



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE PREDIOS RURALES EN FUNCIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICAS

JUAN PABLO AKIO SAKAMOTO GOTUZZO

Memoria para optar al título de
Ingeniero Civil Industrial, con Diploma en Ingeniería
Química

Profesor Supervisor:
CÉSAR SÁEZ NAVARRETE

Santiago de Chile, 2014



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA
Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE PREDIOS RURALES EN FUNCIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICAS

JUAN PABLO AKIO SAKAMOTO GOTUZZO

Memoria presentada a la Comisión integrada por los profesores:

CÉSAR SÁEZ NAVARRETE

ALONDRA CHAMORRO GINÉ

JUAN GASTÓ CODERCH

Para completar las exigencias del título de
Ingeniero Civil Industrial, con Diploma en Ingeniería Química

Santiago de Chile, 2014

A Fernanda y a mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Don Juan por las conversaciones en las que me orientó y me mostró su forma de percibir y comprender el entorno.

Agradecer también a César por dar el espacio para desarrollar temas no convencionales en el área de la ingeniería, la libertad para trabajar y proponer de manera autónoma.

Agradecer a Hernán Valenzuela por su gran apoyo y buena disposición en la última parte de este trabajo.

Y por último le agradezco mi familia, a mis padres por siempre confiar en mí, hasta el último momento, y a Fernanda porque sin su constante apoyo y preocupación durante todo este proceso no habría podido sacar la tarea adelante.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE PREDIOS	18
II.1. Indicadores	18
II.1.1 Indicadores ambientales.....	18
II.1.2 Indicador Social	21
II.1.3 Indicador económico.....	22
II.2. Examen.....	23
II.2.1 Fuentes energéticas utilizadas.....	24
II.2.2 Uso de la energía	24
II.2.3 Recursos disponibles	25
II.3. Diagnóstico	27
II.4. Tratamiento	33
III. APLICACIÓN A CASOS DE ESTUDIO.....	34
III.1. Predio Talcamávida.....	34
III.1.1 Examen	35
III.1.2 Diagnóstico	36
III.2. Predio San Sebastián	44
III.2.1 Examen	45

III.2.2 Diagnóstico	47
III.3. Predio Rangel	54
III.3.1 Examen	55
III.3.2 Diagnóstico	57
IV. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE LA METODOLOGÍA	64
BIBLIOGRAFIA	67
A N E X O S	69
Anexo 1: Ficha Examen	70
Anexo 2: METODOLOGÍA CLÍNICA	72
1. Examen.....	72
2. Diagnóstico	72
3. Tratamiento	74
4. Estrategia.....	75
5. Ejecución.....	75
6. Comprobación	75
Anexo 3: IMÁGENES DE LOS PREDIOS ESTUDIADOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla II.1: Factores de emisión y fracción de carbono oxidado	19
Tabla II.2: Eficiencia de transformación a energía útil	21
Tabla II.3: Costo de la energía por MJ.....	23
Tabla II.4: Estado energético	32
Tabla III.1: Consumo y usos de la energía predio Talcamávida	35
Tabla III.2: Potencial de generación predio Talcamávida	36
Tabla III.3: Indicadores iniciales predio Talcamávida	37
Tabla III.4: Matriz energética Autarquía predio Talcamávida	38
Tabla III.5: Matriz energética Eficiencia predio Talcamávida	39
Tabla III.6: Matriz energética Emisiones predio Talcamávida	40
Tabla III.7: Matriz energética Costo predio Talcamávida	41
Tabla III.8: Indicadores predio Talcamávida	42
Tabla III.9: Estado general predio Talcamávida	43
Tabla III.10: Consumo y usos de la energía predio San Sebastián	45
Tabla III.11: Potencial de generación predio San Sebastián	46
Tabla III.12: Indicadores iniciales predio San Sebastián	47
Tabla III.13: Matriz energética Autarquía predio San Sebastián	48

Tabla III.14: Matriz energética Eficiencia predio San Sebastián	49
Tabla III.15: Matriz energética Emisiones predio San Sebastián	50
Tabla III.16: Matriz energética Costo predio predio San Sebastián	51
Tabla III.17: Indicadores predio predio San Sebastián	52
Tabla III.18: Estado general predio predio San Sebastián	53
Tabla III.19: Consumo y usos de la energía predio Rangel	55
Tabla III.20: Potencial de generación predio Rangel	56
Tabla III.21: Indicadores iniciales predio Rangel	57
Tabla III.22: Matriz energética Autarquía predio Rangel	58
Tabla III.23: Matriz energética Eficiencia predio Rangel	59
Tabla III.24: Matriz energética Emisiones predio Rangel	60
Tabla III.25: Matriz energética Costo predio Rangel	61
Tabla III.26: Indicadores predio Rangel	62
Tabla III.27: Estado general predio Rangel	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura III.1: Esquema de localización predio Talcamávida	34
Figura III.2: Participación de cada energético en el predio Talcamávida	35
Figura III.3: Indicadores predio Talcamávida	42
Figura III.4: Esquema de localización predio San Sebastián	44
Figura III.5: Participación de cada energético en el predio San Sebastián	46
Figura III.6: Indicadores predio San Sebastián	52
Figura III.7: Esquema de localización predio Rangel	54
Figura III.8: Participación de cada energético en el predio Rangel	56
Figura III.9: Indicadores predio Rangel	62

RESUMEN

El presente estudio propone una metodología para evaluar y planificar energéticamente un predio en función del consumo y uso de la energía y los recursos disponibles.

Como base para su desarrollo, se utilizó la Metodología Clínica propuesta por Nava et al. (1996), adaptada considerando el problema energético como un caso particular de un problema ecosistémico general. Se establecieron las mismas etapas; a saber, examen, diagnóstico y tratamiento; y se llevaron a cabo en detalle para la evaluación y propuesta energética.

En la etapa de examen, se determinó el nivel de consumo, fuentes energéticas y usos de la energía. También se evaluaron los recursos disponibles para la generación. En la etapa de diagnóstico, se determinó el estado ideal del predio en función de cuatro índices: autarquía, emisiones de CO₂, eficiencia y costo.

El índice de autarquía muestra la proporción de energía que es abastecida por recursos que se encuentran presentes en el predio sobre el total de energía consumida por el predio. El índice de emisiones de CO₂ muestra las emisiones generadas por el consumo de energía a partir de cada fuente. El índice de eficiencia es un promedio ponderado por el nivel de participación de cada energético en el consumo total de la eficiencia de transformación a energía útil de cada fuente energética. El índice de costo determina el costo total de la energía consumida por el predio.

La metodología propuesta, si bien presenta elementos que pueden ser mejorados en estudios futuros, permite evaluar de manera sencilla un predio con el fin de orientar su desarrollo de forma más armónica, involucrando tres ámbitos relevantes: ambiental, económico y social. La interacción interpredial, la asignación de pesos relativos a los ámbitos empleados, limitaciones de recursos para un grupo predial como biomasa, escalabilidad y análisis de sensibilidad a los “ámbitos” empleados, podrían constituir mejoras al modelo y contribuir con una herramienta robusta a la planificación territorial.

ABSTRACT

The present study proposes a methodology to evaluate and plan energetically land according to the consumption and uses of energy and the available resources.

The Clinic Methodology proposed by Nava et al. (1996) was used as a basis for the establishment of the methodology, which was adapted considering the energy problem as a particular case of the general ecosystemic problem. The same phases; exam, diagnosis, and treatment are established, but they were carried out in particular for energetic evaluation and plan.

In the exam phase, consumption level, energetic sources and energy uses were determined. Also, the available resources for generation were evaluated. In the diagnosis phase, the ideal state of the land was determined according to four indexes: autarchy, CO₂ emissions, efficiency and cost.

The autarchy index shows the energy proportion that is supplied by the resources that are in the land over the total energy consumption. The CO₂ emissions index shows the emissions generated by the energy consumption of each source. The efficiency index is the weighted average by the participation on the total consumption of each energetic when transforming it in useful energy of each energy source. The cost index determines the total energy cost consumed by the land.

The proposed methodology, even though presents some elements that can be improved in the future, allows to evaluate land in a simple way. Guiding its development in harmony involving three relevant aspects: environmental, economic and social. The land interaction, the relative weights assignation to the different scopes used, the land limitation of resources as biomass, scalability and sensibility analysis of the “scopes” used, could constitute in model improvements and contribute as a strong tool in land management.

I. INTRODUCCIÓN

La Energía se entiende comúnmente, y así la define la Real Academia Española, como la “capacidad de realizar trabajo” (RAE, 2001). En primer lugar, de esta definición se puede desprender una potencialidad, una finalidad que va a más allá de la energía en sí misma. Lo relevante de la energía, entonces, no es el poder generarla si no que lo que es posible crear a partir de ella. “La energía no es un fin, es un insumo para dar luz, calor y movimiento que permite producir los bienes y servicios que contribuyen al desarrollo de las personas en forma individual y colectiva.” (Vergara, 2010). En ese sentido, la energía juega un rol fundamental en la sociedad ya que a partir de ella es posible desarrollar diversas actividades humanas.

1. Antecedentes

Tanto a nivel internacional como nacional el estudio de la energía se centra, en primer lugar, en el desarrollo de balances energéticos a escala de macroregiones o países. Se entiende por balance energético al conjunto de información relativa a la producción y consumo de energía en una determinada región en el período de un año, dicha información es la base para la planificación energética (Ministerio de Energía, 2011). A partir de estos balances energéticos se generan diversos estudios y políticas en función de los objetivos que se planteen, en particular las últimas décadas se ha tomado fuerza el estudio del impacto ambiental generado por el consumo energético expresado de manera global en el cambio climático. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC sus siglas en inglés) ha liderado estos estudios y ha publicado cuatro informes de evaluación los cuales, sobre base científica, presentan las posibles consecuencias del cambio climático producto de la actividad humana y alternativas de adaptación y/o mitigación de sus efectos (IPCC, 2007). El objetivo final es lograr satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas (Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo, 1987). Esto implica crear un modelo de desarrollo que integre los

vectores económico, social y ambiental, además de un vector institucional que conduzca los cambios (Vergara, 2010).

Para hacer frente a este desafío desde el punto de vista energético se requiere de una planificación, toma de decisiones estratégicas y políticas públicas acorde a los objetivos propuestos. Las herramientas disponibles, como el Manual de Estadísticas Energéticas de la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2007) o de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2011), tienen una escala de análisis a nivel país, regional o mundial, por lo que permiten trabajar en esa esfera. Para generar los cambios necesarios no sólo se requiere implementar políticas en la escala descrita si no que también a nivel local, ya sea regional, comunal o predial. En este punto es donde radica el problema a trabajar en el presente estudio, la falta de una herramienta que permita apoyar la toma de decisiones relacionadas con la energía a nivel local y que se pueda vincular con otros aspectos a la hora de generar un ordenamiento territorial, entendiendo ordenamiento territorial como la acción destinada a armonizar las demandas de uso territorial del sector público y privado en un contexto de utilización racional y sustentable (Márquez, 1997). Se toma como espacio de estudio el predio pero la metodología propuesta puede ser análoga a otra escala.

2. Predio

Para efectos del estudio se define predio, en términos operativos, como “una unidad organizada de toma de decisiones, un espacio de recursos naturales renovables, conectados interiormente y limitados exteriormente, cuyo fin es hacer agricultura” (Gastó, Rodrigo y Aránguiz, 2002). En términos funcionales, según los mismos autores, se puede definir el predio como:

$$P = f(S, \Sigma, \phi, \sigma_a)$$

Donde:

P: Predio

S: Espacio-tiempo, $L^3 \times T$ (longitud³ x tiempo)

: Unidades espacio-temporales de recursos naturales renovables.

: Flujo inter o intra de masa, energía o información.

a.: Respuesta o output como función de la artificialización.

