

# VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA A PEQUEÑA ESCALA (AGPE)

Ponente: Carlos Julio Caicedo Sánchez



*¡Trabajamos con la mejor energía!*

# AGENDA

1. Definiciones
2. Introducción
3. Criterios técnicos en la integración de AGPE en los Sistemas de Distribución Local (SDL).
4. Viabilidad económica en la implementación de proyectos de AGPE.
5. Preguntas y agradecimientos.

# Definiciones

## **Autogeneración**

Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus PROPIAS necesidades.

## **Autogenerador**

Usuario que realiza la actividad de autogeneración. El usuario puede ser o no ser propietario de los activos de generación

## **Autogenerador a pequeña escala (AGPE)**

Autogenerador de potencia instalada igual o inferior al límite definido en el artículo primero de la resolución UPME 281 de 2015.

# Definiciones

## Excedentes

Toda exportación de energía eléctrica realizada por un autogenerador.

## Exportación de energía

Cantidad de energía entregada a la red por un autogenerador o un generador distribuido

## Créditos de energía

Cantidad de energía exportada a la red por un **AGPE** con **FNCER** que se permuta contra la importación de energía que se realice durante un **periodo de facturación**

# Definiciones

## Sistema de Distribución Local (SDL)

Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por un conjunto de líneas y subestaciones en los niveles de tensión 1, 2 y 3.

## Pay Back

Valoración de inversiones que permite seleccionar un determinado proyecto sobre la base de cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja

## Inflación

Se define como el aumento sustancial, persistente y sostenido del nivel general de precios a través del tiempo.

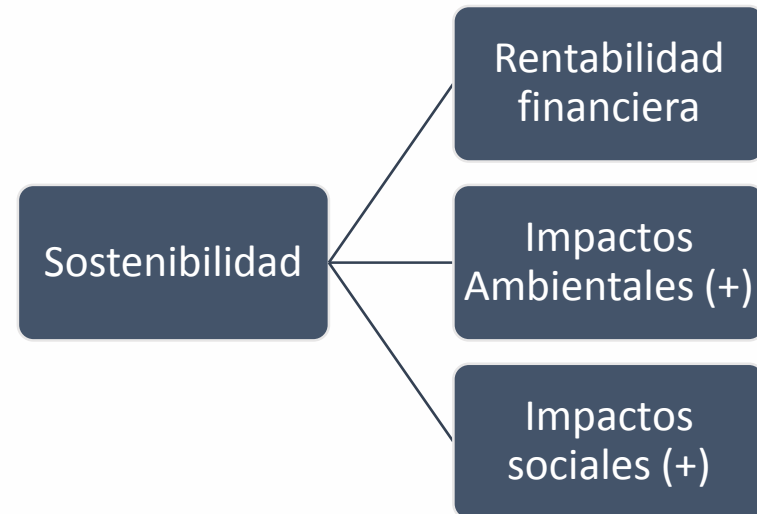
# AGENDA

1. Definiciones
2. **Introducción**
3. Criterios técnicos en la integración de AGPE en los Sistemas de Distribución Local (SDL).
4. Viabilidad económica en la implementación de proyectos de AGPE.
5. Preguntas, inquietudes y agradecimientos.

# Introducción

## Energía Solar Fotovoltaica:

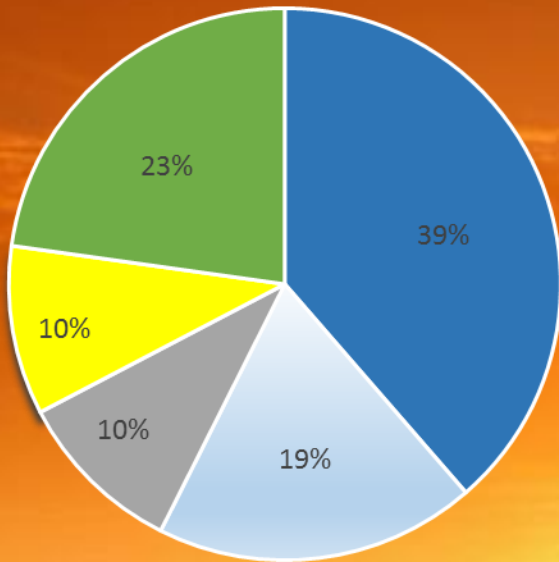
Los proyectos en energías limpias cumplen con tres componentes fundamentales:



