

El potencial de suministrar electricidad a comunidades indígenas y campesinas de Chile mediante micro redes híbridas solar-eólicas autogestionadas: Una propuesta de desarrollo comunitario sustentable para la electrificación rural en zonas aisladas.

Defensa de tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Guillermo Montecinos Peña


Escuela de Ingeniería, PUC

10 de noviembre de 2015

# Objetivo de la investigación

- Desarrollar una propuesta de modelo electrificación rural para comunidades aisladas indígenas y campesinas de Chile basada en la autogestión.

# Ejes temáticos



Ruralidad, indigenismo y  
electrificación rural autogestionaria  
en comunidades de Chile y América  
Latina: marco contextual

Caso de estudio: Chile

Análisis de comunidad  
marginal:  
Ancovinto

Revisión Bibliográfica

## Revisión Bibliográfica

### Electrificación Rural

Deficiencia en  
Electrificación rural

(Deichmann et al., 2011)  
(Liming, 2009)  
(Hossain Mondal et al., 2010)  
(Szabó et al., 2011)  
(Chaurey et al., 2004)  
(A. Chaurey & Kandpal, 2010a)  
(A. Chaurey & Kandpal, 2010b)  
(Sharma, 2007)  
(Kirubi et al., 2009)  
(Kaundinya et al., 2009)  
(Xu & Chowdhury, 2013)  
(Andrade et al., 2011)  
(van Els et al., 2012)

Generación  
distribuida

(Atwa et al., 2010)  
(Singh & Goswami, 2010)  
(Atwa & El-Saadany, 2011)  
(Saint, 2009)(Wolsink, 2012)  
(Fang et al., 2012)

Co-op

(Greer, 2008)  
(Yadoo & Cruickshank, 2010)  
(Schreuer & Weismeyer, 2010)  
(Burke, 2010)(Jamison, 2004)

Aplicación

Diseño  
óptimo

(Akella et al., 2007)  
(Kanase-Patil et al., 2010)  
(Nogueira et al., 2014)  
(Silva Herran & Nakata, 2012)  
(Bustos et al., 2012)  
(Yang et al., 2009)  
(Bala & Siddique, 2009)  
(Ferrer-Martí et al., 2013)  
(Ranaboldo et al., 2014)  
(Saheb-Koussa et al., 2009)

Análisis  
factibilidad

(Bekele & Tadesse, 2012)  
(Olatomiwa et al., 2015)  
(Mondal & Denich, 2010)  
(Buchholz & Da Silva, 2010)

Levantamiento  
información  
comunidades

(Jafar, 2000)  
(Usher et al., 2012)  
(Chambers, 1994)  
(Chambers, 1992)

Intervención  
comunitaria

Chile

(Jiménez et al., 2014)  
(Alvial et al., 2011)  
(Ubilla et al., 2014)

Filipinas

(Kabalan et al., 2014a)  
(Kabalan & Anabaraonye, 2014)  
(Kabalan et al., 2014b)  
(Kabalan et al., 2015)

## Revisión Bibliográfica

Revisión Bibliográfica

# RURALIDAD, INDIGENISMO Y ELECTRIFICACIÓN AUTOGESTIONARIA EN COMUNIDADES DE CHILE Y AMÉRICA LATINA: MARCO CONTEXTUAL

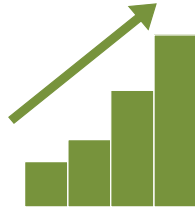
# América Latina: quiénes somos y dónde estamos?



Mapa de América del Sur, Mapas Generales, Biblioteca Nacional de España. 1799

# América Latina: quiénes somos y dónde estamos?

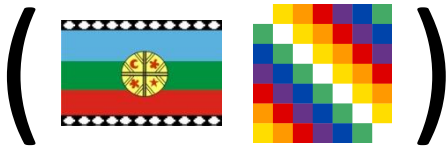
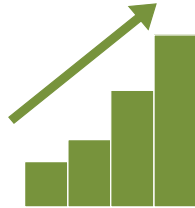
Retraso



(Banco Mundial, n.d.;  
ONU, 2013; PNUD, 2014)

# América Latina: quiénes somos y dónde estamos?

Retraso

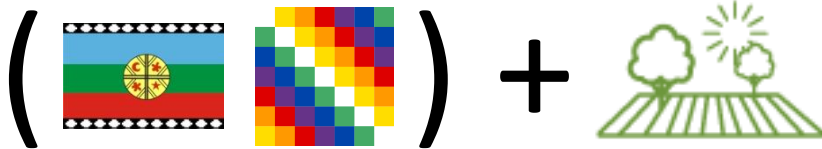
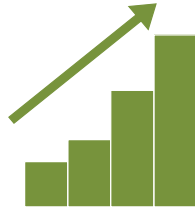


(Luna Pineda, 2011; Dávalos, 2005)



# América Latina: quiénes somos y dónde estamos?

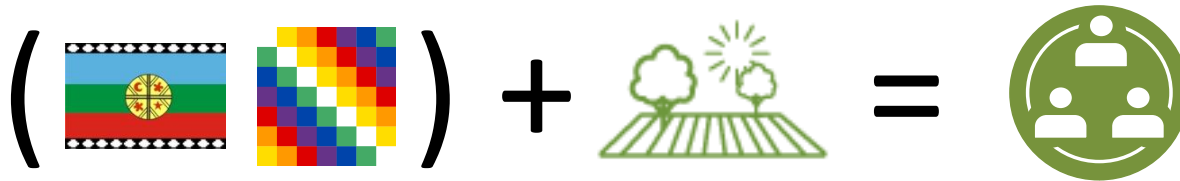
Retraso



(Banco Mundial, n.d.;  
CEPAL, n.d.; Velasco et al., 2005)

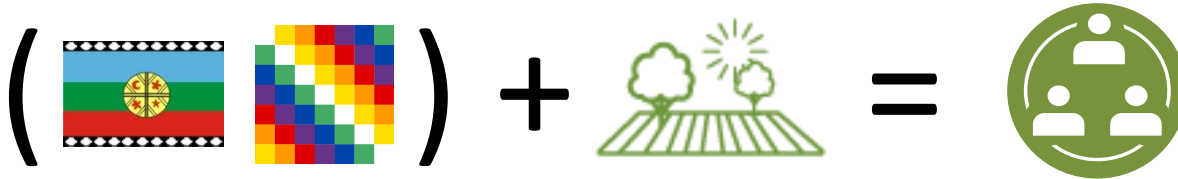
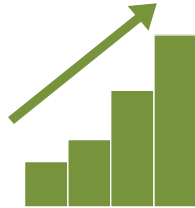
# América Latina: quiénes somos y dónde estamos?

Retraso 



# América Latina: quiénes somos y dónde estamos?

Retraso



Déficit



Banco Mundial, n.d.; IEA, 2014;  
Andrade et al., 2011)

# América Latina: quiénes somos y dónde estamos?



(Buchholz & Da Silva, 2010;  
Deichmann et al., 2011; Chaurey et al., 2012)

*“Todo plan de acceso a la electricidad debe contener instrumentos que permita a las **familias rurales** adquirir el conocimiento y permitan habilidades que los lleven a **asumir el control de su propio desarrollo**” (Andrade et al., 2011).*

# Electrificación rural en Chile

Plan Nacional de Electrificación Rural, 1994

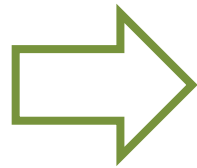
53% /1992  96%/2010



**ENERGÍA 2050**  
PROCESO PARTICIPATIVO POLÍTICA ENERGÉTICA

# Pueblos Originarios de Chile

Pueblos  
Originarios  
de Chile



692.192  
habs.

Mapuche 87,3%

Aymara 7%

Atacameños 3%

Quechuas 0,9%

Rapa Nui 0,7%

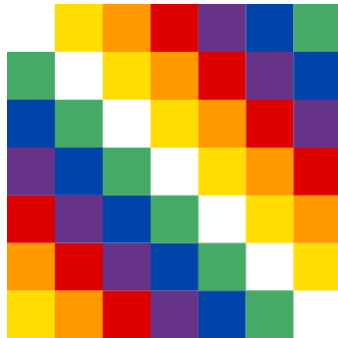
Collas 0,5%

Kaweskar 0,4%

Yagán 0,2%

Ley Indígena N° 19.253; Censo 2002. INE, Chile

# Pueblos Originarios de Chile



Autonomía

Identidad

Comunidad

Territorio



# Autogestión

“(....) constitución y funcionamiento de instituciones o comunidades basadas en la autonomía, en la capacidad de decisión de las personas”

(Sarasua & Udaondo, 2004)

# La comunidad al centro del desarrollo



(Sharma, 2007; Xu & Chowdhury, 2013; Fang et al., 2012; Kaundinya et al., 2009; Alvial et al., 2011)

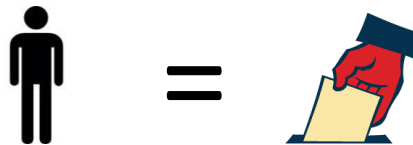
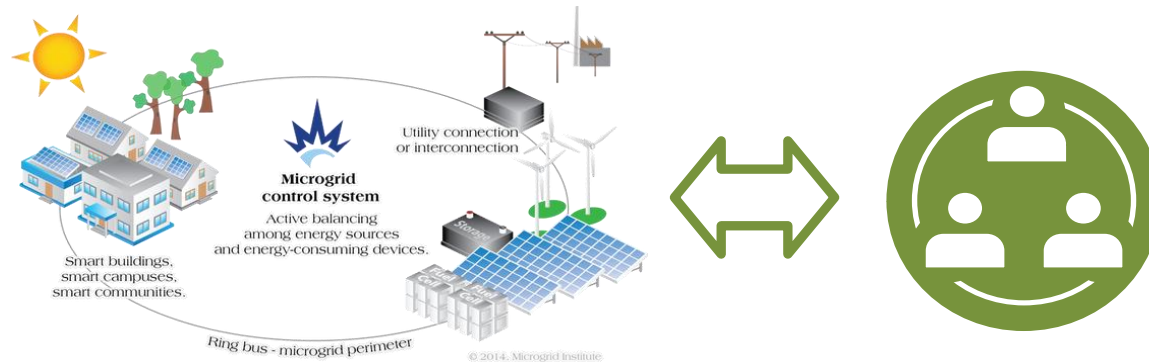
# Características culturales facilitadoras de la autogestión



# La cooperativa como esquema para la electrificación rural autogestionada

(Yadoo & Cruickshank, 2010; Ubilla et al., 2014)

# La cooperativa como esquema para la electrificación rural autogestionada

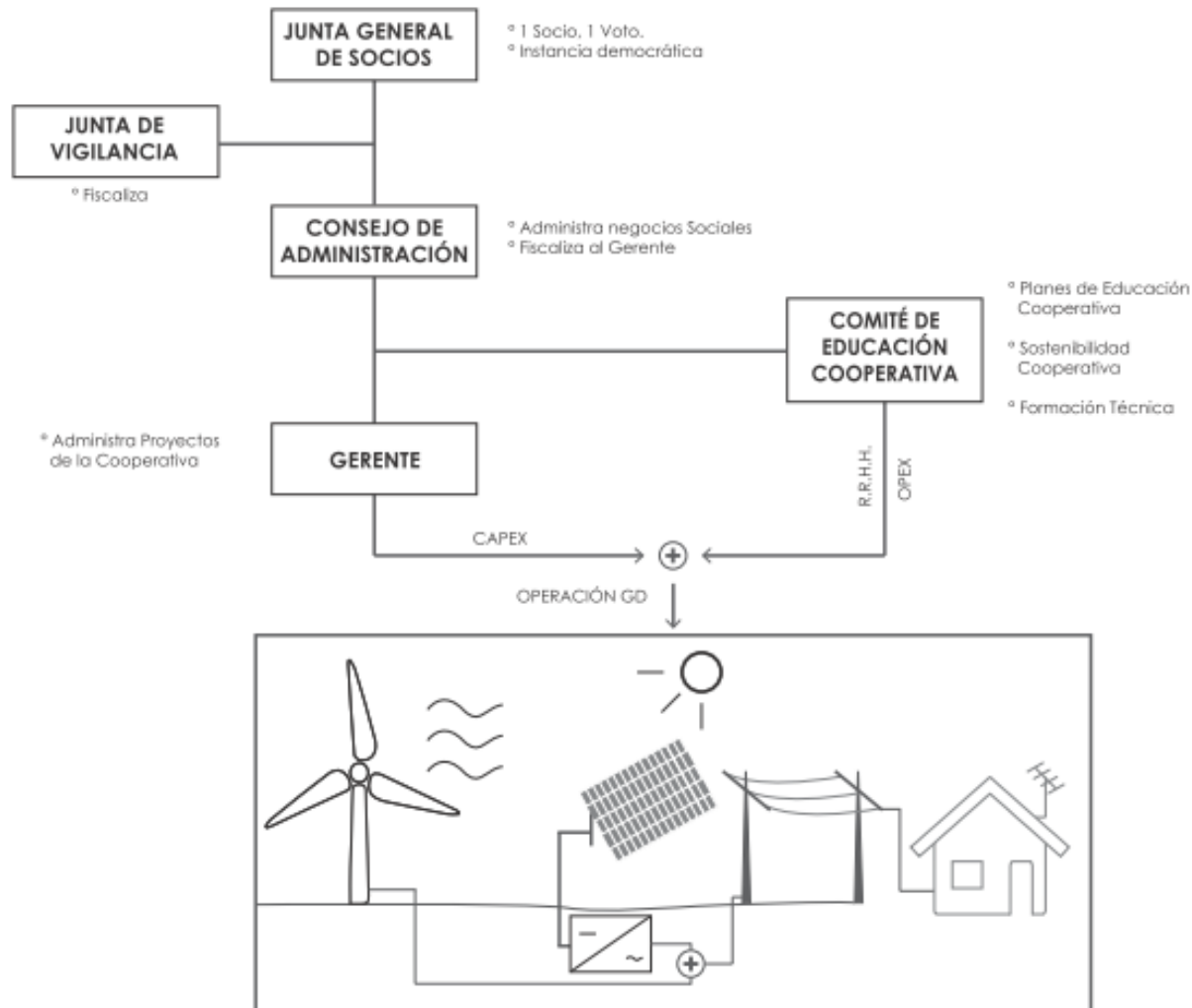


Evidencia histórica:



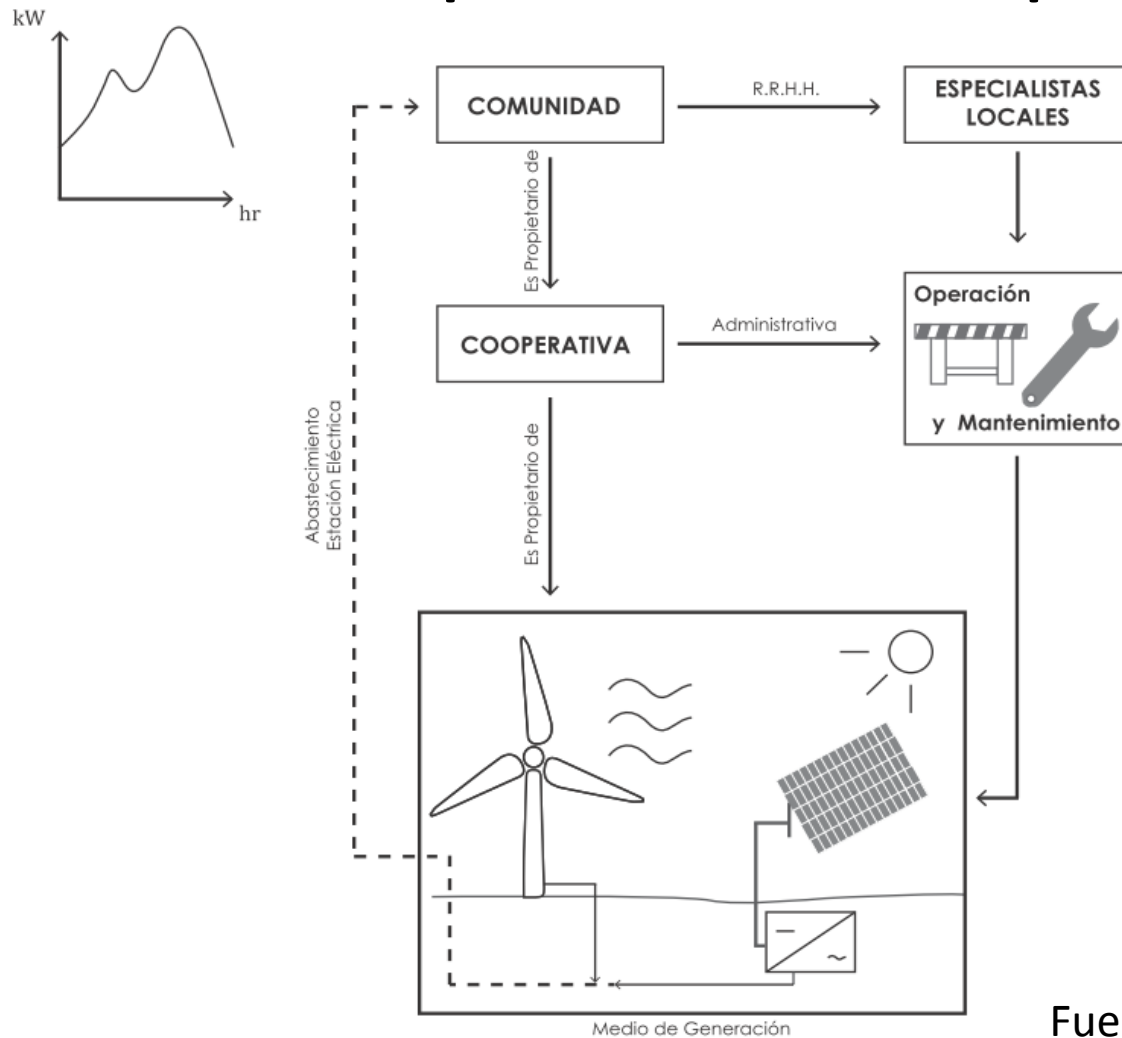
(Yadoo & Cruickshank, 2010; Ubilla et al., 2014;  
[www.microgridinstitute.org](http://www.microgridinstitute.org), 02-11-15)

# La cooperativa como esquema para la electrificación rural autogestionada



Fuente: Elaboración propia basado en (Gross, 1976)

# Electrificación *off-grid* autogestionada mediante esquema de cooperativa



Fuente: Elaboración propia.

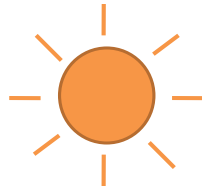
# CASO DE ESTUDIO: CHILE



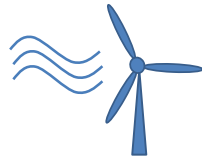


# Recursos naturales de Chile

1.640 GW



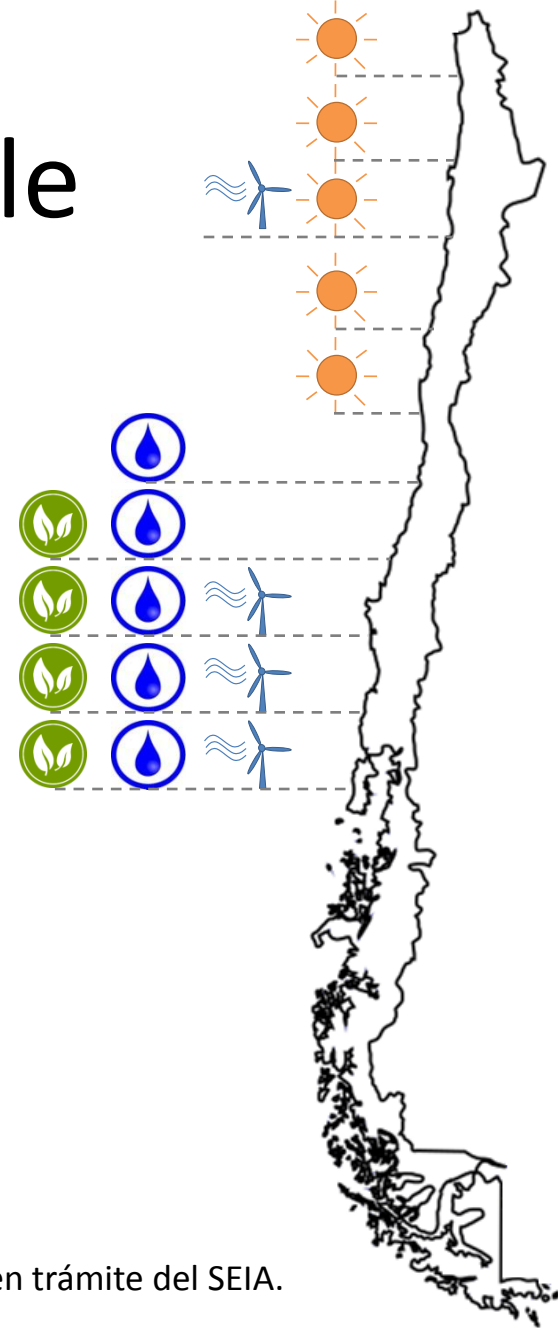
40.452 MW



12.472 MW



2.129 MW



Nota: Potencial total de recursos, sin proyectos en trámite del SEIA.  
(Santana et al., 2014; U.A. de Chile, 2013)

**Base de datos  
SUBDERE 2011**  
(Bsubdere):  
Localidades; Índice  
Aislamiento;  
Población  
m=36.053

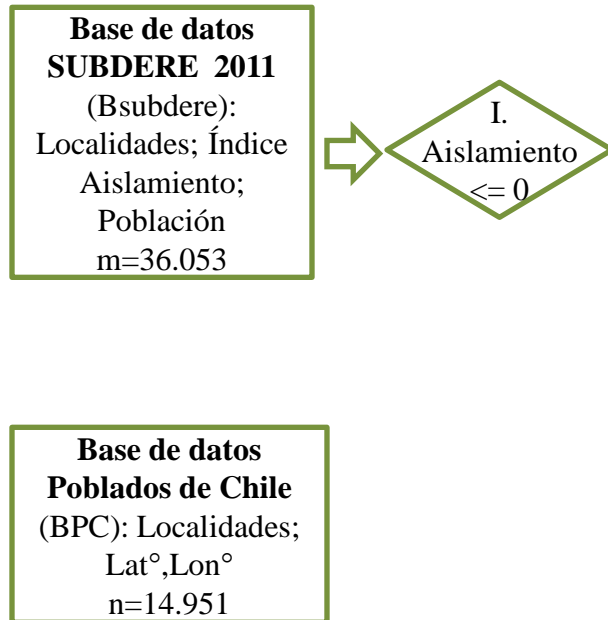
# Metodología Elaboración Base de Datos LAG

**Base de datos  
Poblados de Chile**  
(BPC): Localidades;  
Lat°, Lon°  
n=14.951

# Metodología

## Elaboración

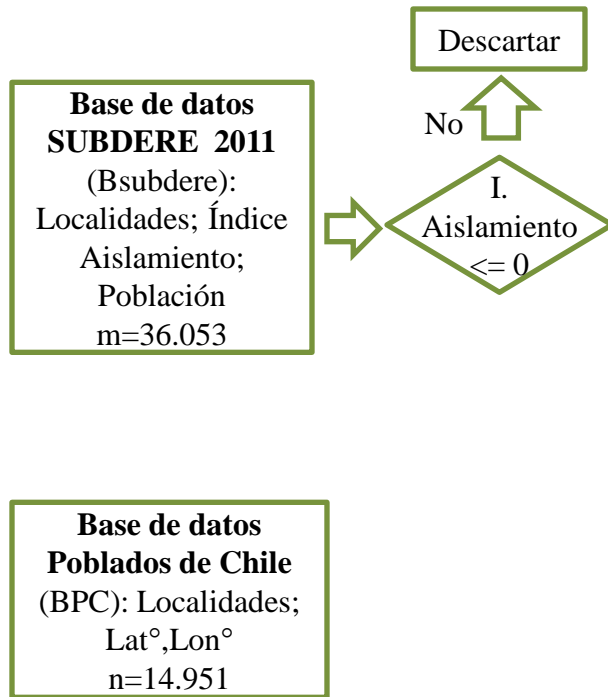
### Base de Datos LAG



# Metodología

## Elaboración

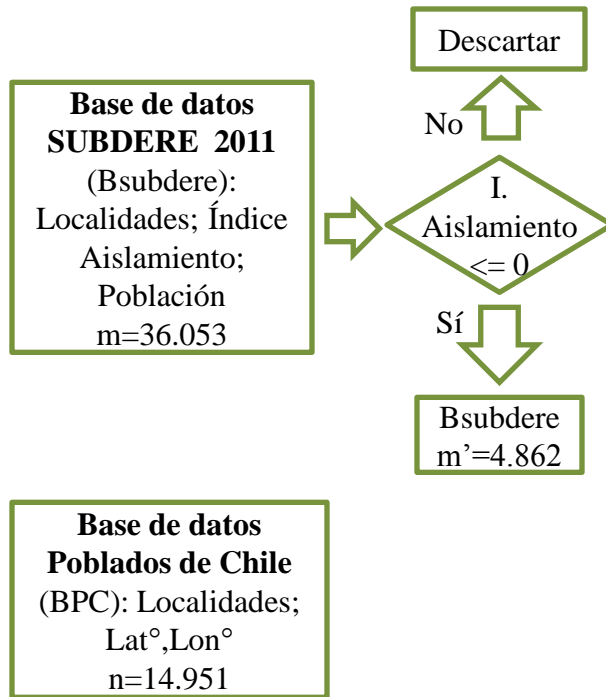
### Base de Datos LAG



# Metodología

## Elaboración

### Base de Datos LAG

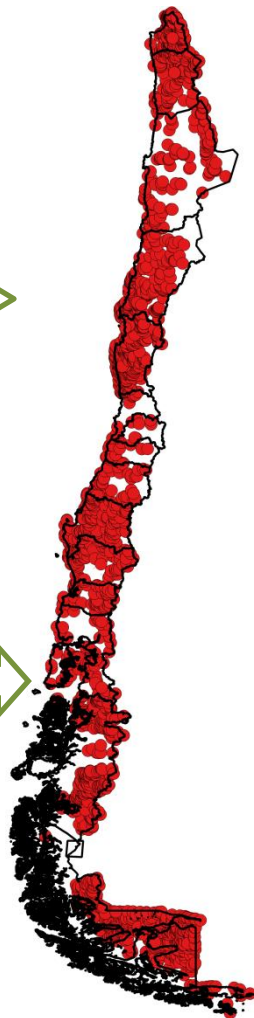
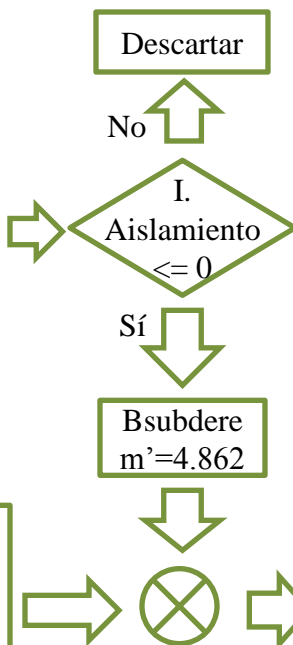


