorno. Lo anterior, responde generalmente a las políticas ambientales de la mayoría de las empresas, a los criterios de diseño del proyecto, y al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Según Ormazábal y Glade (2002), para el caso de los proyectos de la industria forestal, los potenciales impactos ambientales negativos y sus medidas de manejo ambiental más comunes son los que se presentan a continuación en el cuadro 1.

Cuadro 1. Ejemplos de Potenciales Impactos Ambientales Negativos y Medidas de Manejo Ambiental de Proyectos en la Industria Forestal

| Tipo de Proyecto | Principales impactos ambientales negativos | Medidas de Manejo Ambiental |
|--|--|---|
| Industria de celulosa, de pasta de papel, de papel | Descarga de efluentes con sustancias nocivas para el medioambiente; | Instalar y operar plantas de tratamiento de aguas servidas. |
| | Producción de olores desagradables que afectan el bienestar de las personas que viven cerca de la industria o del turismo local; y | Establecer las plantas en zonas alejadas de centros poblados. Instalar filtros en las chimeneas para atrapar los gases producidos por el proceso de fabricación. |
| | Incremento en el nivel de ruido debido al proceso productivo. | Ubicar la planta en zonas industriales o alejada de centros poblados. |
| Plantas astilladoras, aserraderos y plantas de paneles | Incremento en el nivel de ruido debido al proceso productivo; | Ubicar la planta en zonas industriales o alejada de centros poblados. |
| | Generación de desechos tóxicos producto de la impregnación y tratamientos antihongos de la madera; y | Construir plantas de tratamiento de efluentes líquidos. |
| | Generación de material particulado debido a la quema de desechos del proceso industrial. | Instalar filtros en las chimeneas para que atrapen el material particulado producido. |

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción del Problema

El problema abordado en este trabajo consiste en determinar la ubicación y tamaño óptimos para un proyecto industrial-forestal, considerando para su evaluación un criterio netamente ambiental. Esta decisión estratégica de localización del proyecto en cuestión, que puede ser por ejemplo una planta de celulosa o un aserradero, debe señalar la construcción del proyecto en alguno de los sitios previamente definidos como posibles, los cuales están agrupados en tres clases: sitios en Zonas de Materias Primas (SZMP), sitios en Interzonas (SIZ), y sitios en Zonas de Demanda (SZD), los cuales aparecen explicados en la sección siguiente.

Por otra parte, además de definir el lugar y el tamaño del proyecto, también habrá que cuantificar los niveles de producción, identificando los requerimientos de insumos y materias primas por período, con el objeto de abastecer a la planta construida para producir el volumen de producto final demandado.

Finalmente, también se deberá planificar la distribución de la carga forestal, identificando los distintos flujos de materias primas y de productos que se generarán entre los diferentes pares origen-destino en cada período, de modo que se pueda planificar el transporte global de carga desde los centros oferentes de materias primas hacia la planta, y desde ésta hacia los centros de demanda. Con esto último será posible identificar, a nivel estratégico, cuáles rutas serán las más usadas para el transporte de insumos y productos, y por ende, también se podrán limitar los flujos por ciertas zonas ambiental y socialmente críticas.

Enfoque del Problema

Sitios Posibles de Localización y Distancias de Transporte

La mayor parte de la literatura existente en el tema de localización de instalaciones, ha utilizado un grafo bipartito (ver Figura 1) para representar los problemas. En este caso, el primer conjunto de nodos se emplea para representar todos los sitios potenciales para la localización, y en el segundo grupo todos los nodos correspondientes a los centros de demanda. Además, cada sitio posible está conectado a todos los centros de demanda, por lo que cualquiera sea el sitio escogido, existirán rutas que unan la instalación con los centros de demanda (Brandeau y Chiu, 1989; Revelle y Laporte, 1996; Murty, 1976; Nemhauser y Wolsey, 1988; Lin *et al.*, 1996; Schroeder, 1981; Daskin, 1995; Geoffrion *et al.* 1995).

Lo anterior, ha generado que dentro de los costos de transporte sólo se considere el de la distribución de los productos finales, dejando de lado el costo de transporte de las materias primas que también puede verse afectado por la ubicación de la instalación. Por esta razón, el problema a analizar en este trabajo fue modelado considerando tres conjuntos de nodos, de manera similar a la utilizada por Troncoso y Garrido (2005) y Klinecicz (1990) (ver Figura 2).