# #COP21

## En Colombia:

### Emisiones



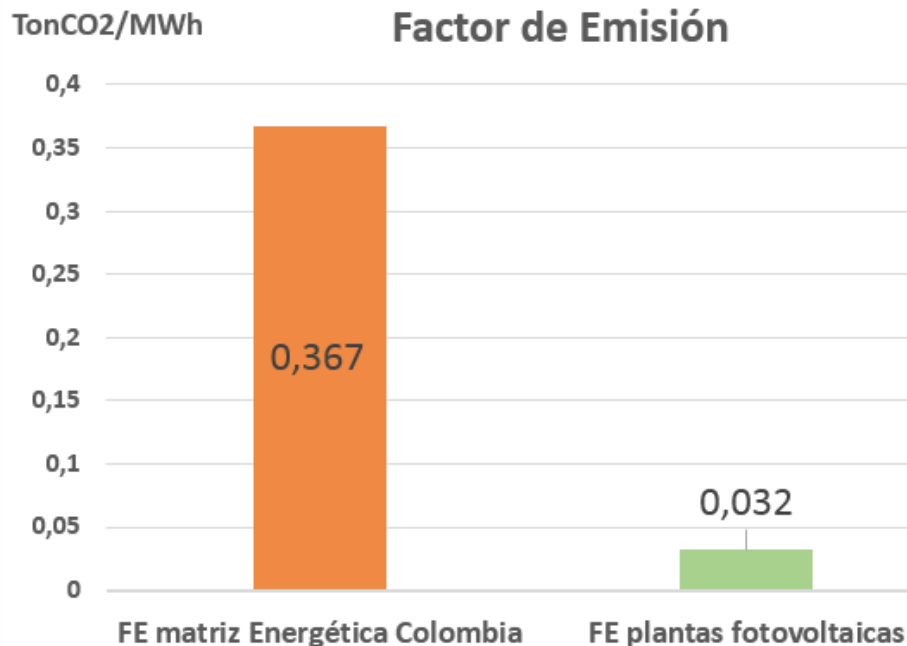
- Sector Forestal
- Agropecuarios
- Transporte
- Industrias de la energía
- Otros sectores

*¡Trabajamos con la mejor energía!*



# Beneficios ambientales

## Resolución 804 Dic 26 de 2017



Factor de emisión de CO<sub>2</sub> a emplear para proyectos que:

- I. Desplacen energía eléctrica generada con plantas de energía renovable en un sistema eléctrico
- II. Su actividad resulta en ahorros de electricidad y esta electricidad habría sido suministrada por la red

# Beneficios ambientales



Características - sistema fotovoltaico residencial	
Capacidad instalada	2,8kWp
Consumo	250 kWh/mes
Área de instalación	20 m <sup>2</sup>

## Beneficios ambientales, energéticos y económicos

Energía generada

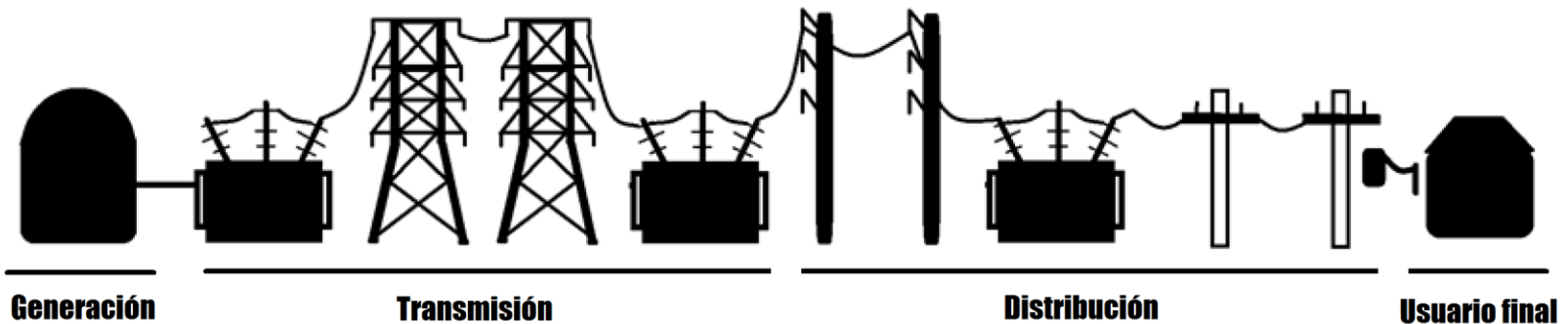
3 MWh/año

Reducción en emisiones de CO<sub>2</sub>

**1 Tonelada de CO<sub>2</sub>/año**

# Beneficios Económicos

## 1.1 Topología sistema tradicional



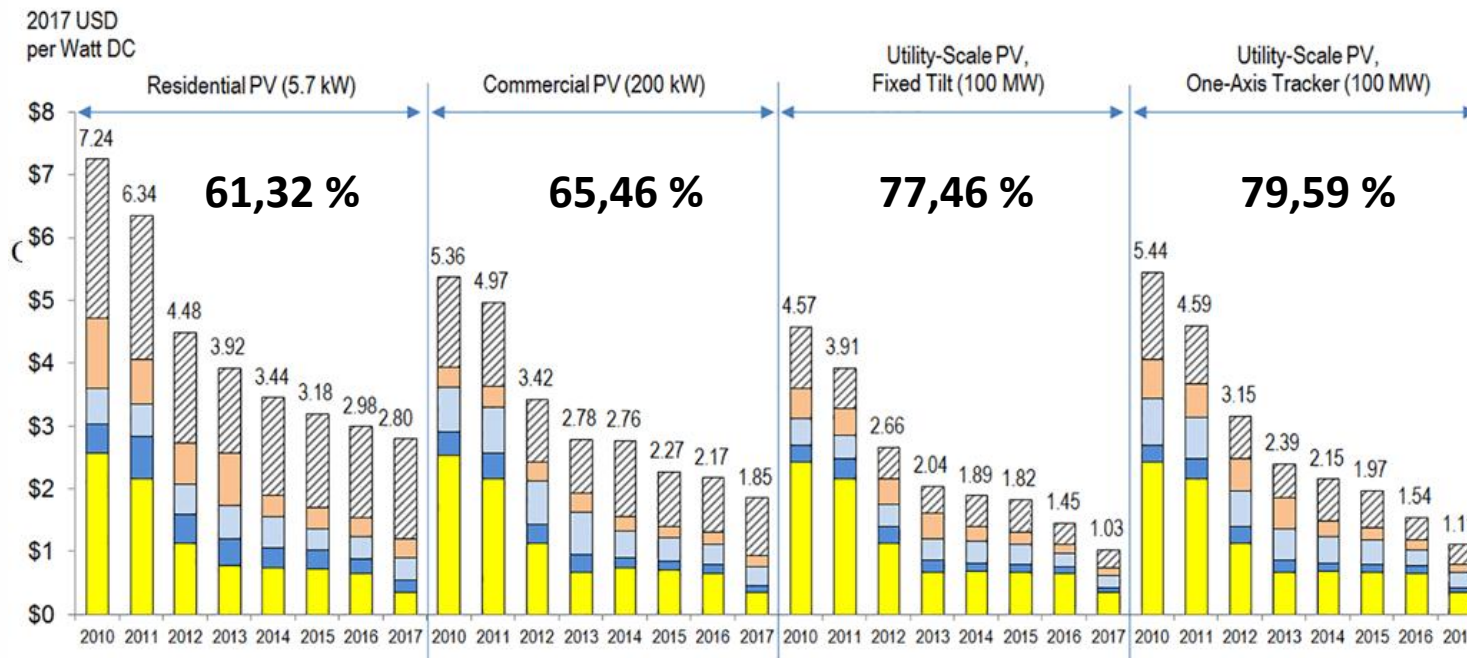
Formula tarifaria (Res. CREG 119 de 2007):  $CUv = G + T + D + Cu_v + PR + R$