La presente memoria toma como base la Metodología Clínica propuesta por Nava, Armijo y Gastó (1996), analizando el problema energético como un caso particular del problema ecosistémico general, acotando las distintas etapas de dicha metodología al análisis energético. Se utiliza esta metodología porque permite implementarla a una escala local, que es donde no se dispone de herramientas adecuadas para la toma de decisiones en el ámbito energético.

3. Metodología Clínica

Nava, Armijo y Gastó (1996) definen la metodología clínica como: “la construcción de un procedimiento general que define la secuencia y características de las etapas a seguir en el estudio de ecosistemas y de la transformación de su estado original a otro más conveniente.”

Se parte de la hipótesis de que existe un estado óptimo definible mediante criterios que dependen de quién(es) toman decisiones en torno al ecosistema en cuestión y que es posible orientar el estado original al óptimo definido.

La metodología para desarrollar dicha orientación consta de seis partes: examen, diagnóstico, tratamiento, estrategia, ejecución y comprobación. La definición de estas etapas se hacen en referencia a lo propuesto por Nava et al. (1996).

I.3.1 Examen

“Estudio, observación y medición de signos. Los signos se definen como atributos que pueden percibirse con los sentidos, instrumentos o equipo de laboratorio y que se pueden diferenciar por sus características físicas.” (Nava et al., 1996)

I.3.2 Diagnóstico

Esta parte consta de dos procesos: Ordenamiento de la información y valoración de la información. El primer proceso se define por su nombre, implica ordenar la información recabada en el Examen y debe almacenarse para ser utilizada en el diagnóstico. En el segundo proceso se debe, en primer lugar, definir el estado particular en que se encuentra un ecosistema. Por otro lado, se debe establecer un óptimo a partir de los criterios definidos por el tomador de decisiones en el ecosistema a estudiar. El diagnóstico a emitir se definirá en función de la desviación del estado actual del ecosistema en relación al óptimo determinado para él.

I.3.3 Tratamiento

La etapa de tratamiento consiste en el conjunto de procesos que debiesen hacer tender el estado inicial del sistema hacia el estado óptimo. Dichos procesos están guiados por operadores funcionales, que corresponden a los estímulos que deben aplicarse al ecosistema para llevarlo de un estado a otro.

I.3.4 Estrategia

Proyectar y dirigir la aplicación del tratamiento recomendado. El enfoque de la estrategia debe orientarse a buscar un desarrollo sustentable del ecosistema.

I.3.5 Ejecución

Corresponde a la aplicación de la estrategia propuesta.

I.3.6 Comprobación

Es la comparación entre el estado del sistema luego de la aplicación de la estrategia de tratamiento y el estado óptimo determinado en el diagnóstico. En caso de que el estado final y el estado óptimo del ecosistema difieran en forma significativa se hará necesario repetir alguna(s) de la(s) etapa(s) del proceso en la(s) cual(es) pudo haber errores en su aplicación.

4. Objetivos

El objetivo general de la presente memoria es generar una herramienta de evaluación energética a escala predial que permita establecer líneas de acción para alcanzar un estado óptimo, en función de variables ambientales, sociales y económicas y que sea vinculable con otras herramientas para el ordenamiento territorial. Tomando como base de trabajo la Metodología Clínica propuesta por Nava et al. (1996).

Objetivos Específicos:

1. Desarrollar una metodología para determinar el estado energético de predios, estableciendo las variables a estudiar.
2. Determinar la matriz energética y usos de la energía en un predio.
3. Caracterizar el territorio y determinar los recursos energéticos disponibles.
4. Aplicar la metodología desarrollada para el análisis energético a los casos de estudio.

5. Alcances

El estudio se llevó a cabo en la comuna de Hualqui debido a la iniciativa de un empresario local que busca hacer un estudio acabado de la zona con el fin de generar un proyecto de desarrollo de la localidad por lo que solicitó a la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile su asesoría. Es así como esta facultad ha estado llevando a cabo un proyecto de Desarrollo Rural Sostenible en el cual se enmarca esta memoria. Como se expresó anteriormente, el presente estudio abarca el análisis de territorio desde el punto de vista energético y se aplicó en tres predios de la comuna debido a que fue en ellos donde fue posible obtener la mayor cantidad de información.

El estudio toma como año base el 2011 ya que fue en ese período donde se realizó la aplicación de las etapas de examen y diagnóstico de la metodología. Todos los valores utilizados corresponden a los obtenidos y calculados ese año.

Debido a la naturaleza de la energía, como ella no tiene un sentido práctico en si misma y su definición se enfoca hacia el uso que se le da (en la generación tanto de bienes como de servicios), la aplicación de este estudio no debe ser la única herramienta a utilizar en la toma de decisiones debido a los múltiples usos que se le puede dar al territorio y a las fuentes utilizadas para la generación energética.

6. Metodología de Investigación

La investigación se dividió en seis etapas que se detallan a continuación:

I.6.1 Etapa 1: Definición del tema de estudio.

Antes de comenzar la investigación se recibió una propuesta general de área estudio en el marco de un Proyecto de Desarrollo Rural Sostenible que lleva a cabo la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile, para analizar el tema energético. El problema a trabajar en el estudio se define posteriormente a la revisión bibliográfica.

I.6.2 Etapa 2: Revisión bibliográfica.

Durante esta etapa se realizó una revisión bibliográfica de las principales metodologías existentes para el estudio de la energía a nivel territorial.

I.6.3 Etapa 3: Diseño de propuesta metodológica para la evaluación energética de predios.

Una vez realizada la revisión bibliográfica se selecciona la Metodología Clínica propuesta por Nava et al. (1996) y se modifican los procesos propuestos para aplicarlos desde el punto de vista energético. Se determinan las variables a medir, sus relaciones funcionales y el método para determinar el estado inicial y el estado óptimo predial.

I.6.4 Etapa 4: Levantamiento de datos.

Se realizaron salidas a terreno con el fin de conocer diversos predios. En ellos se realiza la recolección de la información necesaria para la aplicación de la propuesta desarrollada en la etapa anterior.

I.6.5 Etapa 5: Selección y aplicación de la propuesta a casos de estudio.

Se seleccionaron tres casos de estudio a trabajar en base a la disponibilidad de información obtenida en la etapa anterior. A estos tres casos se les aplicaron las etapas de examen, diagnóstico y tratamiento de la metodología de evaluación propuesta.

I.6.6 Etapa 6: Conclusiones y líneas de investigación

En esta etapa se analizaron los resultados de los casos de estudio y se establecieron las conclusiones a partir de ellos, además de discutir la metodología propuesta, las debilidades y las futuras líneas de investigación para complementar el estudio.

7. Organización de la memoria

El presente documento se divide en cuatro capítulos principales. El capítulo introductorio indica algunas de las principales metodologías para evaluar energéticamente el territorio, además de definiciones fundamentales necesarias para la correcta comprensión del documento. Por otro lado presenta el problema a trabajar, los objetivos de la investigación y su alcance.

El Capítulo II explica la “Propuesta Metodológica para la Evaluación Energética de Predios”, que desarrolla las diversas etapas que componen dicha evaluación.

El Capítulo III corresponde a la “Aplicación a Casos de Estudio”, en el cual se detalla la evaluación realizada a los predios “Talcamávida”, “San Sebastián” y “Rangel” en la comuna de Hualqui, Región del Bío – Bío.

El último capítulo se muestran “Conclusiones, discusión de la metodología y recomendaciones”.

II. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE PREDIOS

El estudio consistió en cuatro etapas principales.

La primera de ellas comprendió la definición de los indicadores de desempeño energético y las variables que determinan cada uno de ellos.

Se definieron cuatro indicadores agrupados en tres distintos ámbitos. Los tres ámbitos son: Ambiental, Social y Económico. Estos ámbitos se definieron teniendo como objetivo el desarrollo sustentable a nivel predial.

II.1 Indicadores

Los cuatro indicadores y las variables que influyen en cada uno de ellos se detallan a continuación:

II.1.1 Indicadores ambientales

Se desarrollaron dos indicadores que muestran el desempeño ambiental del predio. El primero de ellos entrega el **nivel de emisiones de dióxido de carbono** (CO₂) producto del consumo energético. Se creó este indicador porque los inventarios de gases de efecto invernadero, en particular el CO₂, es una herramienta ampliamente utilizada a nivel mundial como indicador de impacto ambiental (IPCC, 2007). Por otro lado, su método de cálculo es simple, facilitando su análisis.

El cálculo de este indicador se muestra a continuación:

$$CO_2 = \frac{CO_{2o}}{CO_{2i}} \quad (2)$$

Donde:

CO_{2o} = Emisiones de CO₂ óptimo (Ton CO₂)

CO_{2i} = Emisiones de CO₂ inicial (Ton CO₂)

Este indicador se calcula de esta forma ya que la escala construida para evaluar los predios toma valores entre 0 y 1. Se asume que el nivel de emisiones óptimo será menor o igual al nivel inicial.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se modificó ligeramente¹ la metodología propuesta en el Manual de Estadísticas Energéticas de la OLADE para el año 2011 (OLADE, 2011)

$$CO_{2j} = E_{elec}^j \cdot FE_{elec} + \sum_k E_k^j \cdot FE_k \cdot FO_k, j \in \{i, o\} \quad (3)$$

Donde:

E_{elec}^j
= Consumo de electricidad del sistema interconectado en el estado j (MJ)

$$FE_{elec} = \text{Factor de emisión del SIC} \left(\frac{\text{Ton } CO_2}{\text{MJ}} \right)$$

E_k^j = Consumo del energético k en el estado j (MJ)

$$FE_k = \text{Factor de emisión del energético k} \left(\frac{\text{Ton } CO_2}{\text{MJ}} \right)$$

FO_k = Fracción de carbono oxidado del energético k

A continuación se muestran los factores de emisión y fracción de carbono oxidado para diversos energéticos:

Tabla II.1: Factores de Emisión y Fracción de Carbono Oxidado.

ENERGÉTICO	Factor de emisión (ton. CO ₂ /MJ)	Fracción de carbono oxidado
Petróleo	0,000073	0,990
Gasolina	0,000069	0,990
Kerosene	0,000072	0,990

¹ La propuesta original de OLADE considera el consumo no energético de los combustibles, éste no se considera ya que no se contabiliza en el presente estudio.

Diesel	0,000074	0,990
Fuel Oil	0,000077	0,990
GLP	0,000063	0,990
Gases no energéticos	0,000056	0,990
Carbón	0,000098	0,980
Coque	0,000108	0,980
Gas Natural	0,000056	0,995
Biomasa	0,000110	0,700
Electricidad (SIC²)	0,000133	-

Fuente: (OLADE, 2011; Asociación Chilena de Eficiencia Energética, 2011)

Como segundo indicador ambiental se utilizó la **eficiencia de transformación** de energía final en energía útil. Se generó este indicador porque permite observar qué parte de la energía utilizada se está desperdiciando y qué parte se está realmente utilizando en el fin esperado. Un aumento en este índice lleva a una mejor utilización de la energía y a futuro podría conducir a un menor consumo energético.

El cálculo del indicador se muestra a continuación:

$$\eta_t = \frac{\eta_t^i}{\eta_t^o} \quad (4)$$

Donde:

η_t^i = Índice de eficiencia en el estado inicial *i*.

η_t^o = Índice de eficiencia en el estado óptimo *o*.

Cada uno de los índices de eficiencia es un promedio ponderado de las eficiencias de transformación de cada uno de los energéticos utilizados:

$$\eta_t^j = \frac{\sum_k E_k^j \cdot \eta_k}{\sum_k E_k^j}, j \in \{i, o\} \quad (5)$$

² Sistema Interconectado Central eléctrico de Chile.

Donde:

$E_k^j = \text{Consumo del energético } k \text{ en el estado } j \text{ (MJ)}$

$\eta_k = \text{Eficiencia de transformación del energético } k.$

A continuación se presentan las eficiencias de transformación para cada energético estudiado:

Tabla II.2: Eficiencias de transformación a energía útil.

