

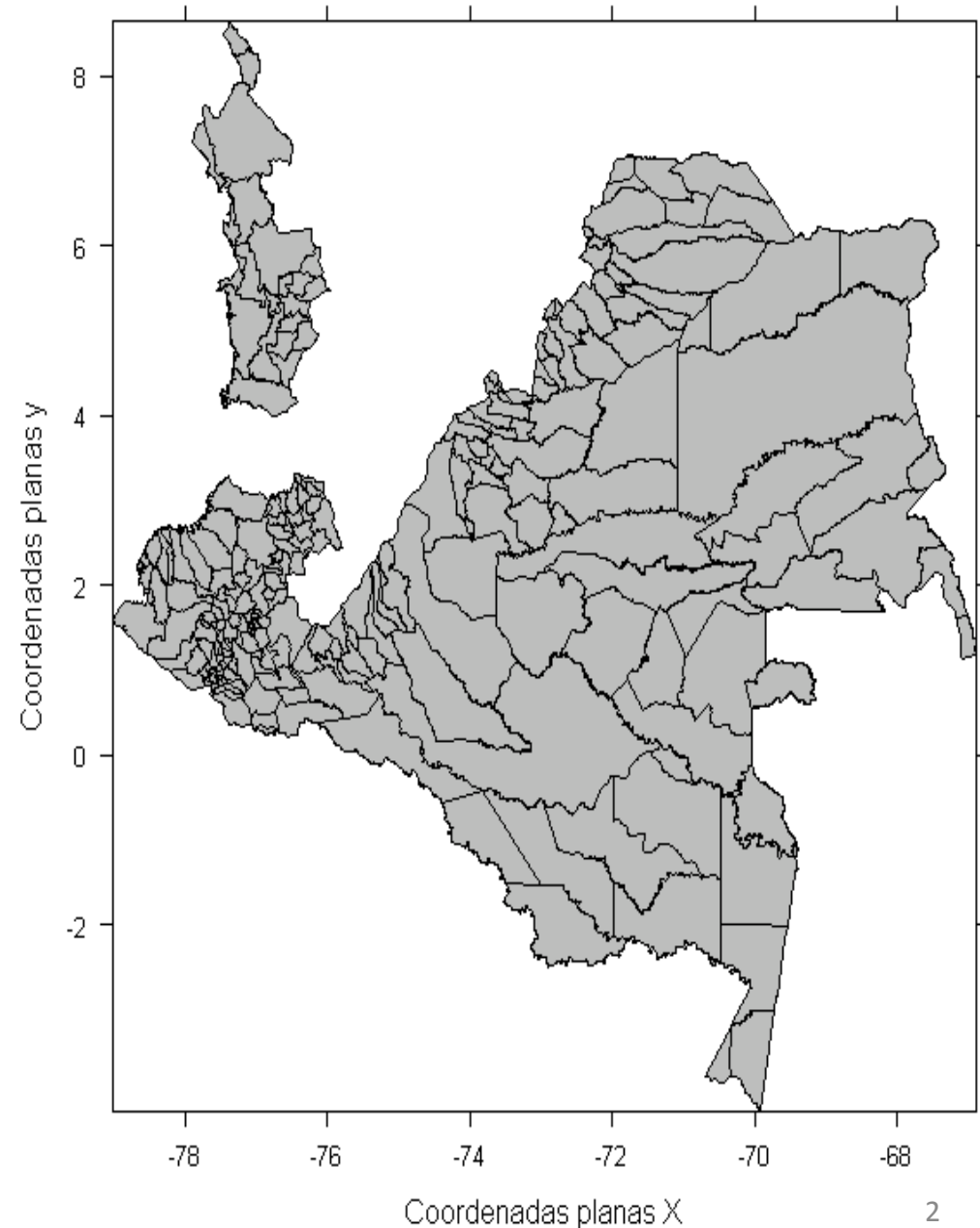
# **OPTIMIZACIÓN DE HERRAMIENTAS MULTIOBJETIVO PARA LA TOMA DE DECISIONES DE INVERSIÓN EN SISTEMAS AISLADOS SOSTENIBLES DE ENERGÍA**

**Grupos de Microeconomía Aplicada y Energías  
Alternativas (GEA) – Universidad de Antioquia  
Carbono & Bosques**



## Municipios en ZNI

- 66% del territorio (4% de la población).
- Alta oferta recursos naturales.
- Bajos ingresos *per capita* y condiciones de vida precarias.
- Baja urbanización y actividades primarias.
- Carencia de infraestructura básica.
- Institucionalidad precaria y baja gobernabilidad.
- Población altamente esparcida.
- Baja viabilidad financiera para ser incorporadas en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).