## 1.1 Topología AGPE



*¡Trabajamos con la mejor energía!*

# Beneficios Económicos



Datos de la National Renewable Energy Laboratory (NREL), dependiente del departamento de energía de EEUU.

# Beneficios Económicos

## 3. Políticas Gubernamentales



### Beneficios tributarios

1. Deducción en el impuesto a la renta (50%)
2. Depreciación acelerada del activo (hasta 20% de amortización)
3. Exención del gravamen arancelario
4. Exclusión de IVA



- Empleos en el sector de las energías Renovables: **9.8 millones**
- Las energías renovables sin conexión a red proporcionan electricidad a unos **90 millones** de personas en todo el mundo

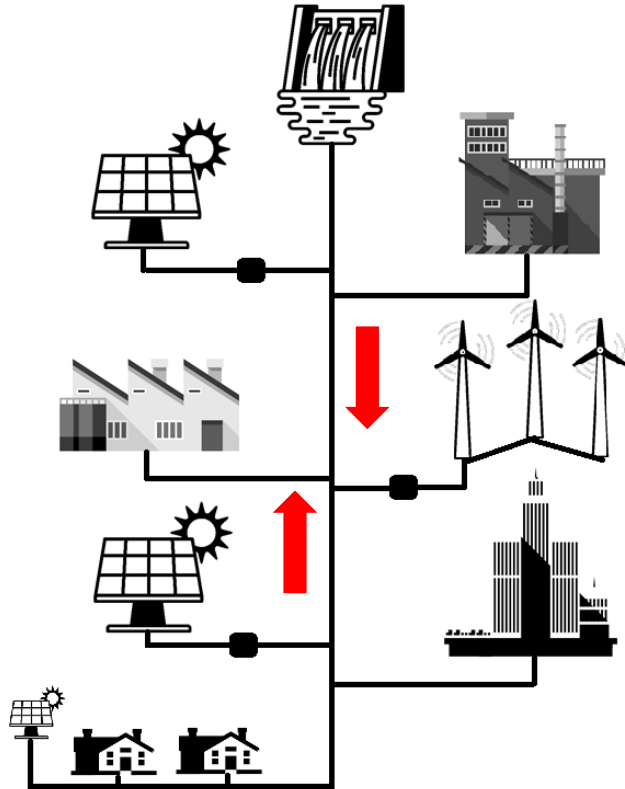
Fuente: IRENA

*¡Trabajamos con la mejor energía!*

# AGENDA

1. Definiciones
2. Introducción
3. Criterios técnicos en la integración de AGPE en los Sistemas de Distribución Local (SDL).
4. Viabilidad económica en la implementación de proyectos de AGPE.
5. Preguntas, inquietudes y agradecimientos.

# Viabilidad técnica



## Variables Energéticas y parámetros de interés

1. Perfil de tensión
2. Frecuencia
3. Condición de Isla
4. Calidad de la potencia
5. Coordinación de protecciones
6. Corrientes de falla
7. Corrientes de corto circuito
8. Pérdidas de energía



# Fluctuaciones de tensión

Voltaje (at PCC)	Maximum Trip Time
$V < 60$ ( $V < 50\%$ )	6 cycles
$60 < V < 106$	120 cycles
$106V < V < 132V$	Normal operation
$132V < V < 165V$	120 cycles
$165V < V$	2 cycles

- I. Sistemas de capacidad instalada  $< 10\text{kW}$  son considerados como fuentes de corriente y un factor de peso irrelevante en la regulación de tensión.
- II. No obstante, la instalación masiva de estos recursos en el mismo punto común de acople (PCC) tiene un efecto sobre el perfil de tensión.