Energético	Eficiencia de transformación
Electricidad	0,8
GLP	0,4
Gasolina	0,35
Kerosene	0,35
Diesel	0,35
Fuel oil	0,35
Gas natural, otros gases	0,5
Carbón mineral	0,2
Leña, carbón vegetal	0,1
Otras primarias	0,07

Fuente: Salgado y Altomonte, 2001

II.1.2 Indicador Social

Como indicador del ámbito social se desarrolló el índice de autarquía. La autarquía se define, en una de sus acepciones, como “política de un Estado que intenta basarse en sus propios recursos” (RAE, 2001). En términos del presente estudio, se entiende la autarquía en el sentido expuesto anteriormente, enfocándose exclusivamente a la autosuficiencia energética y en lugar de ser un Estado se hace referencia a un predio.

A través de este indicador es posible observar el nivel de dependencia que tiene un predio de recursos externos y por lo tanto el nivel de relación con su entorno.

El cálculo de este indicador se muestra a continuación:

(6)

$$A = \frac{A_i}{A_o}$$

Donde:

$A_i =$ nivel de autarquía en el estado inicial i .

$A_o =$ nivel de autarquía en el estado óptimo o

Para la obtención de estos niveles fue necesario categorizar las fuentes energéticas entre internas y externas. Las internas son aquellas que se encuentran presentes en el territorio y las externas son aquellas cuyo origen se encuentra fuera de los límites del predio. Luego:

$$A_j = \frac{\sum_k E_k^j \cdot O_k}{\sum_k E_k^j}, j \in \{i, o\} \quad (7)$$

Donde:

$A_j =$ nivel de autarquía en el estado j .

$E_k^j =$ Consumo del energético k en el estado j . (MJ)

$O_k =$ Origen del energético k . $O_k = \begin{cases} 0, & \text{si el energético } k \text{ es externo} \\ 1, & \text{si el energético } k \text{ es interno} \end{cases}$

Para efectos del estudio se asume que es preferible una mayor independencia energética; por lo tanto, el óptimo se encontrará en un mayor valor para la autarquía.

II.1.3 Indicador económico

Por último, desde el punto de vista económico, se calculó el costo monetario del nivel de consumo energético predial. A continuación se muestra el cálculo del indicador:

$$C = \frac{C_o}{C_i} \quad (8)$$

Donde:

$C_o =$ Costo monetario del consumo energético en el estado óptimo o .

$C_i =$ Costo monetario del consumo energético en el estado inicial i .

El cálculo del costo monetario del consumo energético se obtiene como se detalla a continuación:

$$C_j = \sum_k E_k^j \cdot C_k, j \in \{i, o\}(\$) \quad (9)$$

Donde:

$$E_k^j = \text{Consumo del energético } k \text{ en el estado } j. (MJ)$$

$$C_k = \text{Costo monetario por unidad de energía del energético } k. \left(\frac{\$}{MJ}\right)$$

A continuación se presentan los costos monetarios de cada energético:

Tabla II.3: Costo de la energía por MJ. (Año 2011)

Energético	Costo (\$/MJ)
Electricidad (SIC)	60,3
GLP	145
Gasolina	20,9
Diesel	14,1
Leña	1,5
Electricidad (Fotovoltaica)	21,4
Electricidad (Eólica)	18,3

Fuente: FRONTEL, 2011; Econsult, 2011; D. Valenzuela (comunicación personal, enero, 2011); Vergara, 2010.

Al analizar esta variable se asume que siempre será preferible un menor costo de la energía, por lo tanto el valor óptimo del costo se encontrará en el menor valor posible.

II.2 Examen

La segunda etapa de la metodología es el **Examen**, en el cual se recaban los diversos signos energéticos que determinan los indicadores ya definidos.

Desde el punto de vista energético es relevante conocer el nivel de consumo de cada predio, cuáles son las fuentes energéticas que conforman la matriz del predio y cuál es el uso que se le da a la energía. Además, es necesario evaluar los recursos energéticos disponibles en el territorio.

Para el primer conjunto de signos se diseñó una ficha para el levantamiento de datos la cual se aplicó en formato de entrevista al propietario de cada predio evaluado, la ficha se adjunta en el anexo A. El segundo conjunto de signos se obtuvo mediante la caracterización del territorio y la plataforma del Ministerio de Energía “Explorador de Energía Solar”(Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, 2011), a partir de los cuales se registraron áreas de cultivos forestales, recursos hídricos, índices de radiación solar y velocidad del viento.

II.1.4 Fuentes energéticas utilizadas

Las fuentes energéticas utilizadas en los distintos predios son:

- Biomasa (Leña fundamentalmente)
- Gas licuado del petróleo
- Electricidad (Sistema Interconectado)
- Gasolina
- Diesel

Si bien, algunos predios no presentan consumo de alguna de estas fuentes, para establecer la matriz energética se consideraron todas las nombradas anteriormente.

II.1.5 Uso de la energía

Cada fuente energética fue asociada a un uso particular en función de la información obtenida de las entrevistas con cada uno de los propietarios. De esta manera se determinaron cuatro tipos de uso:

- Uso 1: Calefacción – Cocina.
- Uso 2: Electrodomésticos – Equipos eléctricos.
- Uso 3: Transporte.
- Uso 4: Maquinaria agrícola.

Para cada uso se identificaron fuentes energéticas asociadas que se detallan a continuación. Para efectos del estudio se asume que dos fuentes energéticas asociadas a un mismo uso son sustitutos perfectos.

- Fuentes Uso 1: Biomasa, GLP.
- Fuentes Uso 2: Electricidad.
- Fuentes Uso 3: Gasolina, Diesel.
- Fuentes Uso 4: Diesel

II.1.6 Recursos disponibles

Tal como se indicó anteriormente, mediante la caracterización del territorio se obtuvieron los recursos energéticos disponibles en cada predio, además del “Explorador de Energía Solar” que arroja datos del recurso eólico además de la radiación solar. Las fuentes a evaluar son:

- Biomasa: se determinó la superficie de cultivo forestal de cada predio. Para determinar el potencial energético se asumió una productividad de cultivo forestal de 20 m³/ha/año (Valencia & Cabrera, 2007); un factor de conversión volumétrico de estéreo (m³) a sólido (ton) de 0,6 (Lobos, 2001); y un poder calorífico de 14,118 MJ/kg (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).
- Hídrica: se evaluaron los recursos hídricos disponibles en el predio.
- Solar: se determinó la radiación solar incidente en el predio. Para determinar el potencial energético se asumió que el uso de la energía solar era para generar electricidad a través de paneles fotovoltaicos. La energía a generar se calculó a través de la siguiente ecuación (Tester, 2005):

$$E = S \cdot I \cdot d \cdot \eta_s \cdot \eta_i \quad (10)$$

Donde:

E: Energía eléctrica generada. (kWh)

S: Superficie del panel solar. (m²)

I: Nivel de insolación promedio anual. $\left(\frac{kWh}{m^2 \cdot día}\right)$

d : cantidad de días. (día)

η_s : Eficiencia de la celda fotovoltaica.

η_i : Eficiencia del inversor.

Para el cálculo del potencial energético de cada predio se supuso una superficie de 1 m². Se utilizó una eficiencia de la celda fotovoltaica del 16% (Tester, 2005) y una eficiencia del inversor del 85% (Tester, 2005).

- Eólica: se obtuvo la velocidad del viento a 10 metros de la superficie. Para determinar el potencial de generación energética se asumió que esta fuente se transformará en energía eléctrica. Para dicha transformación, se utilizó la siguiente ecuación (Tester, 2005):

$$P = C_p \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (11)$$

Donde:

P : Potencia de la turbina. (W)

C_p : Eficiencia del rotor.

A : Área barrida por la turbina. (m²)

ρ : Densidad del aire. $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

v : Velocidad del viento promedio anual. $\left(\frac{m}{s}\right)$

Se asumió una eficiencia del rotor de 0,3 (Tester, 2005). Para el cálculo del área se asumió como valor referencial de 2 m para el diámetro de las aspas. La densidad del aire corresponde a aproximadamente 1,19 $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

La potencia calculada se multiplica por la cantidad de horas anuales (8760 h) y se ajusta por un factor de planta de 30% (Tester, 2005), obteniéndose la energía generada anualmente.

II.3 Diagnóstico

En el diagnóstico se utiliza cada uno de los signos medidos en el examen para poder establecer algún tipo de enfermedad energética asociada a los indicadores anteriormente detallados. Se determinan los estados óptimos para cada uno de los indicadores definidos anteriormente como se muestra a continuación.

Para el cálculo del nivel de emisiones de CO₂ óptimo de un predio se utiliza Solver de Microsoft Excel, mediante el método Simplex.

Para esto se establece como función objetivo la siguiente expresión:

$$CO_2(E_k) = \frac{E_{elec} \cdot FE_{elec} + \sum_k E_k \cdot FE_k \cdot FO_k}{\sum_k E_k}$$

Donde:

E_{elec} = Consumo de energía eléctrica. (MJ)

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

FE_{elec} = Factor de emisión Sistema Interconectado $\left(\frac{Ton CO_2}{MJ}\right)$

FE_k = Factor de emisión del energético k $\left(\frac{Ton CO_2}{MJ}\right)$

FO_k = Fracción de carbono oxidado del energético k

La función enunciada se minimiza variando el consumo de cada uno de los energéticos, y dicha función se encuentra sujeta a las siguientes restricciones:

Aseguramiento de cubrir las necesidades para los diversos usos de la energía.

$$D_l = Con_l, \forall l \in [1,4]$$

Donde:

D_l = Demanda energética para el uso l. (MJ)

Con_l = Consumo energético para el uso l. (MJ)

Límites físicos de consumo energético de las diversas fuentes, no es posible consumir más que lo que está disponible.

$$E_k \leq Pot_k, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Pot_k = Potencial de generación del energético k. (MJ)

Restricción del consumo energético sólo a valores no negativos, dado que el caso contrario es imposible.

$$E_k \geq 0, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Para el cálculo de la eficiencia de transformación óptima de un predio se utiliza Solver de Microsoft Excel, mediante el método Simplex.

Para esto se establece como función objetivo la siguiente expresión:

$$\eta(E_k) = \frac{\sum_k E_k \cdot \eta_k}{\sum_k E_k}$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

η_k = Eficiencia de transformación del energético k.

La función enunciada se maximiza variando el consumo de cada uno de los energéticos, y dicha función se encuentra sujeta a las siguientes restricciones:

Aseguramiento de cubrir las necesidades para los diversos usos de la energía.

$$D_l = Con_l, \forall l \in [1,4]$$

Donde:

D_l = Demanda energética para el uso l. (MJ)

Con_l = Consumo energético para el uso l. (MJ)

Límites físicos de consumo energético de las diversas fuentes, no es posible consumir más que lo que está disponible.

$$E_k \leq Pot_k, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Pot_k = Potencial de generación del energético k. (MJ)

Restricción del consumo energético sólo a valores no negativos, dado que el caso contrario es imposible.

$$E_k \geq 0, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Para el cálculo del nivel de autarquía óptimo de un predio se utiliza Solver de Microsoft Excel, mediante el método Simplex.

Para esto se establece como función objetivo la siguiente expresión:

$$A(E_k) = \frac{\sum_k E_k \cdot O_k}{\sum_k E_k}$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

O_k = Origen del energético k. $O_k = \begin{cases} 0, & \text{si el energético } k \text{ es externo} \\ 1, & \text{si el energético } k \text{ es interno} \end{cases}$

La función enunciada se maximiza variando el consumo de cada uno de los energéticos, y dicha función se encuentra sujeta a las siguientes restricciones:

Aseguramiento de cubrir las necesidades para los diversos usos de la energía.

$$D_l = Con_l, \forall l \in [1,4]$$

Donde:

D_l = Demanda energética para el uso l. (MJ)

Con_l = Consumo energético para el uso l. (MJ)

Límites físicos de consumo energético de las diversas fuentes, no es posible consumir más que lo que está disponible.

$$E_k \leq Pot_k, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Pot_k = Potencial de generación del energético k. (MJ)

Restricción del consumo energético sólo a valores no negativos, dado que el caso contrario es imposible.

$$E_k \geq 0, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Para el cálculo del costo monetario óptimo de la energía en un predio se utiliza Solver de Microsoft Excel, mediante el método Simplex.