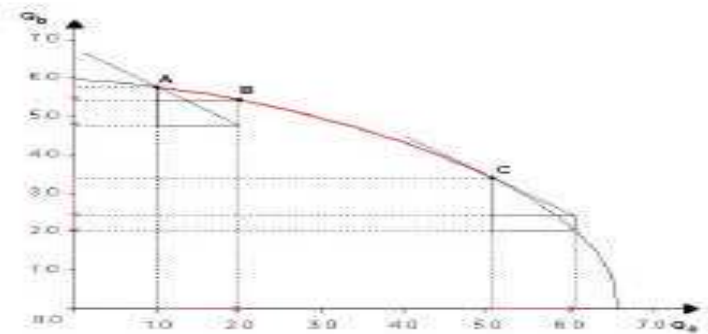
# OBJETO

Elaborar una herramienta para la toma de decisiones de inversión en áreas rurales no interconectadas que contribuya al desarrollo sostenible, considerando múltiples criterios.

# Base conceptual para el diseño de un algoritmo de decisión para la energización de áreas rurales

La elección de una alternativa de energización para una localidad puede ser representada como un problema multicriterio:

- Recursos biofísicos disponibles
- Tecnologías de energización disponibles y cercanía al SIN
- Precios de mercado tecnologías



- Variables socioeconómicas y culturales
- Restricciones institucionales (incentivos) y de gobernabilidad
- **Resultado: Alternativa de mínimo costo social sostenible**

# Elección social y múltiples objetivos

Eficiencia: La función multiobjetivo seleccionada, deba ser positiva respecto al impacto marginal de una política o una alternativa, independiente de la importancia que se le de a cada función u objetivo: en términos de eficiencia cualquier ponderación de criterios es irrelevante (bajo unos rangos relevantes).

Cualquier alternativa energética seleccionada no puede representar las preferencias sociales ni va a ser eficiente: los objetivos son incompatibles entre sí. Si hay una elección esta representa las preferencias de un solo decisor o la mayoría -votante mediano- (Arrow, 1971; Downs, 1957; Rosen, 2002).

Elección sujeta a ciclos políticos y manipulación.

Se supone un decisor omnisciente, benevolente y con compromiso de largo plazo.

# Problemas sociales equivalentes

$$\text{Max } Z(x) = f(Z_1(x), \dots, Z_m(x)) = \sum_{i=1}^m w_i Z_i(x_i)$$

$$\text{St. } x \in X$$

$$\sum_{i=1}^m x_i^g \leq w^g \quad \forall g = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{Max } Z_i(x_i)$$

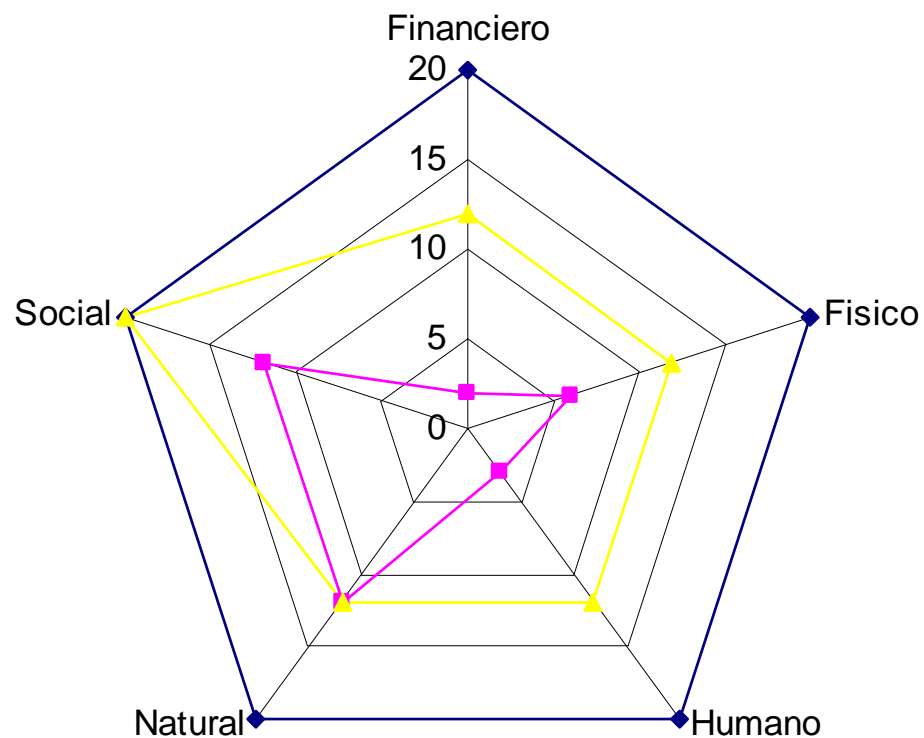
$$\text{s.t. } Z_j(x_j) \geq \overline{Z}_j, \quad j \neq i$$

$$\sum_{i=1}^m x_i^g \leq w^g \quad \forall g = 1, 2, \dots, n$$

$$\frac{\frac{\partial Z_i}{\partial x_i^g}}{\frac{\partial Z_i}{\partial x_i^h}} = \frac{\frac{\partial Z_j}{\partial x_j^g}}{\frac{\partial Z_j}{\partial x_j^h}} = \frac{\lambda_g}{\lambda_h} \quad \forall g, h = 1, 2, \dots, m \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