Fuente gráfica: IEEE 929 y NTC 1340:2012

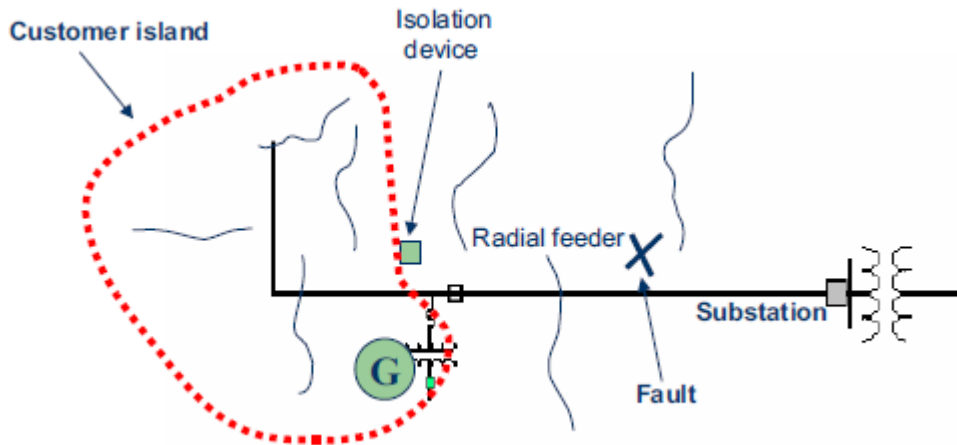
# Frecuencia

Rango	Condición
Menor a 57,5 Hz	Se puede desconectar de la red instantáneamente
57,5 Hz – 59,8 Hz	Operación por al menos 15 segundos
59,8 Hz – 60,2 Hz	Operación continua
60,2 Hz a 63 Hz	Operación por al menos 15 segundos
Mayor a 63 Hz	Se puede desconectar de la red instantáneamente

- I. A diferencia de las perturbaciones de tensión, las perturbaciones de frecuencia son el resultado de desequilibrios entre carga y generación y, por lo tanto, se manifiestan por igual en las tres fases.

Fuente: XM, IEEE 1547

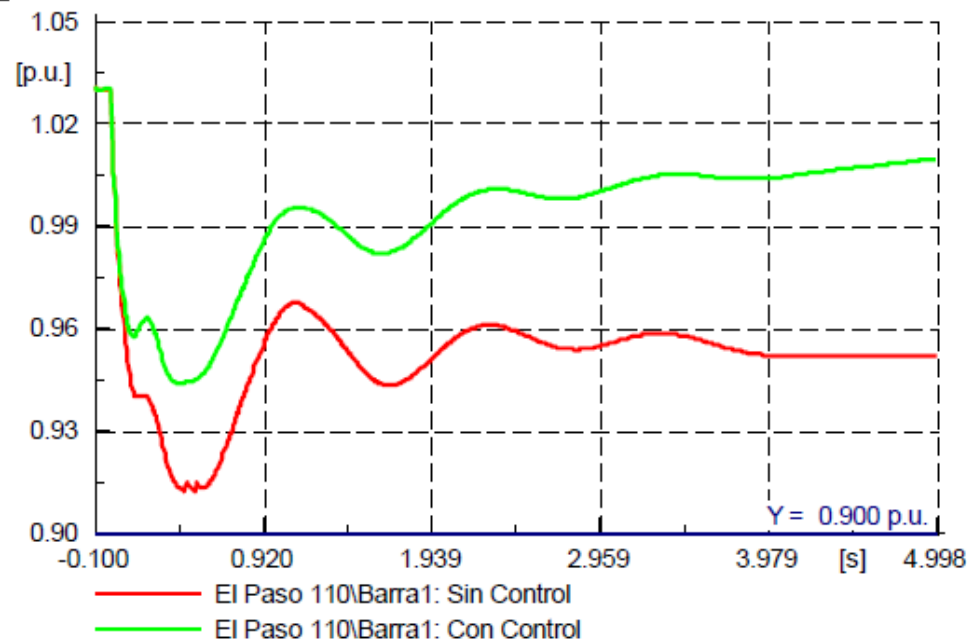
# Condición de Isla



- I. La mayoría de inversores están diseñados para funcionar en presencia del sistema eléctrico, y bajo ciertos rangos de tensión y frecuencia.
- II. Isla intencional puede representar una amenaza para los trabajadores de los OR

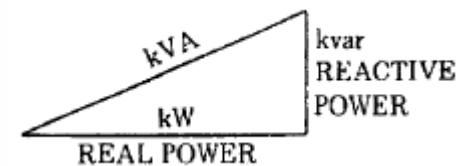
Fuente: IEEE 929 e IEEE 1547

# Factor de potencia y componente DC



Fuente: XM, IEEE 929 e IEEE 1547

- I. Los SFV deberían funcionar con un FP mayor a 0,85 (en adelanto o atraso). Aplica cuando la producción de energía sea mayor al 10% de su capacidad.
- II. Inyección DC: menor al 0,5% de la amplitud de corriente AC



# Calidad de la potencia

## Armónicos en tensión y corriente

Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
$I_{sc}/I_L$	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0

Límites distorsión de corriente para SDL entre 120V-69.000V

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5

Límites en la distorsión de tensión para tensiones <69kV

Fuente: IEEE 519

# Selección de dispositivos



✓ Los inversores inteligentes son unidades que pueden controlar la inyección de potencia activa y reactiva, y en consecuencia, controlar el nivel de tensión

## Certificaciones



UL 1741



IEC 62109

# Selección de dispositivos



✓ Los módulos fotovoltaicos certificados ofrecen mayores garantías en términos de protección frente a corrientes inversas, corrientes de altas frecuencia y sobretensiones.