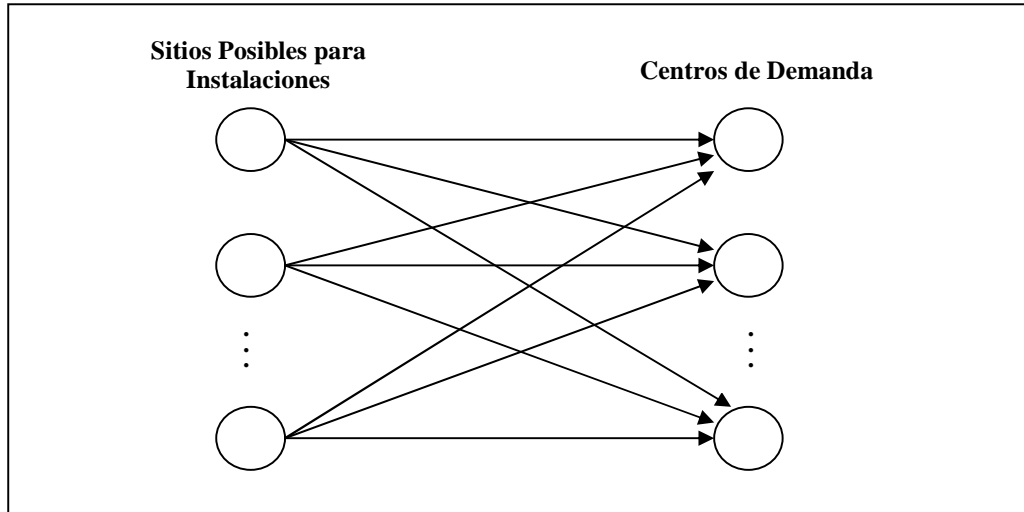


Figura 1: Grafo Bipartito Comúnmente Usado en Problemas de Localización

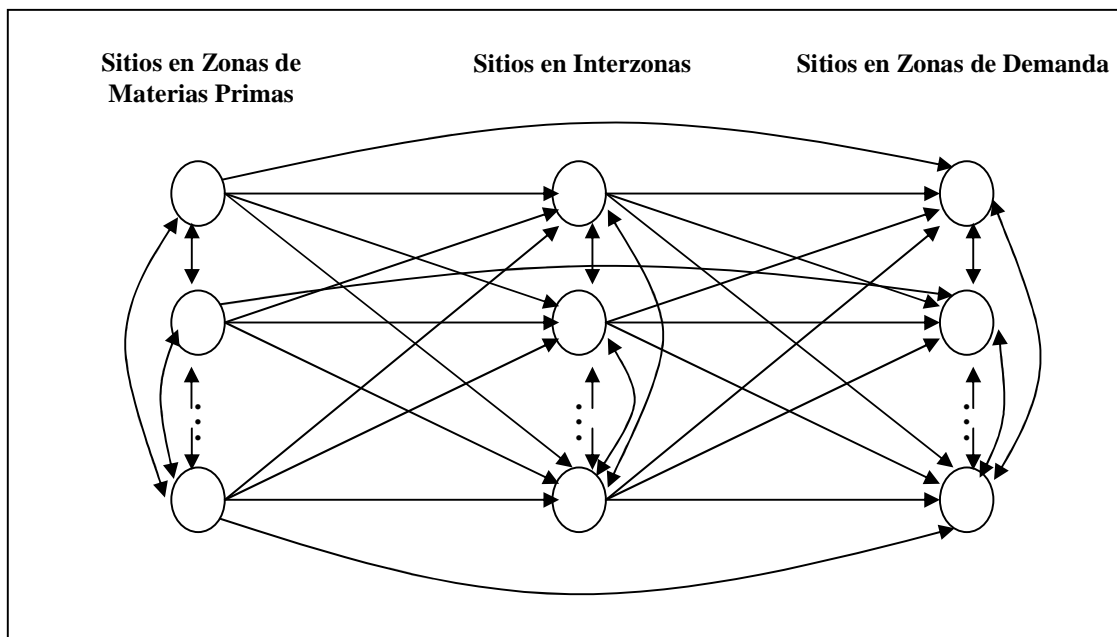


Figura 2: Grafo del Problema en Estudio

En el primer conjunto de nodos de la Figura 2, denominado como Sitios en Zonas de Materias Primas (SZMP), cada nodo representa un centro oferente de materias primas que abastecerá al proyecto a construir. El segundo grupo o Sitios en Interzonas (SIZ), está conformado por nodos intermedios que representan lugares en algún punto geográfico