# Ejemplo: maximización capitales de una comunidad

## VALORACIÓN DE CAPITALES COMUNIDAD INDÍGENA DE JAMBALÓ



Fuente: Informe Final RESURL II 2004

# Ejemplo: maximización capitales de una comunidad

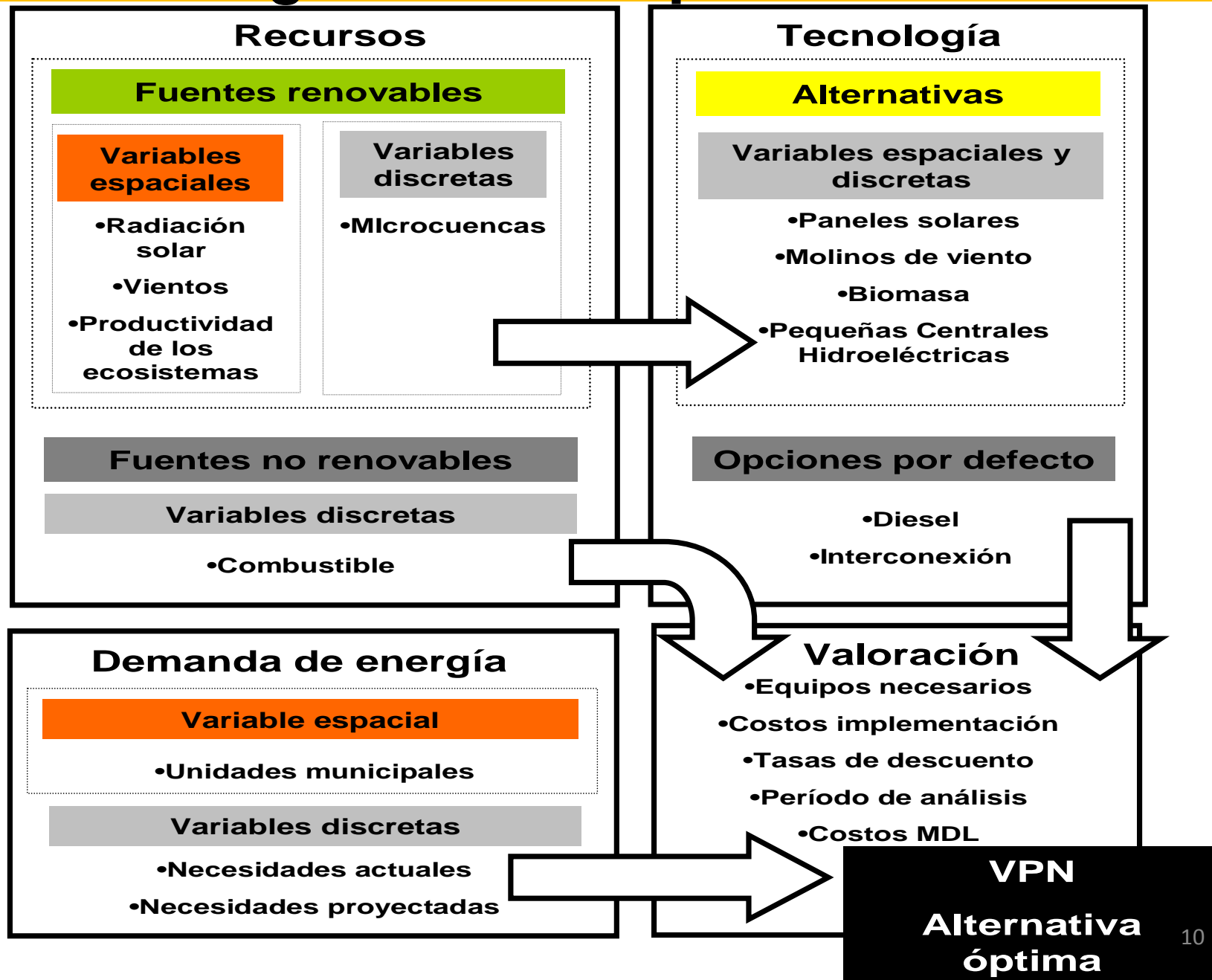
- Valoración de capitales y pesos subjetiva
- Supone dinámicas de desarrollo *ad hoc*: que prioricen asignaciones ideales pero no factibles ni de mínimo costo
- Son determinísticos (no se puede hacer inferencia sobre los impactos marginales)