# Metodología Elaboración Base de Datos LAG

**Base de datos  
Localidades Aisladas  
Georeferenciadas  
(LAG): N=2.753**

**Base de datos  
SUBDERE 2011  
(Bsubdere):**  
Localidades; Índice  
Aislamiento;  
Población  
m=36.053

**Base de datos  
Poblados de Chile  
(BPC):** Localidades;  
Lat°, Lon°  
n=14.951

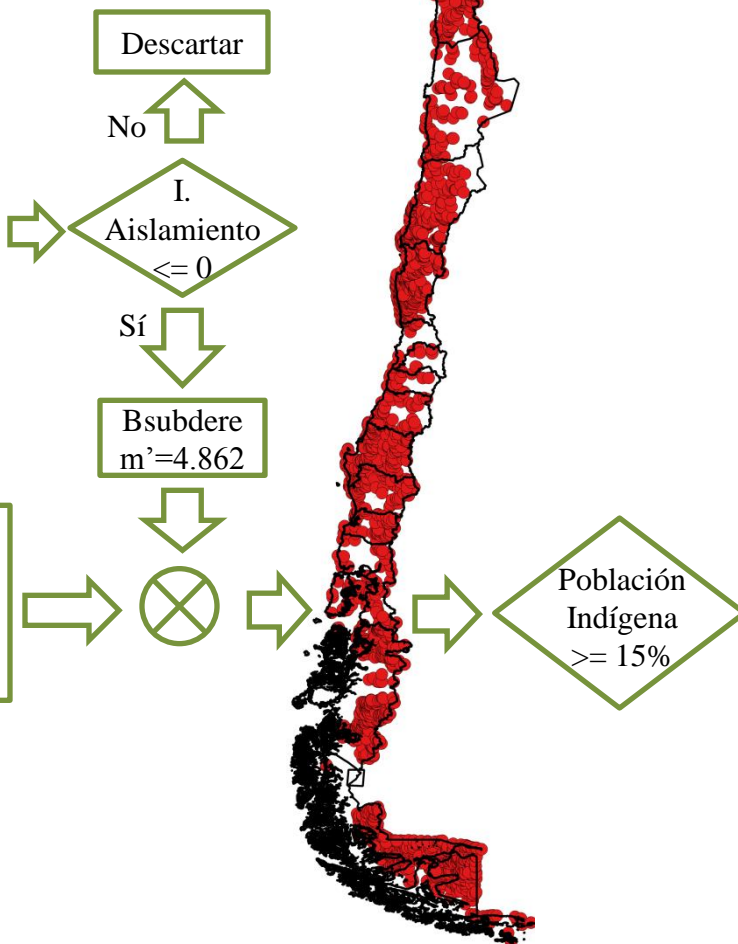


# Metodología Elaboración Base de Datos LAG

**Base de datos  
Localidades Aisladas  
Georeferenciadas  
(LAG): N=2.753**

**Base de datos  
SUBDERE 2011  
(Bsubdere):**  
Localidades; Índice  
Aislamiento;  
Población  
m=36.053

**Base de datos  
Poblados de Chile  
(BPC):** Localidades;  
Lat°,Lon°  
n=14.951



# Metodología

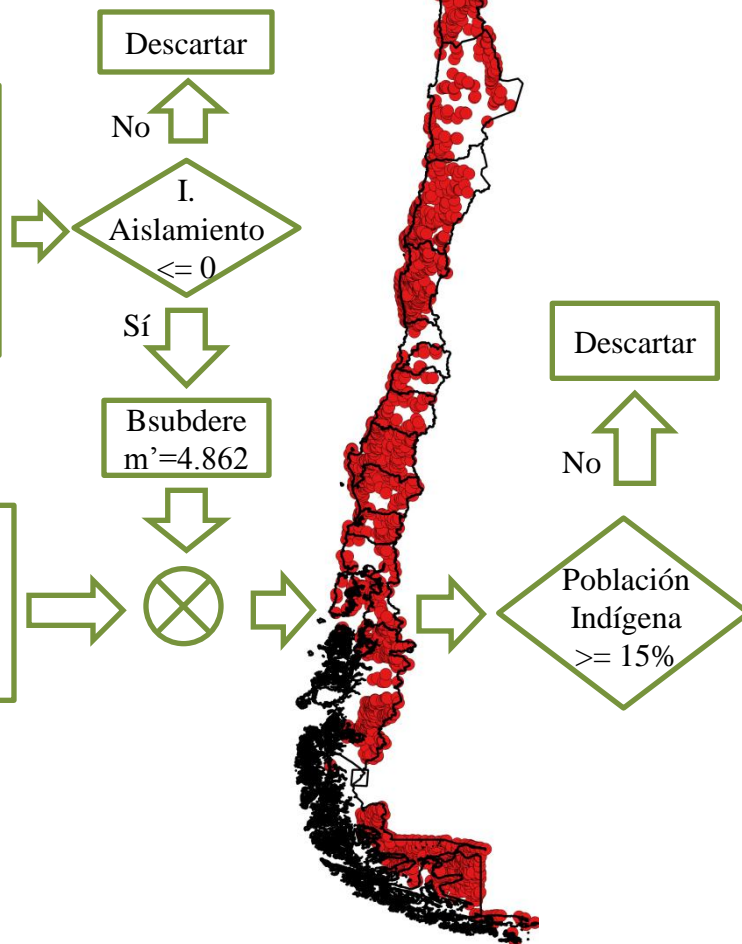
## Elaboración

### Base de Datos LAG

**Base de datos**  
**Localidades Aisladas**  
**Georeferenciadas**  
(LAG): N=2.753

**Base de datos**  
**SUBDERE 2011**  
(Bsubdere):  
Localidades; Índice  
Aislamiento;  
Población  
m=36.053

**Base de datos**  
**Poblados de Chile**  
(BPC): Localidades;  
Lat°,Lon°  
n=14.951





# Metodología Elaboración Base de Datos LAG

**Base de datos  
Localidades Aisladas  
Georeferenciadas  
(LAG): N=2.753**

**LAG-PI  
N'=634**

**Base de datos  
SUBDERE 2011  
(Bsubdere):**  
Localidades; Índice  
Aislamiento;  
Población  
m=36.053

Descartar

No

I.  
Aislamiento  
 $\leq 0$

Sí

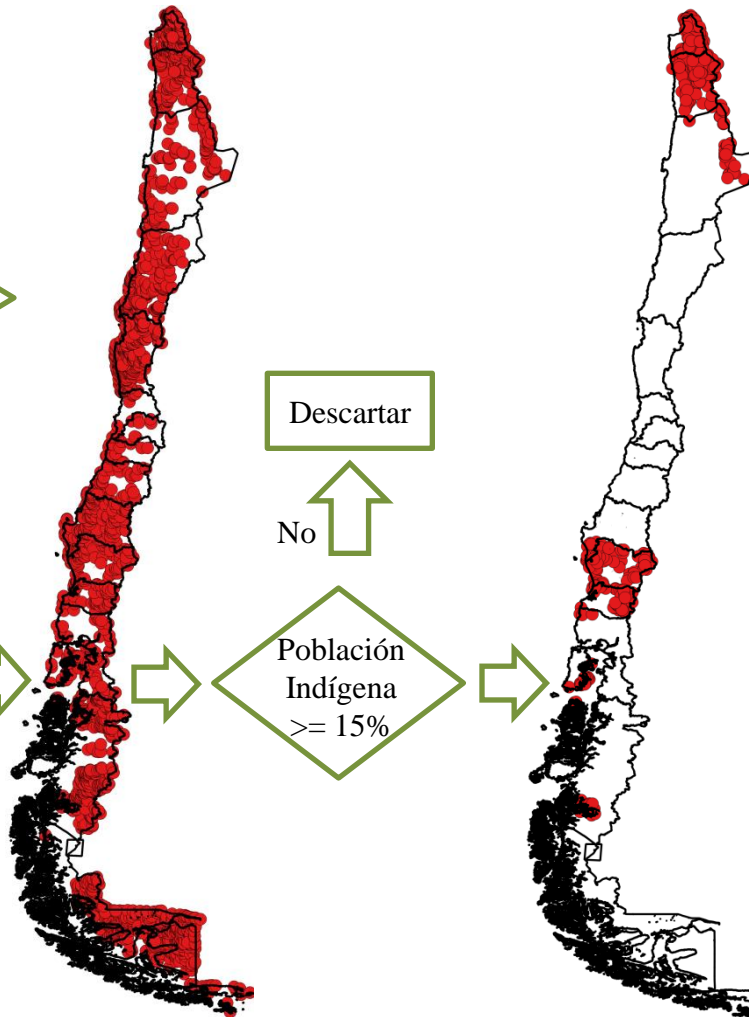
Bsubdere  
m'=4.862

**Base de datos  
Poblados de Chile  
(BPC):** Localidades;  
Lat°, Lon°  
n=14.951

Descartar

No

Población  
Indígena  
 $\geq 15\%$



# Metodología Elaboración Base de Datos LAG

**Base de datos  
Localidades Aisladas  
Georeferenciadas  
(LAG): N=2.753**

**LAG-PI  
N'=634**

**Base de datos  
SUBDERE 2011  
(Bsubdere):**  
Localidades; Índice  
Aislamiento;  
Población  
m=36.053

Descartar

No

I.  
Aislamiento  
 $\leq 0$

Sí

Bsubdere  
m'=4.862

**Base de datos  
Poblados de Chile  
(BPC):** Localidades;  
Lat°, Lon°  
n=14.951

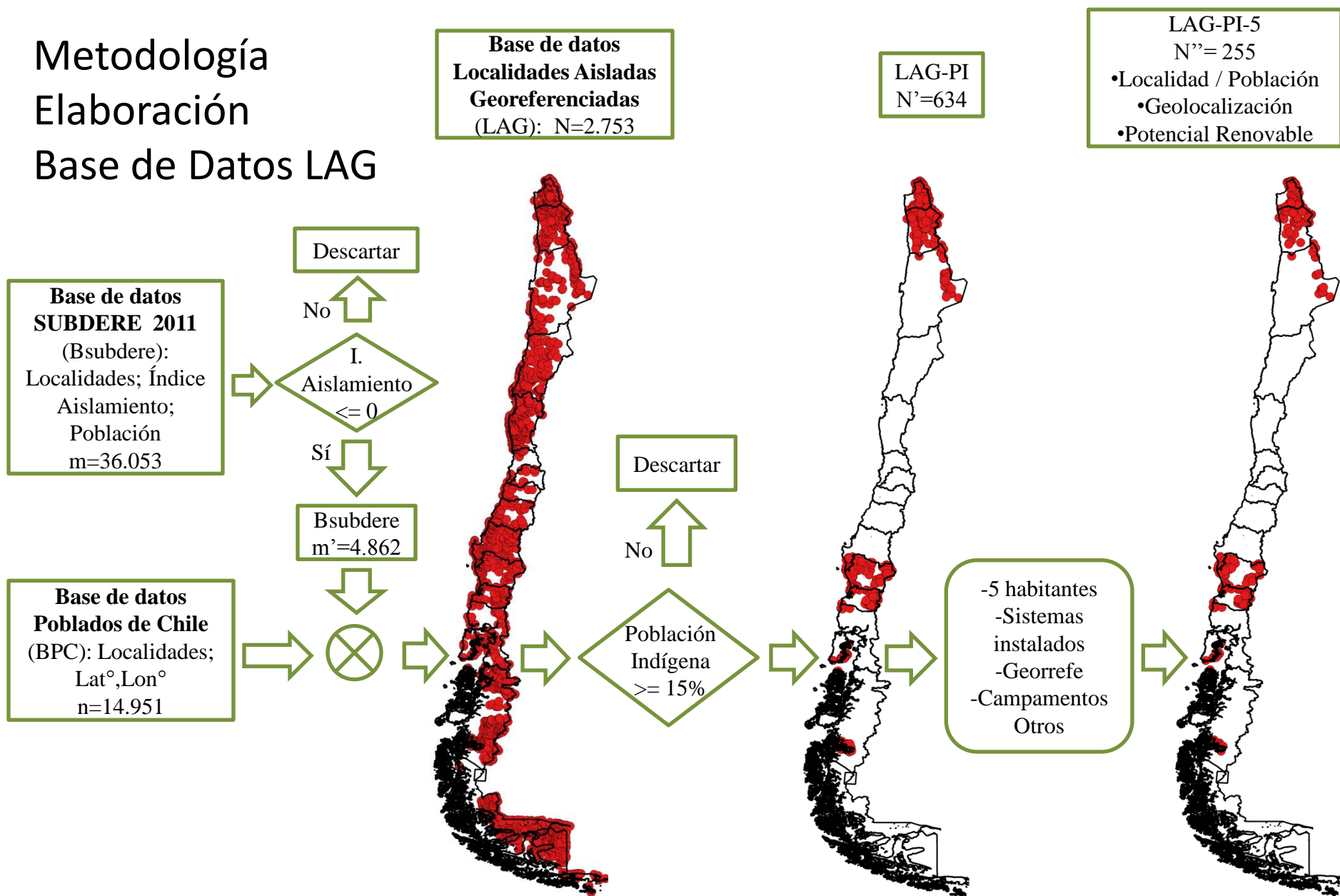
Descartar

No

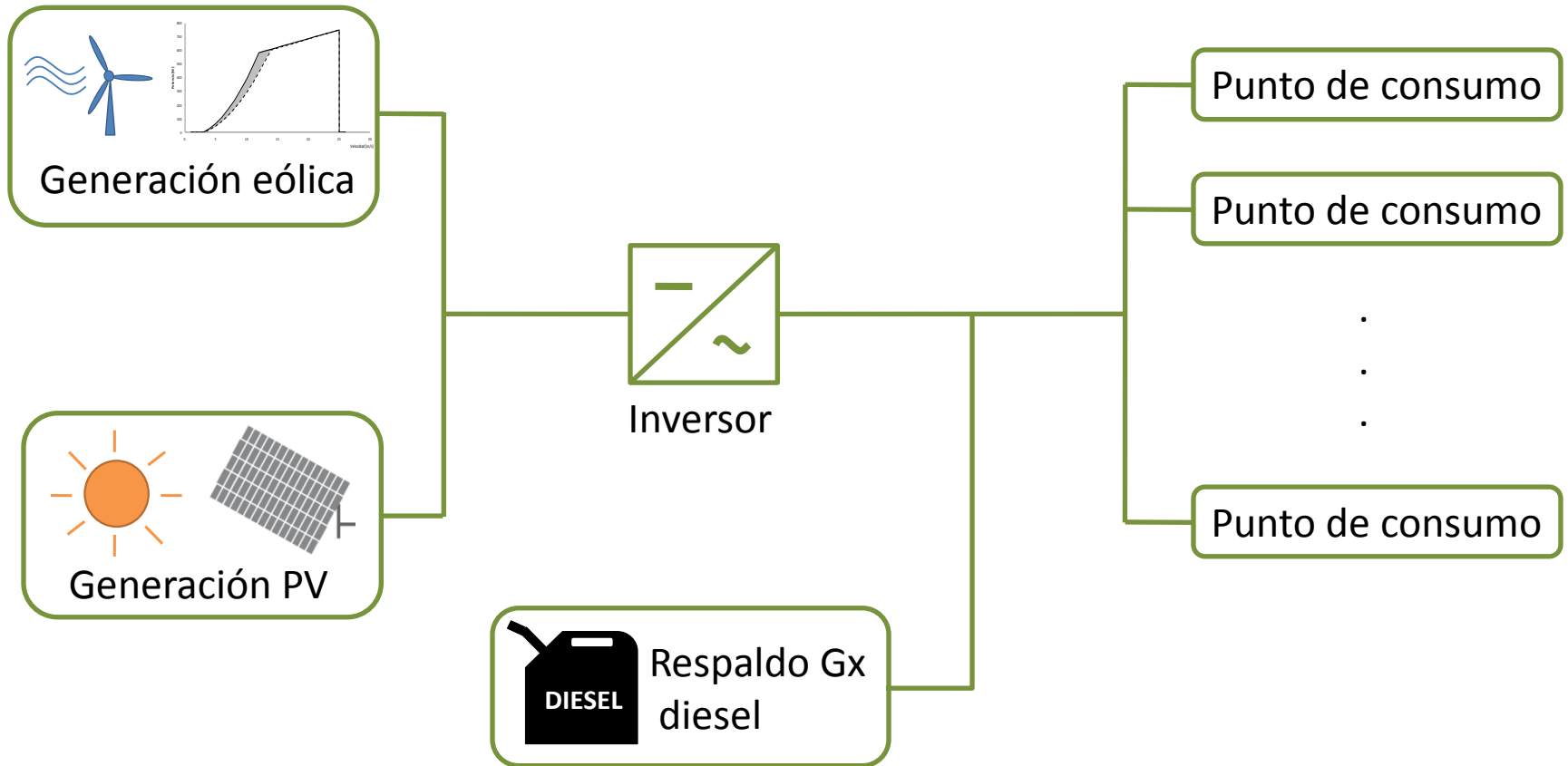
Población  
Indígena  
 $\geq 15\%$

-5 habitantes  
-Sistemas  
instalados  
-Georrefe  
-Campamentos  
Otros

# Metodología Elaboración Base de Datos LAG



# Sistema híbrido



Fuente: Elaboración propia a partir de  
(Ranaboldo et al., 2014)

LAG-PI-5

$N'' = 255$

- Localidad / Población
- Geolocalización
- Potencial Renovable

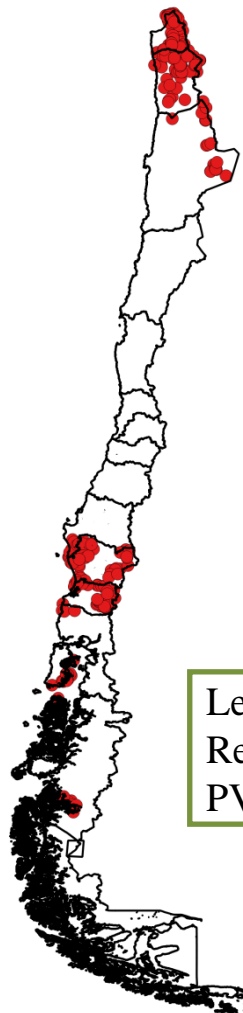


## Metodología Levantamiento de Recursos y Estimación de Costos de Comunidades Aisladas

LAG-PI-5

N''= 255

- Localidad / Población
- Geolocalización
- Potencial Renovable



Levantamiento  
Recursos Naturales  
PV/ Wind

Tabla 1. Localidades de Chile seleccionadas para artículo, referenciadas a mapa.

Localidad	Región/Comuna (Habs.)	Población	Índice de	Población	V <sub>p</sub> V <sub>v</sub> 95	V <sub>v</sub> V <sub>v</sub> 95m	Altitud (m.s.n.m.)
Cochiza	XV.Campanas	11	-0,793	61,60%	2.502,20	0,500,48	6,81
Cuya	XV.Campanas	64	-0,433	61,60%	3.802,72	0,700,09	6,62
Mapia	XV.Campanas	21	-0,541	61,60%	4.000,35	0,800,77	6,70
O Higgins	XV.Campanas	5	-0,677	61,60%	3.102,20	0,500,47	6,72
Pacheco	XV.Campanas	10	-0,735	61,60%	3.200,00	0,500,47	6,74
Talape	XV.Campanas	28	-0,598	61,60%	2.902,20	0,700,67	6,71
<b>Subtotal Arica y Parinacota</b>		<b>17</b>	<b>-0,466</b>	<b>59,96%</b>	<b>4,273,38</b>	<b>1,921,67</b>	<b>6,72</b>
Alpejor	I.Cochile	5	-0,074	78,10%	4.802,58	4,503,85	6,93
Alcornoque	I.Cochile	69	-0,209	78,10%	5.604,48	2,602,27	7,20
Chaguané	I.Cochile	10	-0,745	78,10%	8.100,97	5,604,30	7,02
Chilhuane	I.Cochile	47	-0,576	78,10%	5.905,05	4,904,22	6,87
Chilhuane Uno	I.Cochile	14	-0,581	78,10%	7.700,68	4,603,99	7,06
Chilhuane Dos	I.Cochile	5	-0,150	78,10%	5.905,05	4,603,80	7,04
Viracocha	I.Cochile	13	-0,546	78,10%	7.500,45	3,903,36	7,03
<b>Subtotal Tarapacá</b>		<b>97</b>	<b>-0,457</b>	<b>48,85%</b>	<b>4,238,38</b>	<b>1,901,69</b>	<b>6,90</b>
Alcornoque	II.Ollague	7	-0,701	67,30%	7.000,05	2,101,99	7,23
El Lago	II.Ollague	15	-0,949	60,90%	13.101,02	7,806,56	7,35
Ollague	II.Ollague	195	-0,198	67,30%	6.500,69	2,201,92	7,37
Quebrada de Río Grande	II.Ollague	8	-0,615	67,30%	7.600,87	5,204,49	7,17
San Juan	II.Ollague	5	-0,211	60,90%	6.300,52	3,403,03	7,20
<b>Subtotal Antofagasta</b>		<b>53</b>	<b>-0,418</b>	<b>60,90%</b>	<b>6,900,56</b>	<b>3,503,02</b>	<b>7,34</b>
Bajo Quilantay	VIII.Tina	122	-0,076	47,50%	7.900,78	3,603,58	4,36
Grano de Trigo	VIII.Tina	97	-0,019	18,30%	6.200,12	3,303,26	4,49
Licupen	VIII.Tina	30	-0,812	18,30%	6.400,62	2,702,67	4,46
Licupen	VIII.Tina	31	-0,010	47,50%	6.400,62	3,303,18	4,29
Palisco	VIII.Tina	10	-0,346	18,30%	6.100,00	3,303,25	4,45
Palisco	VIII.Tina	15	-0,267	47,50%	6.100,00	3,303,20	4,44
<b>Subtotal Biobío</b>		<b>73</b>	<b>-0,308</b>	<b>58,54%</b>	<b>5,800,53</b>	<b>2,902,97</b>	<b>4,42</b>
Alto Yumbel	IX.Cauhue	144	-0,092	26,10%	8.100,78	3,703,64	4,14
Cochilco	IX.Cauhue	15	-0,160	16,30%	6.000,00	2,702,69	4,44
Guadalupe	IX.Cauhue	47	-0,108	17,90%	6.500,62	4,103,99	4,70
Las Yayas	IX.Cauhue	16	-0,132	17,90%	7.000,00	2,902,69	4,51
Matte y Sanchez	IX.Cauhue	188	-0,147	29,10%	8.400,22	3,503,43	4,23
Troncal	IX.Cauhue	25	-0,129	17,90%	6.000,00	2,402,40	4,42
<b>Subtotal La Araucanía</b>		<b>83</b>	<b>-0,296</b>	<b>33,36%</b>	<b>5,335,27</b>	<b>3,012,98</b>	<b>4,35</b>
Cálica Matuzano	X.San Juan de la Costa	52	-0,626	59,40%	7.400,74	3,803,81	3,88
Mapiñal	X.San Juan de la Costa	147	-0,111	23,20%	6.800,61	3,303,31	4,11
Melina	X.San Juan de la Costa	177	-0,125	23,20%	6.300,61	3,103,10	3,94
Pellico	X.San Juan de la Costa	25	-0,280	23,20%	7.600,74	4,104,11	3,96
San José	X.San Juan de la Costa	108	-0,537	16,90%	7.600,74	3,003,02	4,31
Yeco Bajo	X.San Juan de la Costa	271	-0,462	23,20%	5.900,00	2,902,90	3,93
<b>Subtotal Los Lagos</b>		<b>98</b>	<b>-0,428</b>	<b>26,41%</b>	<b>8,525,08</b>	<b>3,140,12</b>	<b>3,66</b>
Bajo Pascua	XI.Truel	20	-0,997	18,90%	7.100,75	3,603,62	3,9
Revoltil Alto	XI.Truel	81	-0,087	18,90%	7.500,75	3,303,12	3,22
Rio Negro	XI.Truel	6	-0,482	18,90%	7.100,75	3,803,82	3,6
<b>Subtotal Aysen</b>		<b>70</b>	<b>-0,590</b>	<b>19,66%</b>	<b>6,716,26</b>	<b>3,563,57</b>	<b>3,22</b>

V<sub>p</sub> corresponde a la velocidad promedio anual, V<sub>v</sub> corresponde a la velocidad promedio anual corregida por densidad del aire.  
GHF: Global Horizontal Irradiance promedio, medida en [KWh/m<sup>2</sup> - día]

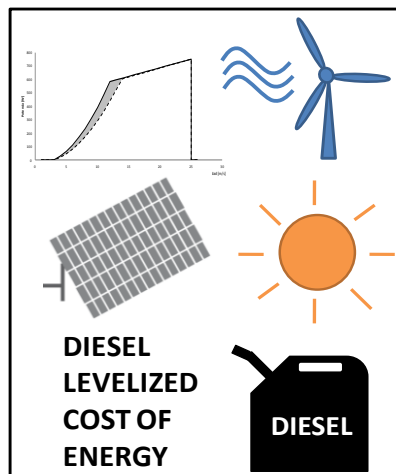
LAG-PI-5

N''= 255

- Localidad / Población
- Geolocalización
- Potencial Renovable



Levantamiento  
Recursos Naturales  
PV/ Wind



## Análisis Técnico – Económico

Tabla 1. Localidades de Chile seleccionadas para artículo, referenciadas a mapa.

Localidad	Región/Comuna	Habs.	Población	Índice de	Población	Vp/Vp'95	Vp/Vp'	Altitud
			(Habs.)	Aislamiento	Indígena (%)	95m'	95m'	(m.s.n.m.)
Cochiza	XV Comau	11	-5793	61,60%	2.502,30	0,500,48	6,81	812
Cuya	XV Comau	64	-6133	61,60%	3.803,72	0,700,09	6,62	204
Mapia	XV Comau	21	-5541	61,60%	4.003,35	0,800,77	6,70	693
O Higgins	XV Comau	5	-6177	61,60%	3.102,20	0,500,47	6,72	1.029
Pacheco	XV Comau	10	-6735	61,60%	3.203,10	0,500,47	6,71	977
Talape	XV Comau	28	-5398	61,60%	2.902,29	0,700,67	6,71	737
Subtotal Arica y Parinacota		17	-6466	59,96%	4.273,80	1.021,67	6,72	3.560
Alpejor	I Cokhu	5	-6174	78,10%	4.803,82	4,503,85	6,93	4.203
Alcornoque	I Cokhu	69	-6209	78,10%	5.603,48	2,602,27	7,20	3.726
Chaguan	I Cokhu	10	-6745	78,10%	8.103,97	5,604,30	7,02	4.097
Chilhuano	I Cokhu	47	-6726	78,10%	5.903,50	4,904,22	6,87	4.063
Cochiguano Uno	I Cokhu	14	-5581	78,10%	7.703,68	4,603,99	7,06	3.840
Cochiguano Dos	I Cokhu	5	-6750	78,10%	5.903,50	4,904,22	7,04	3.983
Vizcachani	I Cokhu	13	-6546	78,10%	7.503,65	3,903,36	7,03	4.176
Subtotal Tarapacá		97	-6457	48,85%	4.236,38	1.901,69	6,99	2.443
Alcornoque	II Ollague	7	-6701	67,30%	7.003,05	2,101,99	7,23	3.973
El Lago	II San Pedro De	15	-6949	60,90%	13.101,02	7,806,56	7,35	4.718
Ollague	II Ollague	195	-6738	67,30%	4.503,69	2,201,92	7,37	3.708
Puquía	II Ollague	8	-6635	67,30%	7.603,87	5,204,49	7,17	4.015
Quebrada de Río Grande	II San Pedro De	5	-6211	60,90%	6.303,62	3,403,03	7,20	3.120
San Juan	II San Pedro De	7	-6938	60,90%	6.903,96	3,503,02	7,34	4.023
Subtotal Antofagasta		53	-6418	41,82%	5.404,42	2.902,55	7,25	3.438
Bajo Quilahué	VIII Tima	122	-6176	47,50%	7.903,85	3,603,58	4,36	330
Grano de Trigo	VIII Comodoro	97	-6119	18,30%	6.203,12	3,303,26	4,49	564
Licupen	VIII Comodoro	30	-6812	18,30%	6.403,62	2,702,67	4,46	493
Licupen	VIII Tima	31	-6103	47,50%	6.403,62	3,303,18	4,29	425
Melipal	VIII Comodoro	10	-6346	18,30%	6.103,60	3,303,25	4,45	621
Subtotal Biobío		15	-6207	47,50%	6.103,60	3,303,20	4,44	229
Alto Yumbel	IX Cautín	73	-6308	24,54%	5.803,53	2,902,97	4,42	247
Cochiguano	IX Cautín	144	-6092	26,10%	8.103,78	3,703,64	4,14	623
Cochiguano	IX Cautín	15	-6160	16,30%	6.003,58	2,702,69	4,44	226
Guadalupe	IX Los Rios	47	-6108	17,90%	6.503,63	4,103,99	4,70	959
Los Yuyos	IX Los Rios	16	-6312	17,90%	7.003,67	2,902,89	4,51	261
Monte y Sanchez	IX Cautín	188	-6147	29,10%	8.403,22	3,503,43	4,23	857
Treinta y Tres	IX Los Rios	25	-6329	17,90%	6.003,58	2,402,40	4,42	175
Subtotal La Araucanía		83	-6296	33,36%	5.535,27	3,012,98	4,35	463
Calleja Matucana	X San Juan de la	52	-6626	59,40%	7.403,74	3,803,81	3,88	102
Mapia	X Maipo	143	-6111	23,20%	6.803,63	3,303,33	4,11	85
Melipal	X Maipo	177	-6325	23,20%	6.303,63	3,103,10	3,94	191
Puquía	X Maipo	25	-6280	23,20%	7.603,70	4,103,11	3,96	184
San José	X Maipo	108	-6537	16,90%	7.603,70	3,003,02	4,31	679
Yuyo Bajo	X Maipo	271	-6462	23,20%	5.903,90	2,902,90	3,93	85
Subtotal Los Lagos		98	-6428	26,81%	8.523,58	3,143,12	3,68	210
Bajo Pangua	XI Trel	20	-6997	18,90%	7.103,75	3,603,62	6	5
Reynal Alto	XI Trel	81	-6987	18,90%	7.503,75	3,303,12	3,22	9
Rio Negro	XI Trel	6	-6482	18,90%	7.103,75	3,803,82	6	6
Subtotal Aysen		70	-6590	16,66%	6.716,25	3,563,57	3,22	12

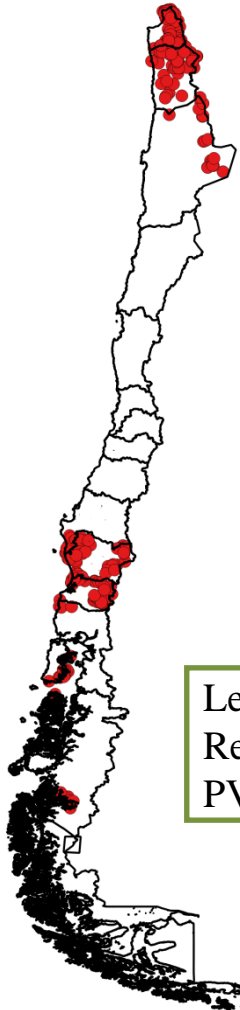
Vp'95 corresponde a la velocidad promedio anual; Vp'95 corresponde a la velocidad promedio anual corregida por densidad del aire.