estratégico para el desarrollo del proyecto (que pueden pertenecer al titular del proyecto o es factible su adquisición), y que sean distintos a los nodos identificados como centros oferentes de materias primas o centros de demanda. Finalmente, está el grupo de nodos que indica cada uno de los centros de demanda potenciales que se considera para el proyecto, por lo que se le denomina Sitios en Zonas de Demanda (SZD).

Es importante destacar que para esta modelación, cualquiera de los nodos existentes en los tres conjuntos se transforma en un lugar potencial para la ubicación del proyecto. Esta consideración no aparece utilizada en las aplicaciones presentes en la literatura, por lo que representa una importante innovación en los modelos de localización.

Para realizar lo anterior, es necesario que cada nodo de cualquier conjunto de sitios debe estar conectado con cada uno de los otros nodos, que pertenezcan al mismo grupo o a uno distinto. En este sentido, en el problema analizado se supone que para cada combinación de nodos existe por lo menos un camino que los une. Estos caminos pre-existentes constituyen la red básica de caminos, la que eventualmente podría ser modificada por el mismo proyecto al construir nuevos caminos.

Requerimientos y Transporte de Materias Primas

Una de las diferencias principales que presenta la modelación que se desarrolla en este estudio con los tradicionales modelos de localización presentados en otros, es el hecho de definir los niveles de materias primas requeridos por el proyecto para la producción en cada uno de los períodos. Con esta información, el modelo también determinará los flujos de madera desde los predios hacia la ubicación seleccionada, por lo que será posible identificar las rutas que serán utilizadas en cada período, y por ende, determinar los caminos que se usarán.

RESULTADOS

Formulación del Modelo

El modelo formulado para resolver el Problema de la Localización Ambientalmente Óptima de Proyectos (PLAOP), corresponde a un modelo de programación mixta que considera la

variable de decisión binaria asociada a la elección del sitio y tamaño óptimos para el proyecto. Junto a esa variable, también están las variables continuas que indican la cantidad de materias primas requeridas para la producción durante cada período de planificación, y la cantidad de producto a elaborar.

La función objetivo minimiza el valor actualizado de los costos totales de abastecimiento y transporte de materia prima, los costos de operación, los costos de transporte de productos elaborados y los costos fijos de expansión en el período que corresponda. Además, se suma la inversión asociada a la construcción del proyecto en cualquiera de los sitios disponibles. Para la actualización de los costos se emplea una tasa de descuento determinada para cada período. En este ítem de inversión, es donde se incluyen además de los costos directos de la construcción del proyecto, los costos asociados a las medidas de manejo ambiental que cada sitio potencial para la localización implica.

Dentro del conjunto de restricciones consideradas en el modelo están:

- a) La que establece que sólo se puede construir un proyecto de un tamaño dado y en sólo uno de todos los sitios posibles para localizarlo.

- b) Las asociadas con la capacidad productiva del proyecto, en el sentido que la capacidad de producción asignada al proyecto al inicio del horizonte de planificación debe mayor o a lo menos igual que la demanda total en cada período de planificación.

- c) Las que permiten determinar la cantidad de materia prima requerida por período para producir una cantidad dada de producto final. Para tal efecto se utiliza un factor de conversión que transforma los las unidades de productos finales (unidad-PF) en unidades de materias primas (unidad-MP).

- d) Las que limitan la disponibilidad de materias primas en cada centro oferente, y las que establecen que los envíos de materia prima sean sólo al lugar de ubicación del proyecto, en cada período de planificación.

e) Las que establecen que los envíos de productos finales hacia los clientes, se hacen sólo desde la ubicación del proyecto, y sin superar la capacidad máxima de producción que tendrá el mismo, por período; y las que garantizan la satisfacción de la demanda existente en cada nodo-cliente.

f) Finalmente existen ecuaciones que realizan los cálculos de los costos totales de: abastecimiento y transporte de materia prima, operación (producción) y transporte de productos finales, todos ellos por período; más el costo de inversión de construir el proyecto en la localización escogida.