# Herramienta HMO

- Uso de protocolos multivariados para reducir un problema multiobjetivo a la maximización de un Índice
  - ¿hasta donde deben jugar los datos?, ¿cómo comparar con otras realidades?
  - Hay restricciones de información
  - No es aceptable políticamente
- Abordamos el problema multiobjetivo como un problema de optimización por etapas y todas las variables se reducen a una dimensión de costos, es decir, cualquier variable o criterio es cuantificado monetariamente
- Criterio de elección: la alternativa de menor VPN

# Diagrama conceptual HMO



# El problema del desarrollo en las ZNI



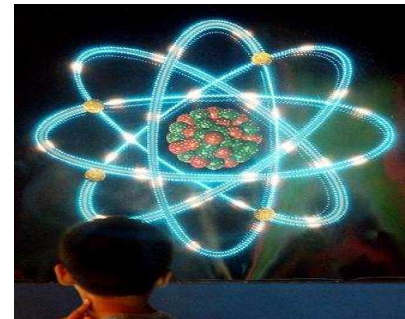
- El proceso de desarrollo en las ZIN no es determinístico, ni puede asimilarse al de los países o grandes regiones (teorías del crecimiento endógeno).
- : La herramientas estudiadas (*HMC* e *ISA*) consideran crecimientos poblacionales o dinámicas de desarrollo *ad hoc*.
- Son altamente dependiente de fuerzas exógenas (conflicto armado, migraciones, atracción polos de desarrollo, cambio climático), en contra de las endógenas.
- *Ceteris paribus* problemas de gobernabilidad, pueden tener estados estacionarios de muy bajo nivel.

## El problema del desarrollo en las ZNI

- Parte del trabajo fue tratar de aplicar modelos aplicados a sistemas biológicos (que se están usando en economía institucional) donde las fuerzas exógenas primaran sobre las endógenas pero no fueron confiables estadísticamente.

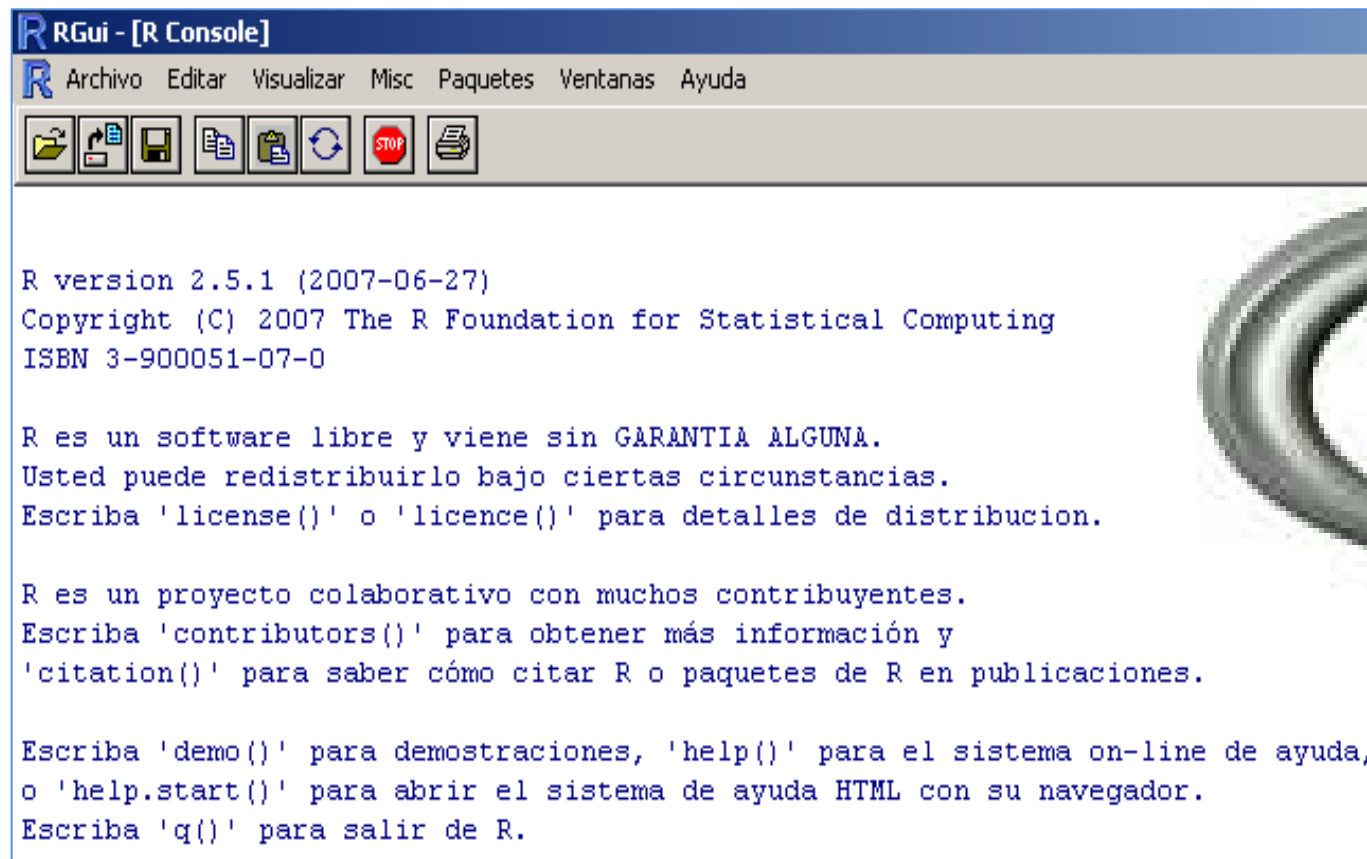
“Economists often take pride in the fact that Charles Darwin came to his theory of evolution as a result of reading Thomas Malthus and Adam Smith. But contrast the developments in biology since Darwin with what has happened in economics since Adam Smith. Biology has been transformed. Biologists now have a detailed understanding of the complicated structures that govern the functioning of living organisms”

