



**ALIANZA CIUDADANA PARA LA  
EDUCACIÓN EN ENERGÍA RENOVABLE**

# **GENERACIÓN DE ENERGÍA CON AGUA EN EL PLANETA Y EN PUERTO RICO**

**LA PEQUEÑA Y MEDIANA HIDROELECTRICIDAD EN  
MERCADOS COMPETITIVOS:**

**CASO RÍO PIEDRAS COLOMBIA**

**POR:  
FEDERICO RESTREPO-POSADA  
Medellín – Colombia**

**Mayagüez, Puerto Rico, Febrero 23 de 2008**

# CONTENIDO

1. Introducción
2. Descripción del entorno del proyecto
3. Descripción del proyecto
4. Barreras, desafíos y riesgos
5. Modelos de Inversión
6. Modelos de Comercialización
7. Otros ejemplos

# 1. ANTECEDENTES



# **2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DEL PROYECTO RÍO PIEDRAS**

**2.1 Técnico**

**2.2 Institucional y Legal**

**2.3 Económico y Financiero**

**2.4 Ambiental**



## 2.1 ENTORNO TÉCNICO

- Capacidad y Experiencia de la Ingeniería Colombiana para la gerencia y ejecución del Proyecto
- Esquema simple en condiciones geológicas seguras
- Obras civiles y equipos convencionales, confiables y eficientes
- Medición y transmisión en tiempo real de variables hidrológicas
- Aprovechamiento óptimo del recurso hidráulico
- Sistema automatizado de control para la operación de la Central
- El tamaño del Proyecto permite la ejecución de la totalidad de las Obras Civiles por Contratistas locales
- Disponibilidad de acceso y vecindad al Sistema Interconectado Nacional

## 2.2 ENTORNO INSTITUCIONAL Y LEGAL

- **Marco Institucional**
- **Mercado de Energía en Colombia**
- **Estructura del Mercado Eléctrico en Colombia**



# MARCO INSTITUCIONAL



# MERCADO DE ENERGÍA EN COLOMBIA

## ANTES

- Planeamiento Centralizado
- Integración vertical
- Control de Precios
- Despacho económico sobre mínimo costo de generación

Constitución de 1991

Leyes Eléctrica y de Servicios Públicos

Inicio de Operación: Julio 95

## HOY

- Planeamiento Indicativo
- Desintegración vertical
- Precios de Mercado
- Despacho basado en precios de Bolsa de Energía

# ESTRUCTURA DEL MERCADO ELÉCTRICO EN COLOMBIA



## 2.3 ENTORNO ECONÓMICO Y FINANCIERO

Marco Legal



- Leyes 142 y 143 (Eléctrica y de Servicios Públicos)
- Ley 222 (Código de Comercio)

Supervisión y control



- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
- Superintendencia de Valores
- Superintendencia de Sociedades

# 2.3 ENTORNO ECONÓMICO Y FINANCIERO

- **Oportunidades:**

- Posibilidad de participación activa de agentes privados en el sector energético *Ejemplo: los Fondos Privados de Pensiones*
- Exención tributaria para centrales hidroeléctricas menores de 25 MW

- **Amenazas:**

- Capacidad y conocimiento limitado del sector financiero Colombiano para la financiación de este tipo de proyectos
- Exigencia de modelos “Project Finance”
- Bajo Apalancamiento Financiero de proyectos hidroeléctricos
- Incertidumbre en la economía como agente desestimulante del endeudamiento en moneda extranjera y la participación privada con capital de riesgo
- Inestabilidad del marco regulatorio
- Confiabilidad del sector eléctrico en general

## 2.4 ENTORNO AMBIENTAL

**Marco Legal**

- Constitución Política de 1991
- Decreto 2811 de 1974. (Código de los Recursos Naturales Renovables)
- Ley 99 de 1993 (Conferencia de Río de Janeiro). Crea el Ministerio del Medio Ambiente
- Decreto 1753 de 1994. (Reglamenta las Licencias Ambientales)

**Supervisión y control**

- Ministerio del Medio Ambiente
- Corporaciones Autónomas Regionales CAR
- Municipios

