



# ERASMUS

## Viabilidad Económica de La Generación Distribuida en Colombia

Jan Kleyn

II CONGRESO VENEZOLANO  
DE REDES Y ENERGÍA ELÉCTRICA



## VIABILIDAD ECONOMICA DE LA GENERACION DISTRIBUIDA EN COLOMBIA

Jan Kleyn  
Erasmus

### RESUMEN

Estudio económico sobre generación distribuida utilizando fuentes de energía renovables con las tarifas actuales en Colombia desde el punto de vista de un generador de menos de 10 kW.

Sistemas de generación estudiados:

- Energía solar con celdas fotovoltaicas.
- Turbinas de viento con una localización en zona de alto viento.
- Hidráulica en filos de agua.

Se tienen en cuenta los siguientes costos:

- Equipo de generación, control y protección.
- Instalación.
- Mantenimiento.

El estudio se hace con las tarifas de estrato 4 la cual representa una tarifa sin subsidio y sin sobrecosto.

El resultado final es una fórmula para determinar la rentabilidad de un sistema de generación distribuida. Para cada caso particular se pueden cambiar las variables. Con la fórmula se hace un macro en Excel para poder calcular fácilmente la rentabilidad de cualquier sistema. Con esto se crearán algunas gráficas que serán incluidas en la presentación para comprender mejor las tendencias. Con esta fórmula general se puede hacer cualquier variación en cuanto a tarifas y tamaño de generación y consumo.

El trabajo da una visión sobre el tiempo requerido para recuperar la inversión en un proyecto de generación distribuida de parte del usuario.

### PALABRAS CLAVE

Rentabilidad, Generación distribuida, energía solar.

## Introducción

Este trabajo consiste en observar la viabilidad económica de un generador distribuido que quiera utilizar energía generada localmente. Entonces haremos una comparación de costos entre 2 escenarios. El primero es la compra del total de su energía eléctrica de la electrificadora. El segundo es instalando un sistema de generación pequeño para suplir sus necesidades. En algunos momentos no podrá ser autosuficiente y tendrá que adquirir energía de la red, a veces tendrá sobrantes de energía que podrá vender a la distribuidora de energía. Tratamos de tener en cuenta todos estos casos con diferentes sistemas de generación y volúmenes de generación y consumo. Para esto generamos una fórmula general que introducimos en un macro en Excel. Esta fórmula puede ser aplicable a cualquier situación particular. En estos ejemplos no vamos a usar baterías. Hicimos algunos ejemplos con variables que nosotros consideramos probables. Pero el modelo puede ser usado modificando cualquier variable.

### Variables macroeconómicas

TRM

Inflación local

Inflación Mundial

### Operativas

Valor de kW hr pagado a la electrificadora

Precio de kW hr que la electrificadora paga a un Usuario

% reconocido al generador

Consumo anual

Rendimiento de la planta

Costo de mantener funcionando la planta de generación

Capacidad de Producción

kWh

Horas de sol (diario)

De la energía consumida

% generado localmente

% comprado a la red

Energía vendida a la red

## Suposiciones generales

Hay unas suposiciones que hicimos para todos los casos de generación:

- Inflationes  $\approx 7\%$  anual.
- El precio que un usuario paga a la empresa de energía es Col \$ 283 por kWh. Esta es la tarifa actual de estrato 4. Un estrato mayor paga una sobretasa del 20 %, un estrato menor es subsidiado. Esta tarifa subirá anualmente de acuerdo con la inflación.
- Una electrificadora compraría la energía a un usuario a Col\$ 127 por kWh. Este es el valor que se transa en bolsa actualmente. Este valor subirá con la inflación.
- El equipo de generación baja su rendimiento de forma lineal a una tasa de 1% por año. La inversión tiene un término de 20 años.
- Todo el sobrante de la generación local es vendido a la electrificadora.

- Tomamos consumos de energía bajos, unos 6000 kWh por año.
- En estos ejemplos no vamos a usar baterías.
- El costo del dinero es un 10.1 % anual. Esta es la rentabilidad de una inversión segura en Colombia.

## Fórmula utilizada

Se crearon 2 escenarios. El primero es comprar la energía de la electrificadora durante 20 años manteniendo un consumo constante y asumiendo un incremento en el kWh de acuerdo a la inflación. El otro escenario es instalando una fuente de generación por parte del usuario, comprar de la electrificadora cuando la generación propia sea insuficiente para suplir su consumo, y vender cuando tenga un excedente.