Coase, 1998.



# SOFTWARE

El algoritmo se programa en el software R.



```
R version 2.5.1 (2007-06-27)
Copyright (C) 2007 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0

R es un software libre y viene sin GARANTIA ALGUNA.
Usted puede redistribuirlo bajo ciertas circunstancias.
Escriba 'license()' o 'licence()' para detalles de distribucion.

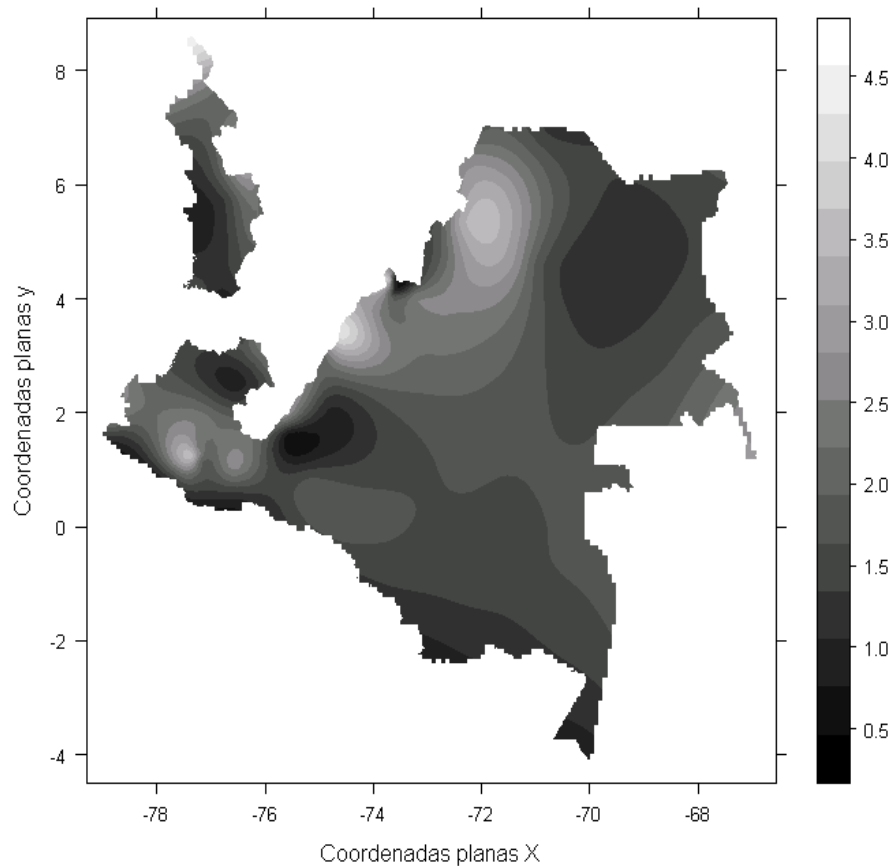
R es un proyecto colaborativo con muchos contribuyentes.
Escriba 'contributors()' para obtener más información y
'citation()' para saber cómo citar R o paquetes de R en publicaciones.

Escriba 'demo()' para demostraciones, 'help()' para el sistema on-line de ayuda,
o 'help.start()' para abrir el sistema de ayuda HTML con su navegador.
Escriba 'q()' para salir de R.
```