## 2.4 ENTORNO AMBIENTAL

### Antecedentes:

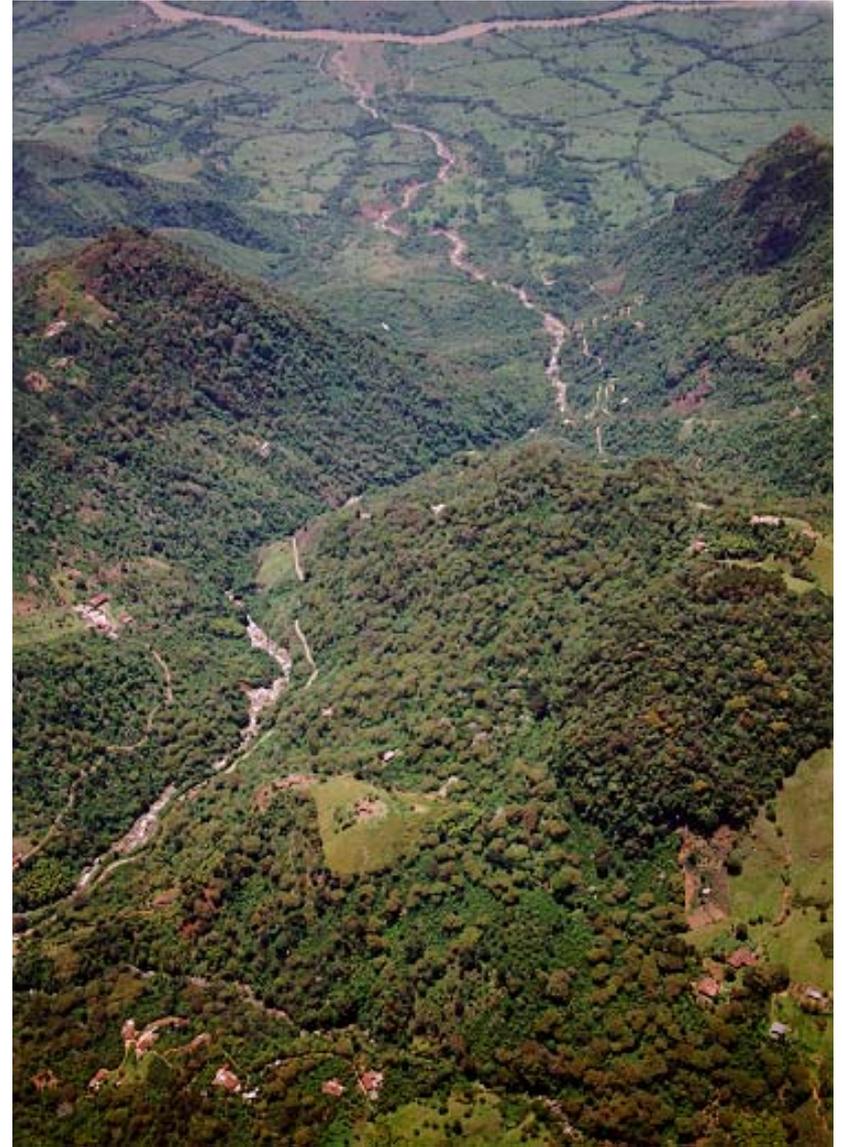
- Alta sensibilidad ambiental en el Municipio de Jericó, sitio de localización del proyecto:
  - 70 Cabildos Verdes (Organizaciones para la educación y preservación del medio ambiente)
  - Varias veces “Municipio Verde” de Colombia
  - Zona de importancia arqueológica
- Sensibilidad alta a los procesos de inundación y desplazamiento de comunidades

# **3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

## **3.1 Localización**

## **3.2 Características Técnicas**

## **3.3 Características Ambientales**



# 3.1 Localización



# Localización en el Departamento de Antioquia



# 3.2 Características Técnicas

- **Recurso Aprovechado: Río Piedras**

- Cuenca tributaria: 85 Km<sup>2</sup>
- Caudal Medio: 4,3 m<sup>3</sup>/s

- **Período de Construcción: 25 meses**

- **Características Básicas:**

- Desarrollo del proyecto por la margen derecha del río, totalmente subterráneo.
- Captación a filo de agua con dimensiones mínimas y túnel superior como pondaje de regulación diaria
- No requirió nuevas carreteras.
- Mínima necesidad de predios.
- Utilización del salto del río entre las cotas 1600 y 900.
- Utilización de técnicas constructivas sencillas y de equipo liviano sobre llantas neumáticas.