El Problema a Resolver

El problema a resolver consiste en la localización de una planta de celulosa, considerando posibles tamaños (capacidad instalada) y costos de inversión asociados, el que varía, además, en función del lugar elegido para su construcción, ya que cada sitio requiere particulares medidas de manejo ambiental y de la habilitación y construcción de servicios e infraestructura complementaria, tales como caminos de acceso, suministro de energía eléctrica y de servicios de comunicación, sistemas de abasteciendo de agua potable y de proceso, plantas de tratamiento de aguas servidas domésticas y sistemas de tratamiento de efluentes (residuos líquidos industriales) manejo y disposición de residuos sólidos industriales, entre otros. Este problema, que será resuelto utilizando el modelo implementado para la solución del PLAOP, considera las dimensiones que se presentan en el cuadro 2

Cuadro 2:

Dimensiones para el Problema en Estudio

| Ítem | Dimensión Máxima |
|---------------------------|-------------------------|
| Nodos Oferentes MP | 30 |
| Nodos Intermedios | 10 |
| Centros de Demanda | 1 |
| Períodos de Planificación | 20 |
| Tamaños del Proyecto | 3 |

Estas dimensiones generan un total de 6.535 variables de decisión asociadas al modelo presentado anteriormente, de las cuales un número muy pequeño (123) son variables binarias. Respecto al número de restricciones, éstas alcanzan un total de 1.564.

Valores de Inversión usados en el Modelo

Los montos de inversión deben ser estimados para cada uno de los sitios potenciales para la localización del proyecto, y dependiendo del tamaño del mismo. Las diferencias que se obtienen para dichas cifras, considerando un mismo tamaño o nivel de producción, se deben a que cada sitio implica distintas medidas de manejo ambiental, es decir, diferentes medidas de mitigación, compensación, restauración. Esas medidas, valoradas económicamente en todos los períodos del horizonte de planificación, y actualizadas a valor presente, generan un valor de inversión dependiente del sitio. Un ejemplo de montos de inversión para distintos sitios potenciales de localización, considerando una capacidad de producción de 500.000 tm de celulosa por año, se presenta en el cuadro 3.

Cuadro3:

Ejemplos de Montos de inversión según Sitio Potencial de Ubicación de Proyecto

| Sitio Potencial | Inversión (MM US\$)* |
|------------------------|-----------------------------|
| Sitio Interzona 1 | 1.312,4 |
| Sitio Interzona 6 | 1.309,7 |
| Sitio Zona Demanda 2 | 1.333,5 |
| Sitio Zona Demanda 2 | 1.331,8 |

* Monto inversión neta (sin valoración de medidas ambientales) = MM US\$ 1.300

Claramente las ubicaciones cercanas a zonas de demanda implican mayores montos de inversión, por que esas ubicaciones son en zonas más cercanas a centros poblados (urbanos y rurales), y por ende, requieren de mayores medidas ambientales para contrastar los impactos ambientales generados.

Otra información relevante para la decisión de localización es el costo de transporte de

materias primas y de productos finales. Para la aplicación desarrollada, sólo se considera el costo de transporte por unidad de peso del producto final y las distancias entre nodos. El costo considerado para tal efecto fue de 0,07 US\$/t-km.

Técnica de Solución

Del problema modelado fue resuelto utilizando el Software de Optimización LINGO, el cual emplea el algoritmo de *Branch & Bound* para resolver los problemas enteros y mixtos.

Respecto a los tiempos de solución registrados, y pese a la existencia de sólo 123 variables binarias, los tiempos de solución obtenidos en diferentes corridas efectuadas como pruebas del modelo, variaron de 6 a 48 minutos (en tiempo de CPU), considerando el mismo tamaño del problema, pero cambiando los datos de entrada. Esto se puede explicar porque en programación entera, un rol importante en la solución del problema lo tiene la instancia a resolver.