# Identificación de la oferta ambiental del lugar evaluado, a partir de la información disponible

Velocidad del viento en ZNI (m/s) en ZNI



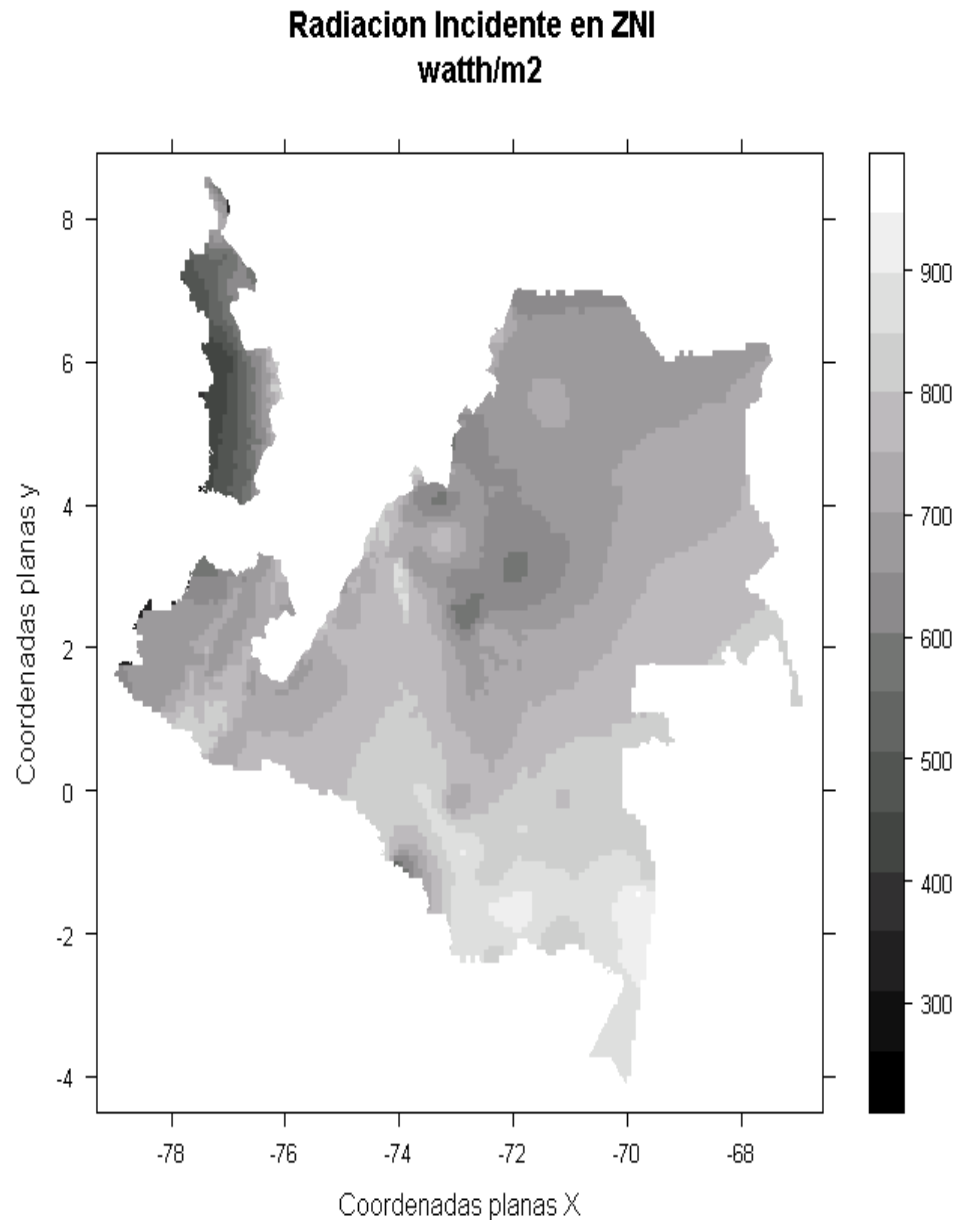
El algoritmo contiene una tabla de oferta ambiental :

- Radiación solar incidente
- Velocidad del viento
- Oferta hídrica (entrada)
- Biomasa

El algoritmo evalúa la oferta ambiental de un lugar y establece el grupo de alternativas energéticas adecuado.

La resolución espacial depende de la calidad de la información disponible (1km).