### Escenario 1:

Consumidor de energía que no genera, solo le compra al sistema

Gasto en compra de energía =  $VPN_{1 \rightarrow 20}(\text{Valor de kWh pagado a la electrificadora} * \text{Consumo anual en kWh}) / (1 + wacc)^n$

Tal que Valor KWH(n) = valor actual KWH \* (1 + inflación)^(n-1), por ejemplo Valor KWH(Y3) =  $283 * (1 + 5\%)^2$

Consumo anual = consumo de un hogar unipersonal al año

### Escenario 2:

Generador de energía

Resultado Neto =  $- \text{Inversion Inicial Planta} + (VPN_{1 \rightarrow 20}(\text{Venta de energía} - \text{Gastos de generacion} - \text{Compra de energía}) / (1 + wacc)^n$

Inversion Inicial = Valor de la planta de generacion y del equipo de interconexion que se reemplaza cada 5 años

Venta de Energía = Precio KWH pagado a usuario \* KW vendidos

KW vendidos = (Capacidad de produccion propia - KW producidos y consumidos por usuario), tal que KW producidos y consumidos por usuario = Consumo anual del usuario \* % de consumo de capacidad propia.

Gastos de Generacion = costo de mantener funcionando planta de generacion, se asume 200.000 anual, aumenta con inflacion

Compra de energía = (Consumo anual del usuario - Consumo de energia generada por el usuario) \* precio KW pagado a electrificadora

WACC = Tasa de oportunidad del dinero en el tiempo, se asume 10,1%EA (CDT del Banco Santander)

VPN = Valor presente neto.

## Energía solar

El primer ejemplo corresponde a energía solar. La energía solar que llega a la tierra varía entre unos 1000 y 1200 W/m<sup>2</sup>, según latitud y nubosidad. En lugares de latitudes bajas 1 km<sup>2</sup> puede generar 125 GWh/año con una planta de 50 MW con una eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica de un eficiencia del 10 %. En teoría un 1 % de las zonas desérticas del mundo podrían cubrir la demanda estimada para el 2030.

Para calcular la rentabilidad hicimos las siguientes suposiciones:

En promedio los paneles solares generarán el equivalente a 7 horas de su potencia máxima. Entonces si la instalación es de 1 kW, al día va a generar 7 kWh.

De la energía consumida, el dueño de la instalación genera el 35 %, el restante 65 % lo compra de la red. Toda la capacidad sobrante la vende a la red. Esto se puede variar de acuerdo a cualquier caso particular, teniendo en cuenta el consumo durante el día o la noche. Esto puede depender del clima y del uso que se le dé a la instalación donde va a estar la planta, si es residencial o comercial, si es ocupada o no durante el día.

Valor de kW hr pagado a la electrificadora	283
Precio de kW hr que la electrificadora paga a un usuario	127
Consumo annual	6000
Costo de mantener funcionando la planta de generación	50000
Capacidad de annual de Producción (kWh)	5110
Capacidad instalada (kW)	2
Horas de sol (diario)	7
De lo que se consume	
% producido	0,65
% comprado	0,35
kWh producidos	3900
kWh comprados	2100
kWh vendidos	1210

El resultado fue:

Escenario sin generar:	Cop\$ 27.745.523
Escenario con generación propia:	Cop\$31.896.906

Entonces hay una pérdida por instalar celdas fotovoltaicas. Si se hace el mismo ejercicio con un costo un 20 % más alto del kWh, entonces la pérdida desaparece. Este es el precio que pagan los estratos 5 y 6 en Bogotá.