Para esto se establece como función objetivo la siguiente expresión:

$$C(E_k) = \sum_k E_k \cdot C_k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

C_k = Costo monetario por unidad de energía del energético k. $\left(\frac{\$}{MJ}\right)$

La función enunciada se minimiza variando el consumo de cada uno de los energéticos, y dicha función se encuentra sujeta a las siguientes restricciones:

Aseguramiento de cubrir las necesidades para los diversos usos de la energía.

$$D_l = Con_l, \forall l \in [1,4]$$

Donde:

D_l = Demanda energética para el uso l. (MJ)

Con_l = Consumo energético para el uso l. (MJ)

Límites físicos de consumo energético de las diversas fuentes, no es posible consumir más que lo que está disponible.

$$E_k \leq Pot_k, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Pot_k = Potencial de generación del energético k. (MJ)

Restricción del consumo energético sólo a valores no negativos, dado que el caso contrario es imposible.

$$E_k \geq 0, \forall k$$

Donde:

E_k = Consumo del energético k. (MJ)

Dado que los valores de cada uno de los indicadores se encuentran entre 0 y 1 se establece una escala que determina el estado energético del predio. Se estableció una escala lineal que determina el estado del predio, dicha escala puede variar dependiendo del tipo de predio evaluado y las exigencias establecidas para cada estado. Los intervalos y estados se muestran a continuación:

Tabla II.4: Estado energético.

Intervalo	Estado
[0 – 0,2[Muy Pobre
[0,2 – 0,4[Pobre
[0,4 – 0,6[Regular
[0,6 – 0,8[Bueno
[0,8 – 1]	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

Por último, además de los diagnósticos por ámbito particular, se emite un diagnóstico energético predial, utilizando la misma escala se calcula el promedio de los cuatro indicadores involucrados obteniendo el estado energético.

II.4 Tratamiento

En esta etapa de la metodología se deben establecer los operadores funcionales para generar el cambio del estado inicial del predio hacia el estado óptimo determinado.

Debido a limitaciones técnicas y de recursos no se determinan los operadores funcionales, sólo se establecen lineamientos generales para generar cambios en la matriz energética predial que lleven a un mejor desempeño a nivel de indicadores. Es decir, cambios de fuentes energéticas para mejorar cada uno de los indicadores calculados buscando un mejor desempeño global del predio.

III. APLICACIÓN A CASOS DE ESTUDIO

En la siguiente sección se muestra la aplicación de la metodología propuesta en tres predios distintos de la comuna de Hualqui. Se trabajó con estos predios debido a que en ellos se obtuvo la mejor información posible con los recursos disponibles para el estudio.

III.1 Predio Talcamávida

El predio “Talcamávida” tiene como propietario al Sr. Dino Valenzuela quién se dedica a la producción de hortalizas. El predio se encuentra ubicado en la entrada poniente de la localidad de Talcamávida en la ribera norte del río Bío – Bío, la ubicación geográfica del predio es:

Zona: 18 H

Coordenada Este: 684992 E

Coordenada Norte: 5885176 S

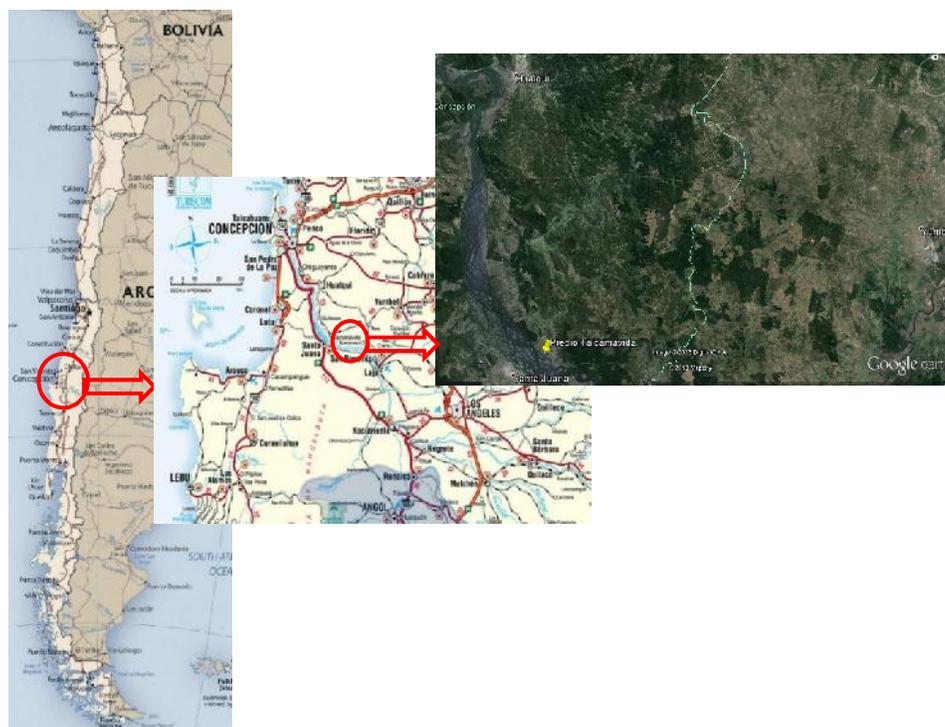


Figura III.1: Esquema de localización predio Talcamávida.

Fuente: Google Earth

III.1.1 Examen

Al aplicársele la ficha de signos energéticos, se obtuvieron los siguientes datos de consumo:

Tabla III.1: Consumo y usos de la energía predio Talcamávida.

Fuente	Consumo (MJ/Año)	Uso
Biomasa	52.942	1
Electricidad	9.940	2
GLP	90	1
Gasolina	57.479	3

Fuente: D. Valenzuela (comunicación personal, enero, 2011).

Como se observa, los principales consumos energéticos provienen de la biomasa y la gasolina. La participación porcentual de cada uno de los energéticos se muestra a continuación:

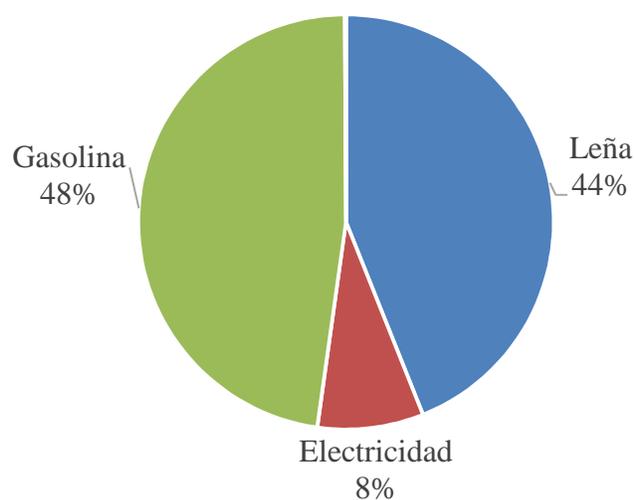


Figura III.2: Participación de cada energético en el predio Talcamávida.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del levantamiento de datos para los recursos energéticos disponibles se tienen los siguientes datos:

Tabla III.2: Potencial de generación predio Talcamávida.

Fuente	Potencial de generación (MJ/Año)
Biomasa	5.421
Solar	531
Eólica	546

Fuente: Elaboración propia; Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (2011).

III.1.2 Diagnóstico

A partir de estos signos energéticos se diagnostican posibles enfermedades ecosistémicas desde el punto de vista de la energía. En primer lugar se determinan los índices óptimos para cada uno de los indicadores.

Dados los recursos energéticos disponibles, es posible anticipar que el consumo de gasolina no sufrirá cambios debido a que no hay un sustituto para ella a diferencia de los otros energéticos.

III.1.2.1 Índices iniciales

En la siguiente sección se muestran los distintos índices para el cálculo de los distintos indicadores.

Tabla III.3: Índices iniciales predio Talcamávida.

Ámbito	Índice	Valor
Ambiental	CO _{2i} (Ton CO ₂)	10,32
Ambiental	i	0,28
Social	A _i	0,05
Económico	C _i (\$)	1.894.108

Fuente: Elaboración propia.

III.1.2.2 Óptimos prediales

A continuación se muestra los óptimos en función de los distintos criterios de optimización a partir de los cuales se obtendrán los indicadores.

III.1.2.2.1 Autarquía

Al optimizar privilegiando el primer criterio, maximizando la energía proveniente de fuentes disponibles en el predio, se obtiene la siguiente matriz energética:

Tabla III.4: Matriz energética Autarquía predio Talcamávida.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	5.421
Biomasa externa	47.611
GLP	0
Red Eléctrica	8.864
Solar fotovoltaica	531
Eólica	546
Gasolina	57.479
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia

Al optimizar este criterio se observa una disminución en el consumo de gas licuado, privilegiando el consumo de biomasa interna dado que ésta es un recurso disponible dentro del territorio, asumiendo que son sustitutos perfectos. Por otro lado se observa también que disminuye el consumo de energía eléctrica proveniente de la red, ahora se incluye la generación de energía eléctrica a partir de los recursos solar y eólico debido a que son fuentes de energía propias del predio. No se observan diferencias en el consumo de gasolina ya que no hay sustitutos disponibles.

Se obtiene un índice de autarquía óptimo de $A_o = 0,06$

III.1.2.2.2 Eficiencia

Al optimizar en función de este criterio, se obtiene la siguiente matriz ideal:

Tabla III.5: Matriz energética Eficiencia predio Talcamávida.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	0
Biomasa externa	0
GLP	53.033
Red Eléctrica	9.940
Solar	0
Eólica	0
Gasolina	57.479
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia

Un cambio relevante es la anulación del consumo de biomasa, favoreciendo el uso de GLP. Este cambio se explica por la gran diferencia entre la eficiencia de transformación de la leña y la del GLP. No se observan cambios en el consumo de energía eléctrica, esto se debe a que las fuentes alternativas no proporcionan ninguna ventaja en términos de transformación a energía útil en comparación con la electricidad proveniente de la red, dado que la eficiencia de transformación es única para la electricidad independiente de la fuente utilizada para su generación.

La eficiencia promedio óptima para el predio es de $\eta = 0,41$

III.1.2.2.3 Emisiones

La optimización, considerando como criterio relevante las emisiones de CO₂, arrojó la siguiente matriz:

Tabla III.6: Matriz energética Emisiones predio Talcamávida.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	0
Biomasa externa	0
GLP	53.033
Red Eléctrica	8.864
Solar	531
Eólica	546
Gasolina	57.479

Fuente: Elaboración propia

El principal cambio que genera esta optimización es la eliminación del consumo de Biomasa, favoreciendo el consumo de Gas Licuado. Este cambio se debe a que el factor de emisión del gas licuado es menor que el de la biomasa, asumiendo que son sustitutos perfectos, se genera el cambio completo a este combustible.

Las emisiones que podría generar el predio en el óptimo son: CO_{2o} = 8,44 ton de CO₂

III.1.2.2.4 Costo

Al minimizar los costos para obtener el óptimo, se obtiene la siguiente matriz ideal:

Tabla III.7: Matriz energética Costo predio Talcamávida.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	5.421
Biomasa externa	47.611
GLP	0
Red Eléctrica	8.864
Solar	531
Eólica	546
Gasolina	57.479
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia

Se observa la eliminación del consumo de GLP con el consiguiente aumento del consumo de biomasa debido a su menor costo por MJ. Además, se observa una disminución del consumo de electricidad proveniente de la red. Este cambio es muy sensible al precio establecido para la energía fotovoltaica y eólica.