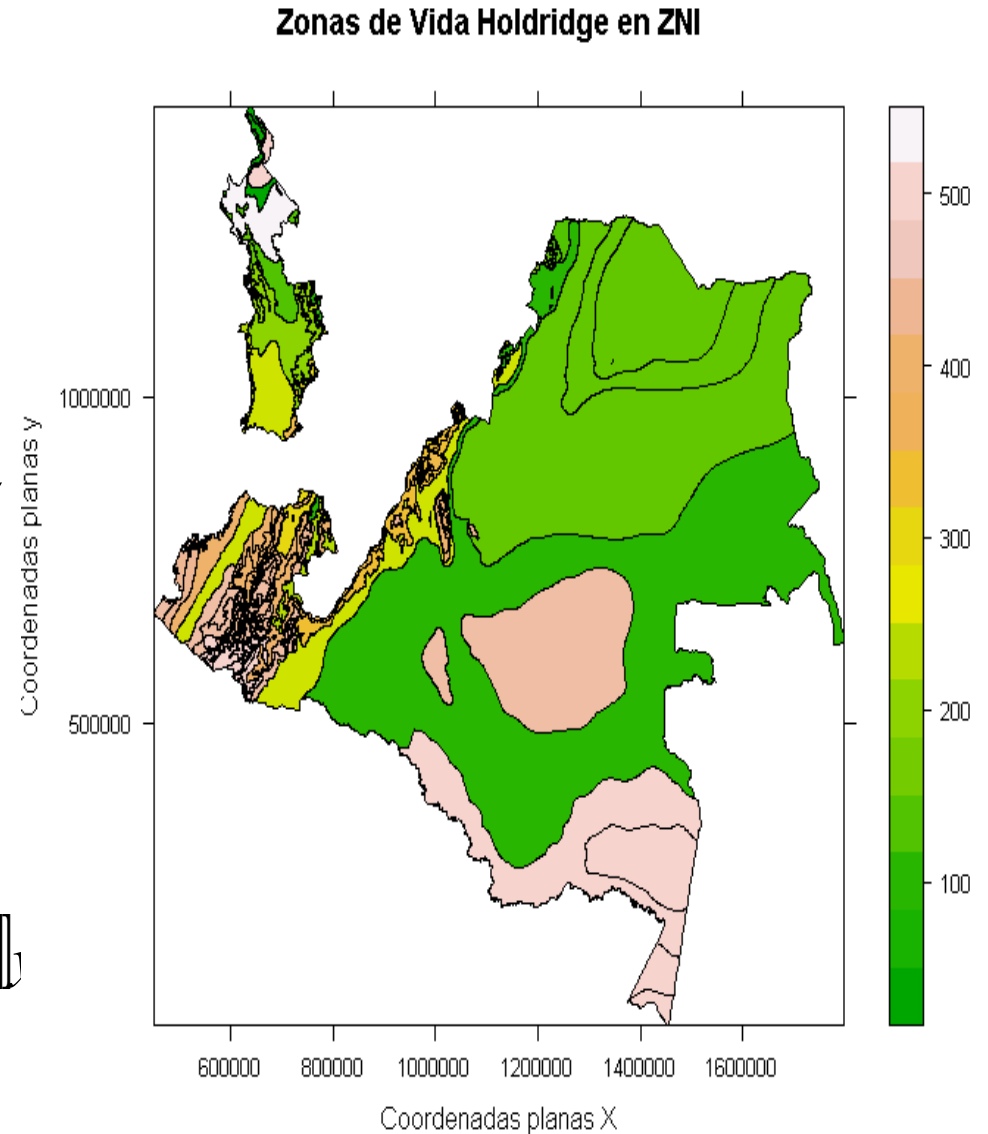
Se establecerá la información *proxi* que permita derivar la oferta.



# Estimación biomasa

- Mapa ZV Holdridge
- Se aplicó una ecuación de crecimiento para estimar la oferta de biomasa ( $dy/dt$ ) solo en función de la PPB ( $y_p$ ) y de la biomasa máxima (A):

$$\frac{dy}{dt} = \left[ \frac{PPN y_p^{-1} \cdot [A^m - 1] \cdot A^m}{r} \right] y^m - [PPN y_p^{-1} \cdot [A^m - 1]]$$





# Restricciones RSI

El algoritmo incorpora restricciones sociales e institucionales (RSI) que castigan el valor de implementación de las alternativas identificadas como relevantes.

Indices RSI: Se construyen con base en análisis de niveles de asociación estadística entre variables que tipifican las restricciones y calificadores.

## Indices de RSI

$$r_i = (Zpob)*0,061+(Zpob\_rural)*-0,051+(Zanalfa)*0,027+(Zanalfa\_rural)*-0,052+(Znbi)*0,028+(Znbi\_rural)*-0,067+(Zvivien)*0,060+(Zvivien\_rural)*-0,048+(Zenerg)*0,075+(Zalcan)*0,096+(Zacue)*0,089+(Ztel)*0,093+(Zhog econ)*0,087+(Zindust)*0,096+(Zcomer)*0,088+(Zserv)*0,092+(Zotra)*0,095+(Zuniagro)*-0,098+(Zhog)*-0,062+(Zhog\_rural)*-0,044+(Zusuarios)*-0,061$$

	Acandí	Riosucio	Unguía
VPN RSI (USD)	11418.6855	10838.161	10848.8087
VPN RSI/VPN alternativa	2.39%	1.06%	2.27%

# Valoración de costos de cada alternativa, considerando la demanda potencial del lugar

La demanda se define mediante comparación con lugares de similares características, pero con disponibilidad energética.