GHI: Global Horizontal Irradiance promedio, medida en [KWh/m² - día]

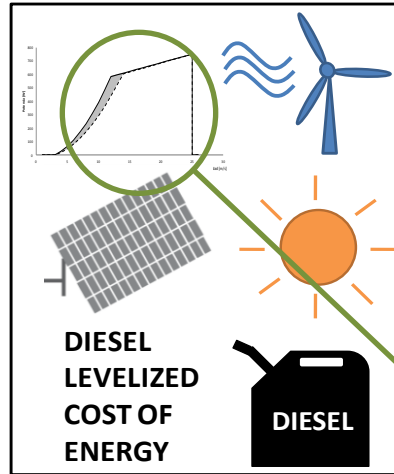
LAG-PI-5

N''= 255

- Localidad / Población
- Geolocalización
- Potencial Renovable



Levantamiento  
Recursos Naturales  
PV/ Wind



DIESEL  
LEVELIZED  
COST OF  
ENERGY

DIESEL

## Análisis Técnico – Económico

Corrección de la curva de potencia del aerogenerador por densidad de aire debido a la altitud.

Tabla 1. Localidades de Chile seleccionadas para estudio, referenciadas a mapa.

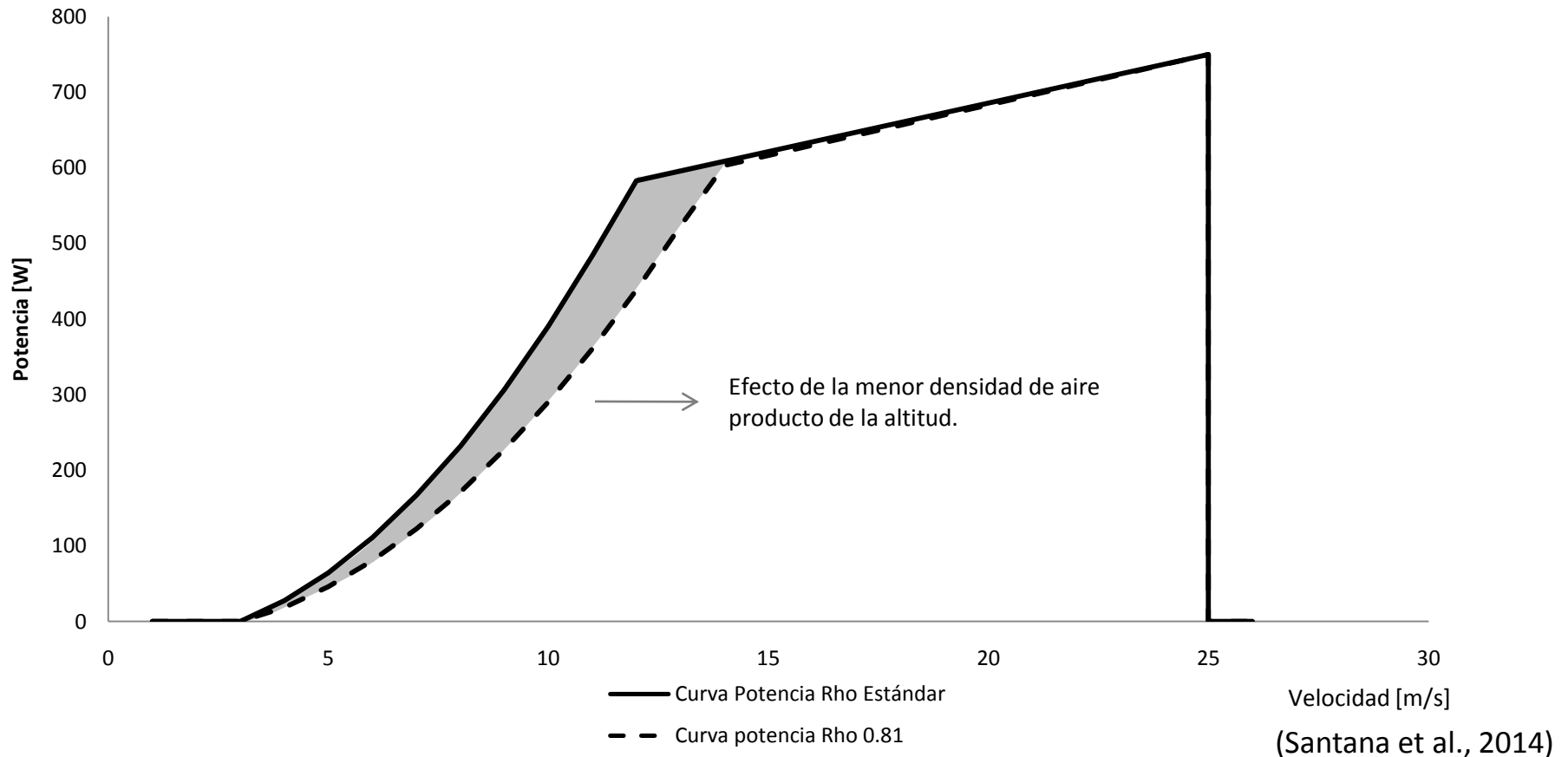
Localidad	Región/Comuna	Población (Habs.)	Índice de Aislamiento	Población Indígena (%)	Vp/Vp'95	Vp/Vp'95 95m'	GHI*	Altitud (m.s.n.m.)
Cochiza	XV Comanar	11	-0,793	61,60%	2.502,39	0,500,48	6,81	812
Cuya	XV Comanar	64	-0,433	61,60%	3.002,72	0,700,09	6,62	204
Mapiña	XV Comanar	21	-0,541	61,60%	4.000,35	0,800,77	6,70	693
O Higgins	XV Comanar	5	-0,677	61,60%	3.102,50	0,500,47	6,72	1.029
Pacheco	XV Comanar	10	-0,735	61,60%	3.200,10	0,500,47	6,74	977
Talape	XV Comanar	28	-0,598	61,60%	2.902,29	0,700,07	6,71	737
Subtotal Arica y Parinacota		17	-0,466	59,96%	4.273,80	1,021,67	6,72	3.560
Alpejor	I Cokhuane	5	-0,074	78,10%	4.802,52	4,503,85	6,93	4.203
Alcornoque	I Cokhuane	69	-0,209	78,10%	5.604,88	2,602,27	7,20	3.726
Chaguané	I Cokhuane	10	-0,745	78,10%	8.100,97	5,004,30	7,02	4.097
Chilhuane	I Cokhuane	47	-0,576	78,10%	5.905,08	4,904,22	6,87	4.063
Cochiguano Uno	I Cokhuane	14	-0,581	78,10%	7.700,68	4,603,99	7,06	3.840
Chilhuane	I Cokhuane	5	-0,550	78,10%	5.905,08	4,603,80	7,04	3.983
Vizcachani	I Cokhuane	13	-0,546	78,10%	7.500,45	3,903,36	7,03	4.176
Subtotal Tarapaca		97	-0,457	48,85%	4.238,38	1,901,69	6,99	2.443
Accom	II Ollague	7	-0,701	67,30%	7.000,05	2,101,99	7,23	3.973
El Lago	II Ollague	15	-0,949	60,90%	13.101,02	7,806,56	7,35	4.718
Ollague	II Ollague	195	-0,198	67,30%	4.500,59	2,201,92	7,37	3.708
Puquía	II Ollague	8	-0,635	67,30%	7.600,87	5,204,49	7,17	4.015
Quebrada de Río Grande	II Ollague	5	-0,211	60,90%	6.300,52	3,403,03	7,20	3.120
San Juan	II Ollague	7	-0,938	60,90%	6.900,56	3,503,02	7,34	4.023
Subtotal Antofagasta		53	-0,418	41,82%	5,400,432	2,902,55	7,25	3,438
Bajo Quilantahué	VIII Tima	122	-0,076	47,50%	7.900,785	3,603,58	4,36	330
Grano de Trigo	VIII Tima	97	-0,019	18,30%	6.200,612	3,303,26	4,49	564
Licunquen	VIII Tima	30	-0,812	18,30%	6,400,632	2,702,67	4,46	493
Licunquen	VIII Tima	31	-0,010	47,50%	6,400,632	3,203,18	4,29	425
Melancher Alto	VIII Tima	10	-0,346	18,30%	6,100,603	3,303,25	4,45	621
Pallac	VIII Tima	15	-0,207	47,50%	6,100,609	3,203,20	4,44	229
Subtotal Biobío		73	-0,308	24,54%	5,500,535	2,902,97	4,42	247
Alto Yumbel	IX Cautín	144	-0,092	26,10%	8,100,798	3,703,64	4,14	623
Cochin	IX Cautín	15	-0,160	16,30%	6,000,598	2,702,69	4,44	226
Guadalupe Arriba	IX Cautín	47	-0,108	17,90%	6,500,637	4,103,99	4,70	999
Los Yuyos	IX Cautín	16	-0,332	17,90%	7,000,697	2,902,89	4,51	581
Matte y Sanchez	IX Cautín	188	-0,147	29,10%	8,400,822	3,503,43	4,23	857
Treintara	IX Cautín	25	-0,329	17,90%	6,000,598	2,602,40	4,42	175
Subtotal La Araucanía		83	-0,296	33,36%	5,535,527	3,012,98	4,35	463
Cálica Matuzano	XI Tarma	52	-0,626	59,40%	7,400,741	3,803,81	3,88	192
Mapiñal	XI Tarma	143	-0,111	23,20%	6,800,651	3,303,33	4,11	85
Melina	XI Tarma	177	-0,325	23,20%	6,300,631	3,103,10	3,94	191
Pillico	XI Tarma	25	-0,280	23,20%	7,600,740	4,103,11	3,96	184
San José	XI Tarma	108	-0,537	16,90%	7,600,740	3,003,02	4,31	679
Yeco Bajo	XI Tarma	271	-0,462	23,20%	5,900,590	2,902,90	3,93	85
Subtotal Los Lagos		98	-0,428	26,84%	8,525,549	3,145,12	3,68	219
Bajo Pascua	XII Tarma	20	-0,997	18,90%	7,100,715	3,603,62	3	5
Rejón Alto	XII Tarma	81	-0,087	24,20%	7,500,755	3,303,12	3,22	6
Rio Negro	XII Tarma	6	-0,482	18,90%	7,100,715	3,803,82	3	6
Subtotal Aysen		70	-0,590	19,66%	6,716,765	3,563,57	3,22	12

\*Vp' corresponde a la velocidad promedio anual; Vp'95 corresponde a la velocidad promedio anual corregida por densidad del aire.  
\*GHI: Global Horizontal Irradiance promedio, medida en [kWh/m² - día]



# Corrección de curva de potencia por densidad de aire

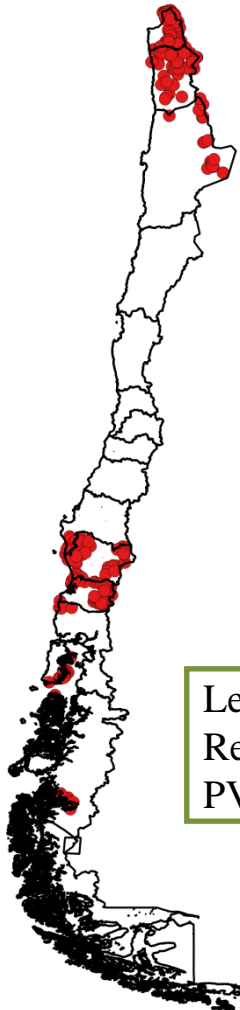
Curva Generación Greatwatt S600



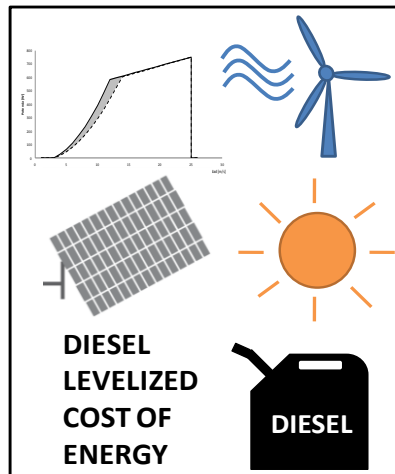
LAG-PI-5

N''= 255

- Localidad / Población
- Geolocalización
- Potencial Renovable



Levantamiento  
Recursos Naturales  
PV/ Wind



DIESEL  
LEVELIZED  
COST OF  
ENERGY

DIESEL

## Análisis Técnico – Económico

Tabla 1. Localidades de Chile seleccionadas para artículo, referenciadas a mapa.

Localidad	Región/Comuna	Habs.	Índice de Aislamiento	Población Indígena (%)	V <sub>pv</sub> y V <sub>95</sub> m/s	GHF	Altitud (m.s.n.m.)	
Cochiza	XV Canchales	11	-0,793	61,60%	2.502,39	0,500,48	6,81	812
Cuya	XV Canchales	64	-0,433	61,60%	3.803,72	0,700,09	6,62	204
Mapia	XV Canchales	21	-0,541	61,60%	4.003,35	0,800,77	6,70	693
O Higgins	XV Canchales	5	-0,677	61,60%	3.102,20	0,500,47	6,72	1.029
Pacheco	XV Canchales	10	-0,735	61,60%	3.203,10	0,500,47	6,74	977
Talape	XV Canchales	28	-0,598	61,60%	2.902,29	0,700,67	6,71	737
<b>Subtotal Arica y Parinacota</b>		<b>17</b>	<b>-0,466</b>	<b>59,96%</b>	<b>4.273,38</b>	<b>1.021,67</b>	<b>6,72</b>	<b>3.560</b>
Alpejor	I Cokhuano	5	-0,074	78,10%	4.803,52	4,503,85	6,93	4,203
Alcornoque	I Cokhuano	69	-0,209	78,10%	5.603,48	2,602,27	7,20	3,726
Chaguané	I Cokhuano	10	-0,745	78,10%	8.103,97	5,604,30	7,02	4,097
Chilhuano	I Cokhuano	47	-0,576	78,10%	5.903,50	4,904,22	6,87	4,063
Cochiguano Uno	I Cokhuano	14	-0,581	78,10%	7.703,68	4,603,99	7,06	3,840
Chilhuano Dos	I Cokhuano	5	-0,550	78,10%	5.903,50	4,904,22	7,04	3,983
Vizcachani	I Cokhuano	13	-0,546	78,10%	7.503,65	3,903,36	7,03	4,176
<b>Subtotal Tarapacá</b>		<b>97</b>	<b>-0,457</b>	<b>40,85%</b>	<b>4.238,38</b>	<b>1.901,69</b>	<b>6,99</b>	<b>2.443</b>
Alcornoque	II Ollague	7	-0,701	67,30%	7.003,05	2,101,99	7,23	3,973
El Lago	II San Pedro De Atacama	15	-0,949	60,90%	13.101,02	7,806,56	7,35	4,718
Ollague	II Ollague	195	-0,198	67,30%	4.503,69	2,201,92	7,37	3,708
Quebrada de Río Grande	II Ollague	8	-0,635	67,30%	7.603,87	5,204,49	7,17	4,015
San Juan	II San Pedro De Atacama	5	-0,211	60,90%	6.303,62	3,403,03	7,20	3,120
<b>Subtotal Antofagasta</b>		<b>53</b>	<b>-0,418</b>	<b>41,82%</b>	<b>5.848,42</b>	<b>2.902,55</b>	<b>7,25</b>	<b>4.023</b>
Bajo Quilahué	VIII Tarma	122	-0,076	47,50%	7.903,85	3,603,58	4,36	3,30
Grano de Trigo	VIII Comodoro	97	-0,019	18,30%	6.203,12	3,303,26	4,49	564
Licupen	VIII Comodoro	30	-0,812	18,30%	6.403,62	2,702,67	4,46	493
Licupen Alto	VIII Comodoro	31	-0,010	47,50%	6.403,62	3,303,18	4,29	425
Pallica	VIII Tarma	10	-0,346	18,30%	6.103,00	3,303,25	4,45	621
Alto Yumbay	VIII Tarma	15	-0,267	47,50%	6.103,00	3,303,20	4,44	229
Coedra	IX Coedra	73	-0,308	24,54%	5.803,53	2,902,97	4,42	247
Coedra	IX Coedra	144	-0,092	26,10%	8.103,78	3,703,64	4,14	623
Coedra	IX Coedra	15	-0,160	16,30%	6.003,58	2,702,69	4,44	226
Guadalupe Arriba	IX Los Saucos	47	-0,108	17,90%	6.503,63	4,103,99	4,70	959
Los Yayos	IX Los Saucos	16	-0,332	17,90%	7.003,67	2,902,89	4,51	261
Mate y Sanchez	IX Coedra	188	-0,147	29,10%	8.403,22	3,503,43	4,23	857
Treintara	IX Los Saucos	25	-0,329	17,90%	6.003,59	2,402,40	4,42	175
<b>Subtotal La Araucanía</b>		<b>83</b>	<b>-0,296</b>	<b>33,36%</b>	<b>5.535,27</b>	<b>3,012,98</b>	<b>4,35</b>	<b>463</b>
Cálica Matuzano	X San Juan de la Costa	52	-0,626	59,40%	7.403,74	3,803,81	3,88	192
Mapia	X Maipo	143	-0,111	23,20%	6.803,63	3,303,33	4,11	85
Melina	X Maipo	177	-0,325	23,20%	6.303,63	3,103,10	3,94	191
Pellico	X Maipo	25	-0,280	23,20%	7.603,70	4,103,11	3,96	184
San José	X Maipo	108	-0,537	16,90%	7.603,70	3,003,02	4,31	679
Yeco Bajo	X Maipo	271	-0,462	23,20%	5.903,90	2,902,90	3,93	85
<b>Subtotal Los Lagos</b>		<b>98</b>	<b>-0,428</b>	<b>26,81%</b>	<b>8.525,58</b>	<b>3,145,12</b>	<b>3,68</b>	<b>210</b>
Bajo Paeza	XI Trel	20	-0,997	18,90%	7.103,75	3,603,62	6	5
Recoleta Alto	XI Guaitaneos	81	-0,087	7,50%	7.503,75	3,303,12	3,22	9
Rio Negro	XI Trel	6	-0,482	18,90%	7.103,75	3,803,82	6	6
<b>Subtotal Aysen</b>		<b>70</b>	<b>-0,590</b>	<b>19,66%</b>	<b>6,716,26</b>	<b>3,563,57</b>	<b>3,22</b>	<b>12</b>

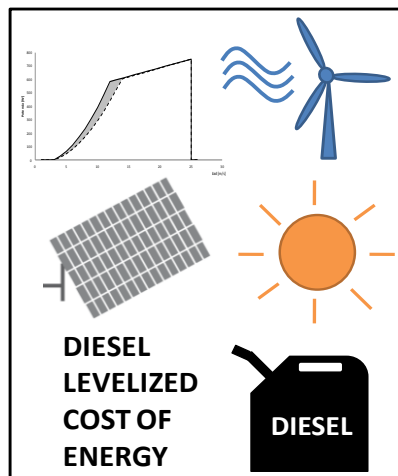
<sup>1</sup>V<sub>pv</sub> corresponde a la velocidad promedio anual; V<sub>95</sub> corresponde a la velocidad promedio anual corregida por densidad del aire.

<sup>2</sup>GHF: Global Horizontal Irradiance promedio, medida en [KWh/m<sup>2</sup> - día]

LAG-PI-5

N°= 255

- Localidad / Población
- Geolocalización
- Potencial Renovable



Estimación de  
LCOE para cada  
tecnología

Análisis  
Técnico –  
Económico

Levantamiento  
Recursos Naturales  
PV/ Wind

Tabla 1. Localidades de Chile seleccionadas para artículo, referenciadas a mapa.

Localidad	Región/Comuna	Población (Habs.)	Índice de Asentamiento	Población Indígena (%)	V <sub>pv</sub> '95	V <sub>w</sub> '95	Altitud (m.s.n.m.)
Cochiza	XV Camarones	11	-0,793	61,60%	2.502,29	0,500,48	6,81
Cuya	XV Camarones	64	-0,433	61,60%	3.803,72	0,700,69	6,62
Mapiña	XV Camarones	21	-0,541	61,60%	4.000,35	0,800,77	6,70
O Higgins	XV Camarones	5	-0,677	61,60%	3.102,20	0,500,47	6,72
Pedernales	XV Camarones	10	-0,735	61,60%	3.200,10	0,500,47	6,71
Tahape	XV Camarones	28	-0,598	61,60%	2.902,29	0,700,67	6,71
Subtotal Arica y Parícuta		17	-0,466	59,96%	4,273,08	1,921,67	6,72
Alpejor	I Cokhane	5	-0,074	78,10%	4.803,52	4,503,35	6,93
Alpejor	I Cokhane	69	-0,209	78,10%	5.603,48	2,602,27	7,20
Chagante	I Cokhane	10	-0,745	78,10%	8.100,69	5,004,30	7,02
Chulluncane	I Cokhane	47	-0,576	78,10%	5.803,50	4,904,22	6,87
Cochiguano Uno	I Cokhane	14	-0,581	78,10%	7.700,68	4,603,99	7,06
Cochiguano Dos	I Cokhane	5	-0,550	78,10%	5.803,50	4,603,99	7,04
Viscacha	I Cokhane	13	-0,546	78,10%	7.500,63	3,903,36	7,03
Subtotal Tarapacá		97	-0,457	80,85%	4,238,30	1,901,69	6,90
Alpejor	II Ollague	7	-0,701	67,30%	7.000,05	2,301,99	7,23
El Laco	II Ollague	15	-0,849	60,90%	13.101,02	7,806,56	7,35
Ollague	II Ollague	195	-0,198	67,30%	6.503,50	2,201,92	7,37
Pagani	II Ollague	8	-0,635	67,30%	7.600,67	5,204,49	7,17
Quelache de Río Grande	II Ollague	5	-0,211	60,90%	6.303,52	3,403,03	7,20
San Juan	II Ollague	7	-0,938	60,90%	6.900,56	3,503,02	7,34
Subtotal Antofagasta		53	-0,418	41,82%	5,400,42	2,902,55	7,25
Bajo Quilantash	VIII Tarma	122	-0,076	47,50%	7.900,78	3,603,58	4,36
Grano de Trigo	VIII Tarma	97	-0,019	18,30%	6.200,62	3,303,26	4,49
Licupen	VIII Tarma	30	-0,812	18,30%	6.400,62	2,702,67	4,46
Molinigüe Alto	VIII Tarma	31	-0,010	47,50%	6.400,62	3,203,18	4,29
Paillico	VIII Tarma	10	-0,346	18,30%	6.100,60	3,303,25	4,45
Subtotal Biobío		15	-0,267	47,50%	6.100,60	3,203,20	4,44
Alto Yopelhue	IX Carahue	73	-0,308	5,80%	5,800,50	2,902,97	4,42
Codema	IX Carahue	144	-0,092	26,10%	8.100,78	3,703,64	4,14
Codema	IX Carahue	15	-0,160	16,30%	6.000,50	2,702,69	4,44
Guadalupe Arriba	IX Los Saucos	47	-0,108	17,90%	6.500,63	4,103,99	4,70
Los Yeyos	IX Los Saucos	16	-0,312	17,90%	7.000,67	2,902,89	4,51
Monte y Sanchez	IX Los Saucos	188	-0,147	29,10%	8.400,82	3,503,43	4,23
Tronquera	IX Los Saucos	25	-0,329	17,90%	6.000,50	2,402,40	4,42
Subtotal Los Lagos		83	-0,296	33,36%	5,535,27	3,012,98	4,35
Casta Matanzo	X San Juan de la Costa	52	-0,626	59,40%	7.400,74	3,803,81	3,88
Casta Matanzo	X Mariposa	147	-0,111	22,20%	6.800,63	3,303,33	4,11
Mehua	X Mariposa	177	-0,325	23,20%	6.300,63	3,103,10	3,94
Pedernales	X Mariposa	25	-0,280	22,20%	7.600,74	4,103,11	3,96
San José	X Quilantash	108	-0,577	16,90%	7.600,75	3,003,02	4,31
Yeco Bajo	X Mariposa	271	-0,462	23,20%	5.900,50	2,902,90	3,93
Subtotal Los Lagos		98	-0,428	26,41%	6,822,50	3,140,12	3,68
Bajo Pascua	XI Trelor	20	-0,997	18,90%	7.100,75	3,603,62	5
Repelal Alto	XI Guatuncos	81	-0,087	24,20%	7.500,75	3,303,12	3,22
Rio Negro	XI Trelor	6	-0,482	18,90%	7.100,75	3,803,82	5
Subtotal Aysen		70	-0,590	76,46%	6,716,25	3,563,57	3,22

V<sub>pv</sub> corresponde a la velocidad promedio anual; V<sub>w</sub> corresponde a la velocidad promedio anual corregida por densidad del aire.  
GHI: Global Horizontal Irradiance promedio, medida en [KWh/m² - día]

Tabla 1. Selección localidades de Chile y sus tecnologías potenciales. (Costoefectividad en comparación al diesel)