## Certificaciones



UL 1703



IEC 61730

# Selección de dispositivos



**Controladores de Carga**

**Certificaciones**



IEC 62509 – IEC 62093



**Certificaciones**



UL 1703

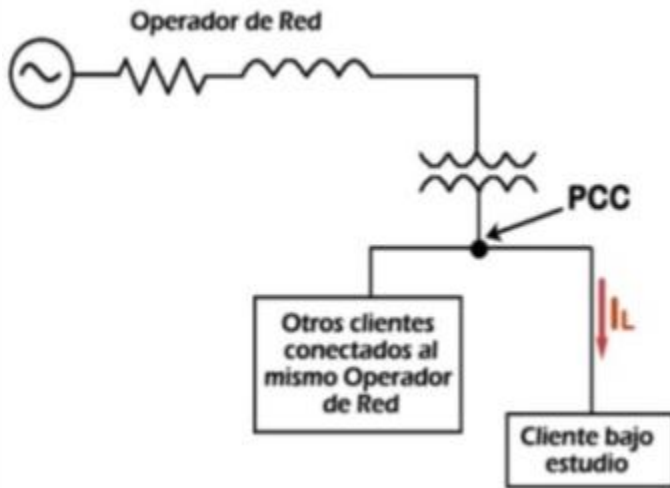


IEC 61730



# CREG 030 del 2018

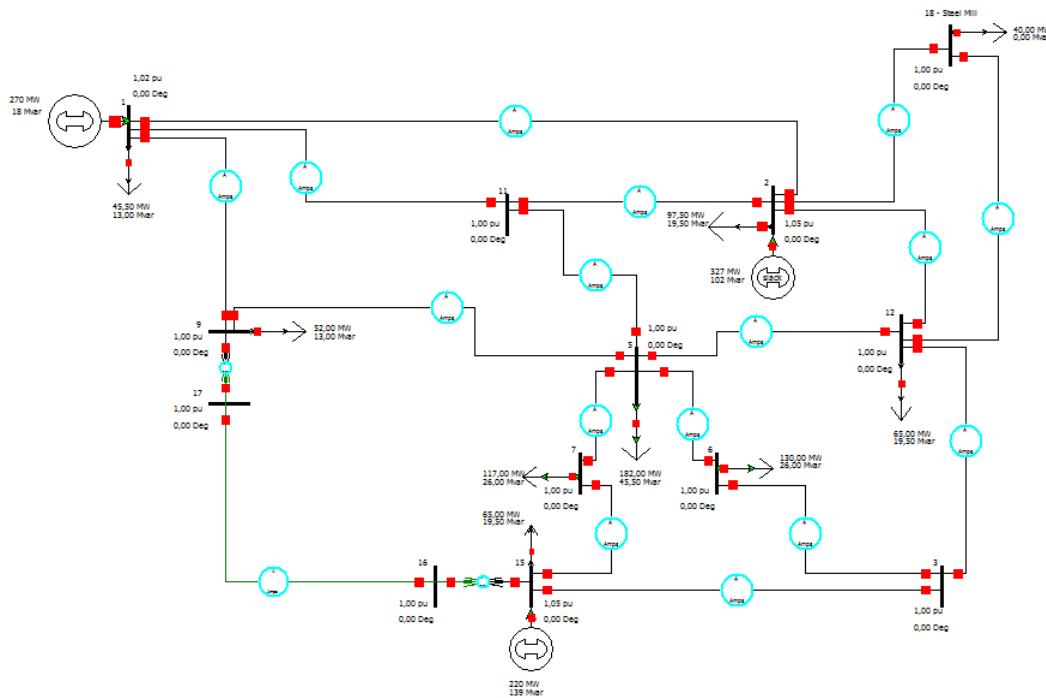
## Artículo 5. Estándares Técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión 1



- La sumatoria de la potencia instalada de los AGPE debe ser igual o menor al **15%** de la capacidad del circuito
- La energía que puede entregar los AGPE no debe superar el **50%** de promedio anual de las horas de mínima demanda diaria comprendida entre las 6am y 6pm.

# Índices de interés

Con AGPE y sin AGPE



## Índices normalizados

- Regulación de tensión (IREG)
- Sobretensión y subtensión (ISU)
- Corriente de falla
- Amplitud del hueco de tensión
- Distorsión armónica de tensión

## Índices de confiabilidad

- Duración promedio de cortes de energía
- Índice promedio de falla
- SAIFI, SAIDI, CAIDI

# AGENDA

1. Definiciones
2. Introducción
3. Criterios técnicos en la integración de AGPE en los Sistemas de Distribución Local (SDL).
4. Viabilidad económica en la implementación de proyectos de AGPE.
5. Preguntas, inquietudes y agradecimientos.