El costo óptimo para la energía es de: $C_o = \$1.837.527$.

III.1.2.3 Indicadores

Ahora se muestran los indicadores de estado del predio en función de los óptimos estimados:

Tabla III.8: Indicadores predio Talcamávida.

Ámbito	Indicador	Valor	Estado
Ambiental	CO ₂	0,817	Muy Bueno
Ambiental		0,678	Bueno
Social	A	0,834	Muy Bueno
Económico	C	0,970	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

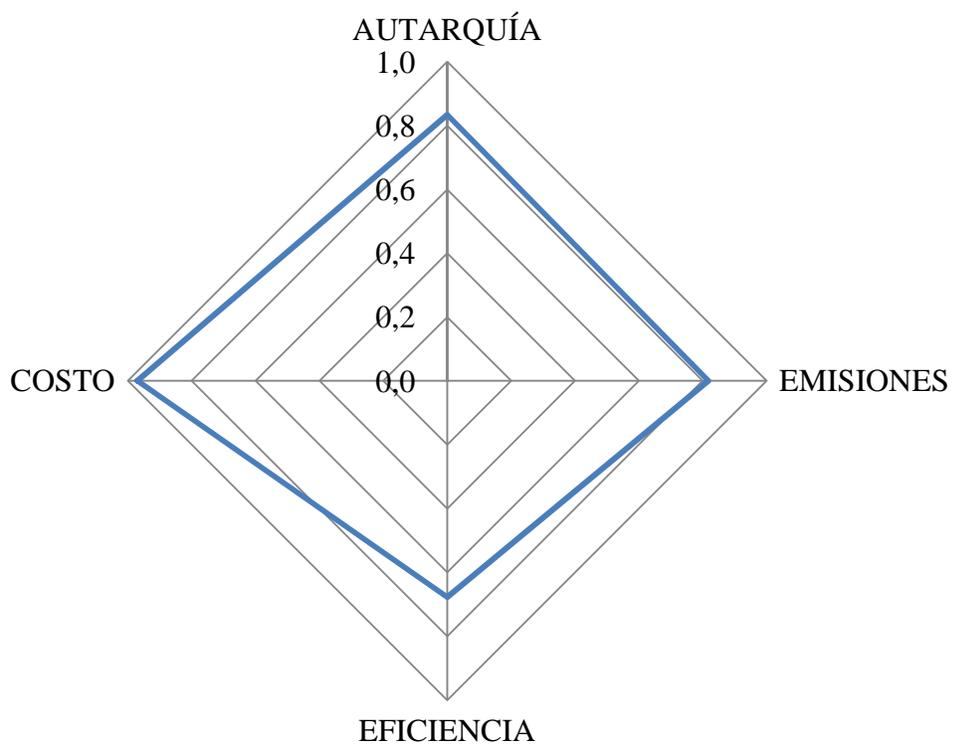


Figura III.3: Indicadores predio Talcamávida.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el desempeño en general del predio es muy bueno (con indicadores sobre 0,8), el que se encuentra más bajo es indicador de eficiencia. A continuación se muestra el estado energético predial promedio:

Tabla III.9: Estado general predio Talcamávida.

Ámbito	Valor	Estado
General	0,825	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Como recomendación se plantea el mejoramiento de la eficiencia de transformación. Para esto es preferible una mayor utilización de GLP disminuyendo el consumo de biomasa. Este cambio implicaría también una disminución de las emisiones de CO₂, aunque ello también trae aparejado un aumento del costo.

La determinación final siempre queda en manos del propietario y es él quién decide qué tipo de cambios realizar en función de sus propias valoraciones de cada indicador.

III.2 Predio San Sebastián

El predio “San Sebastián”, cuyo propietario es el Sr. Segundo Arias, se encuentra ubicado dentro del fundo “Centinela” a 5 km. de la localidad de Quilacoya. Las coordenadas del predio son:

Zona: 18 H

Coordenada Este: 684471 E

Coordenada Norte: 5893741 S

El predio se utiliza para la producción hortícola para su posterior venta en las localidades cercanas.

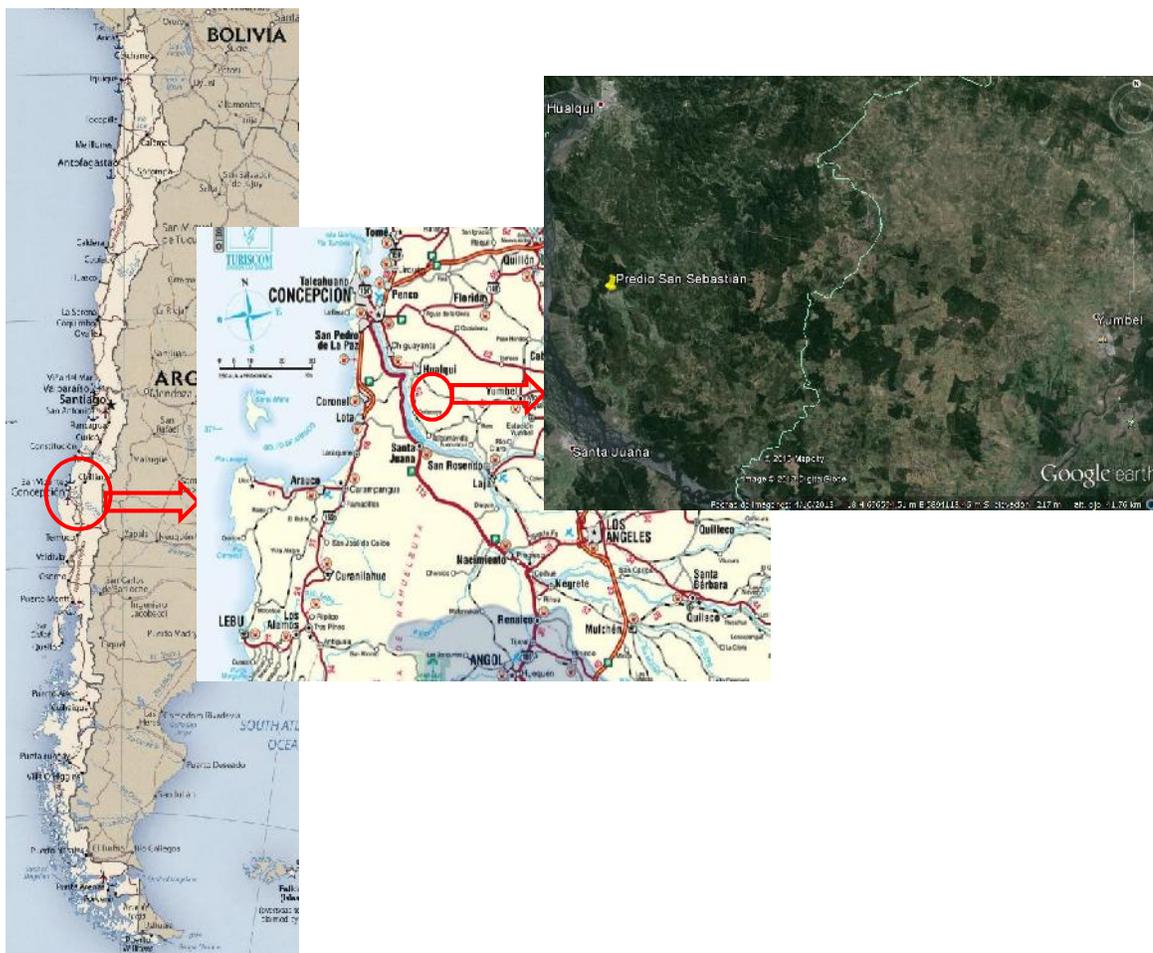


Figura III.4: Localización geográfica predio San Sebastián

Fuente: Google Earth

III.1.3 Examen

Desde el levantamiento de signos energéticos se obtuvieron los datos de consumo que se presentan a continuación:

Tabla III.10: Consumo y usos de la energía predio San Sebastián.

Fuente	Consumo (MJ/Año)	Uso
Biomasa	285.888	1
Electricidad	4.976	2
GLP	1.355	1
Gasolina	80.471	3
Diesel	51.861	4

Fuente: S. Arias (Comunicación personal, enero, 2011).

Como se observa, los principales consumos energéticos tienen como fuente biomasa, gasolina y petróleo diesel. La participación porcentual de cada uno de los energéticos se muestra a continuación:

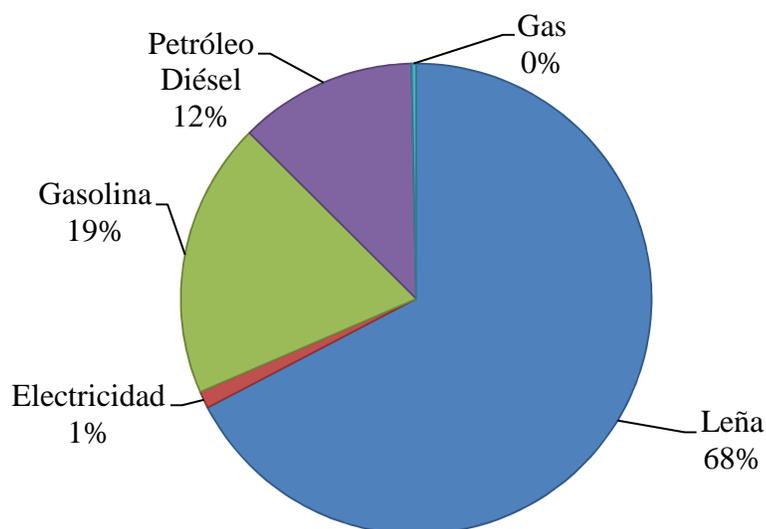


Figura III.5: Participación de cada energético en el predio San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del levantamiento de información para los recursos energéticos disponibles, se tienen los siguientes datos:

Tabla III.11: Potencial de generación predio San Sebastián.

Fuente	Potencial de generación (MJ/Año)
Biomasa	0
Solar	993
Eólica	248

Fuente: Elaboración propia; Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (2011).

III.1.4 Diagnóstico

A continuación se calculan los índices óptimos para cada uno de los indicadores con el fin de determinar posibles desviaciones.

Dados los recursos energéticos disponibles, es posible anticipar que los consumos de gasolina y petróleo diesel no sufrirán cambios debido a que no hay un sustituto para ellos a diferencia de los otros energéticos.

III.1.4.1 Índices iniciales

En la siguiente sección se muestran los distintos índices para el cálculo de los distintos indicadores.

Tabla III.12: Índices iniciales predio San Sebastián.

Ámbito	Índice	Valor
Ambiental	CO _{2i} (Ton CO ₂)	37,32
Ambiental	i	0,19
Social	A _i	0,00
Económico	C _i (\$)	3.285.993

Fuente: Elaboración propia.

III.1.4.2 Óptimos prediales

A continuación se muestra los óptimos en función de los distintos criterios de optimización a partir de los cuales se obtendrán los indicadores

III.1.4.2.1 Autarquía

Al optimizar privilegiando el primer criterio, maximizando la energía proveniente de fuentes disponibles en el predio, se obtiene la siguiente matriz energética:

Tabla III.13: Matriz energética Autarquía predio San Sebastián.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	0
Biomasa externa	285.901
GLP	1.343
Red Eléctrica	3.736
Solar fotovoltaica	993
Eólica	248
Gasolina	80.471
Diesel	51.861

Fuente: Elaboración propia

No se observan cambios en el consumo de energéticos de uso 1 debido a que el predio no tiene recursos que abastezcan ese uso. Por otro lado se observa que disminuye el consumo de energía eléctrica proveniente de la red, ahora se incluye la generación de energía eléctrica a partir de los recursos solar y eólico debido a que son fuentes de energía propias del predio. No se observan diferencias en el consumo de gasolina ya que no hay sustitutos disponibles.