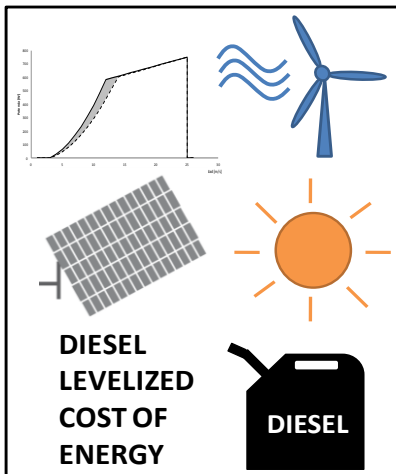
Localidad	Región/Comuna	Demanda (MWh/año)	Wind	Wind	SPV	LCOE [US\$/kWh]				Instalación de Tecnología			
						Wind	SPV	Diesel	W	W	W	W	PV
Cochiza	XV Camarones	2,66	14,94	11,100	11,100	0,253	0,422	-	-	-	-	-	-
Cuya	XV Camarones	15,48	86,90	1,103	1,236	0,261	0,422	-	-	-	-	-	-
Mapiña	XV Camarones	5,08	28,51	0,860	1,035	0,258	0,422	-	-	-	-	-	-
O Higgins	XV Camarones	1,21	6,79	0,923	-	0,257	0,422	-	-	-	-	-	-
Pedernales	XV Camarones	2,42	13,58	4,835	35,052	0,256	0,422	-	-	-	-	-	-
Tahape	XV Camarones	6,77	38,02	-	-	0,257	0,422	-	-	-	-	-	-
Subtotal Arica y Parícuta		4,83	22,61	2,549	3,580	0,266	0,427	-	-	-	-	-	-
Alpejor	I Cokhane	1,21	6,79	0,185	0,290	0,249	0,396	-	-	-	-	-	-
Alpejor	I Cokhane	16,69	93,69	0,287	0,419	0,239	0,410	-	-	-	-	-	-
Chagante	I Cokhane	2,42	13,58	0,134	0,176	0,246	0,396	-	-	-	-	-	-
Chulluncane	I Cokhane	11,37	63,82	0,253	0,373	0,251	0,396	-	-	-	-	-	-
Cochiguano	I Cokhane	3,39	19,01	0,146	0,192	0,244	0,396	-	-	-	-	-	-
Quelantash	I Cokhane	1,21	6,79	0,253	0,368	0,245	0,396	-	-	-	-	-	-
Viscacha	I Cokhane	3,14	17,65	0,153	0,207	0,245	0,396	-	-	-	-	-	-
Subtotal Tarapacá		13,86	77,81	2,578	3,496	0,250	0,390	-	-	-	-	-	-
Alpejor	II Ollague	1,69	9,50	0,175	0,239	0,238	0,431	-	-	-	-	-	-
El Laco	II San Pedro d. A.	3,63	20,37	0,077	0,086	0,234	0,512	-	-	-	-	-	-
Ollague	II Ollague	47,17	264,78	0,203	0,276	0,234	0,431	-	-	-	-	-	-
Pagani	II Ollague	1,54	10,86	0,150	0,199	0,240	0,431	-	-	-	-	-	-
Q. de Río G.	II San Pedro d. A.	1,21	6,79	0,218	0,284	0,239	0,512	-	-	-	-	-	-
San Juan	II San Pedro d. A.	1,69	9,50	0,180	0,247	0,235	0,512	-	-	-	-	-	-
Subtotal Antofagasta		15,60	87,54	0,842	2,280	0,238	0,486	-	-	-	-	-	-
B. Quilantash	VIII Tarma	29,51	165,65	0,140	0,141	0,402	0,406	-	-	-	-	-	-
Grano de Trigo	VIII Combarba	23,46	131,71	0,225	0,232	0,390	0,411	-	-	-	-	-	-
Licupen	VIII Combarba	7,26	40,73	0,210	0,216	0,393	0,411	-	-	-	-	-	-
Licupen	VIII Tarma	7,50	42,09	0,210	0,213	0,409	0,406	-	-	-	-	-	-
Molinigüe A.	VIII Combarba	2,42	13,58	0,234	0,242	0,394	0,411	-	-	-	-	-	-
Paillico	VIII Tarma	3,63	20,37	0,234	0,235	0,395	0,406	-	-	-	-	-	-
Subtotal Biobío		21,36	119,91	0,373	0,375	0,397	0,407	-	-	-	-	-	-
Alto Yopelhue	IX Carahue	34,83	195,53	0,134	0,137	0,424	0,400	-	-	-	-	-	-
Codema	IX Triguera	3,63	20,37	0,243	0,245	0,395	0,409	-	-	-	-	-	-
Guadalupe A.	IX Los Saucos	11,37	63,82	0,203	0,216	0,372	0,409	-	-	-	-	-	-
Los Yeyos	IX Los Saucos	3,87	21,73	0,175	0,176	0,388	0,409	-	-	-	-	-	-
M. y Sanchez	IX Carahue	45,47	255,27	0,126	0,130	0,415	0,400	-	-	-	-	-	-
Tronquera	IX Los Saucos	6,05	33,95	0,243	0,244	0,396	0,409	-	-	-	-	-	-
Subtotal La Araucanía		20,08	112,73	0,432	0,482	0,406	0,409	-	-	-	-	-	-
C. Matanzo	X San Juan d. C.	12,58	70,61	0,157	0,157	0,454	0,431	-	-	-	-	-	-
Maquillanue	X Mariposa	34,59	194,17	0,185	0,184	0,428	0,423	-	-	-	-	-	-
Mehua	X Mariposa	42,81	240,34	0,218	0,217	0,447	0,423	-	-	-	-	-	-
Pedernales	X Mariposa	6,05	33,95	0,150	0,149	0,445	0,423	-	-	-	-	-	-
San José	X Quelen	26,12	146,65	0,150	0,148	0,407	0,398	-	-	-	-	-	-
Yeco Bajo	X Mariposa	65,55	367,97	0,253	0,252	0,448	0,423	-	-	-	-	-	-
Subtotal Los Lagos		23,59	132,43	0,643	0,657	0,488	0,414	-	-	-	-	-	-
Bajo Pascua	XI Trelor	4,84	27,16	0,170	0,168	0,587	0,416	-	-	-	-	-	-
Repelal Alto	XI Guatuncos	19,59	109,98	0,153	0,151	0,553	0,416	-	-	-	-	-	-
Rio Negro	XI Trelor	1,45	8,15	0,170	0,169	0,587	0,416	-	-	-	-	-	-
Subtotal Aysen		16,90	94,85	0,280	0,198	0,553	0,410	-	-	-	-	-	-

Levelized Cost of Energy for density air wind correction

LAG-PI-5

N°= 255

- Localidad / Población
- Geolocalización
- Potencial Renovable



Estimación de  
LCOE para cada  
tecnología

Análisis  
Técnico –  
Económico

Levantamiento  
Recursos Naturales  
PV/ Wind

Tabla 1. Localidades de Chile seleccionadas para análisis, referenciadas a mapa.									
Localidad	Región/Comuna	Población (Habs.)	Índice de Aislamiento	Población Indígena (%)	Vp/Vp'95 m	Vp/Vp'95 m	GHI*	Altitud (m.s.n.m.)	
Cochiza	XV Comunes	11	-0,793	61,60%	2.502,30	0,500,48	6,81	812	
Cuya	XV Comunes	64	-0,413	61,60%	3.803,72	0,700,09	6,62	204	
Mapia	XV Comunes	21	-0,541	61,60%	4.003,35	0,800,77	6,70	693	
O Higgins	XV Comunes	5	-0,677	61,60%	3.102,50	0,500,47	6,72	1.029	
Pedraza	XV Comunes	10	-0,735	61,60%	3.203,10	0,500,47	6,74	977	
Tahape	XV Comunes	28	-0,398	61,60%	2.902,29	0,700,67	6,71	737	
Subtotal Arica y Parícuta		17	-0,466	59,96%	4.273,30	1.021,67	6,72	3.560	
Aljibe	I Colchane	5	-0,074	78,10%	4.803,52	4,503,85	6,93	4,203	
Alto Vespino	I Colchane	69	-0,209	78,10%	5.503,48	2,602,27	7,20	3,726	
Chagante	I Colchane	10	-0,745	78,10%	8.103,67	5,004,30	7,02	4,097	
Chilhuane	I Colchane	47	-0,576	78,10%	5.503,48	4,904,22	6,87	4,063	
Cochiquano Uno	I Colchane	14	-0,581	78,10%	7.703,68	4,603,99	7,06	3,840	
Cochiquano Dos	I Colchane	5	-0,550	78,10%	5.503,48	4,403,80	7,04	3,983	
Vicuchani	I Colchane	13	-0,546	78,10%	7.503,63	3,903,36	7,03	4,176	
Subtotal Tarapaca		97	-0,467	78,10%	4.230,38	1.901,49	6,90	2,443	
Accoutan	II Ollague	7	-0,701	67,30%	7.003,05	2,301,99	7,23	3,973	
El Laco	II San Pedro de	15	-0,949	60,90%	13.103,102	7,808,56	7,35	4,718	
Ollague	II Ollague	195	-0,198	67,30%	4.503,69	2,201,92	7,37	3,708	
Pagosa	II Ollague	8	-0,615	67,30%	7.603,67	5,204,49	7,17	4,015	
Quebrada de Rio Grande	II San Pedro de	5	-0,211	60,90%	6.303,52	3,403,03	7,20	3,120	
San Juan	II San Pedro de	7	-0,938	60,90%	6.903,56	3,503,02	7,34	4,023	
Subtotal Antofagasta		53	-0,418	41,82%	5.403,42	2,902,55	7,25	3,438	
Bajo Quilhuane	VIII Tarma	122	-0,076	47,50%	7.903,78	3,603,58	4,36	3,30	
Grano de Trigo	VIII Tarma	97	-0,019	18,30%	6.203,62	3,303,26	4,49	564	
Licupen	VIII Tarma	30	-0,812	18,30%	6.403,62	2,702,67	4,46	493	
Licupen	VIII Tarma	31	-0,010	47,50%	6.403,62	3,203,18	4,29	425	
Mahulpe	VIII Tarma	10	-0,346	18,30%	6.103,60	3,303,25	4,45	621	
Pailaco	VIII Tarma	15	-0,267	47,50%	6.103,60	3,203,20	4,44	229	
Subtotal Biobio		73	-0,308	5,54%	5.503,52	2,902,97	4,42	247	
Alto Vespino	IX Carahue	144	-0,092	25,10%	8.103,78	3,703,64	4,14	623	
Codema	IX Carahue	15	-0,160	16,30%	6.003,95	2,702,69	4,44	226	
Guadalupe	IX Los Saucos	47	-0,168	17,90%	6.503,63	4,103,99	4,70	999	
Los Yeyos	IX Los Saucos	16	-0,312	17,90%	7.003,67	2,902,89	4,51	503	
Mate y Sanchez	IX Carahue	188	-0,147	25,10%	8.403,82	3,503,43	4,23	857	
Tromcota	IX Los Saucos	35	-0,329	17,90%	6.003,95	2,402,40	4,42	175	
Subtotal La Araucania		83	-0,296	33,36%	5,535,27	3,012,98	4,35	463	
Casta Marzano	X San Juan de la	52	-0,626	59,40%	7.403,74	3,803,81	3,88	102	
Maquillan	X Maquillan	147	-0,111	22,20%	6.103,60	3,303,13	4,11	81	
Maquillan	X Maquillan	177	-0,325	23,20%	6.303,63	3,103,10	3,94	191	
Pedraza	X Maquillan	25	-0,360	22,20%	7.603,74	4,103,11	3,96	184	
San Jose	X Quilén	108	-0,537	16,90%	7.603,75	3,003,02	4,31	679	
Yeco Bajo	X Maquillan	271	-0,462	23,20%	5.903,90	2,902,90	3,93	35	
Subtotal Los Lagos		98	-0,428	26,41%	8,525,28	3,443,12	3,46	210	
Bajo Pailaco	XI Trel	20	-0,997	18,90%	7.103,75	3,603,62	4,2	6	
Repelido Alto	XI Guaitane	81	-0,087	14,20%	7.503,75	3,303,32	3,22	5	
Rio Negro	XI Trel	6	-0,462	18,90%	7.103,75	3,803,82	4,2	12	
Subtotal Aysen		70	-0,500	19,66%	6,716,26	3,563,57	3,22	12	

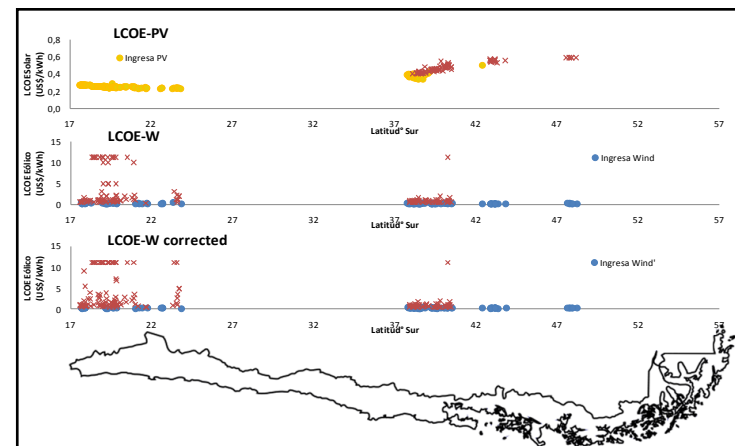
\*Vp corresponde a la velocidad promedio anual; Vp'95 corresponde a la velocidad promedio anual corregida por densidad del aire.  
\*GHI: Global Horizontal Irradiance promedio, medida en [KWh/m² - día]

Tabla 1. Selección localidades de Chile y sus tecnologías potenciales. (Costoefectividad en comparación al diesel)

en comparación de a/dísel)		Demanda		LCOE (US\$/kWh)				Instalación de Tecnología		
Localidad	Región/Comuna	(MWh/año)	Wind	Wind	SPV	SPV	Diesel	W	W'	PV
Cochiza	XV Comunes	2,66	14,94	11,100	11,100	0,253	0,422	-	-	-
Cuya	XV Comunes	15,48	86,90	1,103	1,236	0,261	0,422	-	-	-
Mapia	XV Comunes	5,08	28,51	0,860	1,035	0,258	0,422	-	-	-
O Higgins	XV Comunes	1,31	6,79	0,923	-	0,257	0,422	-	-	-
Pedraza	XV Comunes	2,42	13,58	4,835	35,052	0,256	0,422	-	-	-
Tahape	XV Comunes	6,77	38,02	-	-	0,257	0,422	-	-	-
<b>Subtotal Arica y Parícuta</b>		<b>40,83</b>	<b>22,61</b>	<b>2,578</b>	<b>3,580</b>	<b>0,266</b>	<b>0,427</b>	-	-	-
Aljibe	I Colchane	1,21	6,79	0,185	0,290	0,249	0,396	-	-	-
Alto Vespino	I Colchane	16,69	93,69	0,287	0,419	0,239	0,410	-	-	-
Chagante	I Colchane	2,42	13,58	0,134	0,176	0,246	0,396	-	-	-
Chilhuane	I Colchane	11,37	63,82	0,253	0,373	0,251	0,396	-	-	-
Cochiquano	I Colchane	3,39	19,01	0,146	0,192	0,244	0,396	-	-	-
Quechupura	I Colchane	1,21	6,79	0,253	0,368	0,245	0,396	-	-	-
Vicuchani	I Colchane	3,14	17,65	0,153	0,207	0,245	0,396	-	-	-
<b>Subtotal Tarapaca</b>		<b>13,86</b>	<b>77,81</b>	<b>2,578</b>	<b>3,496</b>	<b>0,250</b>	<b>0,390</b>	-	-	-
Accoutan	II Ollague	1,69	9,50	0,175	0,239	0,238	0,431	-	-	-
El Laco	II San Pedro d. A.	3,63	20,37	0,077	0,086	0,234	0,512	-	-	-
Ollague	II Ollague	47,17	264,78	0,203	0,276	0,234	0,431	-	-	-
Pagosa	II Ollague	1,94	10,86	0,150	0,199	0,240	0,431	-	-	-
Q. de Rio G.	II San Pedro d. A.	1,21	6,79	0,218	0,284	0,239	0,512	-	-	-
San Juan	II San Pedro d. A.	1,69	9,50	0,180	0,247	0,235	0,512	-	-	-
<b>Subtotal Antofagasta</b>		<b>15,60</b>	<b>87,54</b>	<b>0,842</b>	<b>2,280</b>	<b>0,238</b>	<b>0,486</b>	-	-	-
B. Quilhuane	VIII Tarma	29,51	165,65	0,140	0,141	0,402	0,406	-	-	-
Grano de Trigo	VIII Combario	23,46	131,71	0,225	0,232	0,390	0,411	-	-	-
Licupen	VIII Combario	7,26	40,73	0,210	0,216	0,393	0,411	-	-	-
Licupen	VIII Tarma	7,50	42,09	0,210	0,213	0,409	0,406	-	-	-
Mahulpe	A. VIII Combario	2,42	13,58	0,234	0,242	0,394	0,411	-	-	-
Pailaco	VIII Tarma	3,63	20,37	0,234	0,235	0,395	0,406	-	-	-
<b>Subtotal Biobio</b>		<b>21,36</b>	<b>119,91</b>	<b>0,373</b>	<b>0,375</b>	<b>0,397</b>	<b>0,407</b>	-	-	-
Alto Vespino	IX Carahue	34,83	195,53	0,134	0,137	0,424	0,400	-	-	-
Codema	IX Trel	3,63	20,37	0,243	0,245	0,395	0,409	-	-	-
Guadalupe	IX Los Saucos	11,37	63,82	0,203	0,216	0,372	0,409	-	-	-
Los Yeyos	IX Los Saucos	3,87	21,73	0,175	0,176	0,388	0,409	-	-	-
M. y Sanchez	IX Carahue	45,47	255,27	0,126	0,130	0,415	0,400	-	-	-
Tromcota	IX Los Saucos	6,05	33,95	0,243	0,244	0,396	0,409	-	-	-
<b>Subtotal La Araucania</b>		<b>20,82</b>	<b>112,73</b>	<b>0,432</b>	<b>0,462</b>	<b>0,406</b>	<b>0,409</b>	-	-	-
C. Marzano	X San Juan d. C.	12,58	70,61	0,157	0,157	0,454	0,431	-	-	-
Maquillan	X Maquillan	34,59	194,17	0,185	0,184	0,428	0,423	-	-	-
Mehuin	X Maquillan	42,81	240,34	0,218	0,217	0,447	0,423	-	-	-
Pedraza	X Maquillan	6,05	33,95	0,150	0,149	0,445	0,423	-	-	-
San Jose	X Quilén	26,12	146,65	0,150	0,148	0,407	0,398	-	-	-
Yeco Bajo	X Maquillan	65,55	367,97	0,253	0,252	0,448	0,423	-	-	-
<b>Subtotal Los Lagos</b>		<b>23,59</b>	<b>132,43</b>	<b>0,643</b>	<b>0,657</b>	<b>0,488</b>	<b>0,414</b>	-	-	-
Bajo Pailaco	XI Trel	4,84	27,16	0,170	0,168	0,587	0,416	-	-	-
Repelido Alto	XI Guaitane	19,59	109,98	0,153	0,151	0,553	0,416	-	-	-
Rio Negro	XI Trel	1,45	8,15	0,170	0,169	0,587	0,416	-	-	-
<b>Subtotal Aysen</b>		<b>16,90</b>	<b>94,85</b>	<b>0,280</b>	<b>0,198</b>	<b>0,553</b>	<b>0,410</b>	-	-	-

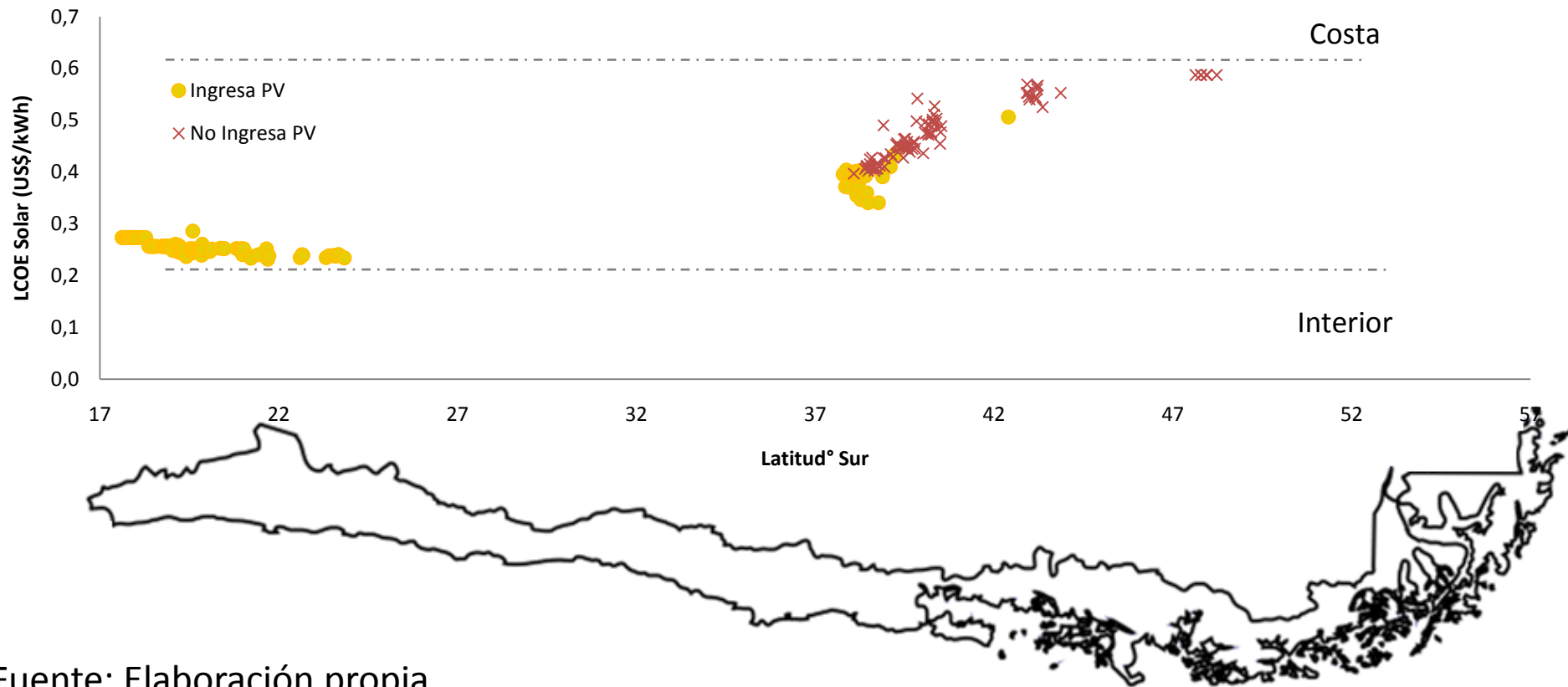
\*Levelized Cost of Energy for density air wind correction

Análisis de Factibilidad  
Para suministro aislado



# LCOE solar

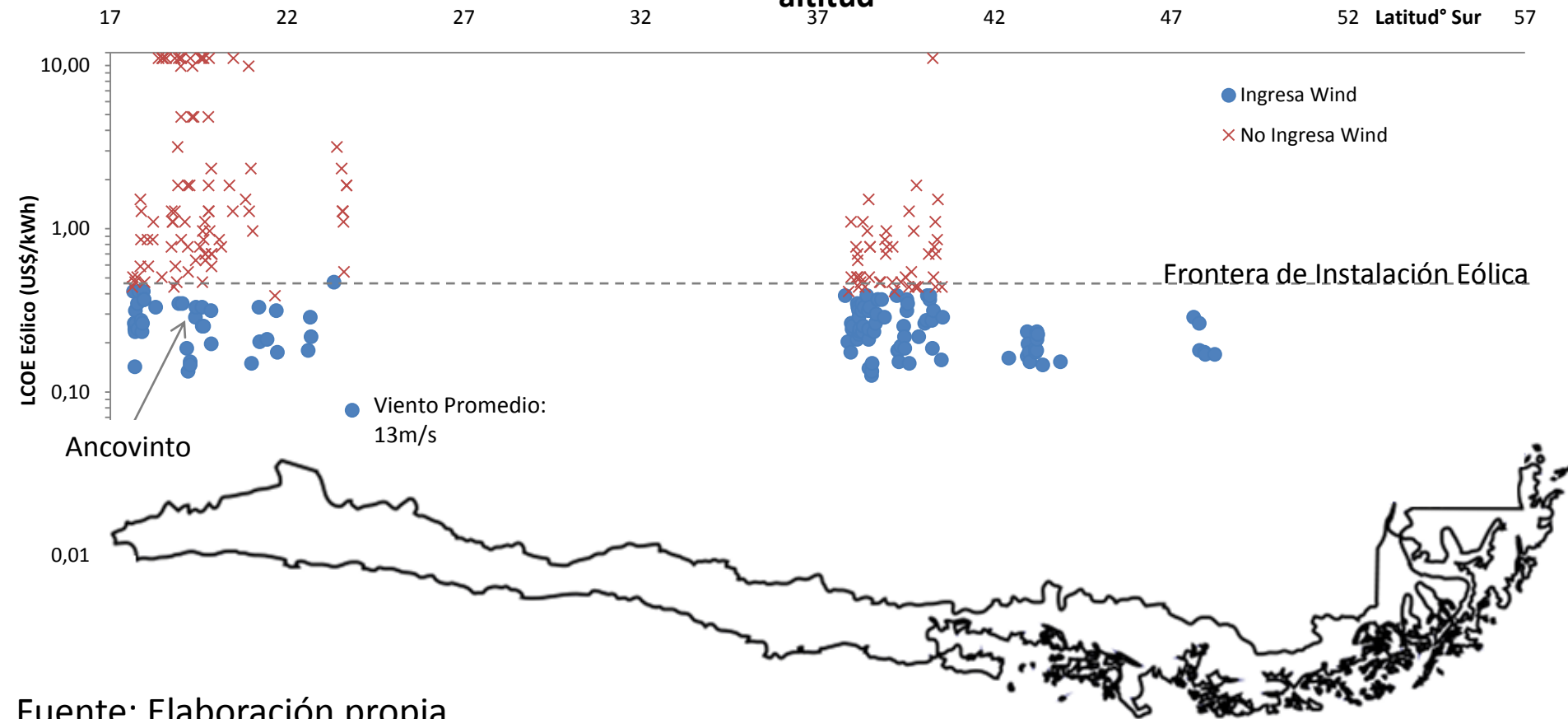
Dispersión Costo Nivelado de la Energía Solar PV en Chile.



Fuente: Elaboración propia.

# LCOE eólico sin corrección

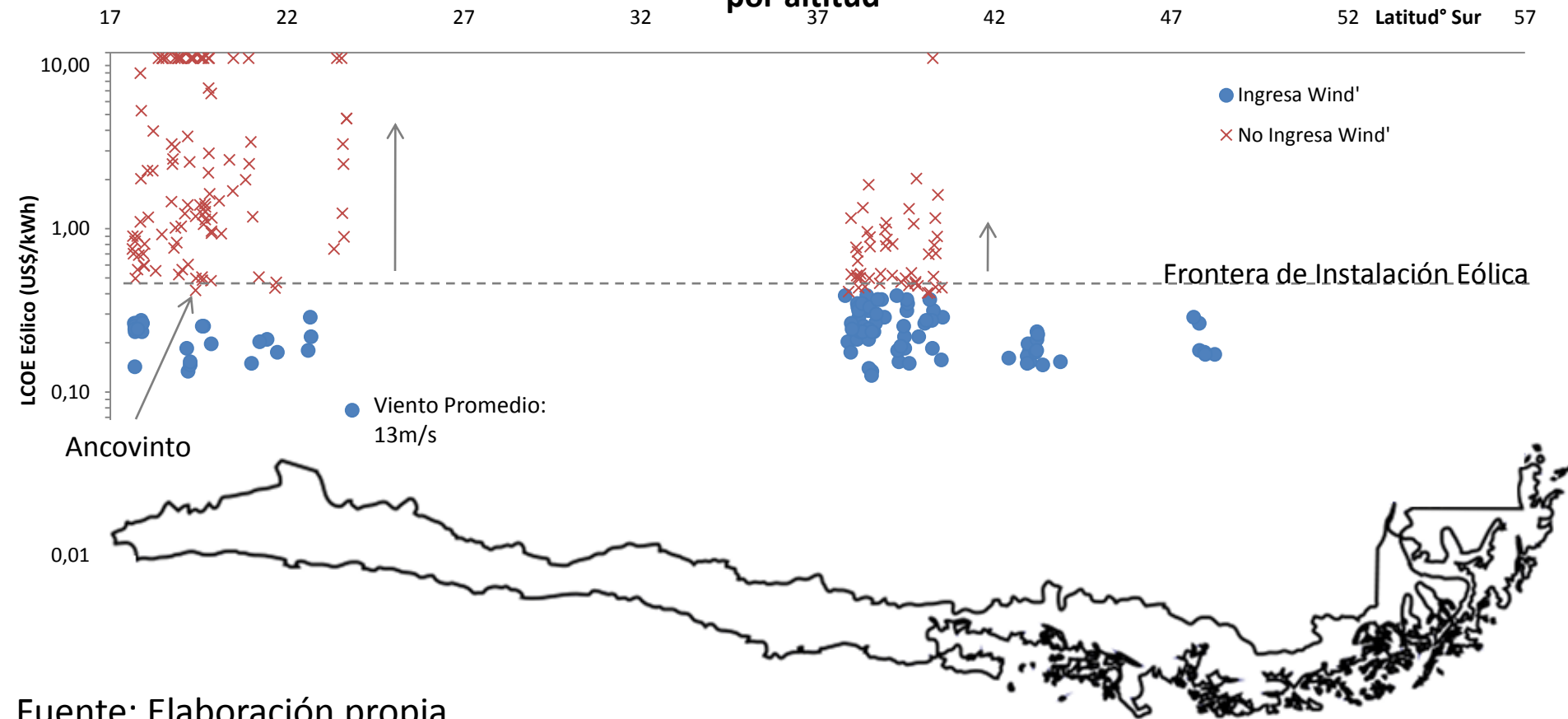
Dispersión Costo Nivelado de la Energía Eólica en Chile, sin corrección del viento por altitud



Fuente: Elaboración propia.