# Análisis Financiero del activo fotovoltaico

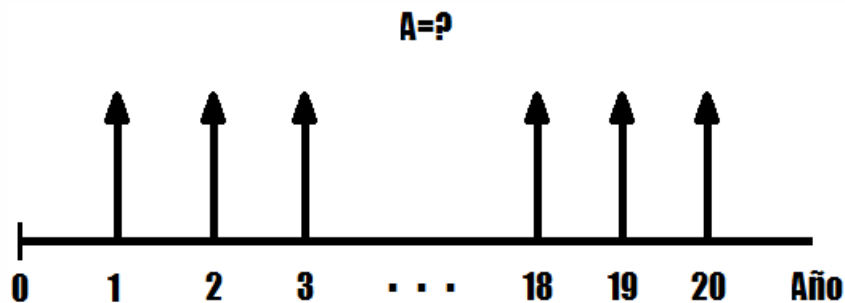
## Egresos y Ingresos

*Disminución costos en electricidad* = Generación \* valor de la energía \* (P50)

*Ahorros en renta* = Inversión inicial \* (% deducción en el impuesto a la renta)

*Costos de mantenimiento* = Inversión inicial \* (1%)

## Retornos de inversión



*i =?*

*Tarifa =?*

*Dólar =?*

Fuente: California Energy Resources Guide

*¡Trabajamos con la mejor energía!*

# Análisis Financiero del activo fotovoltaico

$$I_n = \frac{[fE_g p_c (1 + t_c)^n + (1 - f)E_g p_v (1 + t_v)^n + A_n - EGA]}{(1 + e)^n}$$