## 3.2 Características Técnicas (Cont.)

### • Captación y Conducciones

- Túnel # 1 de pondaje: L=800 m, D= 4.5 m  
Vol.=10.000 m<sup>3</sup>
- Túneles a presión 2,3 y 4: L=1.110 m  
D= 2.5 m
- Pozos 1,2,3 y 4: L=606 m  
D ext. / int.= 2.2 m / 1.1m
- Tubería de Presión: L=1.715 m, D= 1.1 m
- Ventanas de Construcción: L= 774 m, D= 4.5 m
- Túnel de acceso a la central: L= 863 m, D= 5.5 m
- Túnel de descarga: L= 1.068 m, D= 2.5 m



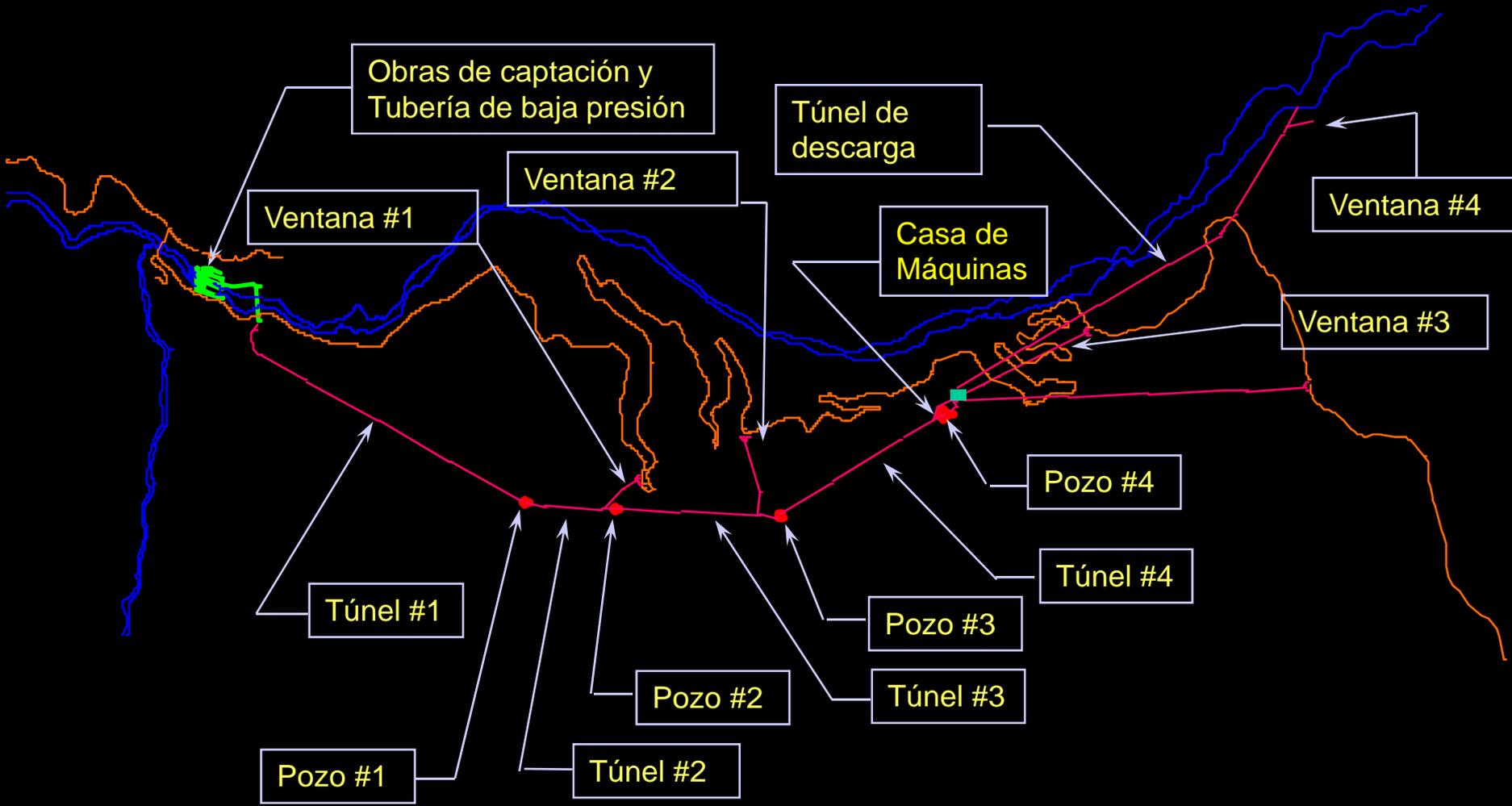
## 3.2 Características Técnicas (Cont.)