# LCOE eólico con corrección

Dispersión Costo Nivelado de la Energía Eólica en Chile, con corrección del viento por altitud



Fuente: Elaboración propia.

# Evaluación de la factibilidad técnico – económica de instalar sistemas híbridos

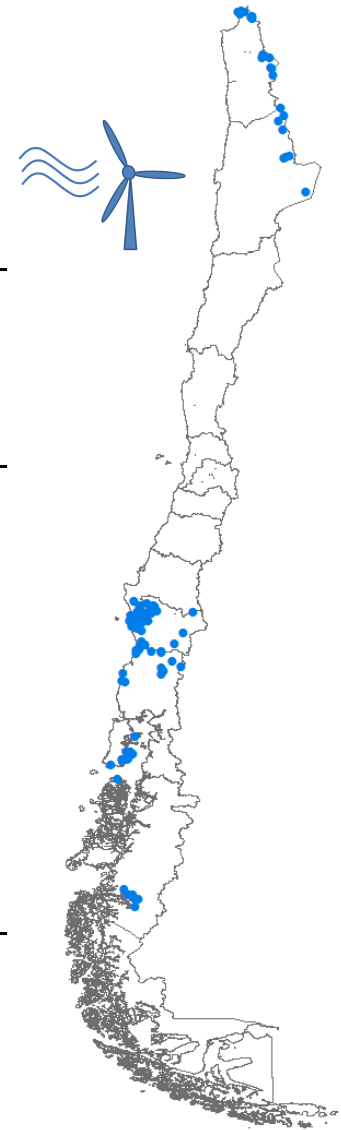
Región	N	Eólica	Eólica con corrección	Solar	Sistemas eólico-solar-diesel
XV	57	35,1%	17,5%	100,0%	17,5%
I	53	22,6%	13,2%	100,0%	13,2%
II	19	57,9%	42,1%	100,0%	42,1%
VIII	16	62,5%	62,5%	81,3%	50,0%
IX	52	59,6%	61,5%	57,7%	32,7%
XIV	34	44,1%	38,2%	0,0%	0,0%
X	17	94,1%	94,1%	5,9%	5,9%
XI	7	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
<b>Nacional</b>	<b>255</b>	<b>47,8%</b>	<b>40,4%</b>	<b>67,8%</b>	<b>20,0%</b>

Fuente: Elaboración propia.



# Evaluación de la factibilidad técnico – económica de instalar sistemas híbridos

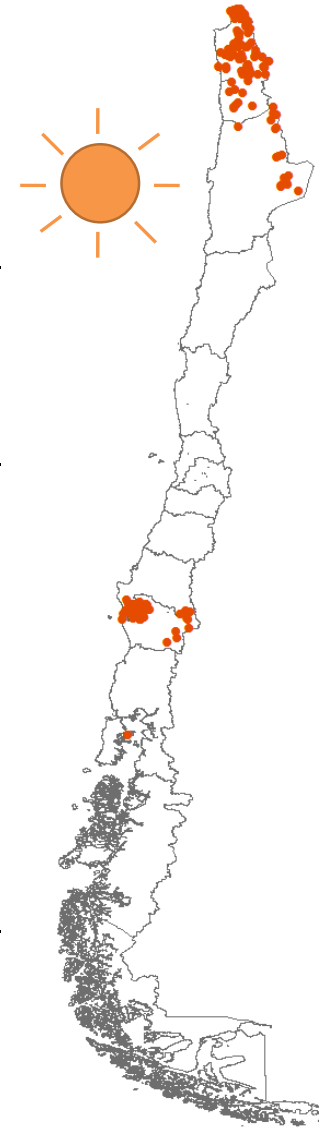
Región	N	Eólica	Eólica con corrección	Solar	Sistemas eólico-solar-diesel
XV	57	35,1%	17,5%	100,0%	17,5%
I	53	22,6%	13,2%	100,0%	13,2%
II	19	57,9%	42,1%	100,0%	42,1%
VIII	16	62,5%	62,5%	81,3%	50,0%
IX	52	59,6%	61,5%	57,7%	32,7%
XIV	34	44,1%	38,2%	0,0%	0,0%
X	17	94,1%	94,1%	5,9%	5,9%
XI	7	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
<b>Nacional</b>	<b>255</b>	<b>47,8%</b>	<b>40,4%</b>	<b>67,8%</b>	<b>20,0%</b>



Fuente: Elaboración propia.

# Evaluación de la factibilidad técnico – económica de instalar sistemas híbridos

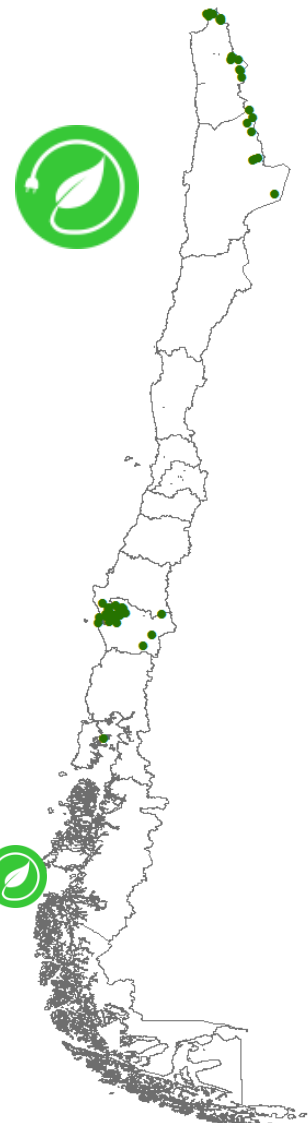
Región	N	Eólica	Eólica con corrección	Solar	Sistemas eólico-solar- diesel
XV	57	35,1%	17,5%	100,0%	17,5%
I	53	22,6%	13,2%	100,0%	13,2%
II	19	57,9%	42,1%	100,0%	42,1%
VIII	16	62,5%	62,5%	81,3%	50,0%
IX	52	59,6%	61,5%	57,7%	32,7%
XIV	34	44,1%	38,2%	0,0%	0,0%
X	17	94,1%	94,1%	5,9%	5,9%
XI	7	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
<b>Nacional</b>	<b>255</b>	<b>47,8%</b>	<b>40,4%</b>	<b>67,8%</b>	<b>20,0%</b>



Fuente: Elaboración propia.

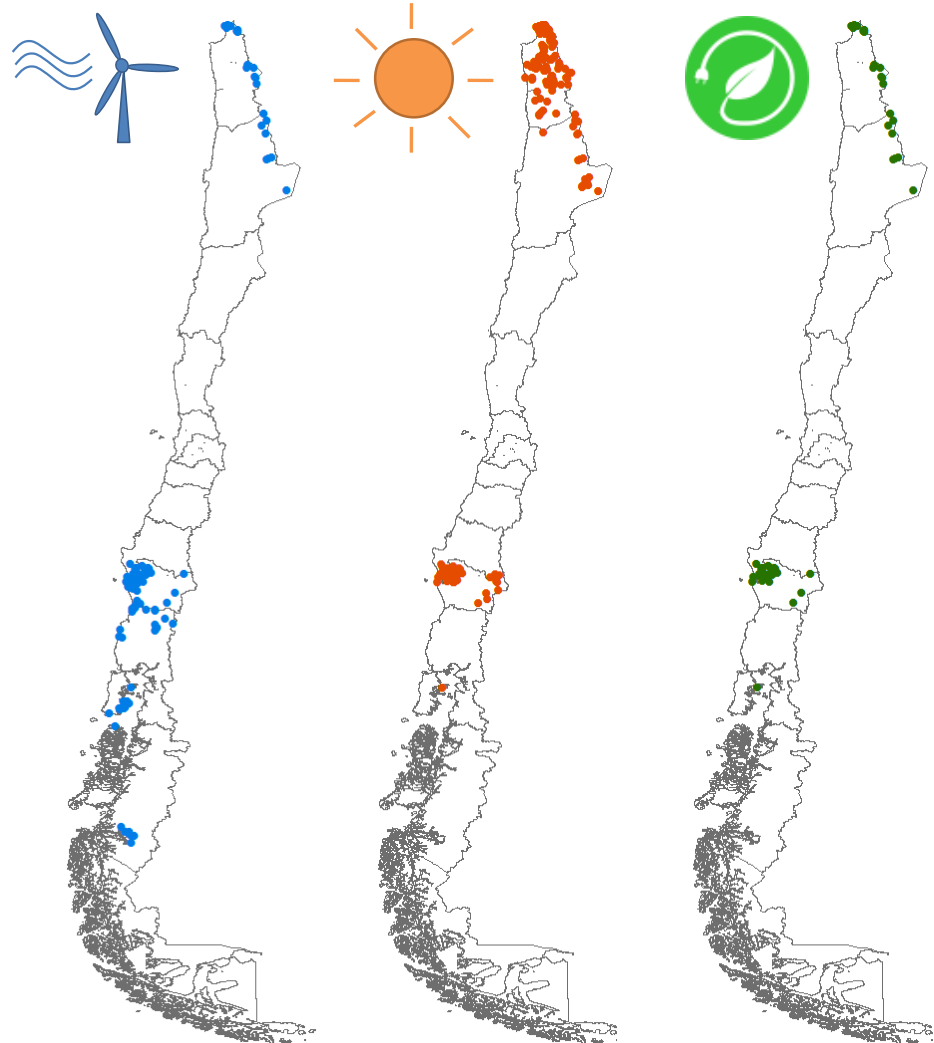
# Evaluación de la factibilidad técnico – económica de instalar sistemas híbridos

Región	N	Eólica	Eólica con corrección	Solar	Sistemas eólico-solar-diesel
XV	57	35,1%	17,5%	100,0%	17,5%
I	53	22,6%	13,2%	100,0%	13,2%
II	19	57,9%	42,1%	100,0%	42,1%
VIII	16	62,5%	62,5%	81,3%	50,0%
IX	52	59,6%	61,5%	57,7%	32,7%
XIV	34	44,1%	38,2%	0,0%	0,0%
X	17	94,1%	94,1%	5,9%	5,9%
XI	7	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
<b>Nacional</b>	<b>255</b>	<b>47,8%</b>	<b>40,4%</b>	<b>67,8%</b>	<b>20,0%</b>



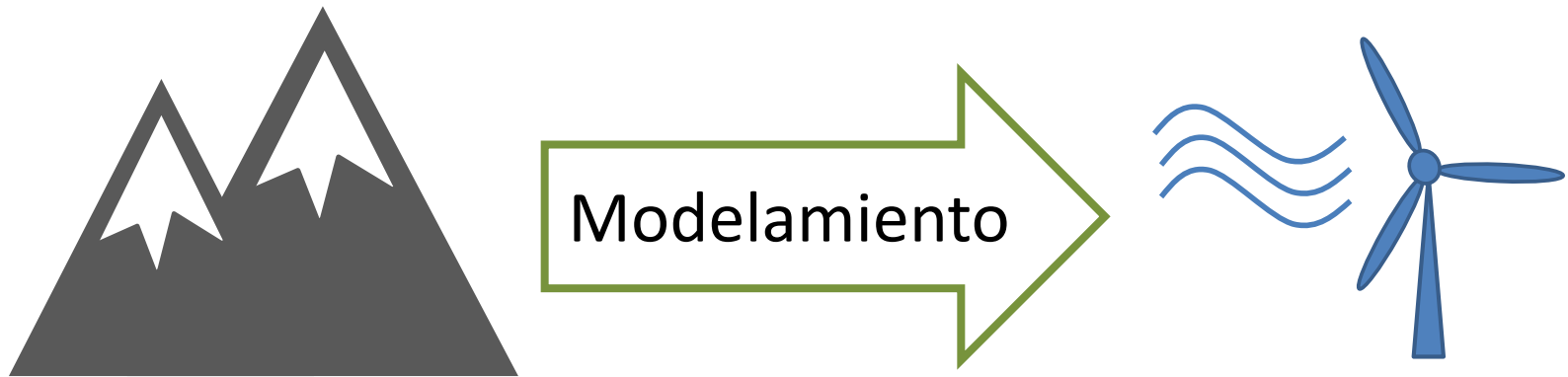
Fuente: Elaboración propia.

# Evaluación de la factibilidad técnico – económica de instalar sistemas híbridos



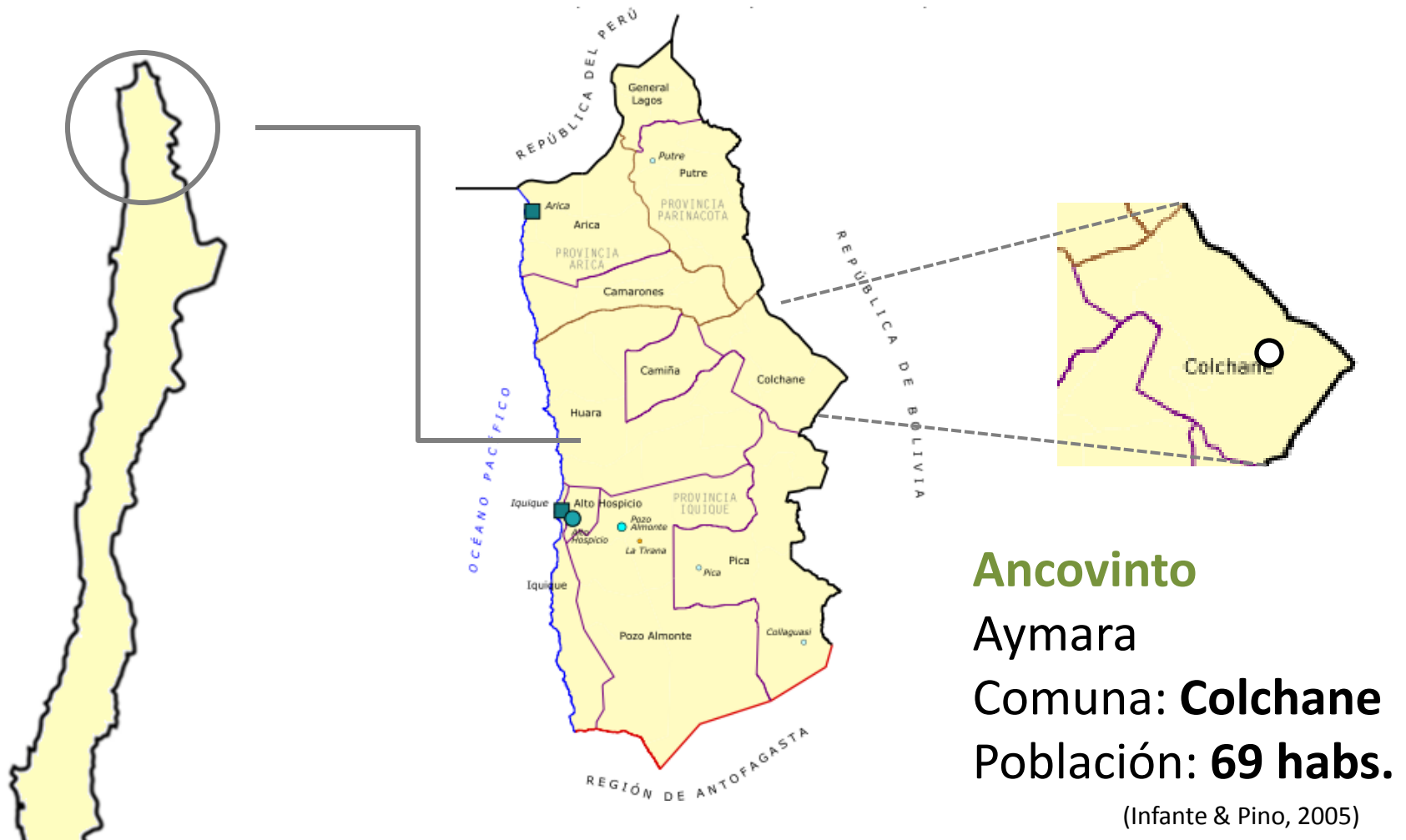
Fuente: Elaboración propia.

# Factibilidad técnico – económica de instalar sistemas híbridos

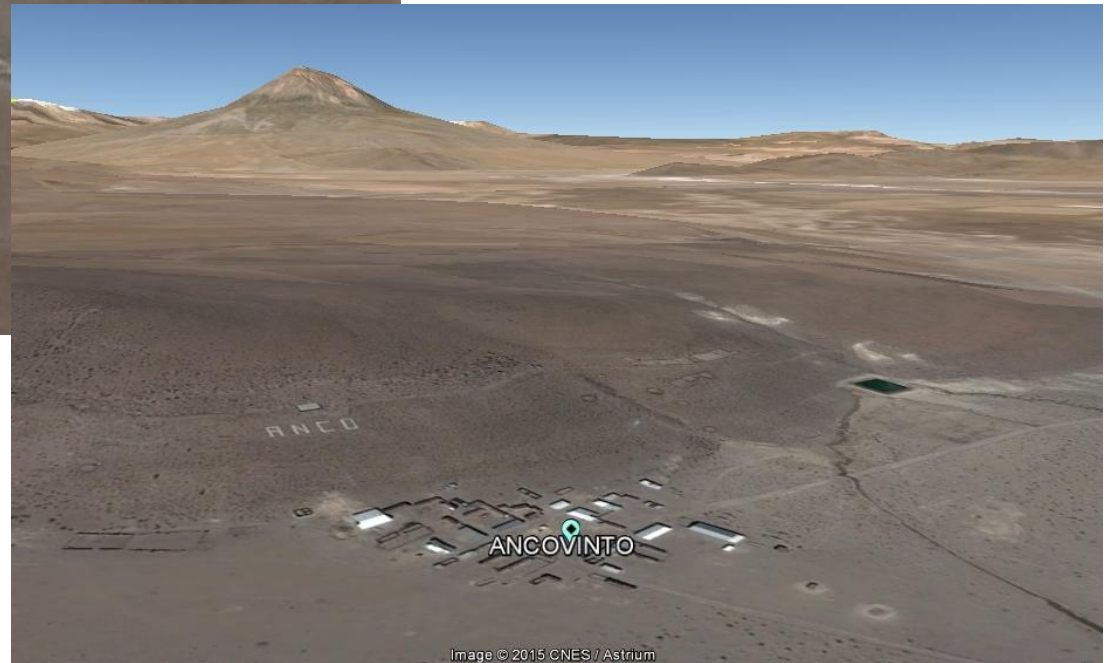


# ANÁLISIS DE COMUNIDAD MARGINAL: ANCOVINTO

# Ancovinto: Emplazamiento y población



# Ancovinto





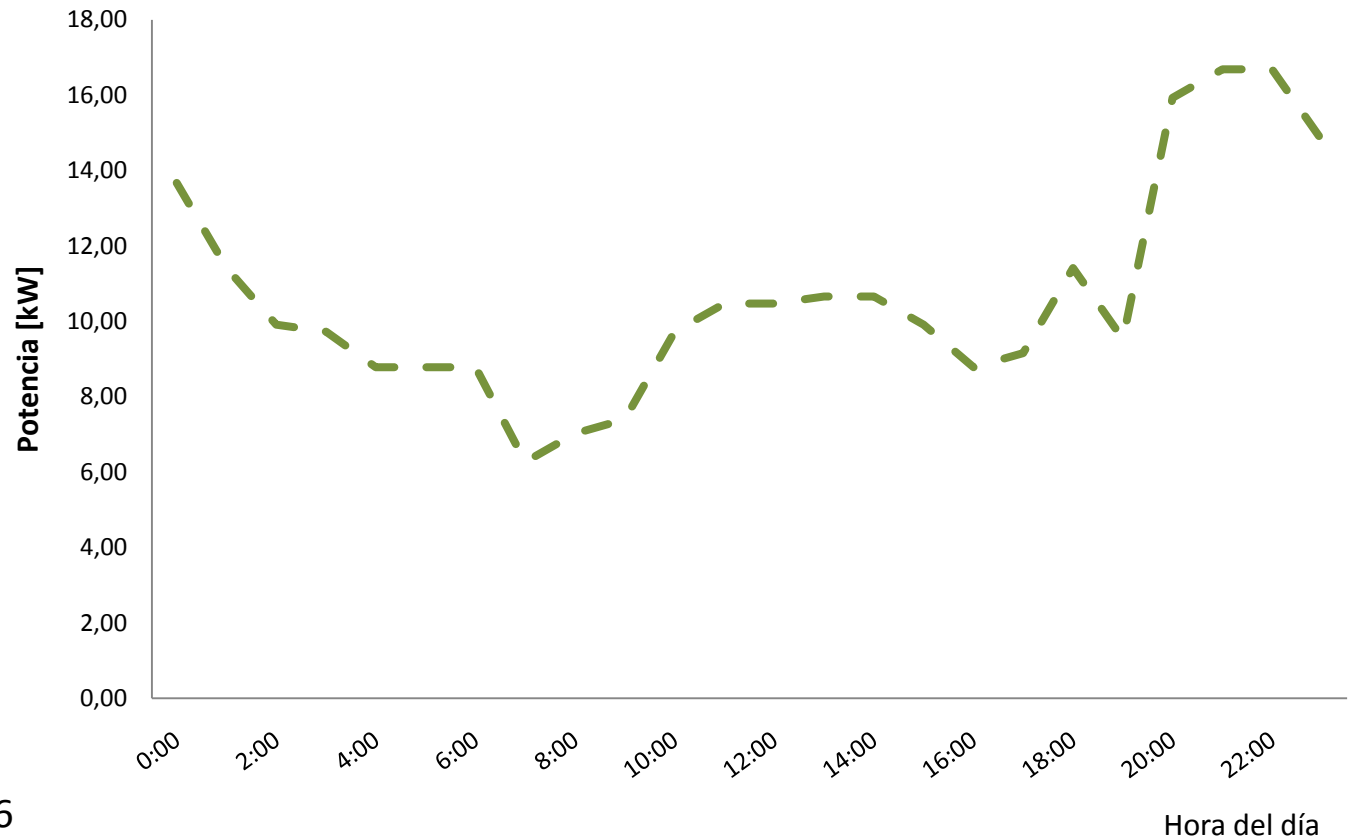
# Caracterización de Ancovinto

GHI Promedio:	7,20 kWh/m <sup>2</sup> – día
Viento Promedio:	5,60 m/s (4,88 m/s)
Demanda Máxima:	16,69 kW
Demanda anual:	93,69 MWh
Altitud:	3.726 m.s.n.m.
Densidad del aire:	0,81 kg/m <sup>3</sup>

Nota: viento promedio a 68 m.

# Perfil de carga eléctrica

Perfil de demanda Ancovinto, comunidad de 69 habitantes  
(medida en Verano)



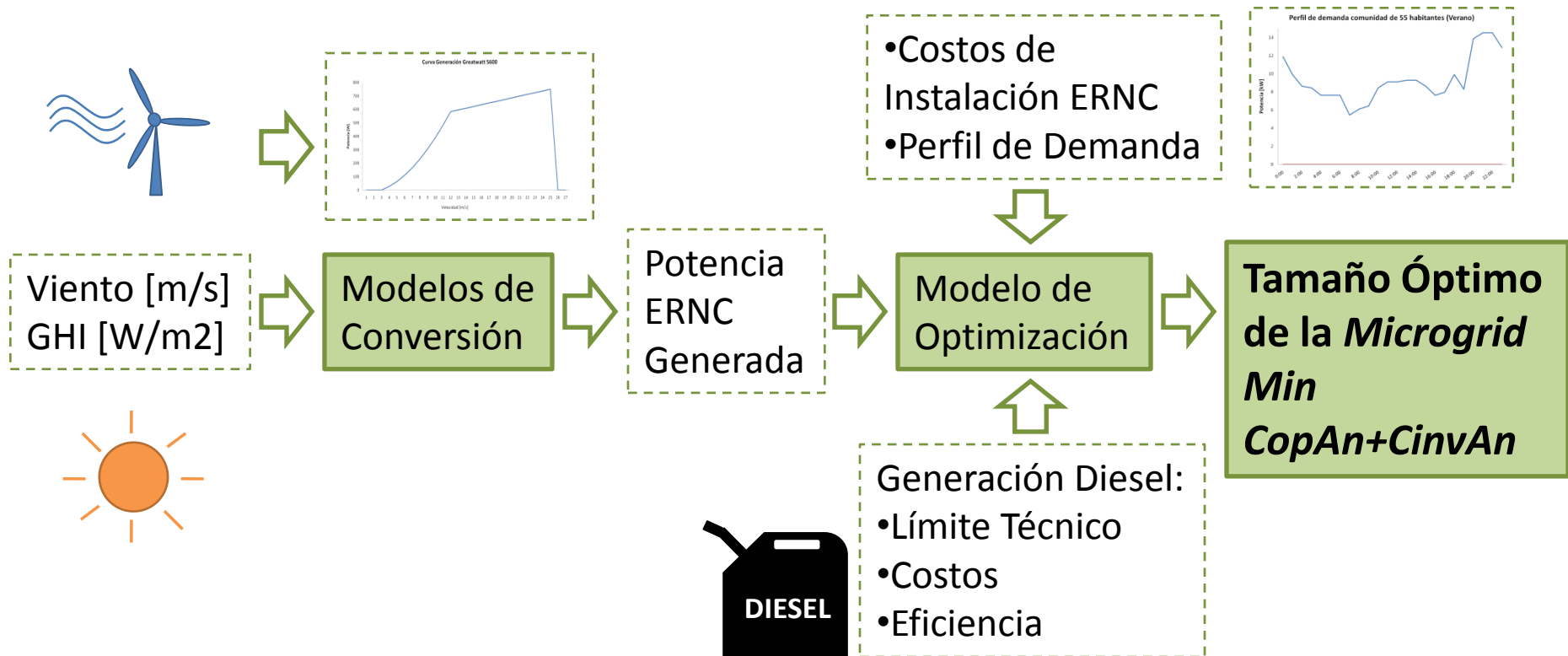
Energía diaria:  
**256,68 [kWh]**

Demanda Máxima:  
**16,69 [kW]**

Factor de Carga:  
**64,10%**

Fuente: (Llanos, 2012) p. 116

# Modelo de abastecimiento anual de mínimo costo de Inversión + Operación + Mantenimiento



# Modelo de suministro a mínimo costo anual de Inversión + Operación + Operación

$$\mathbf{Min} C_T = \left\{ \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^{PV}(i,j) * LCOE^{PV} + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^W(i,j) * LCOE^W + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^D(i,j) * LCOE^D \right\} * \frac{365}{4}$$

Sujeto a:

$$G^{PV}(i,j) + G^W(i,j) + G^D(i,j) \geq Demand(i); \forall i \in (horas)$$

$$G^{PV}(i,j) \leq P_{PV}(i,j) * N_{Panels}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \leq P_W(i,j) * N_{Turbines}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^{PV}(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$N_{Panels} \geq 0$$

$$N_{Panels} \in \mathbb{Z}$$

$$N_{Turbines} \geq 0$$

$$N_{Turbines} \in \mathbb{Z}$$

$$G^D(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^D(i,j) \leq G_{Máx}^D; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

# Modelo de suministro a mínimo costo anual de Inversión + Operación + Operación

$$\text{Min } C_T = \left\{ \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^{PV}(i,j) * LCOE^{PV} + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^W(i,j) * LCOE^W + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^D(i,j) * LCOE^D \right\} * \frac{365}{4}$$

**Mínimo costo  
de I + O + M**

Sujeto a:

$$G^{PV}(i,j) + G^W(i,j) + G^D(i,j) \geq Demand(i); \forall i \in (horas)$$

$$G^{PV}(i,j) \leq P_{PV}(i,j) * N_{Panels}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \leq P_W(i,j) * N_{Turbines}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^{PV}(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$N_{Panels} \geq 0$$

$$N_{Panels} \in \mathbb{Z}$$

$$N_{Turbines} \geq 0$$

$$N_{Turbines} \in \mathbb{Z}$$

$$G^D(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^D(i,j) \leq G_{Máx}^D; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

# Modelo de suministro a mínimo costo anual de Inversión + Operación + Operación

$$\mathbf{Min} C_T = \left\{ \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^{PV}(i,j) * LCOE^{PV} + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^W(i,j) * LCOE^W + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^D(i,j) * LCOE^D \right\} * \frac{365}{4}$$

**Mínimo costo  
de I + O + M**

$$LCOE = \frac{I^A + \text{Mantenimiento} + \text{Operación}}{\text{Energía}_{\text{Año}}} (U\$/kWh)$$

(Watts et al., 2015)