$I_n$  = ingresos en el año  $n$

$f$  = porcentaje de autoconsumo

$E_g$  = energía anual generada

$p_c$  = precio al cual se compra la electricidad

$p_v$  = precio al cual se vende la electricidad

$t_c$  = tasa de variación de compra de electricidad

$t_v$  = tasa de variación de venta de electricidad

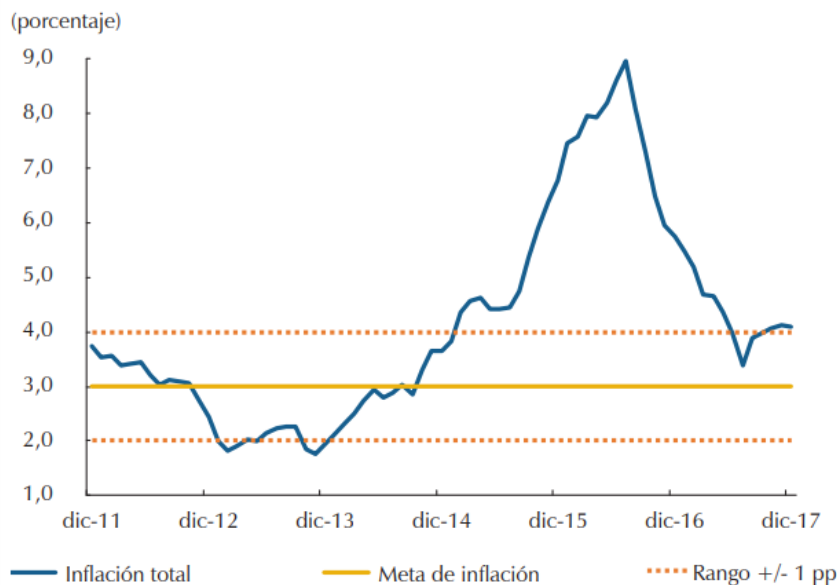
$e$  = interés del dinero

$n$  = número del año

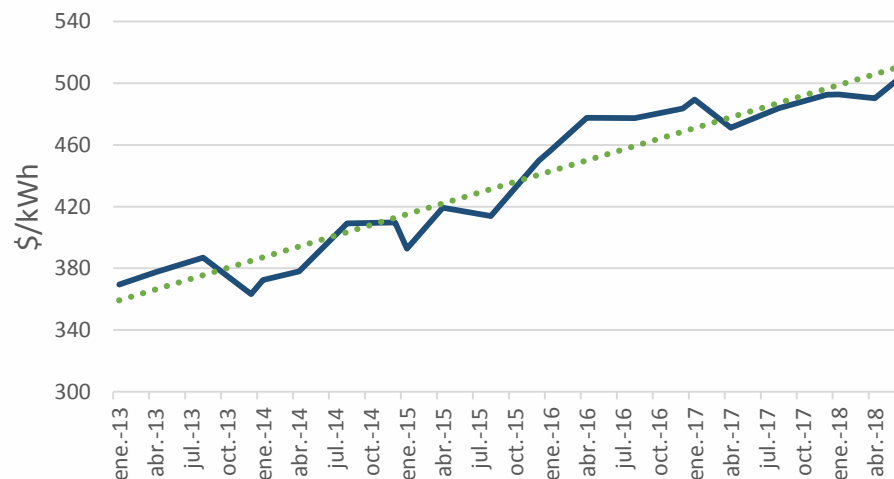
# indicadores económicos

## Costos de capitalización y crecimiento porcentual tarifa eléctrica

Inflación total al consumidor



Tarifa Eléctrica



Inflación promedio  
últimos 20 años: **4,26%**

Crecimiento porcentual tarifa eléctrica,  
últimos 5 años: **7.2%**

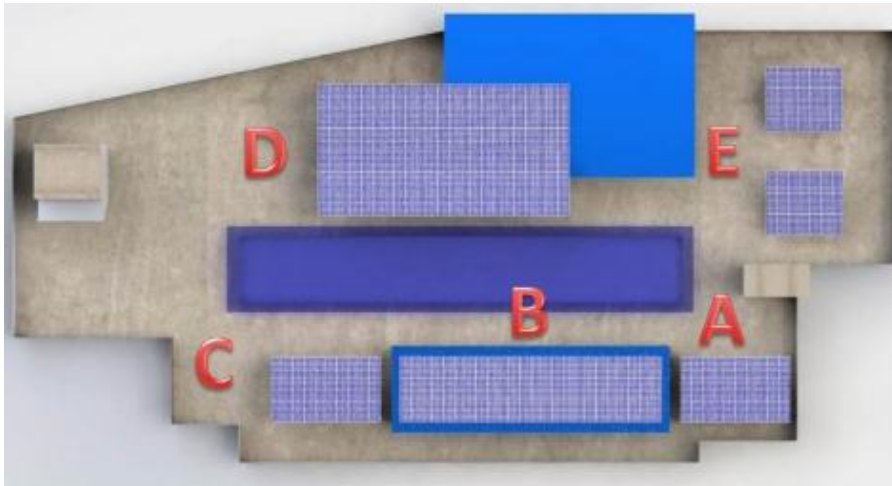
# Indicadores Económicos

## COP VS USD



Fuente: Banco de la republica

# Proyecto modelo (33,4kW)



Zona A, B y C

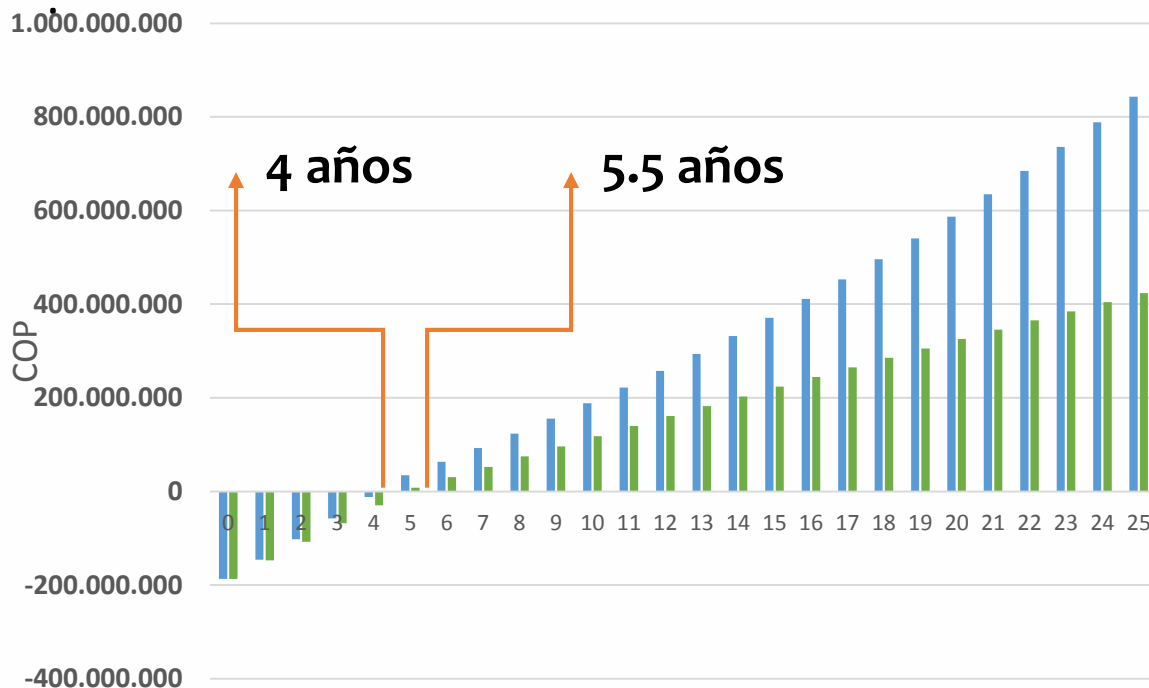
Inversión inicial: \$ 187,000,000.0

Características del sistema	
Potencia nominal en DC	33.4 kW
Número de módulos FV	104
Tarifa eléctrica: Cuv+20%+5%	603 \$/kWh
Costos de capitalización	4,26%
Producción de energía estimada al año	45,043 kWh
Tensión de alimentación	208V-Trifásico



# Tasas de Retorno

Flujos de caja y Retornos de inversión CON incentivos.



Ahorro en 25 años:

\$ 845,235,717

Pay Back

4 años

LCOE: \$ 154

Ahorro en 25 años:

\$ 435,235,717

Pay Back

5,5 años

LCOE: \$154

# Tasas de Retorno

Flujos de caja y Retornos de inversión SIN incentivos.