### • Central y Línea de Conexión

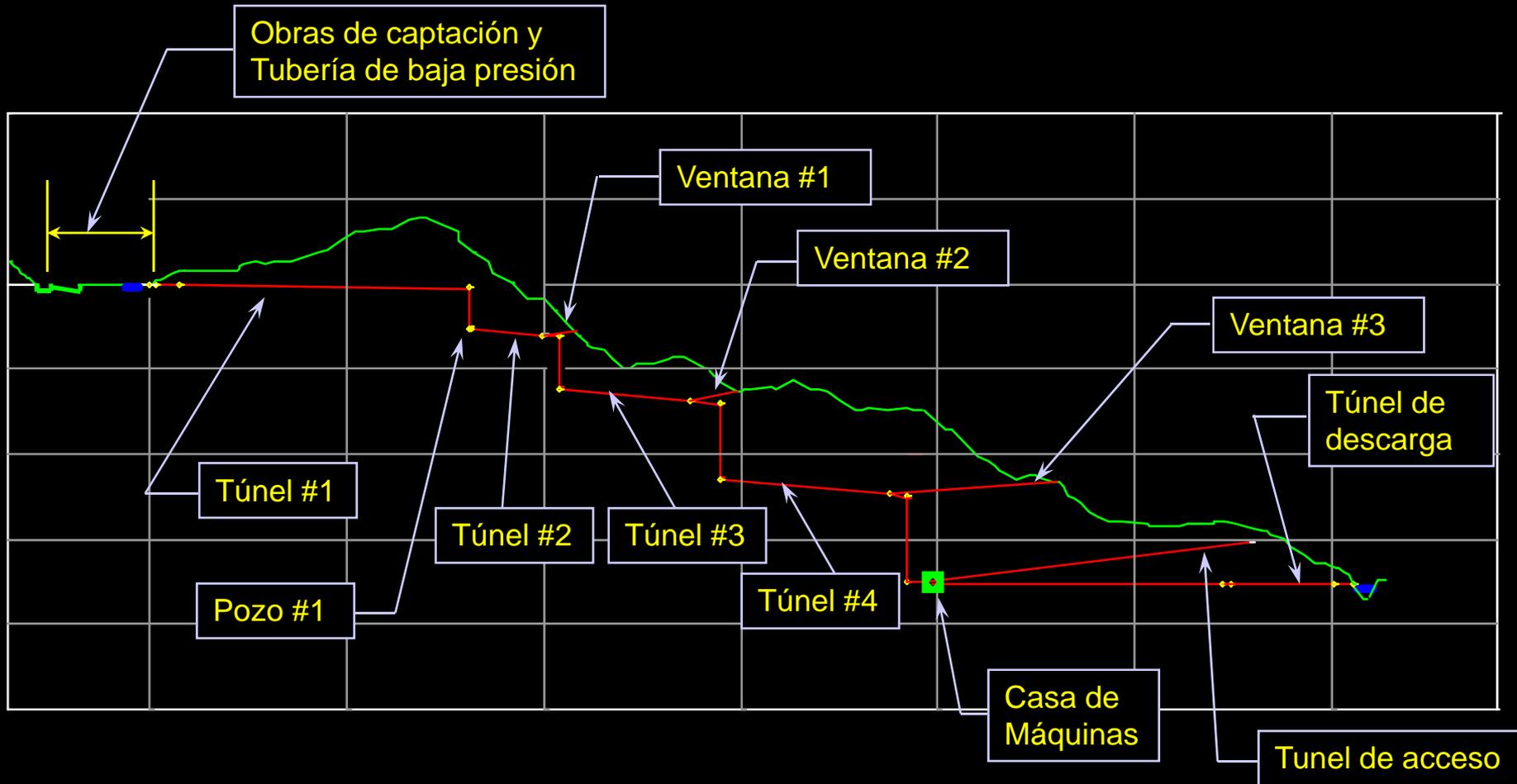
- **Turbinas:** 2 Pelton con sus generadores sincrónicos
- **Capacidad Instalada total:** 22.4 MW
- **Energía media anual:** 155 GWh
- **Factor de Planta:** Promedio: 78%  
Firme: 49%
- **Caudal de diseño:** 4.0 m<sup>3</sup>/s = Q promedio hidrológico
- **Transformadores:** 3
- **Sistemas de control:** Automatizados de última tecnología
- **Instrumentación:** hidrológica y climatológica en la cuenca aprovechada para alimentar modelos de predicción de caudales
- **Línea de transmisión:** 6 Km a la subestación Jericó