Se obtiene un índice de autarquía óptimo de $A_o = 0,003$

III.1.4.2.2 Eficiencia

Al optimizar en función de este criterio, se obtiene la siguiente matriz ideal:

Tabla III.14: Matriz energética Eficiencia predio San Sebastián.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	0
Biomasa externa	0
GLP	287.243
Red Eléctrica	3.736
Solar	993
Eólica	248
Gasolina	80.471
Diesel	51.861

Fuente: Elaboración propia

El único cambio que se presenta es el consumo exclusivo de GLP para satisfacer el uso de Tipo 1. Esto ocurre debido a que su eficiencia de transformación es la más alta en relación a sus sustitutos. No se observan cambios en los otros energéticos.

La eficiencia promedio óptima para el predio es de $\eta = 0,39$

III.1.4.2.3 Emisiones

La optimización desde el punto de vista de las emisiones de CO₂ entregó la siguiente matriz:

Tabla III.15: Matriz energética Emisiones predio San Sebastián.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	0
Biomasa externa	0
GLP	287.243
Red Eléctrica	3.736
Solar	993
Eólica	248
Gasolina	80.471
Diesel	51.861

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la optimización inicial, en este caso se elimina el consumo de biomasa a favor del consumo de GLP, esto se debe al menor factor de emisión asociado a este energético. También se observa una disminución del consumo de energía desde la red eléctrica. Este cambio se produce debido a que se favorece la generación eléctrica a partir de fuentes que no generan emisiones de CO₂ (solar y eólica). No se observan cambios en los consumos de gasolina y diésel.

Las emisiones que podría generar el predio en el óptimo son son: CO_{2o} = 27,76 ton de CO₂

III.1.4.2.4 Costo

Al minimizar los costos para obtener el óptimo se obtiene la siguiente matriz ideal:

Tabla III.16: Matriz energética Costos predio San Sebastián.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	5.421
Biomasa externa	47.611
GLP	0
Red Eléctrica	8.864
Solar	531
Eólica	546
Gasolina	57.479
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia.

Se observa la eliminación del consumo de GLP con el consiguiente aumento del consumo de biomasa debido a su menor costo por MJ. Además, se observa una disminución del consumo de electricidad proveniente de la red. Este cambio es muy sensible al precio determinado para la energía fotovoltaica y eólica.

El costo óptimo para la energía es de: $C_o = \$3.102.006$.

III.1.4.3 Indicadores

Ahora se muestran los indicadores de estado del predio en función de los óptimos estimados:

Tabla III.17: Indicadores predio San Sebastián.

Ámbito	Indicador	Valor	Estado
Ambiental	CO ₂	0,744	Bueno
Ambiental		0,476	Regular
Social	A	0	Muy Pobre
Económico	C	0,944	Muy Bueno

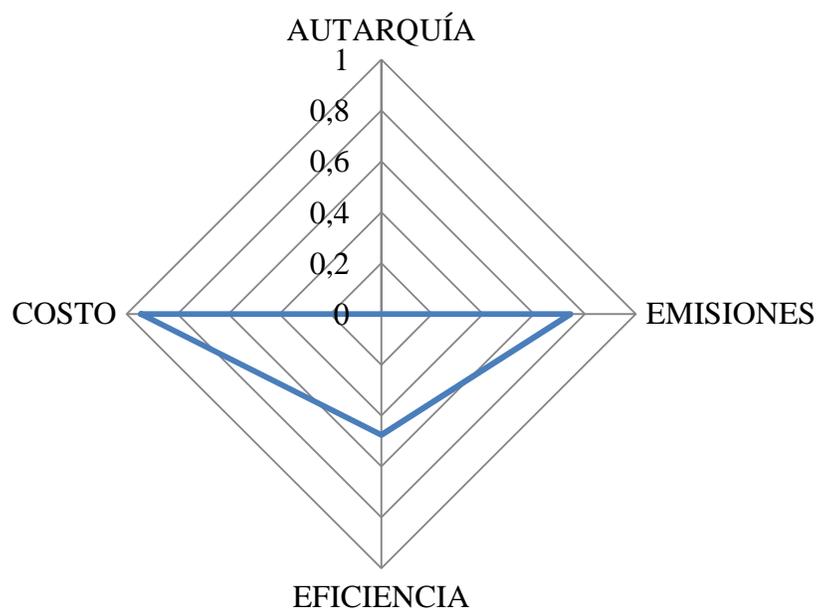


Figura III.6: Indicadores predio San Sebastián

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el desempeño en general del predio es regular. El indicador más bajo es el de autarquía. A continuación se muestra el estado energético predial promedio:

Tabla III.18: Estado general predio San Sebastián.

Ámbito	Valor	Estado
General	0,542	Regular

Fuente: Elaboración propia.

Si bien el indicador de autarquía es el más bajo (valor 0) no es recomendable hacer cambios en esa dirección ya que el índice óptimo también es muy bajo ($A_0 = 0,003$) debido a que el potencial energético del predio con recursos propios también lo es. Por otro lado, sí es posible mejorar sustancialmente la eficiencia de transformación. Para esto es preferible una mayor utilización de GLP disminuyendo el consumo de biomasa. Este cambio implicaría también una disminución de las emisiones de CO_2 . El realizar dicho cambio redundaría en un mayor costo de generación.

Nuevamente, la decisión final queda en manos del propietario en función de sus valoraciones y restricciones.

III.3 Predio Rangel

El predio “Rangel” es administrado por Gastón Saéz para la producción de trigo, viñedos, hortalizas, licores y gallinas. Se encuentra ubicado en el sector de Rangel a 8 kilómetros al noreste de Talcamávida. Las coordenadas del predio son:

Zona: 18 H

Coordenada Este: 690130 E

Coordenada Norte: 5888127 S

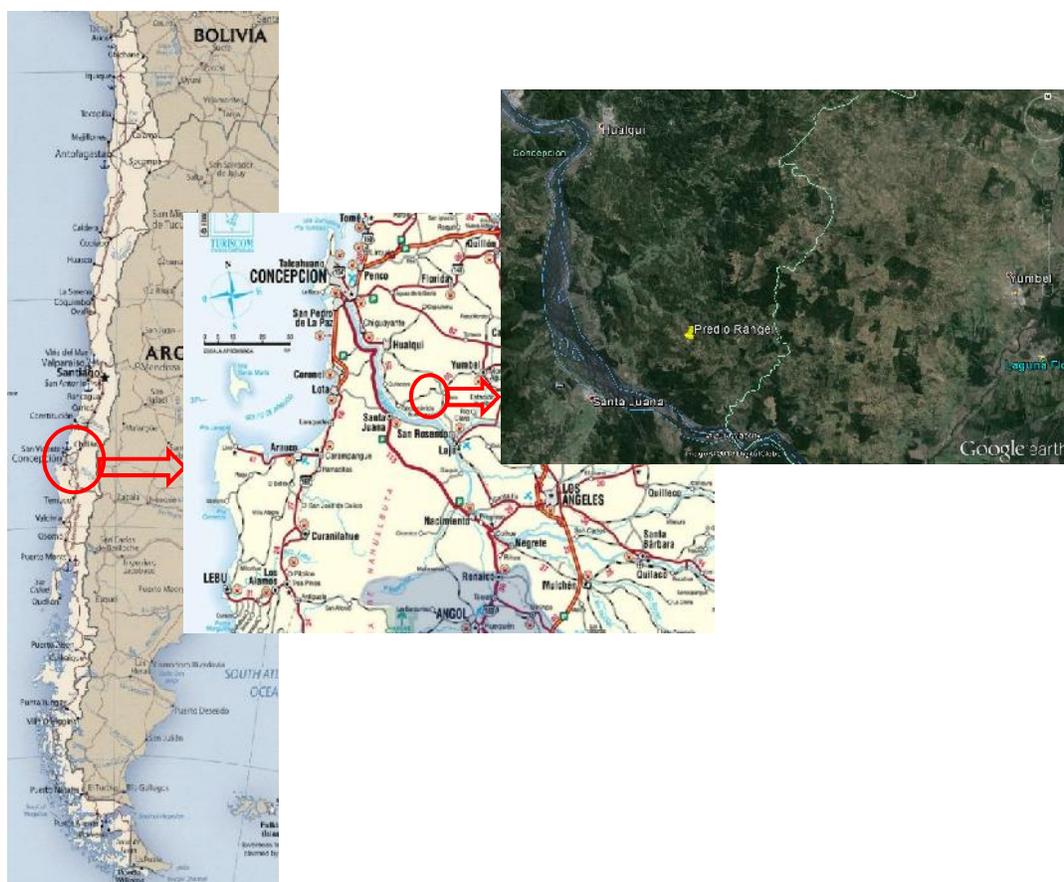


Figura III.7: Localización geográfica predio Rangel

Fuente: Google Earth

III.1.5 Examen

A continuación se presentan los datos asociados al consumo energético del predio:

Tabla III.19: Consumo y usos de la energía predio Rangel.

Fuente	Consumo (MJ/Año)	Uso
Biomasa	25.412	1
Electricidad	1.381	2
GLP	4.065	1
Gasolina	NC	3
Diesel	NC	4

Fuente: G. Sáez (Comunicación personal, enero, 2011)

El principal energético utilizado es la biomasa. No se pudo obtener información del consumo de gasolina y petróleo diesel (No Contabilizado).

A continuación se presenta la participación porcentual de cada uno de los energéticos:

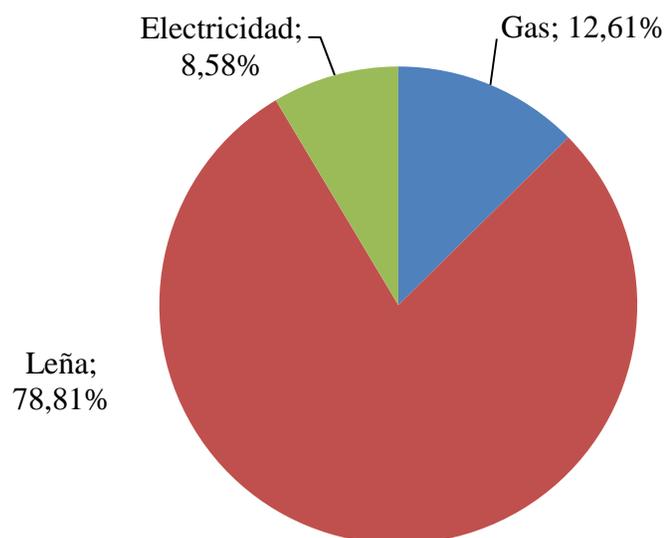


Figura III.8: Participación de cada energético en el predio Rangel.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del levantamiento de datos para los recursos energéticos disponibles se tienen los siguientes datos:

Tabla III.20: Potencial de generación predio Rangel.

Fuente	Potencial de generación (MJ/Año)
Biomasa	37.244
Solar	978
Eólica	424

Fuente: Elaboración propia; Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (2011).

III.1.6 Diagnóstico

III.1.6.1 Índices iniciales

En la siguiente sección se muestran los distintos índices para el cálculo de los distintos indicadores.

Tabla III.21: Índices iniciales predio Rangel.

Ámbito	Índice	Valor
Ambiental	CO_{2i} (Ton CO_2)	2,86
Ambiental	i	0,17
Social	A_i	0,82
Económico	C_i (\$)	712.406

Fuente: Elaboración propia.

III.1.6.2 Óptimos prediales

A continuación se muestra los óptimos en función de los distintos criterios de optimización a partir de los cuales se obtendrán los indicadores.