Resultados Obtenidos

Evaluación Enfoques Únicos

Los resultados obtenidos consideran una corrida en el cual no se toman en cuenta los valores económicos actualizados de las medidas de manejo ambiental (Enfoque de Planificación Económico), y otra en la que sí (Enfoque de Planificación Ambiental), se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4.
Resultados Óptimos según Enfoque de Planificación

| Ítem | Enfoque de Planificación Económico | Enfoque de Planificación Ambiental |
|---|---|---|
| Localización Óptima | Nodo Interzona 2 | Nodo Oferente MP 3 |
| Valor Función Objetivo (MM US\$) | 1.588,1 | 1.607,5 |
| Monto Inversión Localización Óptima (MM US\$) | 1.300 | 1.312,4 |
| Distancia Media Transporte (km) | 56,5 | 64,8 |

Evaluación Enfoques Cruzados

En este caso, los resultados que se presentan (cuadro 5) consideran el uso de la solución óptima del enfoque económico en el enfoque ambiental, y viceversa. Con esto, se puede ver el real efecto que tienen las distintas perspectivas de planificación, sobre los resultados económicos para los titulares de los proyectos.

Cuadro 5.
Resultados Sub-Óptimos Cruzados

| Ítem | Enfoque de Planificación Económico | Enfoque de Planificación Ambiental |
|---|---|---|
| Localización Óptima | Nodo Oferente MP 3 | Nodo Interzona 2 |
| Valor Función Objetivo (MM US\$) | 1.595,1 | 1.619,8 |
| Monto Inversión Localización Óptima (MM US\$) | 1.300 | 1331,7 |
| Distancia Media Transporte (km) | 67,8 | 56,5 |

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la localización del proyecto expresan claramente la influencia que tiene el gasto incurrido en las medidas de manejo ambiental, en la determinación del lugar óptimo. Respecto del tamaño óptimo, la decisión de esta variable está directamente influenciada por las demandas proyectadas para el producto final. Es decir, el modelo asignará el tamaño para el proyecto de manera de cumplir anualmente con las demandas.

Referente a la ubicación elegida bajo el enfoque económico, ésta es diferente a la obtenida en el enfoque ambiental, ya que el modelo en el primer caso –dado el mismo costo de inversión existente independiente del lugar seleccionado–, busca la ubicación del proyecto sólo en base a las distancias de transporte que se generan entre los diferentes pares origen-destino. Por el contrario, bajo el enfoque ambiental, el valor económico de las medidas ambientales tiene mayor influencia en la determinación de la localización óptima, y se superpone a la ponderación dada a los costos de transporte.

Si se comparan los valores de la función objetivo para un enfoque económico, que no considera los costos asociados a las medidas de manejo ambiental, el incremento del valor actual de costos (VAC) de la solución ambientalmente óptima (MMUS\$ 1.588,1), respecto de la económicamente óptima (MMUS\$ 1.605,7) es de un 1,11 %, lo que podría considerarse como aceptable si se contrastara con el valor económico de impactos ambientales que se dejan de generar en un sitio ambientalmente más conveniente.

En otras palabras, para un empresario (titular) le es mucho más económico si incorpora la variable ambiental al momento de tomar la decisión estratégica de localización del proyecto, que pagar los costos ambientales ex- post la decisión. Lo anterior se demuestra con los resultados obtenidos con el cruce de las soluciones (ver cuadro 5), ya que si decidiera la ubicación sólo con una consideración económica, y después le agregara los costos ambientales, obtendría un VAC de 1.619,8 millones de dólares, superior en 12,3 millones de dólares a si hubiese considerado esos costos al decidir la ubicación óptima de su proyecto.

CONCLUSIONES

La estrecha relación existente en la modelación del problema entre las variables de localización y tamaño de los proyectos, con las de producción y transporte de materias primas y de productos finales, refleja la necesidad de que modelos de este tipo deban necesariamente integrar los problemas de producción y logística de cualquier industria, aún si la finalidad última en lograr un buen desempeño ambiental del proyecto.

Tradicionalmente, la ubicación de la oferta de materias primas y de las demanda de producto finales, han sido los antecedentes más importantes al momento de decidir la construcción de un nuevo proyecto en cualquier rubro industrial, ya que son los costos de transporte los que predominan y guían la decisión. Sin embargo, cuando se incluyen los impactos ambientales de la operación del proyecto, la ubicación óptima bajo un criterio ambiental es distinta de la económicamente conveniente.