# Planta General del Proyecto Río Piedras



# Perfil General del Proyecto Río Piedras



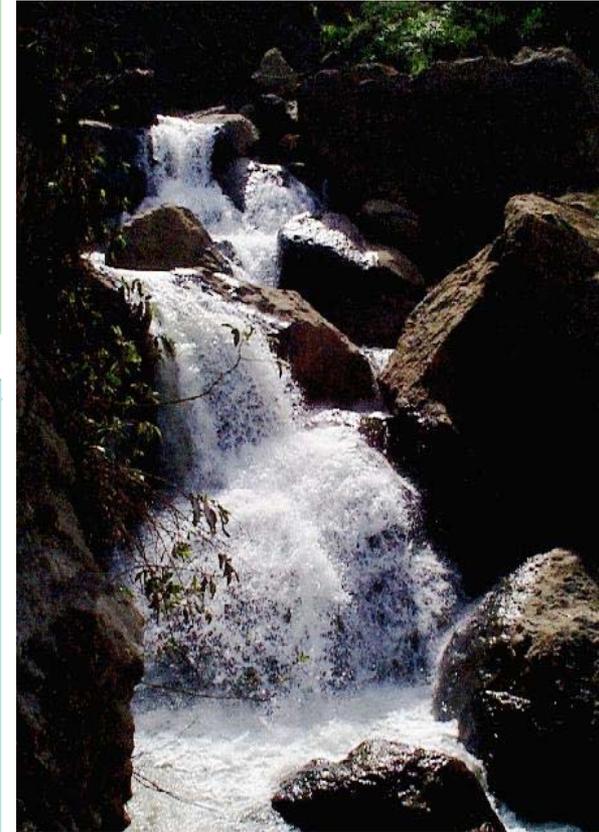
# 3.3 Características Ambientales

- **Principales impactos identificados:**

- Reducción de caudales del río Piedras en el tramo comprendido entre la captación y la descarga del proyecto.  $L= 3,1$  km
- Cambio del paisaje distal del tramo mencionado
- Alteraciones temporales del tránsito por la vía Puente Iglesias-Jericó

- **Plan de manejo ambiental:**

- Planes de protección y recuperación de la cuenca
- Programas para el manejo integral (técnico y ambiental) de la ejecución de las obras del proyecto
- Mitigación de impactos
  - Caudal remanente
  - Adecuación de la vía y control del tránsito



# 4. BARRERAS, DESAFÍOS Y RIESGOS

- **Técnicos**
- **Económicos y  
Financieros**
- **Ambientales**



# 4. BARRERAS, DESAFÍOS Y RIESGOS

- **Técnicos:**

- Bajo nivel de riesgo constructivo
- Ingeniería y Construcción local
- Alta Tecnología en equipos de generación, control y medición
- Diseños de obras civiles con criterios ambientales
- Cubrimiento de riesgos durante construcción y operación, mediante pólizas de seguros

# 4. BARRERAS, DESAFÍOS Y RIESGOS

- **Económicos y Financieros:**

- Colocación del Capital de Riesgo a través de las Bolsas de Valores en Colombia
- Aversión al riesgo por parte de Inversionistas hacia el sector eléctrico, debido a lo reciente del mercado
- Aversión al riesgo de obras subterráneas
- Sector financiero local sin antecedentes en inversión en el sector eléctrico
- Inestabilidad Macroeconómica
  - Riesgo Cambiario
  - Ilíquidez del mercado: Altas Tasas de Interés, etc, etc..