III.1.6.2.1 Autarquía

Al optimizar privilegiando el primer criterio, maximizando la energía proveniente de fuentes disponibles en el predio, se obtiene la siguiente matriz energética:

Tabla III.22: Matriz energética Autarquía predio Rangel.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	29.478
Biomasa externa	0
GLP	0
Red Eléctrica	1.365
Solar fotovoltaica	978
Eólica	424
Gasolina	0
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia.

El principal cambio se da en el consumo de biomasa anulando el consumo de GLP. Además, se observa un cambio en la fuente de electricidad donde, en lugar de la red, se suple parte del consumo con energía solar y eólica.

Se obtiene un índice de autarquía óptimo de $A_o = 0,96$

III.1.6.2.2 Eficiencia

Al optimizar en función de este criterio, se obtiene la siguiente matriz ideal:

Tabla III.23: Matriz energética Eficiencia predio Rangel.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	0
Biomasa externa	0
GLP	29.478
Red Eléctrica	1.477
Solar	866
Eólica	424
Gasolina	0
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia.

Se elimina el consumo de biomasa, sustituyéndose completamente por GLP debido a su mayor eficiencia de transformación. También se observa una diversificación en las fuentes de energía eléctrica, aunque este cambio no se asocia a una mejoría en la eficiencia de transformación.

La eficiencia promedio óptima para el predio es de $\eta_o = 0,43$

III.1.6.2.3 Emisiones

La optimización desde el punto de vista de las emisiones de CO₂ entregó la siguiente matriz:

Tabla III.24: Matriz energética Emisiones predio Rangel.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	0
Biomasa externa	0
GLP	29.478
Red Eléctrica	1.365
Solar	978
Eólica	424
Gasolina	0
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma que en el índice anterior, se anula el consumo de biomasa a cambio de un aumento en el consumo de GLP y también se diversifican las fuentes de electricidad. En este caso sí es posible explicar este cambio ya que el índice de emisión asociado a las nuevas fuentes es nulo a diferencia de la electricidad proveniente del SIC.

El nivel mínimo de emisiones que puede generar el predio es de: CO_{2o} = 2,02 ton de CO₂

III.1.6.2.4 Costo

Al minimizar los costos para obtener el óptimo se obtiene la siguiente matriz ideal:

Tabla III.25: Matriz energética Costo predio Rangel.

Fuente	Consumo (MJ)
Biomasa interna	29.478
Biomasa externa	0
GLP	0
Red Eléctrica	1.365
Solar	978
Eólica	424
Gasolina	0
Diesel	0

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de los índices anteriores, en este caso desaparece el consumo de GLP, utilizando exclusivamente biomasa de origen interno debido a su costo notablemente menor. En esta optimización se mantiene la diversificación de fuentes energéticas, copando la utilización del potencial de generación con recursos propios del predio debido a su bajo costo de generación en comparación con la electricidad proveniente del SIC.

El costo óptimo para la energía es de: $C_o = \$156.308$.

III.1.6.3 Indicadores

Ahora, se muestran los indicadores de estado del predio en función de los óptimos estimados:

Tabla III.26: Indicadores predio Rangel.

Ámbito	Indicador	Valor	Estado
Ambiental	CO ₂	0,707	Bueno
Ambiental		0,393	Pobre
Social	A	0,860	Muy Bueno
Económico	C	0,216	Pobre

Fuente: Elaboración propia.

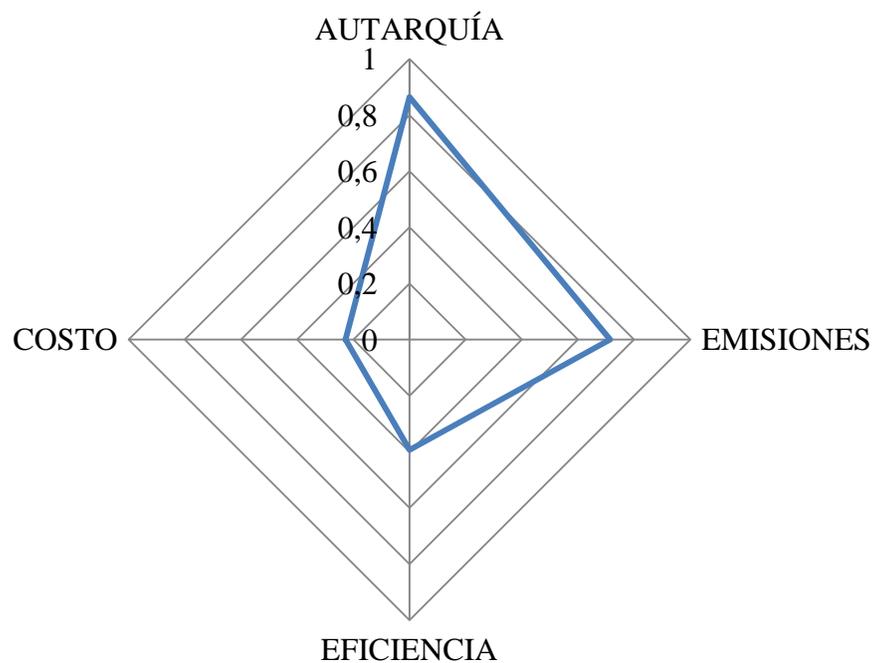


Figura III.9: Indicadores predio Rangel.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el desempeño en general del predio es regular, el indicador más bajo es el de costo. A continuación se muestra el estado energético predial promedio:

Tabla III.27: Estado general predio Rangel.

Ámbito	Valor	Estado
General	0,545	Regular

Fuente: Elaboración propia.

Este estado general se explica por el buen desempeño que tiene el predio en dos de los indicadores (Autarquía y Emisiones) donde no se aleja mucho del óptimo. Este buen desempeño se contrasta con el mal desempeño en los otros dos indicadores (Eficiencia y Costo).

Se sugiere generar cambios favoreciendo una mejora en Eficiencia, que redundaría también en una mejora en Emisiones ya que se optaría por el aumento en utilización de GLP y su consiguiente disminución en consumo de biomasa. Este cambio repercutiría en una disminución en los indicadores de Autarquía y Costo.

Nuevamente, la decisión final queda en manos del propietario en función de sus valoraciones y restricciones no incluidas en el estudio.

IV. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE LA METODOLOGÍA

A partir de la metodología propuesta, fue posible definir claramente variables energéticas medibles en un predio. Se determinaron las funciones que rigen el desempeño energético del territorio y se propuso una estructura bajo la cual estas funciones y variables se relacionan entre sí con el fin de añadir la variable energética en el ordenamiento del territorio. En la etapa de Examen, mediante una entrevista al encargado de cada predio y la caracterización del territorio, fue posible determinar el nivel de consumo, las fuentes, los usos y los recursos energéticos disponibles. En el diagnóstico, mediante el cálculo de indicadores de carácter ambiental (eficiencia y emisiones de CO₂), social (Autarquía) y económico (Costo) se determinó el estado actual de un predio y mediante la optimización de cada uno de ellos, se pudo cuantificar el estado óptimo del predio, sumado a una propuesta de medidas generales que permiten que el estado actual del predio tienda hacia el óptimo determinado.

Se aplicó la metodología propuesta a tres casos de estudio, pudiendo determinar la matriz energética y los usos de la energía en cada predio estudiado. Se determinaron los recursos energéticos disponibles a partir de la caracterización del territorio. Todo esto permitió determinar un estado energético actual y óptimo para los casos de estudio, comprobando que la herramienta propuesta entregue información para la toma de decisiones en la escala estudiada, ya que es posible proponer operadores que generen cambios que permitan a cada predio alcanzar el estado óptimo.

A partir de los casos de estudio, se observó que los distintos estados energéticos están asociados a las características específicas de cada uno de ellos. En particular, los distintos estados determinados tienen relación con aspectos tales como las características geográficas, el tipo de agricultura desarrollado en cada predio, características culturales de cada propietario/administrador, entre otros. Los vínculos concretos entre las variables energéticas estudiadas en el presente trabajo y los

diversos aspectos esbozados, se proponen como futuro espacio de investigación, para el desarrollo de herramientas que logren una comprensión integral de los predios, o a la escala territorial que se desee trabajar, permitiendo análisis complementarios orientados al ordenamiento territorial.

Se propone estudiar la relevancia relativa de cada uno de los indicadores, ya que en el estudio presentado se le otorga una ponderación igual a cada uno de ellos en la determinación del estado energético predial. A través de los ponderadores de los indicadores será posible expresar con mayor precisión las características particulares del contexto en el cual está inserto un predio ya que a través de ellos se manifiesta la preponderancia que tienen cada uno y por lo tanto cuáles son las preferencias, la normativa local, la disponibilidad de recursos, los objetivos a nivel comunal, entre otros, que presenta el entorno específico.

El proceso de optimización lo que hace es determinar óptimos locales para cada indicador, asumiendo que el promedio de estos óptimos será el óptimo global. Se establece como propuesta de profundización del estudio reenfocar la determinación de este óptimo global, estableciendo como función a maximizar el promedio ponderado por los pesos relativos de cada uno de los indicadores que determinan el estado energético general de un predio. Se pueden considerar también restricciones en términos de valores mínimos para estos indicadores.

1. Discusión de la metodología

Si bien, la metodología presentada permite evaluar el estado actual y el potencial en términos energéticos de un predio, entregando información relevante a la hora de planificar el uso del territorio, es necesario indicar algunos puntos críticos que deben ser tomados en cuenta, estudiados y reevaluados a la hora de implementarla:

- La metodología no considera la posibilidad de cambios en el consumo energético asociado a cada uso que pueden derivar, por ejemplo, de la utilización de nuevas tecnologías más eficientes.
- Con el fin de simplificar el estudio, al momento de evaluar el potencial energético, se evalúa sólo un tipo de aprovechamiento de las energías solar y eólica, siendo que se podría utilizar la energía solar directamente como calor o la energía eólica como energía mecánica sin transformarla en electricidad. En un estudio más completo se podrían otras alternativas.
- Los datos de radiación solar y velocidad del viento son referenciales. Si se desea utilizar alguna de esas fuentes, es necesario realizar un estudio más acabado en cada predio en particular para determinar con mayor precisión estas variables.
- Eficiencia de las celdas fotovoltaicas. Dependerá de la tecnología utilizada con valores entre el 8% y el 23%.
- Eficiencia del rotor y capacidad de planta de turbina eólica. Se asumieron valores estándar para la escala considerada. En el caso específico, se deberán considerar las tecnologías disponibles y sus costos asociados, además de un factor de seguridad tecnológica que se reduce conforme se considera una tecnología más nueva.