## Energía eólica

Puede ser más económica que la solar, pero su periodicidad es más difícil de estimar. En Colombia el principal lugar de vientos es la costa Atlántica. Su costo según el IPCC es de USD 900 por kW. En nuestro estudio asumimos los siguientes valores:

Valor de kW hr pagado a la electrificadora	283
Precio de kW hr que la electrificadora paga a un usuario	127
Consumo annual	6000
Rendimiento de la planta	1
Costo de mantener funcionando la planta de generación	150

Capacidad anual de Producción (kWh)	4380
Capacidad instalada (kWh)	2
Horas de viento al día	6
De lo que se consume	
% producido	0,4
% comprado	0,6
kWh producidos	2400
kWh comprados	3600
kWh vendidos	1980

Sobre el valor del sistema pusimos un valor de USD 2000 por kW instalado. Algo más alto que el registrado en el IPCC, pero acorde con lo que hemos visto en el mercado Colombiano. También hay otros USD 500 que asumimos tenemos que invertir cada 5 años en algunos repuestos y equipo de protección y control. Estamos asumiendo que el viento promedio durante un año es una cuarta parte del viento que necesitaría la turbina para generar todo su potencial instalado.

Los gastos obtenidos fueron los siguientes:

Escenario sin generar:	Cop\$ 27.745.523
Escenario con generación propia:	Cop\$ 26.288.028

Entonces tenemos una pequeña ganancia por generar nuestra propia energía. Podría ser algo mayor en condiciones de mayor viento o consiguiendo equipo de generación a precios más favorables, o teniendo un consumo y generación mayores.

## Energía hidráulica

Esta representa el 90% de la energía renovable generada en el mundo. El potencial global de pequeñas centrales, por debajo de 10 MW es entre 150 y 200 GW. El 75% de represas han sido construidas para agricultura, reservas de agua para suministro urbano o para control de inundaciones. La mayoría podrían también ser utilizadas para generación eléctrica. Su costo según el IPCC es entre 20 a USD 90 por MWh, sin incluir costos de interconexión.

## Suposiciones

Energía producida: 70 % es consumida localmente, el resto es vendido a la red.  
También suponemos que la mitad del tiempo vamos a tener agua para generar.

Valor de kW hr pagado a la electrificadora	283
Precio de kW hr que la electrificadora paga a un usuario	127
Consumo anual (kWh)	6000
Costo de mantener funcionando la planta de generación	200000
Capacidad de anual de Producción (kWh)	4380
Capacidad instalada (kW)	1,5
Horas promedio al día con agua	12
De lo que se consume	

# Viabilidad Económica de la Generación Distribuida

% producido	0,7
% comprado	0,3
kWh producidos	4200
kWh comprados	1800
kWh vendidos	2370

Por lo demás se asumió un costo de la planta de USD 3500 por kW instalado y un costo adicional de USD 500 por equipo adicional de interconexión que estamos depreciando en 5 años. El equipo de generación es depreciado a 20 años. Los gastos fueron:

Escenario sin generar:	Cop \$ 27.745.523
Escenario con generación hidráulica:	Cop \$ 23.944.030

Entonces hay un ahorro de unos 4 millones de pesos por usar una generación propia. Aquí se consideró un sistema de generación y un consumo pequeño. En caso de tener algo más grande el ahorro sería mayor.

Para tener otra referencia, en la Tabla I vemos los resultados obtenidos en cuanto a costos y emisiones de gases efecto invernadero, comparando el esquema actual de generación concentrada con un esquema hipotético del 100 % de generación distribuida. Únicamente en el caso de Brasil encontraron que se generarían más emisiones de gases. Esto es porque actualmente una parte importante de la generación Brasileña está basada en grandes hidroeléctricas. En caso de tener el 100% de generación distribuida, parte de esta generación sería con gas o biomasa, generando un mayor nivel de gases efecto invernadero. En todos los casos encuentran un ahorro sustancial en costos de capital y operativos. Los ahorros son más pequeños en un país pequeño con líneas cortas como Irlanda, donde los costos de transmisión tienen menor peso en los costos totales.

	Brazil	China	EU	Ireland	Ontario	USA	World
Capital cost	-46%	38%	-45%	29%	58%	44%	30%
Retail costs	-40%	28%	-37%	16%	42%	40%	29%
CO <sub>2</sub> emissions	-22%	56%	12%	34%	-41%	49%	-47%
Fossil fuel use	-17%	30%	5%	64%	-32%	14%	11%
NO <sub>2</sub> emissions	-169%	89%	60%	43%	29%	58%	66%
SO <sub>2</sub> emissions	-8%	89%	22%	40%	2%	68%	72%
PM10 emissions	-171%	58%	39%	39%	38%	43%	44%

Tabla I

## Caso real de generación distribuida en Colombia

En Colombia no existe una legislación para la generación distribuida para clientes regulados. Grandes industrias dereguladas que trazan cantidades importantes de energía y que están conectadas a la red a media tensión pueden generar y vender a la red. Este es el caso de los ingenios en el Valle que usan el bagaso de la caña de azúcar como combustible para generar electricidad a un costo competitivo.