# 4. BARRERAS, DESAFÍOS Y RIESGOS

- **Ambientales:**

- Legislación Ambiental
- Restricciones ambientales locales a nivel de las CAR y de los Municipios
- Procesos de concertación y gestión con las comunidades y autoridades locales
- Control riguroso al cumplimiento de las disposiciones de la Ley Ambiental (Ley 99 de 1993) y de los planes de manejo ambiental
- Cumplimiento estricto de las transferencias del sector eléctrico a la preservación del ambiente permiten desarrollar programas de protección y recuperación de cuencas
- Competencia con terceros en la obtención de la merced de aguas

# 5. MODELO DE INVERSIÓN

- Antecedentes
- Criterios
- Estructura de Capital



# 5. MODELO DE INVERSIÓN

## • Antecedentes:

- En la primera mitad de este siglo, el surgimiento de la industria y la minería como Sociedades Anónimas en Colombia, se hace a través de las Bolsas de Valores, mediante procesos de oferta pública de acciones a pequeños inversionistas, quienes asumían todos los riesgos, confiados en la imagen y seriedad de los promotores y desarrolladores de los proyectos.
- En ese entonces, no existían los modelos “Project Finance” para la estructuración financiera de proyectos.
- Entre 1892 y 1928, año en el que la producción de energía eléctrica pasa a control del Estado, existieron varias empresas privadas generadoras de energía, del tipo de Sociedades Anónimas.

# 5. MODELO DE INVERSIÓN

- **Criterios:**

- Se constituye una Sociedad Anónima de Servicios Públicos, propietaria del proyecto, denominada:



**GENERAR S.A. E.S.P.**  
ENERGÍA DEL RÍO PIEDRAS

# 5. MODELO DE INVERSIÓN

- **Criterios** (Cont.):

- Se acude a las Bolsas de Valores, como mecanismo para la colocación del Capital de Riesgo (Equity) entre inversionistas institucionales, fondos de pensiones y personas naturales.
- Los recursos del Capital de Riesgo, se emplearían para cubrir las obras civiles subterráneas, de mayor aversión al riesgo por parte de las entidades financieras.
- Los recursos de Financiación, cubrirían los equipos electromecánicos contratados llave en mano con los fabricantes, y las obras civiles superficiales.

# 5. MODELO DE INVERSIÓN

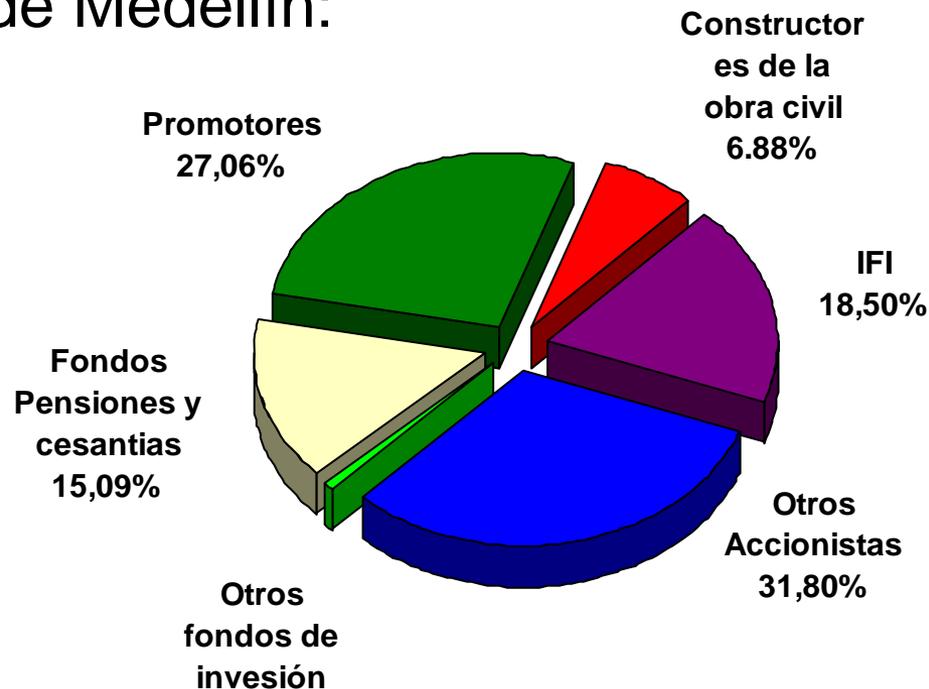
- **Criterios** (Cont.):

- De acuerdo con el cronograma de construcción, el desembolso de los recursos de financiación se haría luego de concluidas las obras subterráneas, cuando la componente de riesgo constructivo ya fuese conocida.
- El riesgo constructivo, asumido por los accionistas se cubriría con pólizas de seguro para todo riesgo en construcción, con su correspondiente anexo de lucro cesante operativo hasta por seis meses.