Ahorro en 25 años:  
\$ 820,826,400

Pay Back  
7 años

LCOE: \$240

Ahorro en 25 años:  
\$ 382,294,995

Pay Back  
8 años

LCOE: \$240

# Costo-Beneficio

## Ley 1715 de 2014. Artículo 11

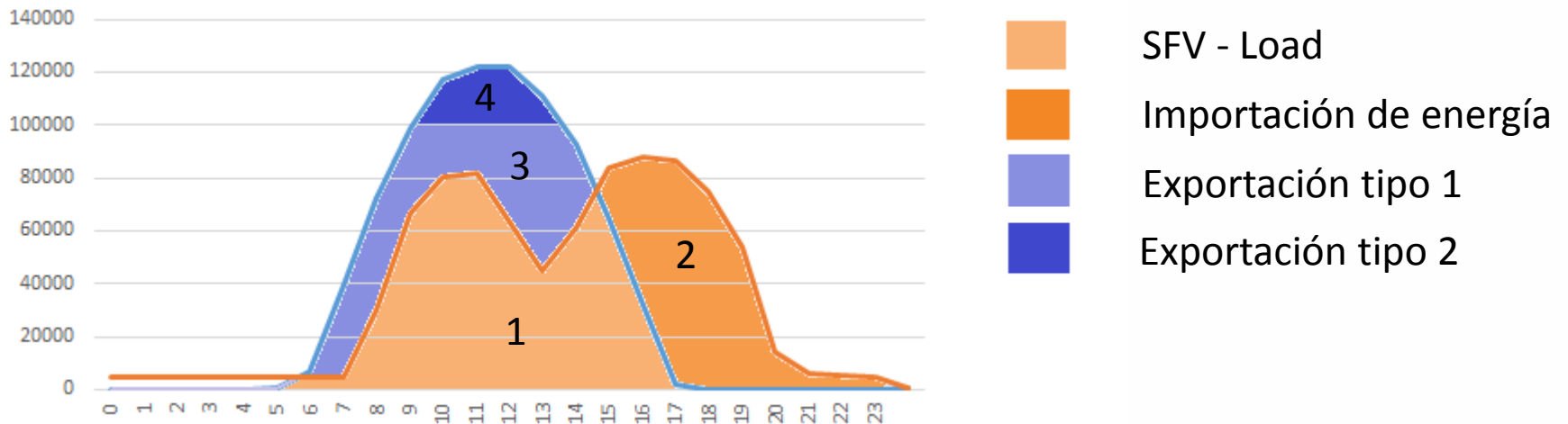
- I. Reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento 50% del valor total de la inversión realizada.
- II. En ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente

$$Inversión\ inicial_{max} = 5 * (Renta\ líquida\ gravable\ promedio)$$

# Costo-Beneficio

## Creg 030 de 2018. Artículo 18

AGPE que entrega excedentes:



Perfil de demanda promedio del sector comercial y perfil de generación de un sistema solar fotovoltaico

# Costo-Beneficio

Creg 030 de 2018. Artículo 18

$$VE_{i,j,n,f} = (Exp1_{i,j,n,f-1} - Imp_{i,j,n,f-1}) * CUv_{n,m,i,j} - [Exp1_{i,j,n,f-1} * CUv_{n,m,i,j}] + \sum_{h=hx,hx+1,...H} Exp2_{i,j,n,f-1} * PB_{h,f-1}$$

Valor de la energía:  $(CUv_{n,m,i,j} + CUv_{n,m,i,j} * 20\%) = 603.43 \left[ \frac{\$}{kWh} \right]$

$\$1 = Exp1_{i,j,n,f-1} * (CUv_{n,m,i,j} - Cv_{n,m,i,j}) \gg 447.11 \left[ \frac{\$}{kWh} \right]$

$\$2 = Exp2_{i,j,n,f-1} ** PB_{h,f-1} \gg 121.06 \left[ \frac{\$}{kWh} \right]$

LCOE:  
\$240

$Max \{ \$1 + \$2 + E_C (CUv_{n,m,i,j} + CUv_{n,m,i,j} * 20\%) \}$

# Costo-Beneficio

## Ser pionero

### Artículo 5. c)

La cantidad de energía en una hora que puede entregar los **AGPE**, no debe superar el **50%** del promedio anual de las horas de mínima demanda entre **6am y 6pm**

### Artículo 12

Los **costos y gastos** que se ocasionen por aumentar la capacidad de la red serán cubiertos por el **solicitante o AGPE**



# Conclusiones

Para maximizar el costo beneficio de proyectos en energía solar fotovoltaica se recomienda asumir este proceso como un enfoque multiobjetivo desde lo regulatorio y técnico.

Enfoque  
Multiobjetivo

→  $Inversión_{m\acute{a}x} = 5 * (prom. impuesto a la renta)$

→  $Max \{ \$_1 + \$_2 + E_c ( CUv_{n,m,i,j} + CUv_{n,m,i,j} * 20\%) \}$

→ *Costos evitados en la repotenciación del SDL*

→ *Diseño y construcción*

# Normas y guías

**IEC 60364-712:** Requisitos para instalaciones especiales- Sistemas de suministro de energía solar fotovoltaica (PV)

**UNE-EN 61173 y IEC 60364-5-53:** protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos (FV).

**IEEE Std 929:** Práctica recomendada para la interfaz de redes de sistemas fotovoltaicos (PV)

**IEEE Std 519-2014:** requisitos para el control armónico en sistemas de energía eléctrica.

**IEEE Std 1547:** Estándar para la Interconexión de Recursos Distribuidos con Sistemas de Energía Eléctrica





**Contacto:**

Carlos Julio Caicedo Sánchez

Ing. Electricista.

Correo: [ccaicedo@enernet.com.co](mailto:ccaicedo@enernet.com.co)

[www.enernet.com.co](http://www.enernet.com.co)



# ExpoSolar<sup>®</sup> Colombia

*¡Trabajamos con la mejor energía!*

Avenida 73 Circular 3 - 23 ☎ Tel: (+57)(4) 322 17 35 📱 Celular: (+57) 300 790 8554 / (+57) 300 570 7850

[www.feriaexposolar.com](http://www.feriaexposolar.com)  
[info@feriaexposolar.com](mailto:info@feriaexposolar.com)