Aún sin haber legislación para la generación distribuida, existen casos de este tipo sin que la electrificadora esté enterada. Los contadores electromecánicos son bidireccionales. Si el cliente, en vez

de consumir electricidad la genera, el contador se rota en sentido contrario, reduciendo la factura de consumo. En estos casos no hay una diferencia entre el costo al que la electrificadora vende o compra energía. Es importante que el cliente mantenga un consumo positivo para no ser examinado por el personal de la electrificadora.

Los datos generales de uno de estos casos que utiliza celdas fotovoltaicas son:

Capacidad instalada		1 kW
Inversión en paneles	5 000 000	Col\$ 1
Costo de inversor	00 000	Col\$ 4 0
Generación anual	kW hr	1200

En este caso podemos asumir que se consume el mismo valor que se genera, ya que el en este caso el precio de compra es igual al de venta.

Usando estos valores en el macro de excel tenemos.

Costo de escenario sin generar:	Col\$ 2 7 . 7 4 5 . 000
Costo de escenario generando:	Col\$ 3 5 . 34. 000

Algo que se ha notado en esta instalación es que la red siempre absorbe todos los excedentes de energía generados.

## Conclusiones

Con la energía solar es difícil obtener una rentabilidad bajo las condiciones actuales del mercado. Es posible que varíen. En los últimos 6 meses los precios de las celdas fotovoltaicas han bajado en un orden de un 20 %. También hay la posibilidad de un incremento en un precio del kWh vendido a usuarios regulados. Su ventaja con respecto a otras fuentes renovables es que se puede instalar en muchos lugares. Es especialmente útil en desiertos donde la tierra no vale mucho. Las celdas también son prácticas para lugares no interconectados usando baterías, pero como fuente de generación distribuida por ahora no es viable. Se sigue desarrollando nuevas tecnologías que van reduciendo su costo, como la de lámina delgada que puede llegar a un costo de USD 1 /W.

La energía eólica es en general rentable, aún en lugares donde hay viento solo durante unos 3 meses del año. Su rentabilidad se debe a su bajo costo inicial. A esto se debe su gran desarrollo en algunos países. El problema es que un sistema solo puede depender hasta en un 20 % del viento, ya que es difícil predecir y no se puede controlar. Antes de su instalación se puede consultar el régimen de vientos en el IDEAM. Con esto se puede estimar con mayor precisión su rentabilidad.

Energía hidráulica. La más rentable. Tiene un bajo costo inicial y su operación puede ser más constante que la de cualquier otro sistema de generación sin usar combustibles fósiles. El problema es que no todo el mundo tiene una caída de agua en su patio. Según el IPCC su potencial no es muy alto, pero Colombia es un caso bastante particular. Las montañas con mucha agua en toda la zona densamente habitada hacen que sea un lugar ideal para la instalación de pequeñas centrales de generación hidráulica.

Entonces la generación distribuida sigue dependiendo en gran medida de recursos particulares a un lugar determinado. A la disponibilidad de viento, agua o tal vez de biomasa. Este tipo de generación no se debe aplicar en todos los casos, pero es importante tener una legislación que permita su aplicación en casos en que sea económicamente viable y ambientalmente conveniente. Afortunadamente en muchos casos las 2 cosas van juntas. A veces la ayuda gubernamental puede ayudar en la velocidad del desarrollo de una nueva tecnología, pero se debe tomar una tecnología viable económicamente a largo plazo, para no distorsionar los costos e impedir que las tecnologías con viabilidad económica se puedan desarrollar.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Tsomalis, A. Martínez, C. Turner, Y. Uchiyama, S.J.V. Vuori, N. Wamukonya, X. Zhang, 2007: Energy supply. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] The WADE Economic Model – Previous Results and Future Applications World Alliance for Decentralized Energy (WADE) Sytze Dijkstra, [syitze.dijkstra@localpower.org](mailto:sytze.dijkstra@localpower.org), 20 February 2006