BIBLIOGRAFIA

- AIE. (2007).** Manual de Estadísticas Energéticas. Recuperado de: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,3961,en.html>
- Chile. Ministerio de Energía. (2011).** *Balance Energético*. Recuperado de <http://www.minenergia.cl/documentos/balance-energetico.html>
- Chile. Ministerio del Medio Ambiente, Sistema Nacional de Información Ambiental. (2002).** *Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas*. Recuperado de http://www.sinia.cl/1292/articles-28474_recurso_2.pdf
- ONU. Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo. (1987).** Towards Sustainable Development. En *Our Common Future* (Cap. 2). Recuperado de <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>
- Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. (2011).** *Explorador de Energía Solar*. [En línea]. Recuperado de: <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/>
- Energía (2001).** En *Diccionario de la Real Academia Española*. Recuperado de: <http://lema.rae.es/drae/?val=energ%C3%ADa>
- Gastó Coderch, J., Rodrigo Salinas, P. & Aránguiz Andler, I. (Eds.) (2002).** *Ordenación Territorial: Desarrollo de predios y comunas rurales*. Santiago, Chile: LOM ediciones.
- IPCC. (2007).** *Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis*. Recuperado de: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Lobos, Mauricio. (2001).** *Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco*. Recuperado de: http://awsassets.panda.org/downloads/estudio_preliminar_sobre_produccion_comercializacion_y_co.pdf
- Márquez, M. (1997).** El ordenamiento territorial de los espacios rurales en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 26, 113 – 118. Recuperado de http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N26/art13.pdf

- Nava, R., Armijo, R. & Gastó, J. (1996).** Metodología clínica. En Nava, R., Armijo, R. & Gastó, J., *Ecosistema: La unidad de la naturaleza y el hombre* segunda edición, 209 – 256. México: Trillas.
- OLADE (2011).** Manual de Estadísticas Energéticas Año 2011. Recuperado de: http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32_2/old0179.pdf
- Salgado, R. & Altomonte, H. (2001).** Indicadores de Sustentabilidad 1990 – 1999. En *Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe*. Recuperado de: <http://www.cepal.org/drni/proyectos/energ%C3%ADa/indicadores/indicadores.pdf>
- Tester, J. W. (2005).** Solar Energy. En J. Tester (Ed.), *Sustainable Energy – Choosing Among Options* (primera edición, pp. 544 – 585). Estados Unidos: MIT Press.
- Tester, J. W. (2005).** Wind Energy. En J. Tester (Ed.), *Sustainable Energy – Choosing Among Options* (primera edición, pp. 614 – 641). Estados Unidos: MIT Press.
- Unión Europea. Observatorio europeo LEADER. (1998).** *Fuentes de energía renovables, fuentes de desarrollo sostenible*. Recuperado de: <http://ec.europa.eu/agriculture/rur/leader2/rural-es/biblio/energy/energy.pdf>
- Valencia, J.C. & Cabrera, J. (2007).** Análisis económico de opciones productivas para plantaciones de *Eucalyptus nitens* en el sur de Chile. *Ciencia e investigación forestal*, 13 (1), 23 – 41. Disponible en: <http://biblioteca1.infor.cl:81/DataFiles/21702.pdf>
- Vergara, J. (2010).** *Introducción al curso*. Clase dictada en el curso Energías Sustentables, Escuela de Ingeniería, P. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Vergara, J. (2010).** *Desarrollo Sustentable*. Clase dictada en el curso Energías Sustentables, Escuela de Ingeniería, P. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Vergara, J. (2010).** *Energías Renovables*. Clase dictada en el curso Energías Sustentables, Escuela de Ingeniería, P. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

A N E X O S

ANEXO 1: FICHA EXAMENFecha:**Ficha: Consumo de energía y recursos disponibles****Identificación**

Nombre del Predio: _____

Propietario: _____

Ubicación Geográfica: _____

Tamaño: _____

Usos: _____

Energía**Consumo**

Fuente: Usos: Nivel de Consumo:

Recursos Disponibles

Hidráulica:

Biomasa:

Solar:

Eólica:

Fósil:

Otro:

ANEXO 2: METODOLOGÍA CLÍNICA

A continuación se presenta un extracto del capítulo “Metodología Clínica” propuesta por Nava, Armijo y Gastó (1996).

Los autores definen la metodología clínica como: “la construcción de un procedimiento general que define la secuencia y características de las etapas a seguir en el estudio de ecosistemas y de la transformación de su estado original a otro más conveniente.”

Esta metodología nace de la hipótesis que: “Existe un estado óptimo que sólo se puede definir con algún criterio antrópico y se puede orientar al proceso de sistemogénesis hacia el estado óptimo definido. La metodología clínica permite determinar, en cierto nivel de resolución, el estado inicial del ecosistema y establecer la ruta hacia el óptimo propuesto.” (Nava et al., 1996)

Dicha metodología consta de seis partes: examen, diagnóstico, tratamiento, estrategia, ejecución y comprobación.

1. Examen

El examen clínico está definido como: “el estudio, observación y medición de signos con los cuales, después de su análisis, se puede inferir sobre algunas características de la arquitectura y funcionamiento. Los signos se definen como atributos que pueden percibirse con los sentidos, instrumentos o equipo de laboratorio y que se pueden diferenciar por sus características físicas. Para la planeación del examen debe tomarse en cuenta la medición de todas aquellas variables de estado requeridas para hacer un buen diagnóstico y recomendar el tratamiento adecuado.” (Nava et al. 1996)

2. Diagnóstico

La etapa de diagnóstico comprende dos procesos fundamentales que son:

- a) Ordenamiento de la información.
- b) Valoración de la información.

En una primera etapa la información recabada en el proceso de examen debe ordenarse y almacenarse de modo que pueda utilizarse en el proceso de diagnóstico. De este modo, el análisis de la información ordenada permite, en algunos casos, hacer diagnósticos acertados. En caso contrario, es necesario efectuar el diagnóstico con base en la valoración de la información.

Un ecosistema, en un instante dado, se encuentra en un estado particular y definido. El estado no es atributo fijo, sino que algo dinámico. Desde un punto de vista conceptual cualquier ecosistema que se encuentre en determinado estado puede cambiar dentro de un conjunto infinito de alternativas. En la práctica, las alternativas son finitas.

Bajo un criterio determinado y dentro del conjunto de estado posibles, existe un solo estado que representa el óptimo del conjunto. Este óptimo, al determinarse por un criterio subjetivo y no permanente, no tiene carácter absoluto dentro del espacio de estado total en su devenir temporal. Por lo anterior, es necesario modificar constantemente el estado del ecosistema para que tienda a ajustarse al óptimo cambiante.

Por otra parte, para alcanzar el estado óptimo de un ecosistema dado deben tomarse en cuenta dos aspectos por separado. Uno se refiere al criterio de óptimo, en el cual deben definirse explícitamente las restricciones dentro de las que debe circunscribirse el estado. El otro aspecto se refiere al cálculo del óptimo, que corresponde a la definición y aplicación de la técnica apropiada.

En la resolución práctica de problemas relativos a recursos naturales, las restricciones impuestas en la determinación del óptimo deben seguir ciertas secuencias jerárquicas. Por lo general, en el mundo actual la primera restricción es de naturaleza física y por lo tanto, cualquier solución debe circunscribirse dentro de los límites de factibilidad física. En un segundo nivel se presentan las restricciones físicas y por lo tanto, generan un rango de alternativas más reducido. El tercer nivel jerárquico es el social, que se incluye dentro de los otros dos. El hombre es el interés directo de este último nivel tanto como objeto y como sujeto. Un cuarto nivel es el económico que debe enmarcarse dentro de las limitaciones y modalidades impuestas por los niveles anteriores.

Finalmente se emite un diagnóstico en función de la desviación del estado actual del predio en relación al óptimo determinado para él.

3. Tratamiento

Una vez emitido el diagnóstico y al existir desviaciones con respecto al óptimo se hace necesaria la aplicación de un tratamiento para corregir el estado enfermo del ecosistema. El tratamiento puede definirse como el conjunto de procesos que supuestamente son necesarios para lograr que el estado inicial del sistema tienda hacia el estado óptimo.

El cambio de estado de un ecosistema es la modificación en el tiempo de cualquiera de las variables de estado. Para que un cambio de estado ocurra es necesario aplicar un operador funcional. Una operación funcional es una transformación que se lleva a cabo en un espacio cuyos elementos son funciones (Kolmogorov, 1970). Conceptualmente, los ecosistemas se definen dentro de un espacio de estado, en el cual cada estado es, en sí, una función que depende del estímulo, del comportamiento y de la respuesta en un tiempo determinado. En general se puede decir que si $E_i(t_i)$ es el estado inicial del sistema en el tiempo t_i y $E_k(t_k)$ el estado final en el tiempo t_k , el cambio de estado de E_i a E_k requiere de la aplicación de un operador funcional ϕ_{ikl} definido para la ruta l . La ruta de transformación l se define como el conjunto de estrategias utilizadas en la transformación. En esta forma se tiene:

$$E_i \xrightarrow[\phi_{ikl}]{t_i, t_k} E_k$$

Operadores Funcionales

Estímulo que debe aplicarse a un ecosistema en un estado E_i para transformarse en un estado E_k , en un tiempo t_{ik} con cierta probabilidad P_{ik} , de éxito de transformación y con cierto trabajo w_{ij} .

No basta determinar el estado óptimo o meta del ecosistema, sino que es necesario establecer la génesis de transformación del mismo. Esta transformación debe

permitir, a través de la aplicación de un operador funcional, el cambio de estado inicial y conducirlo en un tiempo dado al estado final probable, luego de aplicarse un trabajo (Gastó, 1983).

Según Nava et al, los distintos operadores de transformación se pueden dividir en: destrucción, construcción y mantención. Los operadores de destrucción son aquellos que reducen los elementos o componentes topológicos menos deseables. Los de construcción son aquellos que mejoran las condiciones de los elementos y permiten el incremento de la carga de los componentes topológicos iniciales. Se denomina operadores de mantenimiento a los que se aplican para mantener la arquitectura diseñada en un estado dado.

4. Estrategia

Es la ciencia y el arte de proyectar y dirigir la aplicación de un elemento, en este caso, corresponde al tratamiento recomendado. Este es el aspecto logístico de la aplicación del tratamiento. La estrategia de tratamiento se debe resolver buscando un equilibrio entre el enfoque ecológico, económico y sociológico. En el caso de la rehabilitación de ecosistemas prediales, se debe trabajar en conjunto con los procesos de sistemogénesis, se debe trabajar con la naturaleza, no contra ella.

5. Ejecución

Etapa clínica en la cual, luego de realizado el examen, planteada la hipótesis de diagnóstico y de haber recomendado un tratamiento siguiendo una determinada estrategia, se procede a la aplicación.

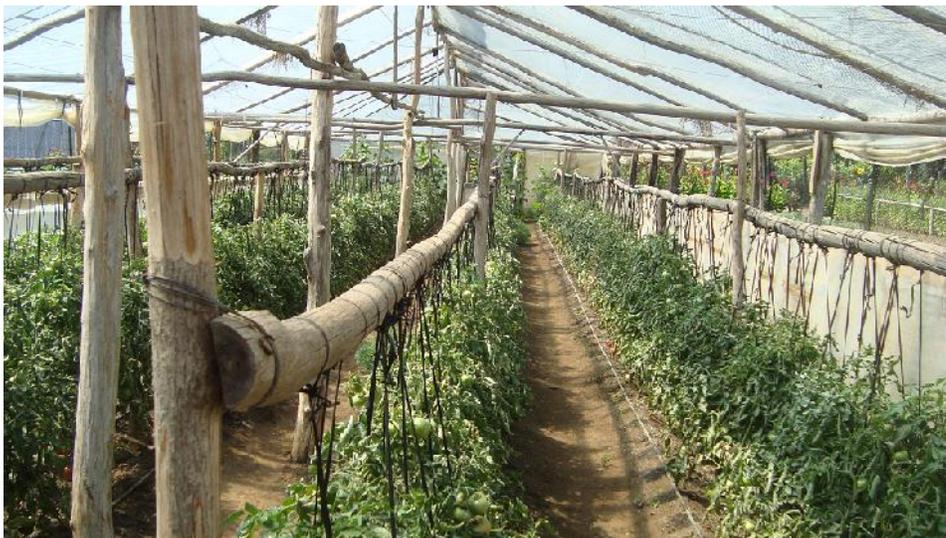
6. Comprobación

Corresponde a la etapa final del proceso clínico. Es la comparación entre el estado del sistema E_j y el estado óptimo E_k , luego de la transformación del estado E_i en el estado E_j y cuyo objetivo inicial era aproximarse a E_k .

El resultado final puede ser $E_j = E_k$ en cuyo caso se comprobaría la validez del proceso clínico. La otra alternativa es que $E_j \neq E_k$. En este caso denotaría algún error, que puede estar localizado en cualquiera de las etapas del proceso clínico. Esto es: examen, diagnóstico, tratamiento, estrategia, ejecución o comprobación. En este último caso debe repetirse el proceso, tomando las precauciones adecuadas para corregir los elementos defectuosos.

ANEXO 3: IMÁGENES DE LOS PREDIOS ESTUDIADOS

Predio Talcamávida





Predio San Sebastián



Predio Rangel