# 5. MODELO DE INVERSIÓN

- **Capital de Riesgo (Equity): 50%**

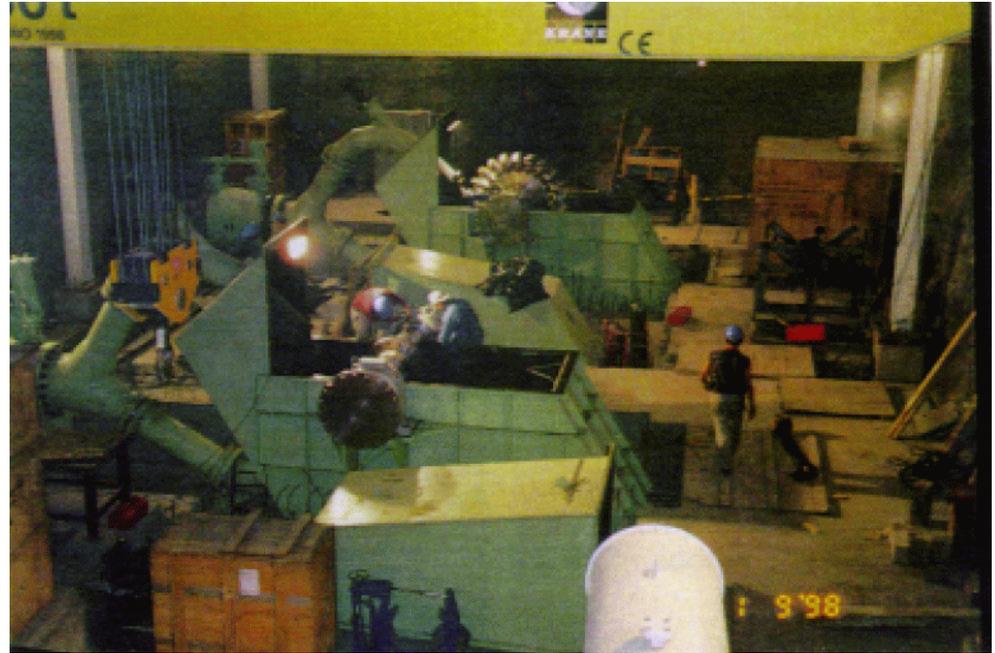
- Exitosa colocación de la oferta pública de acciones de la empresa **GENERAR S.A. E.S.P.** en la Bolsa de Valores de Medellín:



# 5. MODELO DE INVERSIÓN

- **Financiación: 50%**

**Arrendamiento  
Financiero de Equipos  
y Obras Civiles  
Superficiales**



# 6. MODELO DE COMERCIALIZACIÓN

**Contrato de venta a  
Largo Plazo de tipo  
PPA con riesgo  
compartido**



# 6. MODELOS DE COMERCIALIZACIÓN

## Contrato de largo plazo tipo PPA con riesgo compartido

- Mitigación el riesgo asociado con la alta volatilidad de precios en la Bolsa de Energía:
  - Favorece al generador durante períodos de precios bajos en la Bolsa de energía
  - Favorece al comercializador durante períodos de precios altos en la Bolsa de energía

# 6. MODELOS DE COMERCIALIZACIÓN

## Contrato de largo plazo tipo PPA con riesgo compartido

- Venta de la energía media a una Tarifa de Referencia de largo plazo pactada
- Reajuste de la tarifa de la energía secundaria de acuerdo con la diferencia entre el precio en la Bolsa de Energía y la Tarifa de Referencia pactada
- Implica: Menores Ingresos estimados
- Control de seguimiento y planeamiento: Modelo de Dinámica de Sistemas

# 7. OTROS EJEMPLOS

- Actualmente se encuentran en estudio y diseño varios proyectos hidroeléctricos de menos de 20 MW con participación privada en Colombia, siguiendo esquemas similares a los de Río Piedras.
- Surgen iniciativas como la de Antioquia Energizada, tendiente a proveer de microcentrales a las regiones apartadas del Departamento de Antioquia, ubicadas en zonas no interconectadas, con participación de las comunidades (autoconstrucción) los Municipios beneficiarios y los entes públicos regionales.

# **GRACIAS**

**FEDERICO RESTREPO-POSADA**

**e-mail: [frestrepo55@gmail.com](mailto:frestrepo55@gmail.com)  
MEDELLÍN - COLOMBIA**