En efecto, la inclusión de los costos que implican la ejecución e implementación de medidas de manejo ambiental durante todo el periodo de funcionamiento de un proyecto dado, como costos de inversión, permite obtener una localización para el mismo que no es sólo ambientalmente óptima (menos costos por medidas ambientales implica menores impactos), sino que además, es más eficiente porque obtiene un resultado mejor al obtenido cuando a la solución económicamente óptima, se le agregan los costos ambientales.

Lo anterior viene a justificar aún más la incorporación de la variable ambiental a nivel estratégico, de manera de obtener decisiones industriales que garantizan un uso más sustentable de los recursos naturales y del territorio, y disminuye notoriamente los riesgos de problemas ecológicos por localizarse en sitios ambiental y socialmente más rentables y seguros.

LITERATURA CITADA

ABDALLA, C. W., LANYON, L. E. y HALLBERG, M. C. (1995) What We Know About Historical Trends in Firm Location Decisions and Regional Shifts: Policy Issues for an

Industrializing Animal Sector. **American Journal of Agriculture Economics Vol 77 N°12**. Páginas 1229-1236.

AHUJA, R. K., MAGNANTI, T. L. y ORLIN, J. B. (1993) **Network Flows: Theory, Algorithms and Applications**. Prentice Hall. 846 p.

BRANDEAU, M. L. y CHIU, S. S. (1989) An Overview of Representative Problems in Location Research. **Management Science Vol 35 N°6**. Páginas 645-668.

DASKIN, M. (1995) **Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications**. Wiley Interscience Series. 498 p.

GEOFFRION, A. , MORRIS, J. y WEBSTER, S. (1995) Distribution System Design. **Facility Location: A Survey of Applications and Methods. Springer Series of Operations Research**. Páginas 181-196.

HARRINGTON, J. W. y WARF, B. (1995) **Industrial Location: Principles, Practice and Policy**. Ediciones Rutledge. 236 p.

KLINCEWICZ, J. G. (1990) Solving a Freight Transport Problem Using Facility Location Techniques. **Operations Research Vol 38 N°1**. Páginas 99-109.

LIN, W., CARINO, H. F. y MUEHLENFELD, K. J. (1996) OSB/LOCATION: A Computer Model for Determining Optimal Oriented Strandboard Plant Location and Size. **Forest Products Journal Vol 46 N°2**. Páginas 71-78.

MOSKOWITZ, H. y WRIGHT, G. (1979) **Operations Research Techniques for Management**. Prentice-Hall Inc.

MURTY, K. (1976) **Linear and Combinatorial Programming**. John Wiley & Sons. Inc. 567 p.

NEMHAUSER, G. L. y WOLSEY, L. A. (1988) **Integer and Combinatorial Optimization**. Wiley Interscience Series. 763 p.

ORMAZÁBAL, C. y GLADE, A. (2002) **Manual para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental**. Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología. 584 p.

REVELLE, C. S. y LAPORTE, G. (1996) The Plant Location Problem: New Models and Research Prospects. **Operations Research Vol 44 N°6**. Páginas 864-874.

SCHROEDER, R. G. (1981) **Operations Management: Decision Making in the Operations Function**. MacGraw-Hill Series. 680 p.

TRONCOSO, J. J. y GARRDO, R. (2005) Forestry Production and Logistics Planning. **Forest Policy and Economics 7**. Páginas 625-633.



UNIVERSIDAD DE
TALCA

UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
CONGRESO CHILENO DE CIENCIAS FORESTALES



Aceptación para publicación en plataforma virtual

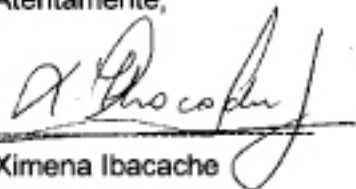
Señores
Comisión Organizadora
4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales
Universidad de Talca, Chile.

Estimados Señores

Quien suscribe, autores de la ponencia: "Modelo de planificación ambiental de industrias forestales." autorizan a los organizadores del 4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales, a la publicación del texto completo en la plataforma virtual *Dspace* de la Biblioteca de la Universidad de Talca, permitiendo con ello a su acceso a través de la Internet.

El texto, que se envió en formato Word, será transformado a formato pdf para su publicación. Su difusión estará disponible hasta el mes de Octubre del 2010.

Atentamente,


Ximena Ibacache


Juan José Troncoso

Talca, junio de 2009.