# Comparación entre costos de las alternativas energéticas vs Costos Interconexión eléctrica



**VS**



# Comparación entre costos de las alternativas energéticas vs Costos Interconexión eléctrica

- Lleva implícita la compleja estructura de incentivos regulatorios, fiscales y tributarios, ambientales, entre otros colombiana.
- Definen la estructura de tarifas.
- Incentivan el establecimiento de determinada AE.



# Opción MDL

Permite determinar el número mínimo de municipios MDL Sombrilla con VPN positivo.

<b>Descripción</b>	<b>Costo MDL</b>
Inversion inicial	300000
Costos de transacción	45270
<i>Costos de validación</i>	5000
<i>Costos de registro</i>	5000
<i>Costos de verificación</i>	30000
<i>Otros</i>	5270



# Aplicación HMO

**Parámetros técnicos:** velocidad del viento (dato o uso mapa), altura de los embalses y características técnicas de los materiales conductores del agua, PPN bosques.

Distancia a la red SIN: Si es mayor a 100 km HMO descarta opción interconexión: Riosucio (87 km).

Factor de carga curva demanda a abastecer: 0,7.

**Parámetros económicos:** Inflación: 10%, TC: 2000, Ti: 7%, CER: 10 USD.

	Acandí (844)	Riosucio (840)	Unguía (839)
DS	258	177	192
DP	1676	1146	1247
$\Delta$	1418	969	1055
Viviendas	1880	1285	1399



# Aplicación HMO

```

R Console
File Edit Misc Packages Help

> ETE=c(0.91,0.91,0.91) # Eficiencia de la s#rbida (ver tabla)
>
>
>
> ##### PAR#M#TROS PARA BIOMASA (BIOMASA)
> BCI=c(30.84,40,30.84) # M3/kg
> cost.Biomasa=c(0.03,0.03,0.03) # Costo promedio de 1 kg de Biomasa
> factor.uso.Biomasa <- 0.7 # Factor de uso para la demanda
>
> ##### PAR#M#TROS T#CNICOS PARA LA INTERCONEXI#N A LA RED SIN
> viviendas=c(1000,1000,1000) #Numero de viviendas a electrificar
> distancias=c(100,37,100) #Distancia entre el pueblo y red del SIN mas cercana (km)
> pendiente.terreno=c("alta","baja","plana") ## "alta" : >30% # esaría como tabla
> ## "media" : entre 10 y30%
> ## "baja" : <10%
> ## "plana" : 0%
> tipo=c("alto","medio","bajo") ## "alta" : Alto nivel
> ## "media" : Medio nivel
> ## "baja" : Bajo nivel
> ## "otro" : Sin otro
> via=c("principal","secundaria","otro") ## "principal" : Principal pavimentada <1km
> ## "secundaria" : Secundaria pavimentada <1km
> ## "terceraria" : Carretera/Terceraria < 4km
> ## "otro" : Sin via
> costo.um.unidad.construccion=24170000 ## Costo de UC. resolucion CREG 016 del abril de 2008 (pesos, linea de tension 10.2
> costo.um.unidad.construccion=88870000 ## Costo de UC. resolucion CREG 016 del abril de 2008 (pesos, linea de tension 34.5
> cte.costo.transformador375=30163784000 ## constante para calcular costo del transformador 375/301 y/c 301 (pesos resolucion de la CREG 016 2008
> factor.uso.Otros <- 0.7 ## Factor de uso para la demanda
>
>
> ##### INTRODUCCI#N PARA LA EVALUACION ECONOMICA
> valor$C=1000 # Valor del $US solar en pesos
> tpc=7 # tasa de inter#s
> npe=10 # Valor de los certificados de reduccion SCR/bon ocl
> anos=15 # tiempo de analisis del proyecto (a#os)
> Efdiesel=0.01 # Emision Factor for Diesel 1000/gpcm
> #####
> Valores$C("VPM")

```

	VPM.Eolica	VPM.Solar	VPM.PCM	VPM.Diesel	VPM.BioDiesel	VPM.ME	VPM.Interconexion	VPM.BIOMASA	TOM.BIOMASA	ANUAL	EA	BOSQUE	ANUAL
ACASDI	54541266	831573308	4772340	84962869	71363680	877209	NA	18760432		16503.464			6361.243
BIOGOTO	482374583	339994584	18495348	83618726	70018536	877209	10662763	10274428		8644.737			2913.057
TRAGUA	37164622	497718833	4771679	83642393	70042103	877209	NA	18759749		16503.464			6585.123

```

>

```

24



# Aplicación HMO

VPN por municipio para cada Alternativa (\$US miles)