# Modelo de suministro a mínimo costo anual de Inversión + Operación + Operación

$$\mathbf{Min} C_T = \left\{ \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^{PV}(i,j) * LCOE^{PV} + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^W(i,j) * LCOE^W + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^D(i,j) * LCOE^D \right\} * \frac{365}{4}$$

Sujeto a:

$$G^{PV}(i,j) + G^W(i,j) + G^D(i,j) \geq Demand(i); \forall i \in (horas)$$

$$G^{PV}(i,j) \leq P_{PV}(i,j) * N_{Panels}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \leq P_W(i,j) * N_{Turbines}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^{PV}(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$N_{Panels} \geq 0$$

$$N_{Panels} \in \mathbb{Z}$$

$$N_{Turbines} \geq 0$$

$$N_{Turbines} \in \mathbb{Z}$$

$$G^D(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^D(i,j) \leq G_{Máx}^D; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

**Abastecimiento  
de carga**

# Modelo de suministro a mínimo costo anual de Inversión + Operación + Operación

$$\text{Min } C_T = \left\{ \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^{PV}(i,j) * LCOE^{PV} + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^W(i,j) * LCOE^W + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^D(i,j) * LCOE^D \right\} * \frac{365}{4}$$

Sujeto a:

$$G^{PV}(i,j) + G^W(i,j) + G^D(i,j) \geq \text{Demand}(i); \forall i \in (\text{horas})$$



$$G^{PV}(i,j) \leq P_{PV}(i,j) * N\text{Panels}; \forall i,j \in (\text{horas}, \text{estaciones})$$

Gx PV proporcional  
a # paneles

$$G^W(i,j) \leq P_W(i,j) * NTurbines; \forall i,j \in (\text{horas}, \text{estaciones})$$



$$G^{PV}(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (\text{horas}, \text{estaciones})$$

Gx PV no negativa

$$G^W(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (\text{horas}, \text{estaciones})$$



$$N\text{Panels} \geq 0$$

$$N\text{Panels} \in \mathbb{Z}$$

$$NTurbines \geq 0$$

$$NTurbines \in \mathbb{Z}$$

Consistencia

$$G^D(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (\text{horas}, \text{estaciones})$$

$$G^D(i,j) \leq G_{Máx}^D; \forall i,j \in (\text{horas}, \text{estaciones})$$



# Modelo de suministro a mínimo costo anual de Inversión + Operación + Operación

$$\text{Min } C_T = \left\{ \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^{PV}(i,j) * LCOE^{PV} + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^W(i,j) * LCOE^W + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^D(i,j) * LCOE^D \right\} * \frac{365}{4}$$

Sujeto a:

$$G^{PV}(i,j) + G^W(i,j) + G^D(i,j) \geq Demand(i); \forall i \in (horas)$$

$$G^{PV}(i,j) \leq P_{PV}(i,j) * N_{Panels}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$



$$G^W(i,j) \leq P_W(i,j) * N_{Turbines}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^{PV}(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$



$$G^W(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$N_{Panels} \geq 0$$

$$N_{Panels} \in \mathbb{Z}$$



$$N_{Turbines} \geq 0$$

$$N_{Turbines} \in \mathbb{Z}$$

$$G^D(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^D(i,j) \leq G_{Máx}^D; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

Gx eólica proporcional  
a # turbinas

Gx eólica no negativa

Consistencia

# Modelo de suministro a mínimo costo anual de Inversión + Operación + Operación

$$\mathbf{Min} C_T = \left\{ \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^{PV}(i,j) * LCOE^{PV} + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^W(i,j) * LCOE^W + \sum_j^{\text{estaciones}} \sum_i^{\text{horas}} G^D(i,j) * LCOE^D \right\} * \frac{365}{4}$$

Sujeto a:

$$G^{PV}(i,j) + G^W(i,j) + G^D(i,j) \geq Demand(i); \forall i \in (horas)$$

$$G^{PV}(i,j) \leq P_{PV}(i,j) * N_{Panels}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \leq P_W(i,j) * N_{Turbines}; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^{PV}(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$G^W(i,j) \geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones)$$

$$N_{Panels} \geq 0$$

$$N_{Panels} \in \mathbb{Z}$$

$$N_{Turbines} \geq 0$$

$$N_{Turbines} \in \mathbb{Z}$$

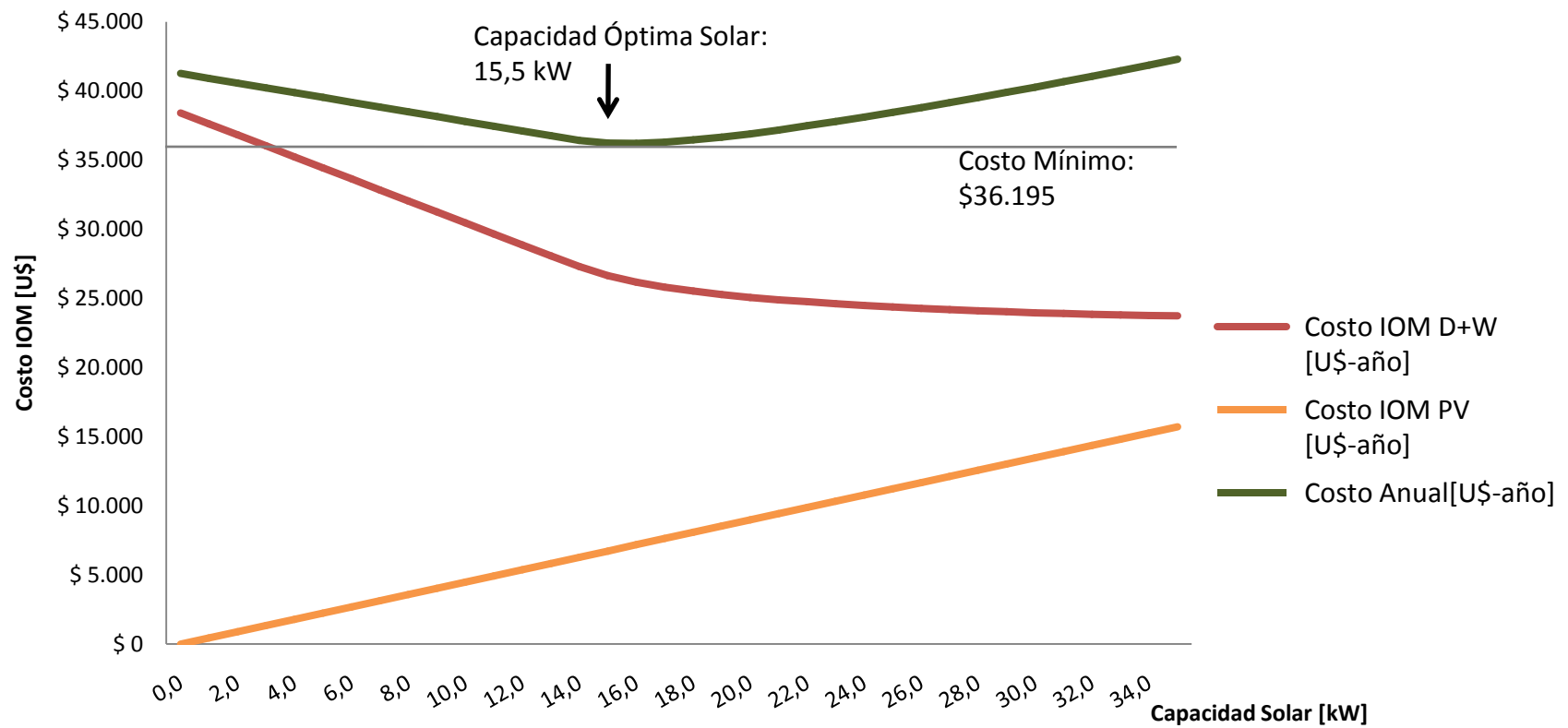


$$\begin{aligned} G^D(i,j) &\geq 0; \forall i,j \in (horas, estaciones) \\ G^D(i,j) &\leq G_{Máx}^D; \forall i,j \in (horas, estaciones) \end{aligned}$$

**Gx diesel no negativa y  
sujeta a límites técnicos**




# Resultados con corrección del viento

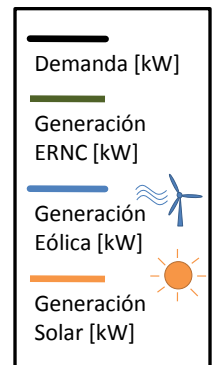
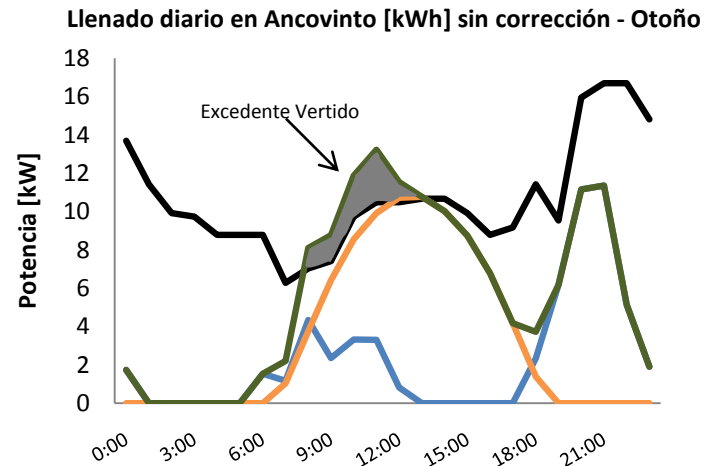
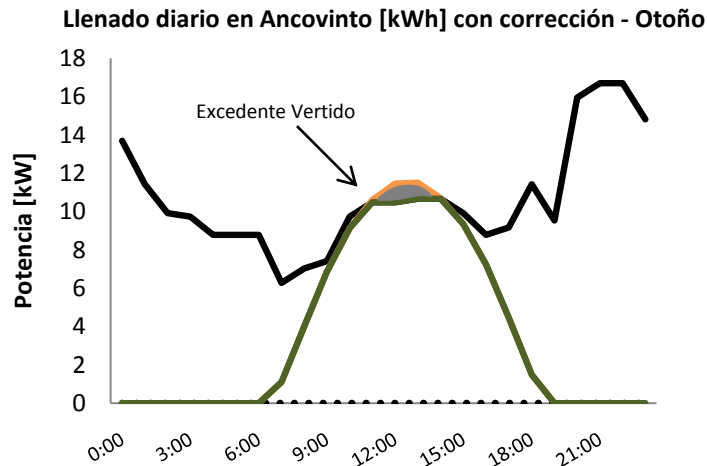
Costos de IOM según Capacidad Solar, con  $W = 0$  kW






# Resultados simulación Ancovinto

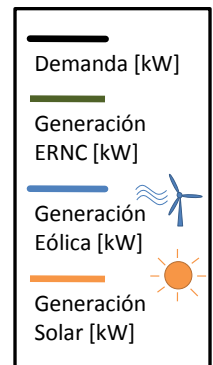
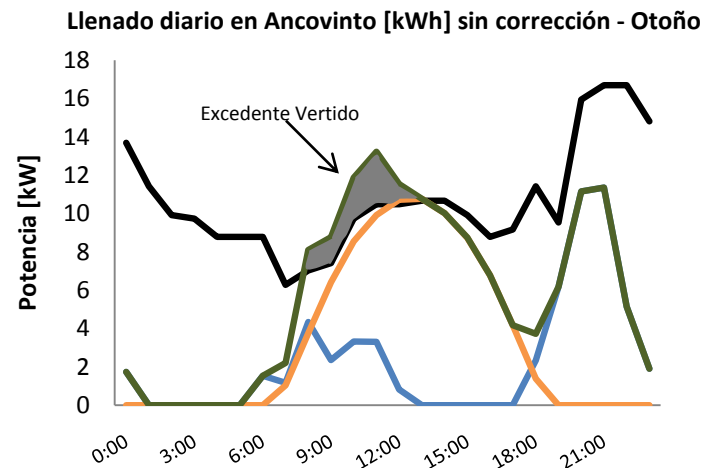
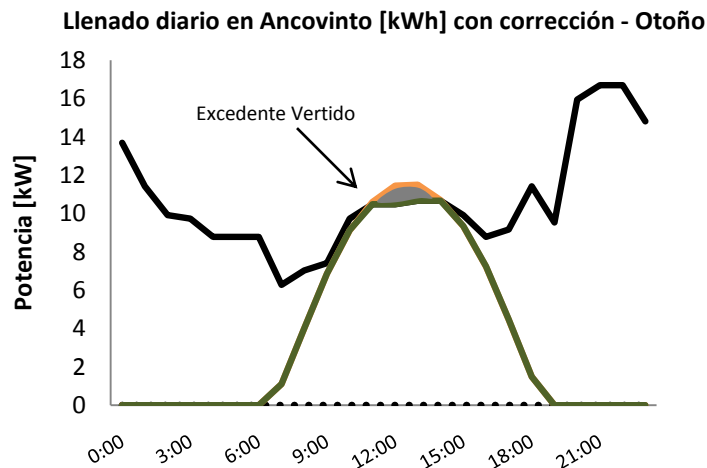
$$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3 \quad \rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \quad \rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$$

	Con corrección	Sin corrección	Sin corrección
Capacidad Total kW	33,10	54,90	54,90
 Capacidad solar kW	15,50	14,50	14,50
 Capacidad eólica kW	0,00	22,80	22,80
Generación anual MWh	95,76	95,76	94,69
Costo IOM anual (U\$)	\$ 36.195	\$ 34.960	\$ 37.136
Energía vertida anual MWh	0,76	2,07	1,00
 Uso diesel	41,75%	27,02%	30,90%






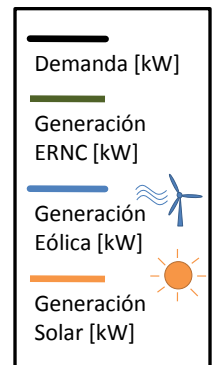
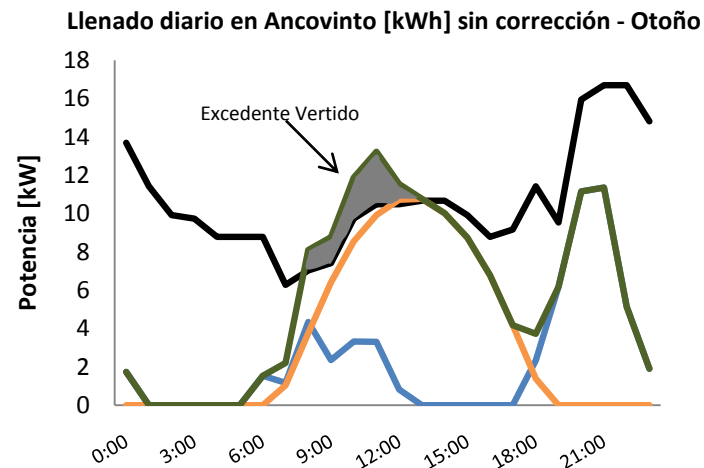
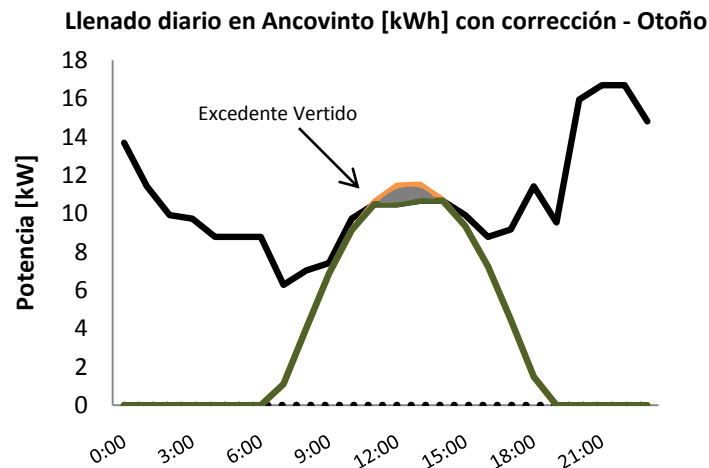
# Resultados simulación Ancovinto

	$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$
	Con corrección	Sin corrección	Sin corrección
Capacidad Total kW	33,10	54,90	54,90
 Capacidad solar kW	15,50	14,50	14,50
 Capacidad eólica kW	0,00	22,80	22,80
Generación anual MWh	95,76	95,76	94,69
Costo IOM anual (U\$)	\$ 36.195	\$ 34.960	\$ 37.136
Energía vertida anual MWh	0,76	2,07	1,00
 Uso diesel	41,75%	27,02%	30,90%






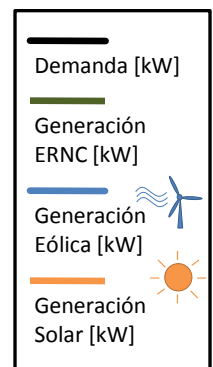
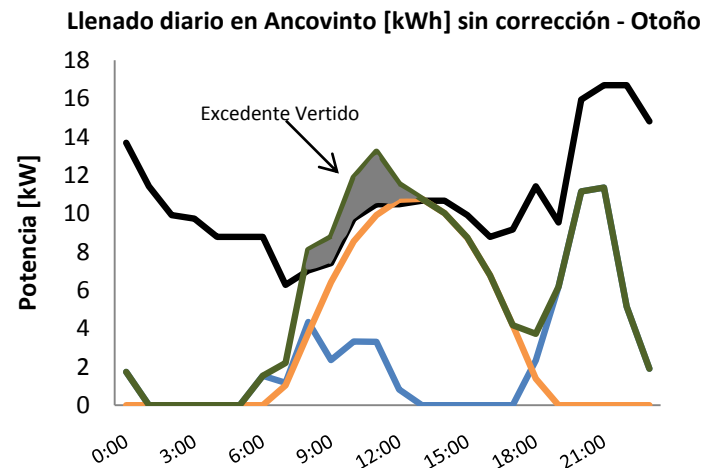
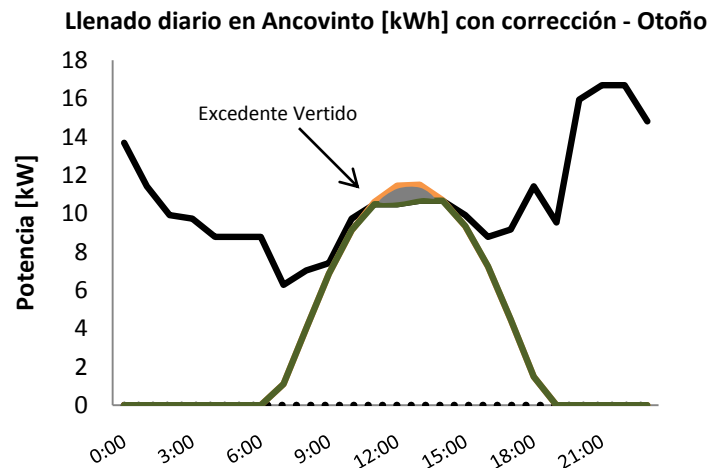
# Resultados simulación Ancovinto

	$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$
	Con corrección	Sin corrección	Sin corrección
Capacidad Total kW	33,10	54,90	54,90
 Capacidad solar kW	15,50	14,50	14,50
 Capacidad eólica kW	0,00	22,80	22,80
Generación anual MWh	95,76	95,76	94,69
Costo IOM anual (U\$)	\$ 36.195	\$ 34.960	\$ 37.136
Energía vertida anual MWh	0,76	2,07	1,00
 Uso diesel	41,75%	27,02%	30,90%






# Resultados simulación Ancovinto


	$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$
	Con corrección	Sin corrección	Sin corrección
Capacidad Total kW	33,10	54,90	54,90
 Capacidad solar kW	15,50	14,50	14,50
 Capacidad eólica kW	0,00	22,80	22,80
Generación anual MWh	95,76	95,76	94,69
Costo IOM anual (U\$)	\$ 36.195	\$ 34.960	\$ 37.136
Energía vertida anual MWh	0,76	2,07	1,00
 Uso diesel	41,75%	27,02%	30,90%



# Comparación LCOEs

$$\rho = 0,81 \text{ kg/m}^3 \quad \rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \quad \rho = 0,81 \text{ kg/m}^3$$

LCOE [U\$/kWh]				
	Diesel	ERNC Corregido	ERNC Sin Corregir	ERNC Sin Corregir
 Diesel	0,440	0,406	0,428	0,420
 Solar	-	0,231	0,231	0,231
 Eólico	-	0,000	0,328	0,436
Medio	0,440	0,357	0,350	0,362

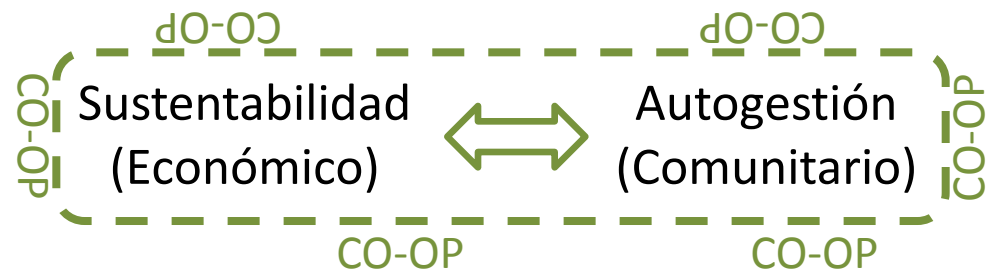
  
**-27,16%**  
 (-29,45%/-25,53%)



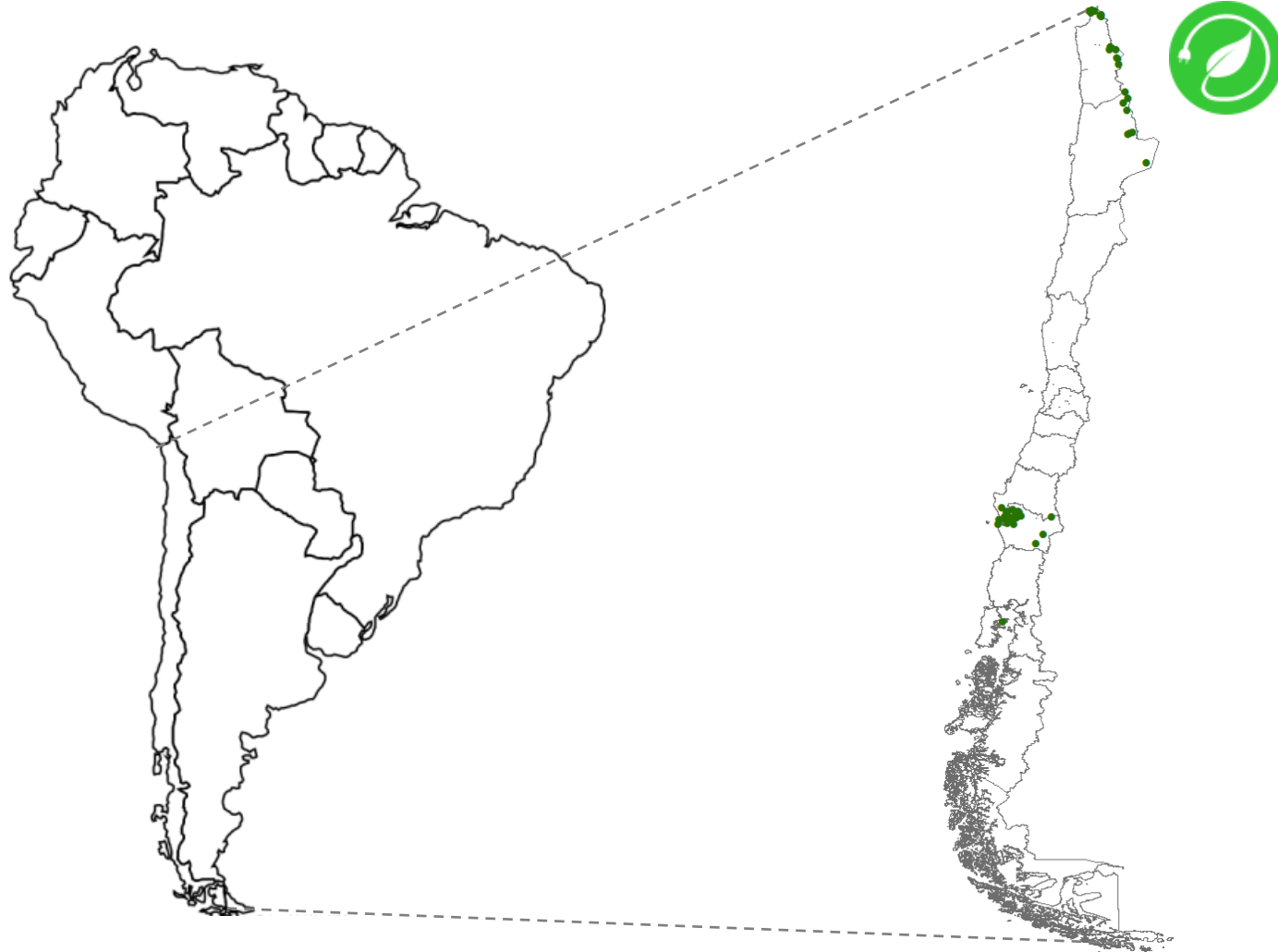


# Conclusiones

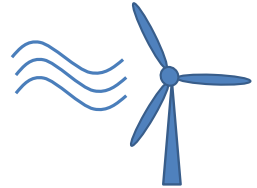
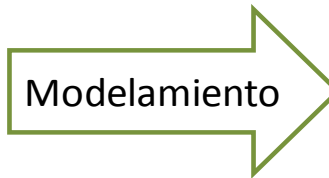
# Conclusiones



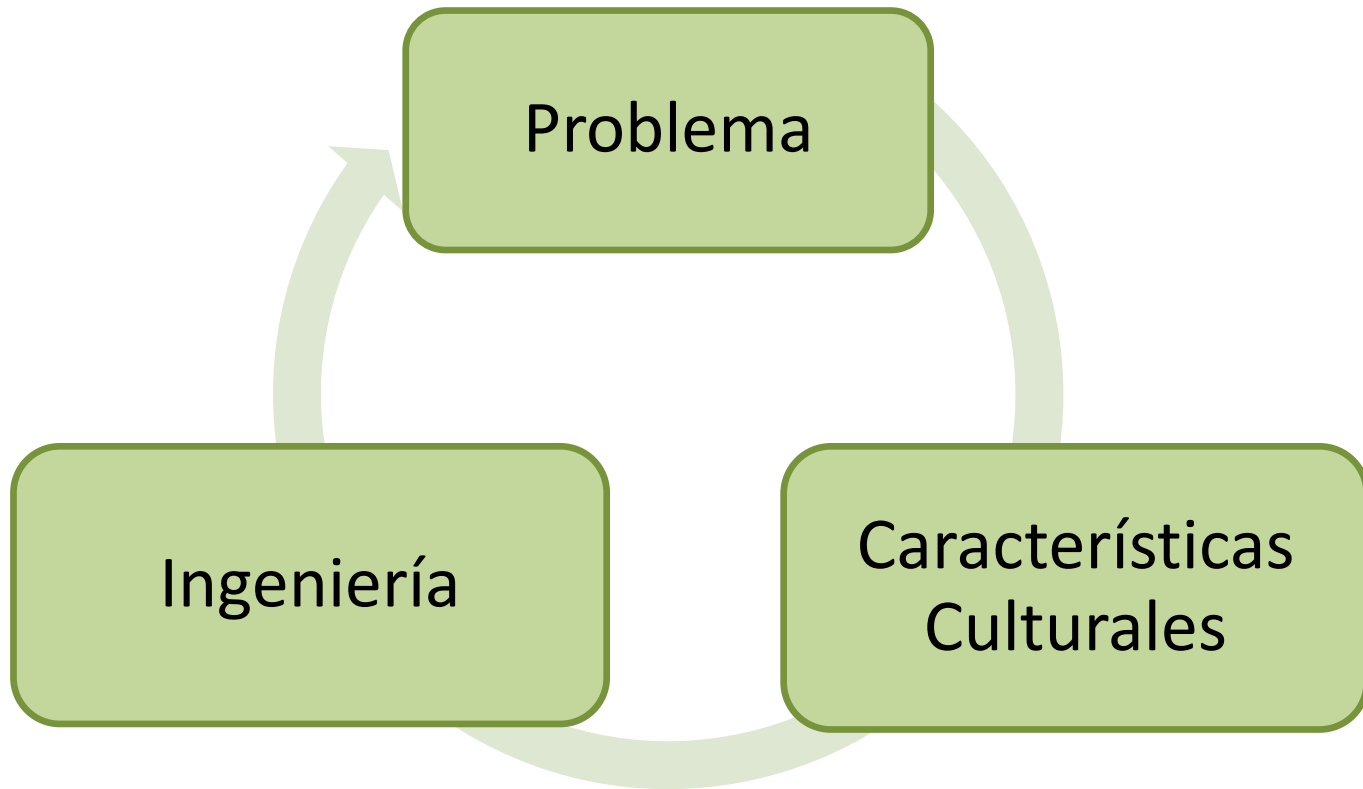
# Conclusiones



# Conclusiones



# Conclusiones

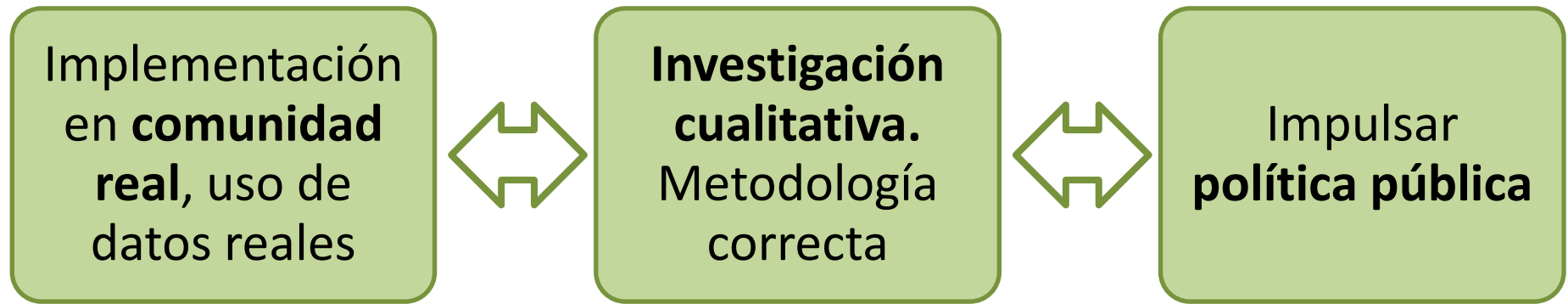


Metodología de Intervención = Autogestión

# Aportes

- Estudio **interdisciplinario**
- Propone la **autogestión** desde las características culturales de América Latina
- **Catastro** detallado de comunidades aisladas indígenas de Chile
- Importancia de **modelar correctamente el viento** en la generación eólica

# Proyección



El potencial de suministrar electricidad a comunidades indígenas y campesinas de Chile mediante micro redes híbridas solar-eólicas autogestionadas: Una propuesta de desarrollo comunitario sustentable para la electrificación rural en zonas aisladas.

Defensa de tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Guillermo Montecinos Peña

Escuela de Ingeniería, PUC

10 de noviembre de 2015



# Bibliografía

- Alvial-Palavicino, C., Garrido-Echeverría, N., Jiménez-Estévez, G., Reyes, L., & Palma-Behnke, R. (2011). A methodology for community engagement in the introduction of renewable based smart microgrid. *Energy for Sustainable Development*, 15(3), 314–323. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2011.06.007>
- Banco Mundial. (n.d.). Datos de libre acceso del Banco Mundial: acceso abierto y gratuito a datos sobre desarrollo de los países en todo el mundo. Retrieved March 1, 2015, from <http://datos.bancomundial.org/>
- Bustos, C., Watts, D., & Ren, H. (2012). MicroGrid operation and design optimization with synthetic wins and solar resources. *IEEE Latin America Transactions*, 10(2), 1550–1562. <http://doi.org/10.1109/TLA.2012.6187599>
- Carvajal, L., Poch, M., & Osorio, R. (2012). *Estudio identificación de localidades en condiciones de aislamiento 2012*. Santiago.
- CEPAL. (n.d.). CEPALSTAT. Retrieved March 11, 2015, from [http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB\\_CEPALSTAT/Portada.asp](http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/Portada.asp)
- Chile, U. de. (2012a). Explorador de Energía Eólica. Retrieved June 12, 2015, from <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>
- Chile, U. de. (2012b). Explorador de Energía Solar. Retrieved June 12, 2015, from <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/>

# Bibliografía

- Dávalos, P. (2005). Movimientos Indígenas en América Latina : el derecho a la palabra. In *Pueblos indígenas, estado y democracia*. Buenos Aires: CLACSO.
- Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey, 14(4), 944–980. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6099519&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F9739%2F5451756%2F06099519.pdf%3Farnumber%3D6099519>
- Gross, A. (1976). *Organizaciones cooperativas. Caracterización y Modelos*. (Departamento de Relaciones del Trabajo y Desarrollo Organizaciones Universidad de Chile, Ed.) (1st ed.). Santiago.
- IEA. (2014). *World Energy Outlook - Electricity Access Database*.
- Infante, N., & Pino, M. (2005). *Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos*. Santiago, Chile.
- Kaundinya, D. P., Balachandra, P., & Ravindranath, N. H. (2009). Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power—A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2041–2050. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2009.02.002>

# Bibliografía

- Llanos Proaño, J. del R. (2012). *Método para la generación de perfiles de demanda en comunidades aisladas y predicción de demanda de corto plazo, para micro-redes basadas en energías renovables*. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102768>
- Luna Pineda, F. (2011). Movimientos indígenas de América Latina. *Nuevamérica*, 130, 44–48.
- ONU. (2014). *Demographic Yearbook 2013*.
- Santana, C., Falvey, M., Ibarra, M., & García, M. (2014). *Energías Renovables en Chile: El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé*. Santiago.
- Sharma, D. C. (2007). Transforming rural lives through decentralized green power. *Futures*, 39(5), 583–596. <http://doi.org/10.1016/j.futures.2006.10.008>
- UACH. (2013). *Evaluación del mercado de biomasa y su potencial*. Valdivia.
- Ubilla, K., Jiménez-estévez, G. A., Member, S., Hernández, R., Reyes-chamorro, L., Member, S., ... Palma-behnke, R. (2014). Smart Microgrids as a Solution for Rural Electrification: Ensuring Long-Term Sustainability Through Cadastre and Business Models, 1–9. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6841621>

# Bibliografía

- UNDP. (2014). *Human Development Report 2014*.
- Vanek, J. (1971). *La economía de participación. Hipótesis de evolución y estrategia para el desarrollo*. (1a ed.). Buenos Aires: Amorrortu editores.
- Velasco, L. F., Gonnet, M., López, J. F., & Rivera, R. A. (2005). Acción colectiva y organizaciones campesinas. In G. Gordillo, R. A. Rivera, & J. F. López (Eds.), *Desafíos para el desarrollo rural en América Latina y el Caribe* (p. 233). Santiago: Oficina Regional de la FAO para ALyC.
- Xu, Z., & Chowdhury, S. (2013). A review of rural electrification through micro-grid approach: South African context. *Power Engineering Conference (UPEC)*, ..., 1–6. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6714883](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6714883)
- Yadoo, A., & Cruickshank, H. (2010). The value of cooperatives in rural electrification. *Energy Policy*, 38(6), 2941–2947. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.031>
- Sarasua, J., & Udaondo, A. (2004). *Autogestión y globalidad: Situar la autogestión económica en el mundo actual*. Lanki Ikertegia, Unibertsitatea.

# Imágenes

- Todas las imágenes contextuales: *Google Earth*
- Chile
  - [www.d-maps.com](http://www.d-maps.com)
- América Latina
  - <http://www.bne.es/es/Micrositios/Guias/12Octubre/MapasAmerica/GaleriaMapas/DetalleImagen6.html>
  - <http://andersonmolly.blogspot.com/2009/04/america-invertida-1943.html>
- Electrificación Rural
  - [http://www.minem.gob.pe/\\_detallenoticia.php?idSector=8&idTitular=3688](http://www.minem.gob.pe/_detallenoticia.php?idSector=8&idTitular=3688)
  - <http://www.creativechile.cl/innovemos/>
  - [http://www.patagoniapuntonorte.cl/fileadmin/galeria/arquitectura/Ruca\\_Mapuche\\_y\\_Rehue.jpg](http://www.patagoniapuntonorte.cl/fileadmin/galeria/arquitectura/Ruca_Mapuche_y_Rehue.jpg)

# ANEXOS

# Caracterización de América Latina

País/Región	Población Total 2013	% Población Rural 2013 <sup>1</sup>	Población Rural 2013	PIB 2013 <sup>1</sup> (millones de USD <sub>2013</sub> )	PIB per cápita 2013 <sup>3</sup> (USD <sub>2013</sub> )	% Electrificación (total) 2012	Coefficiente de Gini 2013 <sup>5a</sup>	IDH 2013 <sup>5b</sup>
Argentina	41.446.246 <sup>1</sup>	9,0% <sup>1</sup>	3.730.162 <sup>3</sup>	609.889,0	14715	96,4% <sup>4</sup>	0,445	0,808
Bolivia	10.671.200 <sup>1</sup>	32,0% <sup>1</sup>	3.414.784 <sup>3</sup>	30.601,2	2868	88,3% <sup>4</sup>	0,563	0,667
Brasil	200.361.925 <sup>1</sup>	15,0% <sup>1</sup>	30.054.289 <sup>3</sup>	2.245.673,0	11208	99,5% <sup>4</sup>	0,547	0,744
Chile	17.556.815 <sup>2</sup>	13,0% <sup>3</sup>	2.274.481 <sup>2</sup>	277.198,8	15789	99,6% <sup>6</sup>	0,521	0,822
Colombia	47.121.089 <sup>2</sup>	23,9% <sup>3</sup>	11.251.843 <sup>2</sup>	378.415,3	8031	97,1% <sup>4</sup>	0,559	0,711
Ecuador	15.774.749 <sup>2</sup>	36,8% <sup>3</sup>	5.810.865 <sup>2</sup>	94.472,7	5989	94,1% <sup>4</sup>	0,493	0,711
Paraguay	6.783.374 <sup>2</sup>	40,8% <sup>3</sup>	2.766.440 <sup>2</sup>	29.009,4	4277	99,2% <sup>4</sup>	0,524	0,676
Perú	30.475.144 <sup>2</sup>	24,4% <sup>3</sup>	7.420.750 <sup>2</sup>	202.349,8	6640	91,1% <sup>4</sup>	0,481	0,737
Uruguay	3.407.062 <sup>1</sup>	5,0% <sup>1</sup>	170.353 <sup>3</sup>	55.707,9	16351	99,1% <sup>4</sup>	0,453	0,790
Venezuela	30.405.207 <sup>1</sup>	11,0% <sup>1</sup>	3.344.573 <sup>3</sup>	438.283,6	14415	99,7% <sup>4</sup>	0,448	0,764
América Latina y el Caribe	616.600.000 <sup>2</sup>	21,0% <sup>1</sup>	129.690.711 <sup>3</sup>	6.158.278,9	9987	95,0% <sup>4</sup>	-	0,740
Canadá	35.158.304 <sup>1</sup>	18,5% <sup>1</sup>	6.514.131 <sup>3</sup>	1.826.768,6	51958	100,0% <sup>6</sup>	0,326	0,902
China	1.357.380.000 <sup>1</sup>	46,8% <sup>1</sup>	635.688.202 <sup>3</sup>	9.240.270,5	6807	100,0% <sup>4</sup>	0,421	0,719
Emiratos Árabes	9.346.129 <sup>1</sup>	15,0% <sup>1</sup>	1.403.695 <sup>3</sup>	402.340,1	43049	100,0% <sup>4</sup>	-	0,827
Estados Unidos	316.128.839 <sup>1</sup>	18,7% <sup>1</sup>	59.188.803 <sup>3</sup>	16.768.100,0	53042	100,0% <sup>1</sup>	0,408	0,914
Mundo	7.162.100.000 <sup>2</sup>	47,0% <sup>1</sup>	3.366.300.877 <sup>3</sup>	75.592.941,0	10555	81,7% <sup>4</sup>	-	0,702
OECD	1.261.603.870 <sup>1</sup>	20,2% <sup>1</sup>	254.640.712 <sup>3</sup>	47.976.934,0	38029	99,7% <sup>1</sup>	-	-

<sup>1</sup>Datos de libre acceso del Banco Mundial. <http://datos.bancomundial.org/>

<sup>2</sup>United Nations Demographic Yearbook 2013. <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/dyb2.htm>

<sup>3</sup>Calculados a partir de la Estadística Citada

<sup>4</sup>World Energy Outlook 2011 y 2014. [www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org)

<sup>5a</sup>PNUD, Gini: Human Development Indicators. <http://hdr.undp.org/es/content/income-gini-coefficient>

<sup>5b</sup>PNUD, IDH: Human Development Report 2014. <http://hdr.undp.org/es/content/informe-sobre-desarrollo-humano-2014>

<sup>6</sup>Se utilizan los datos del Banco Mundial correspondientes al año 2010

# Evolución Electrificación Total

País/Región	1990 <sup>1</sup>	2000 <sup>1</sup>	2009 <sup>2</sup>	2010 <sup>1</sup>	2012 <sup>3</sup>
Argentina	81,3%	84,9%	97,2%	88,2%	96,4%
Bolivia	73,8%	76,7%	77,5%	80,2%	88,3%
Brasil	91,9%	96,7%	98,3%	98,9%	99,5%
Chile	94,6%	97,4%	98,5%	99,6%	-
Colombia	90,4%	93,3%	93,6%	96,8%	97,1%
Ecuador	89,8%	93,1%	92,2%	97,5%	94,1%
Paraguay	89,9%	92,7%	96,7%	97,4%	99,2%
Perú	69,0%	71,9%	85,7%	85,1%	91,1%
Uruguay	92,0%	96,0%	98,3%	99,1%	99,1%
Venezuela	98,9%	99,8%	99,0%	100,0%	99,7%

<sup>1</sup>Datos de libre acceso del Banco Mundial. <http://datos.bancomundial.org/>

<sup>2</sup> IEA, World Energy Outlook 2011, The Electricity Acces Database

<sup>3</sup> IEA, World Energy Outlook 2014, The Electricity Acces Database



# Acceso Electricidad 2012

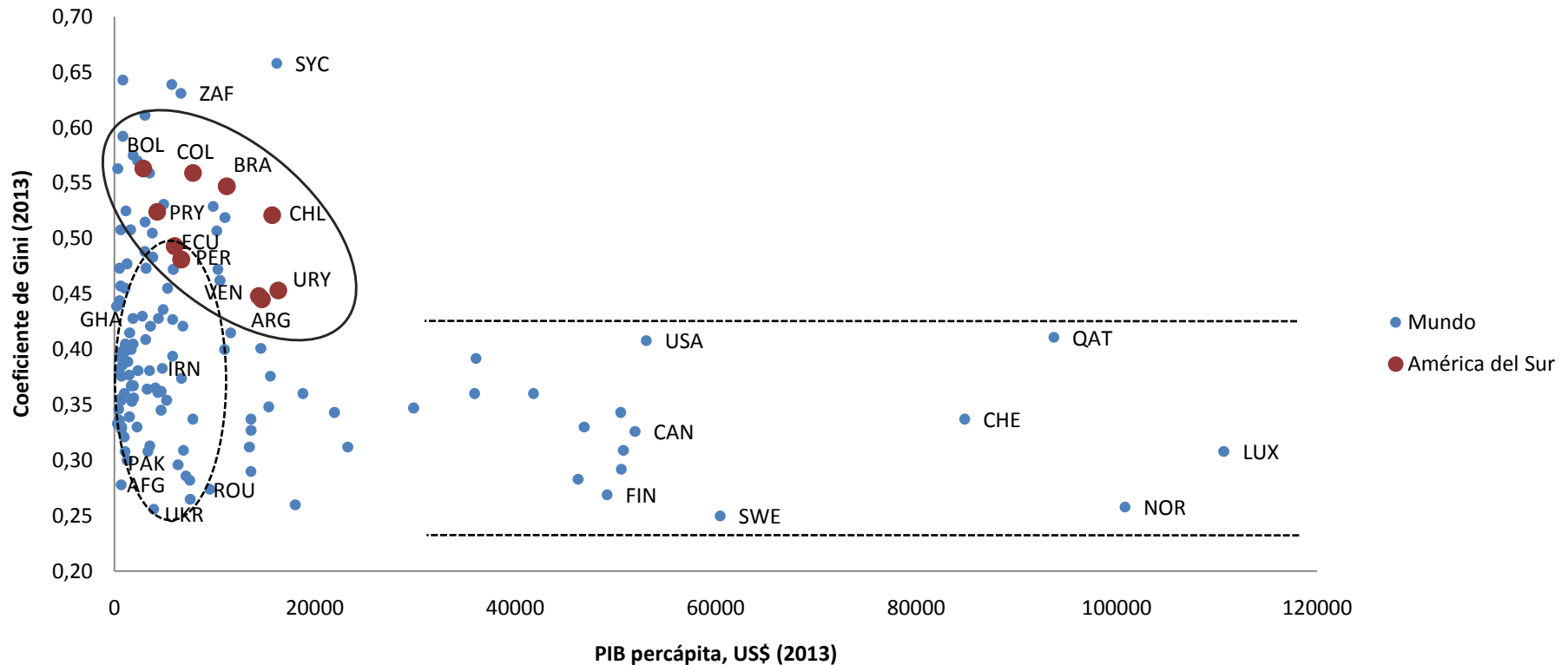
País/Región	Electrificación Urbana <sup>1</sup>	Electrificación Rural <sup>1</sup>	Electrificación Total <sup>1</sup>	Habitantes rurales sin servicio
Argentina	99,2%	60,8%	96,4%	1.462.224
Bolivia	99,1%	66,1%	88,3%	1.157.612
Brasil	99,9%	97,3%	99,5%	811.466
Chile	-	95,9% <sup>2</sup>	99,6% <sup>3</sup>	93.709
Colombia	99,7%	89,1%	97,1%	1.226.451
Ecuador	98,6%	84,3%	94,1%	912.306
Paraguay	99,7%	98,3%	99,2%	47.029
Perú	98,6%	65,2%	91,1%	2.582.421
Uruguay	99,7%	91,6%	99,1%	14.310
Venezuela	99,8%	98,2%	99,7%	60.202

<sup>1</sup> IEA, World Energy Outlook 2014, The Electricity Acces Database

<sup>2</sup> Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012.

<sup>3</sup> Dato correspondiente al año 2010, datos de libre acceso del Banco Mundial.

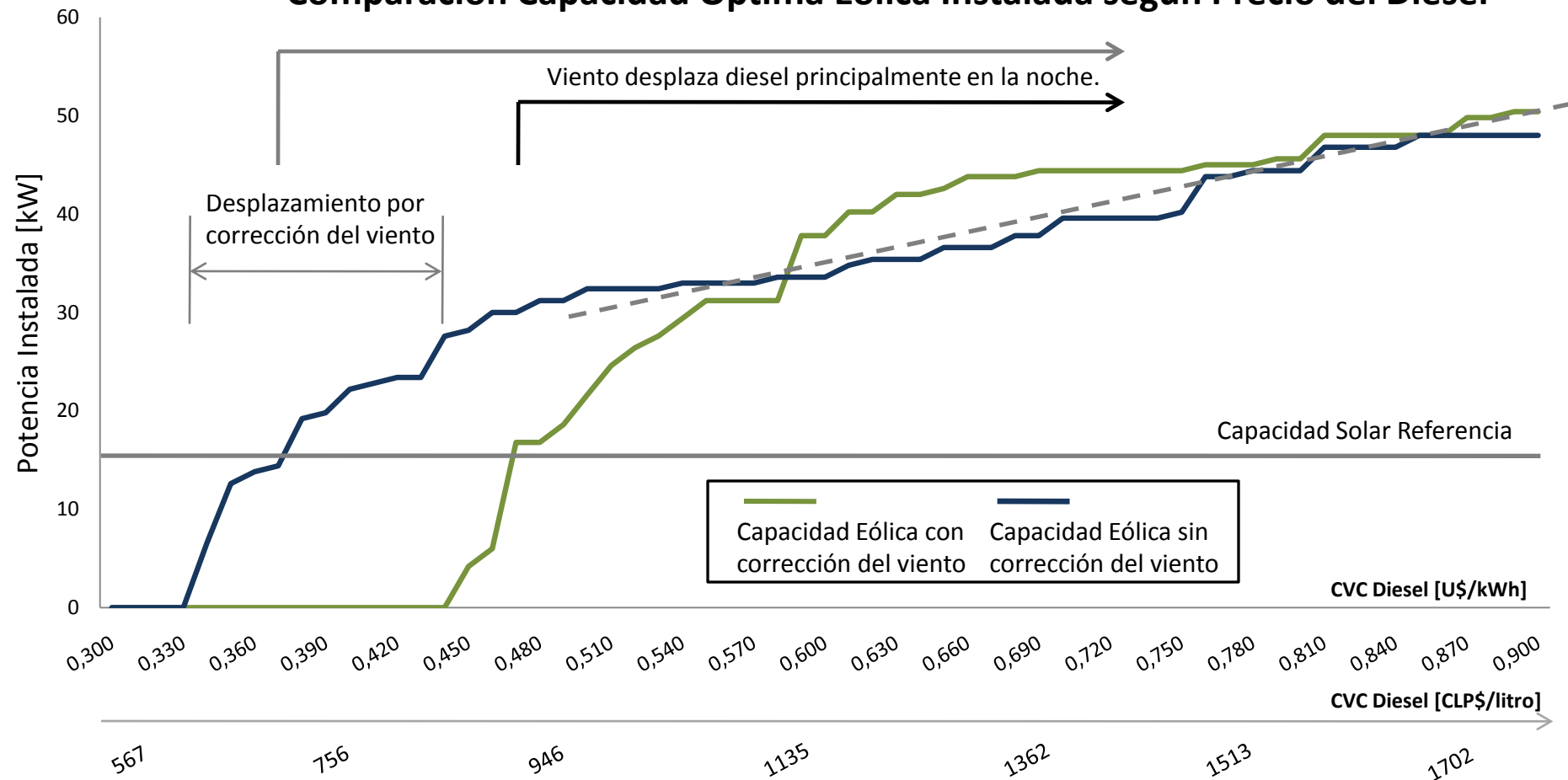
# PIB per cápita 2013 vs. Gini 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Human Development Report 2014, PNUD, y Datos de libre acceso del Banco Mundial.

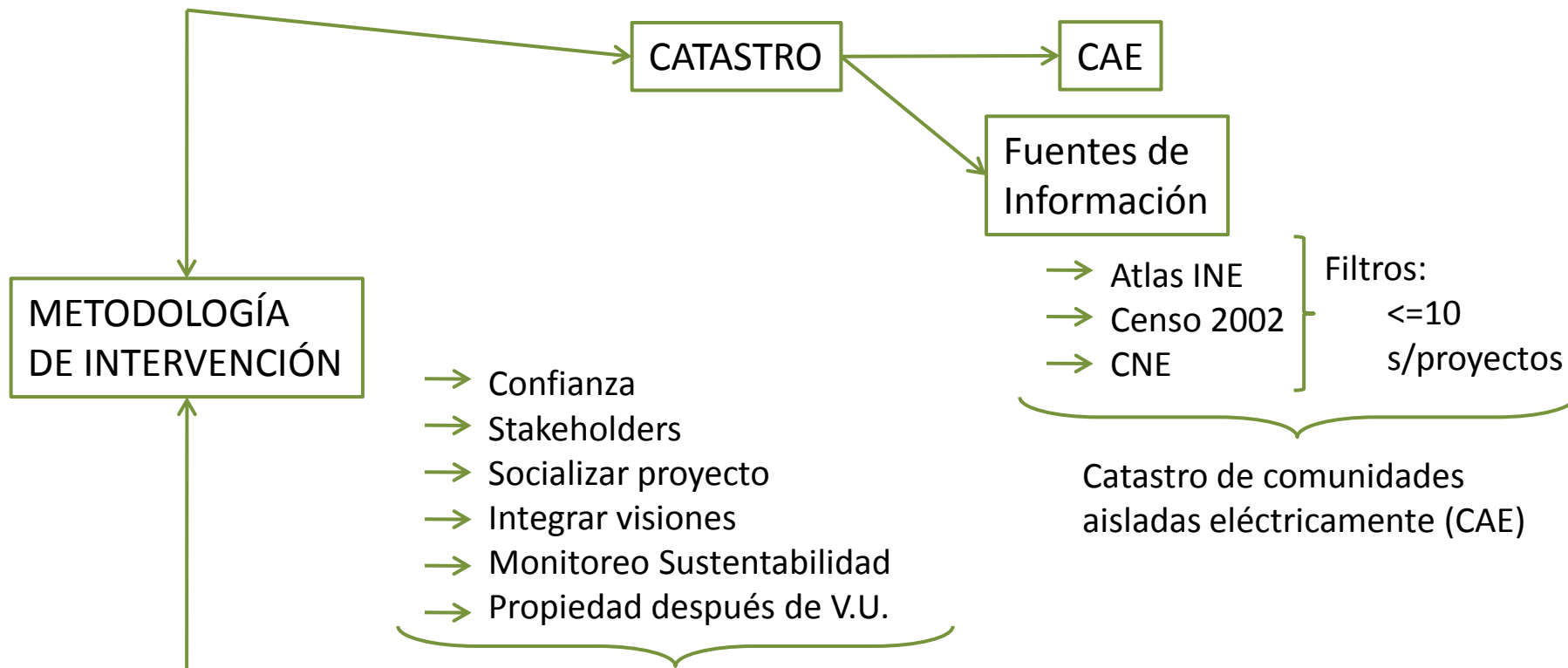
# Sensibilización de la capacidad instalada según cambios en el precio del diesel

## Comparación Capacidad Óptima Eólica Instalada según Precio del Diesel



# ESUSCON (C. Energía – Collahuasi)

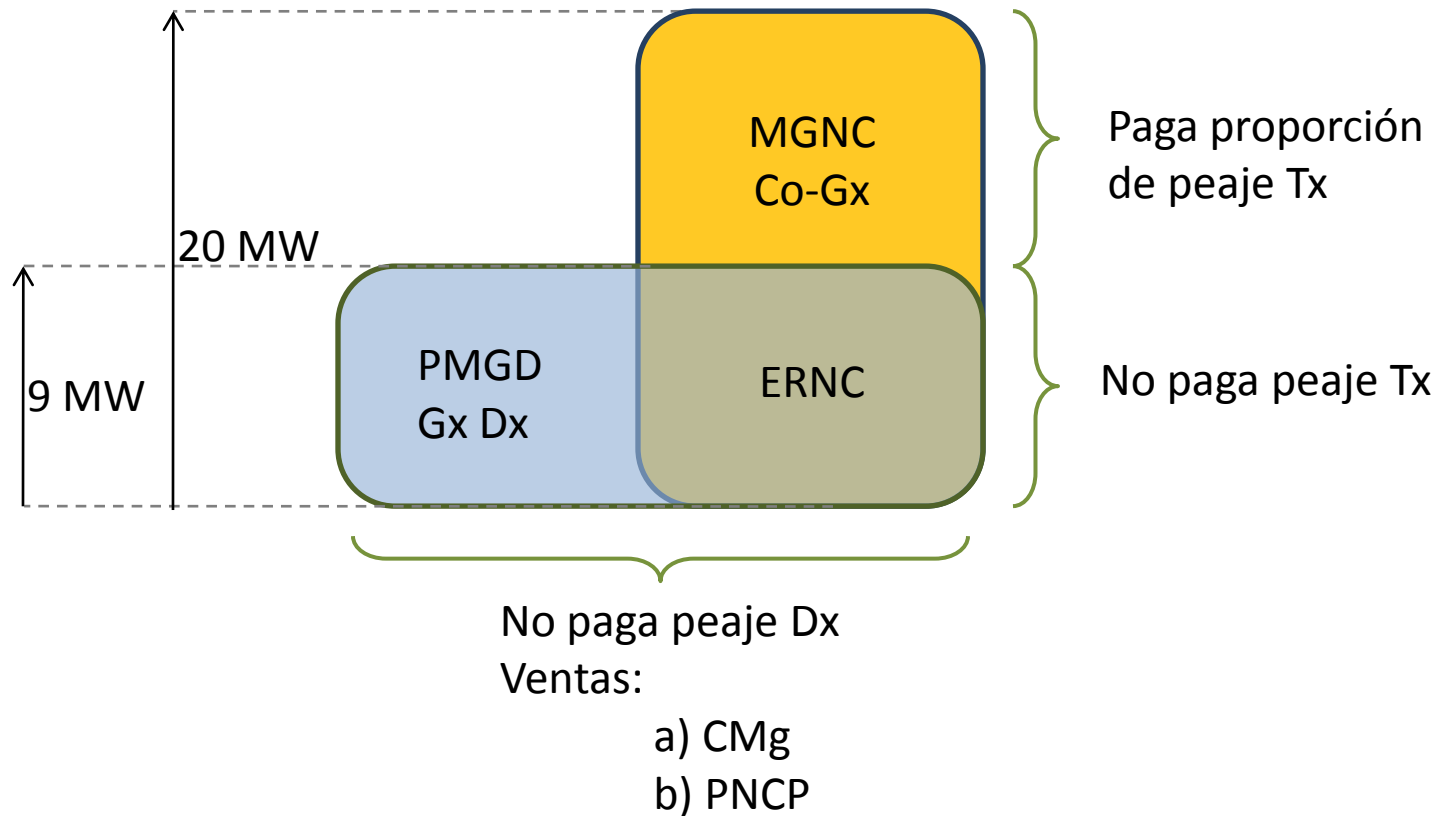
(Ubilla et al., 2014)



(Alvial et al., 2011)

Metodología de intervención para introducción de microrredes en una comunidad rural.

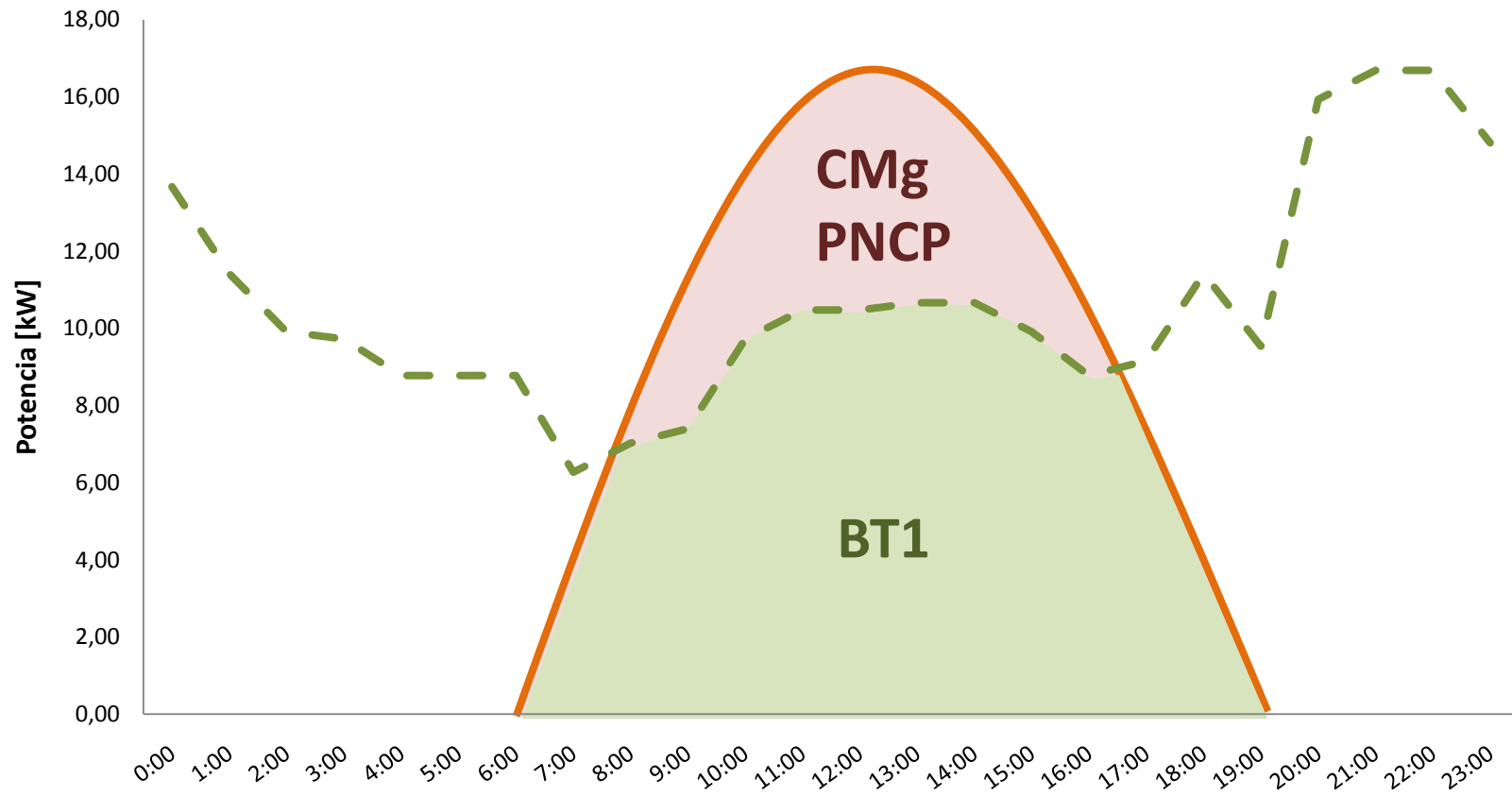
# PMGD



# PMGD



# PMGD



# PMGD

BT1 Tirúa:

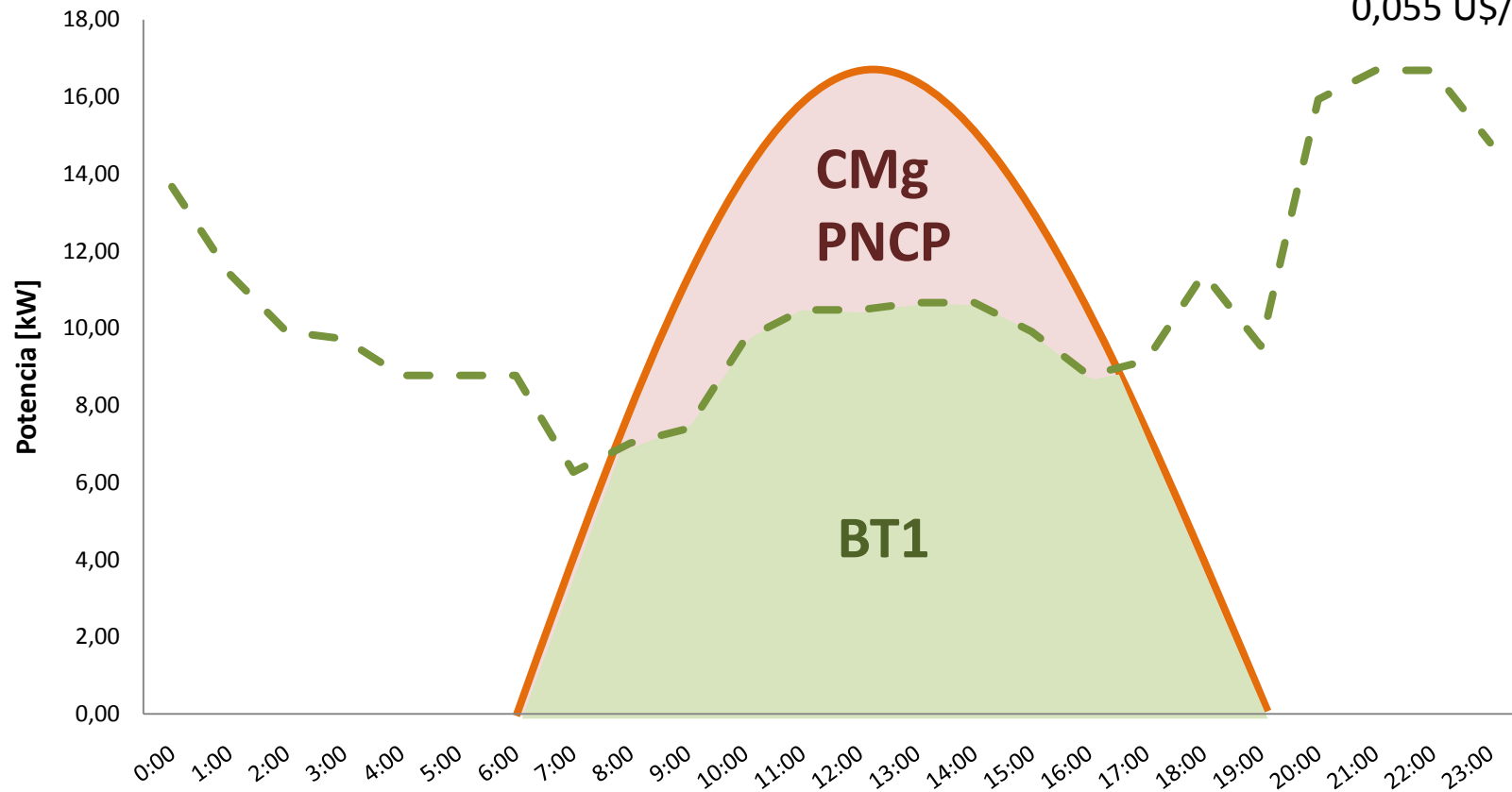
164,32 \$/kWh

0,238 U\$/kWh

PNCP Temuco:

37,71 \$/kWh

0,055 U\$/kWh





# Datos de entrada al modelo

	Costo Capital Inicial	Costo de Mantenimiento (/año)	Vida Útil (años)	Tasa de Descuento
Panel Solar	3,27 US\$/W <sup>4</sup>	10,0% <sup>1</sup>	20	10,0%
Turbina Eólica	2,80 US\$/W <sup>2</sup>	0,04 US\$/kWh <sup>2</sup>	20	
Generador Diesel <sup>3</sup>	US\$ 17.496	–	10	

<sup>1</sup>Porcentaje del costo capital

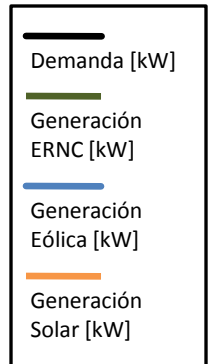
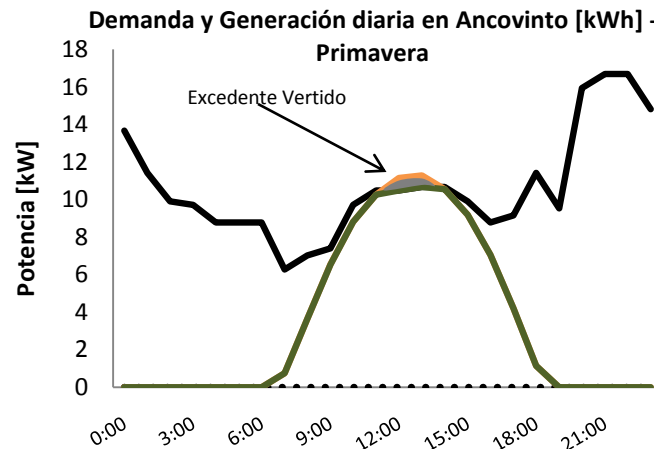
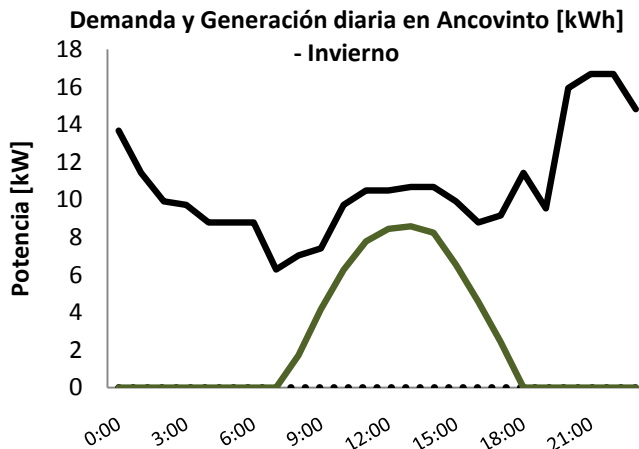
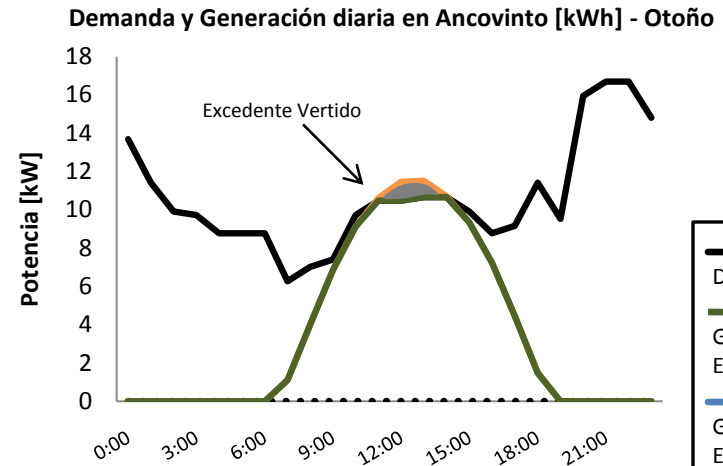
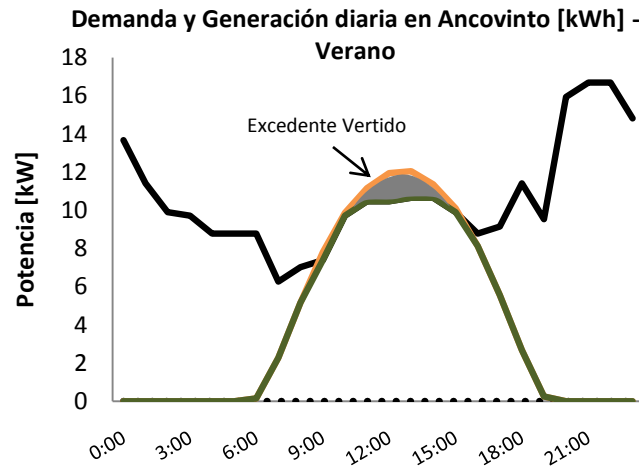
<sup>2</sup>(Nogueira et al., 2014)

<sup>3</sup>Capacidad Nominal: 22 kVA (con factor de potencia 0,8)

<sup>4</sup>(Watts et al., 2015)

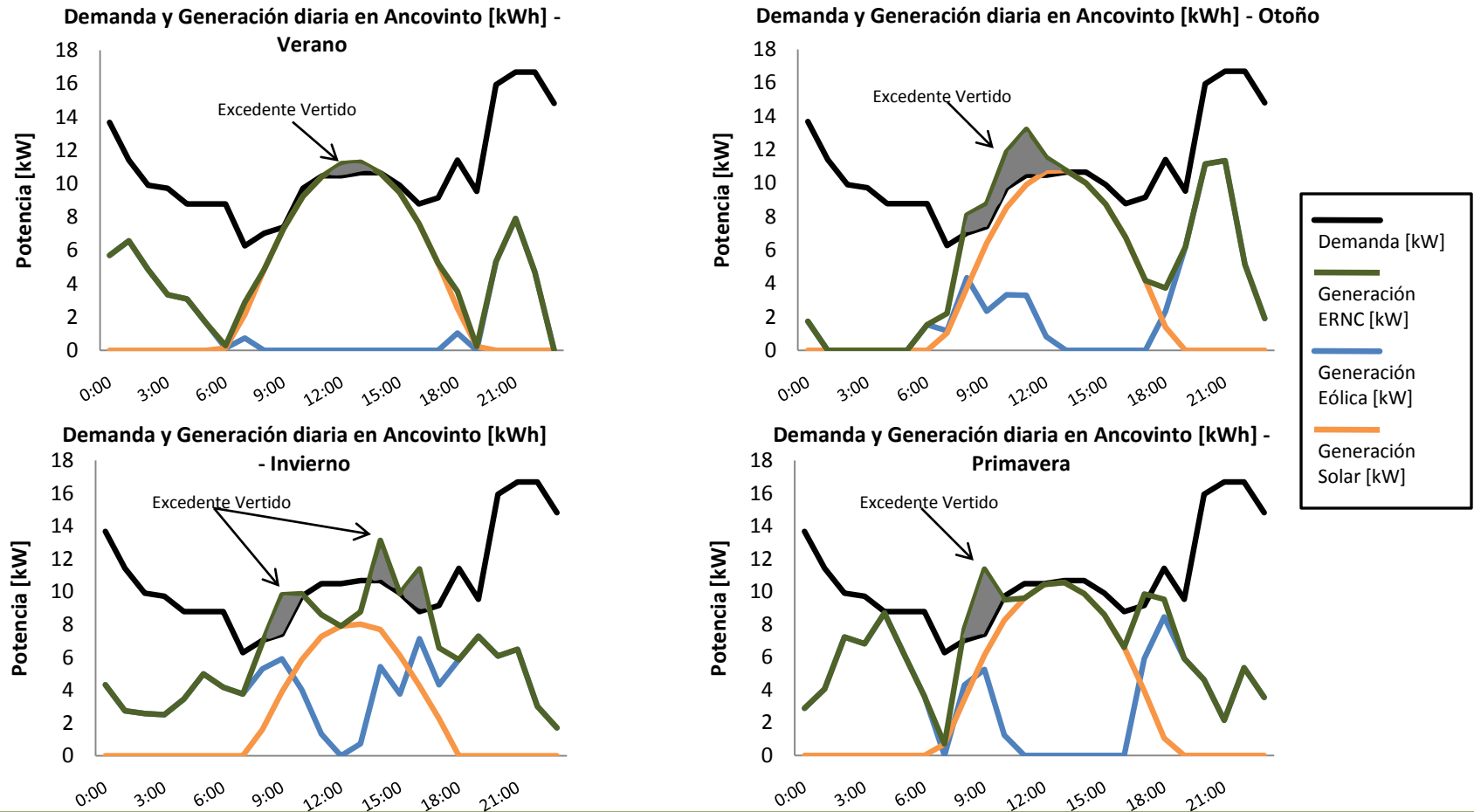
# Resultados con corrección del viento

Curvas horarias de llenado sin Vertimiento Total para los cuatro días tipo del año [kWh]



# Resultados sin corrección del viento

Curvas horarias de llenado Total para los cuatro días tipo [kWh]



# LCOE diesel

$$LCOE = \frac{I^A + \text{Mantenimiento} + \text{Operación}}{\text{Energía}_{\text{Año}}} (U\$/kWh)$$

$$LCOE = \frac{I^A + CVC_{\text{Año}}}{\text{Energía}_{\text{Año}}} (U\$/kWh)$$

$$LCOE = \frac{I^A + COE * \text{Energía}_{\text{Año}}}{\text{Energía}_{\text{Año}}} (U\$/kWh)$$

$$LCOE = \frac{I^A}{\text{Energía}_{\text{Año}}} + COE (U\$/kWh)$$

# Resultados dimensionamiento a COE

## 0,41 U\$/kWh

- Dimensionamiento de la *Microgrid*

- **Demanda:**

- Demanda Máxima: 16,69 kW
    - Consumo de Energía Anual: 93,69 MWh

- **Dimensionamiento Óptimo de Capacidad ERNC:**

- | • Solar:                | Sin Corrección | Con Corrección |
|-------------------------|----------------|----------------|
| – Capacidad Solar:      | 14,50 kW       | 15,50 kW       |
| – Uso Solar Total/Útil: | 22,15%/21,17%  | 22,15%/21,59%  |
| – Inversión Solar:      | U\$ 47.415     | U\$ 50.685     |
| • Eólica:               |                |                |
| – Capacidad Wind:       | 22,8 kW        | 0 kW           |
| – Uso Wind Total/Útil : | 13,00%/12,59%  | 0,00%/0,00%    |
| – Inversión Wind:       | U\$ 63.840     | U\$ 0          |

# Resultados dimensionamiento a COE

## 0,41 U\$/kWh

- Dimensionamiento de la *Microgrid*

– Diesel:	S/Corrección	C/Corrección
• Capacidad Nominal:	22 kVA	22 kVA
• Capacidad Standby:	17,6 kW	17,6 kW
• Uso Diesel:	27,02%	41,75%
• Inversión:	U\$ 17.496	U\$ 17.496
• Litros – Año:	13.569 litros	20.967 litros
– Mix ERNC – diesel:		
• Capacidad Total instalada:	54,90 kW	33,10 kW
• Energía generada Anual:	95,76 MWh	95,76 MWh
• Energía Vertida Anual:	2,07 MWh	0,76 MWh

# Balance de costos con corrección

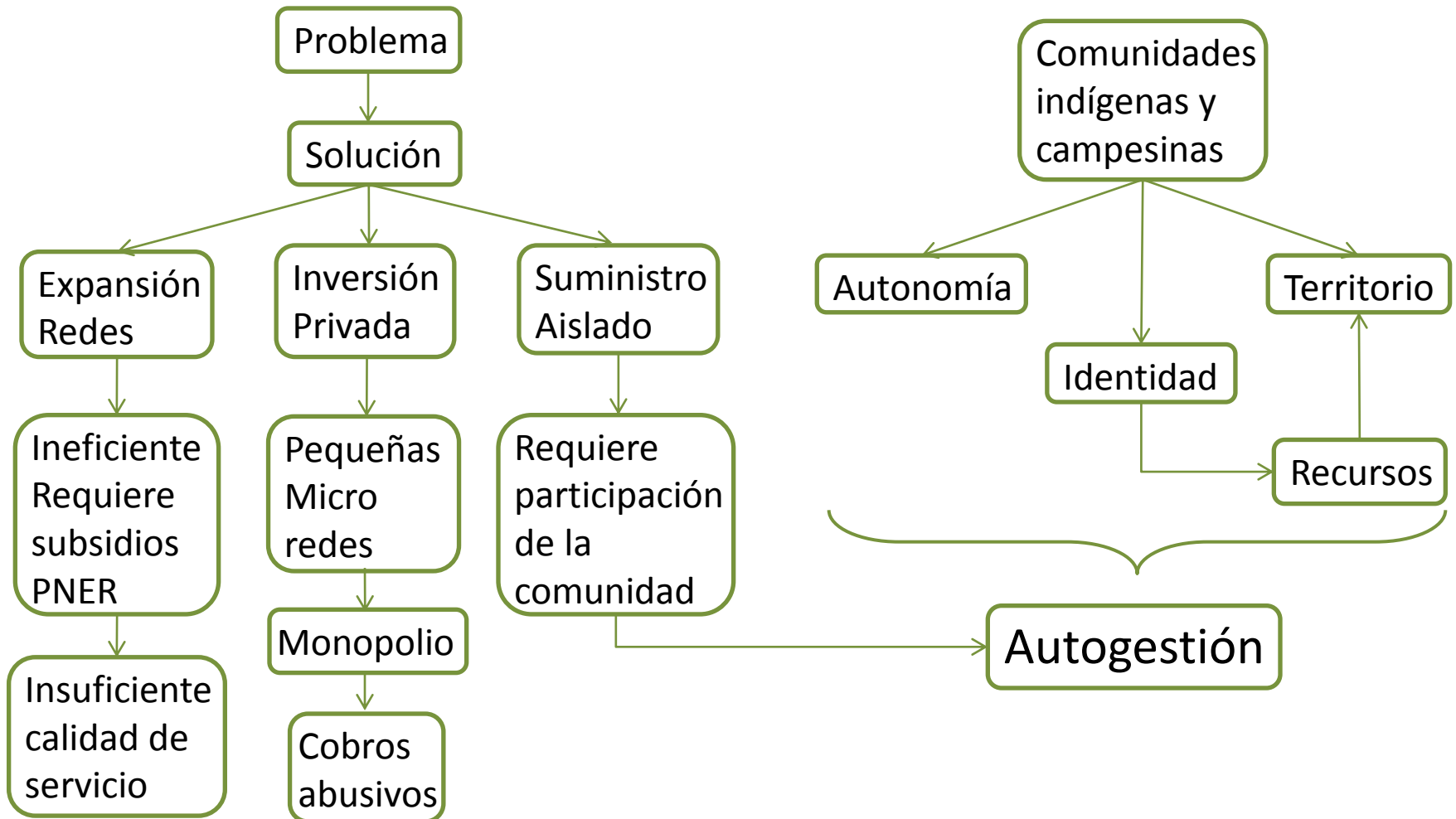
- Costo Anual I + Operación + COMA (sim): \$ 36.195
- Balance de Costos I + COMA + CVC: \$ 35.689
  - Diferencia: \$497

---

	Inversión Anualizada [U\$]	COMA [U\$]	CVC [U\$]	
Solar PV	\$ 5.953	\$ 507	-	
Wind	\$ 0	\$ 0	-	
Diesel	\$ 2.847	-	\$ 26.391	Total
Subtotal	\$ 8.801	\$ 507	\$ 26.391	<b>\$ 35.689</b>

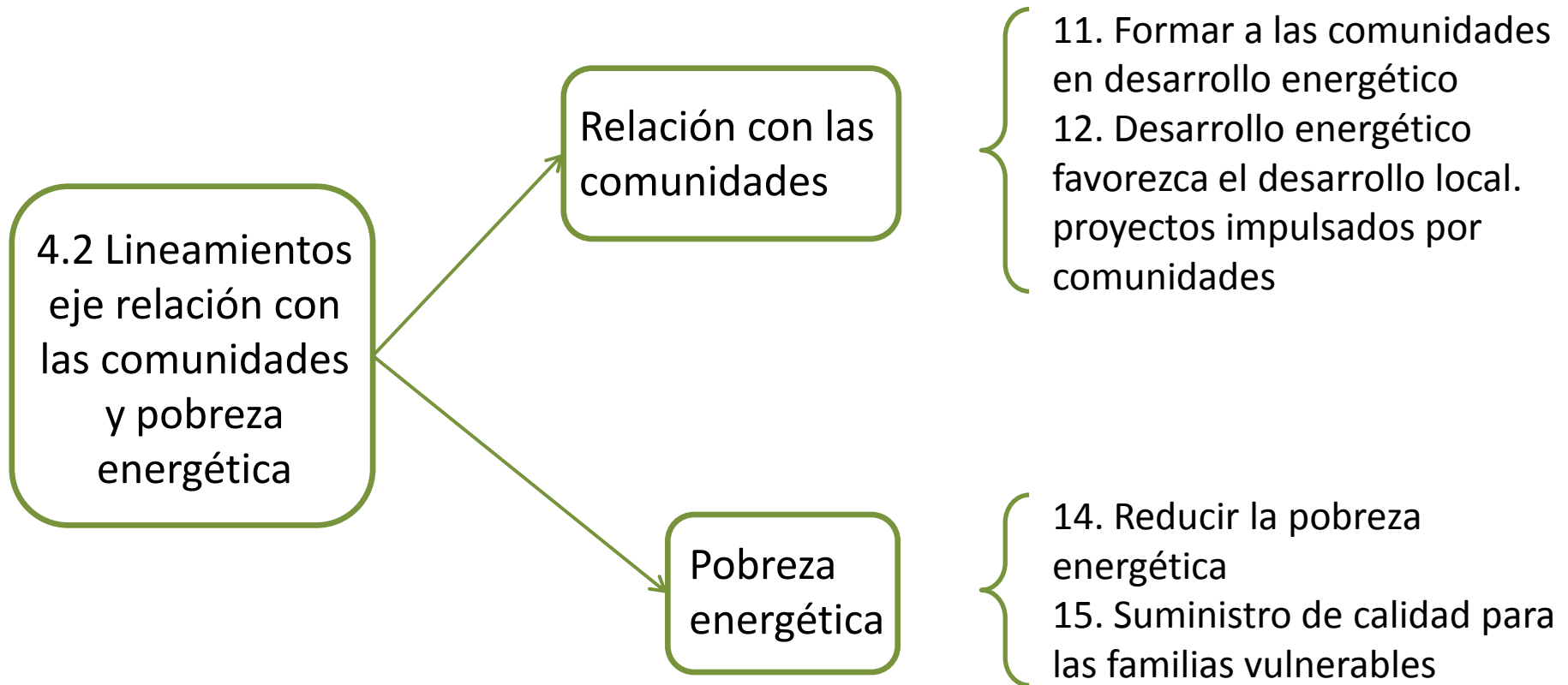
Nota: La simulación considera LCOE para PV, calculado a 20 considerando factor de pérdida de capacidad PV del 1% anual.  
Simulación considera Generación PV para el año 0, mucho mayor que la anualidad de Gx, por lo que hay una sobrestimación.

# ¿Por qué autogestión?





# Hoja de Ruta 2050



<http://www.energia2050.cl/uploads/libros/hojaderuta.pdf>

El potencial de suministrar electricidad a comunidades indígenas y campesinas de Chile mediante micro redes híbridas solar-eólicas autogestionadas: Una propuesta de desarrollo comunitario sustentable para la electrificación rural en zonas aisladas.

Defensa de tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Guillermo Montecinos Peña

Escuela de Ingeniería, PUC

10 de noviembre de 2015