



# CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGÍA

**Análisis Multicriterio de escenarios de  
revisión del Anexo C de ITAIPU**

**Proyecto PINV 18-1040  
CONACYT/FPUNA**



## Colaboradores para esta presentación

Dr. Juan Carlos Cabral, DSc  
MSc. Ing. Richard Ríos  
Ing. Eduardo Ortigoza  
Ing. Manuel García  
MSc. Tamatía Coronel



*Análisis Multicriterio de escenarios de revisión del Anexo C de ITAIPU*  
*Proyecto PINV 18-1040 – CONACYT/FPUNA*

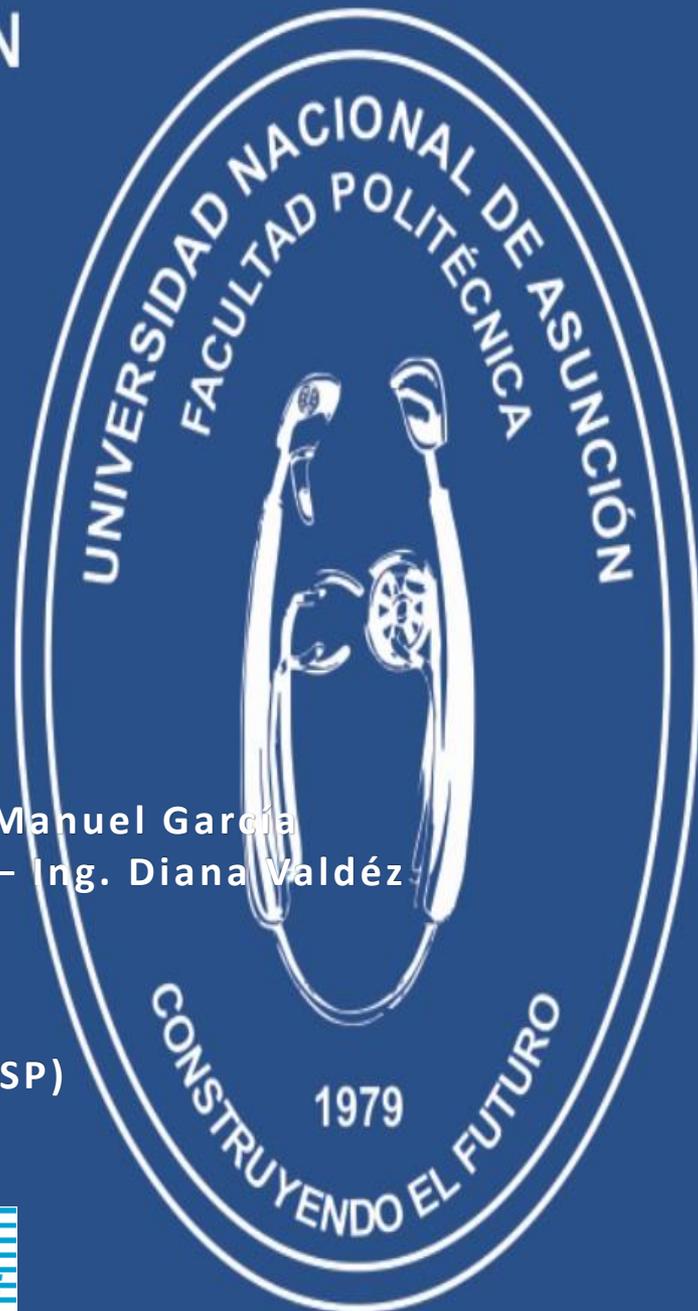
**Dr. Victorio Oxilia (PhD en Energía)**

**Profesor Investigador del IRNE –GISE-GITV**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN FACULTAD POLITÉCNICA

Construyendo el futuro



## Miembros del equipo de trabajo:

Dr. Victorio Oxilia – Dr. Juan Carlos Cabral

Mg. Ing. Richard Ríos – Ing. Eduardo Ortigoza – Ing. Manuel García

Mg. Ing. Félix Fernández – Mg. Ing. Tamatía Coronel – Ing. Diana Valdéz

## Colaboradores Internacionales

Dr. Ildo Sauer (USP), Dr. Fernando Ferreira

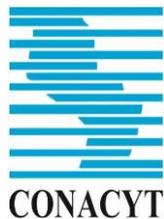
Dra. Christine Folch (DU), Dr. Alcantaro Rodrigues (USP)

[www.pol.una.py](http://www.pol.una.py)



# Proyecto PIN18- 1040: “Análisis de escenarios de negociación aplicando métodos de decisión multicriterio y teoría de juegos: revisión del Anexo C del Tratado de ITAIPU”

Co-financiado por



Ejecutado por:

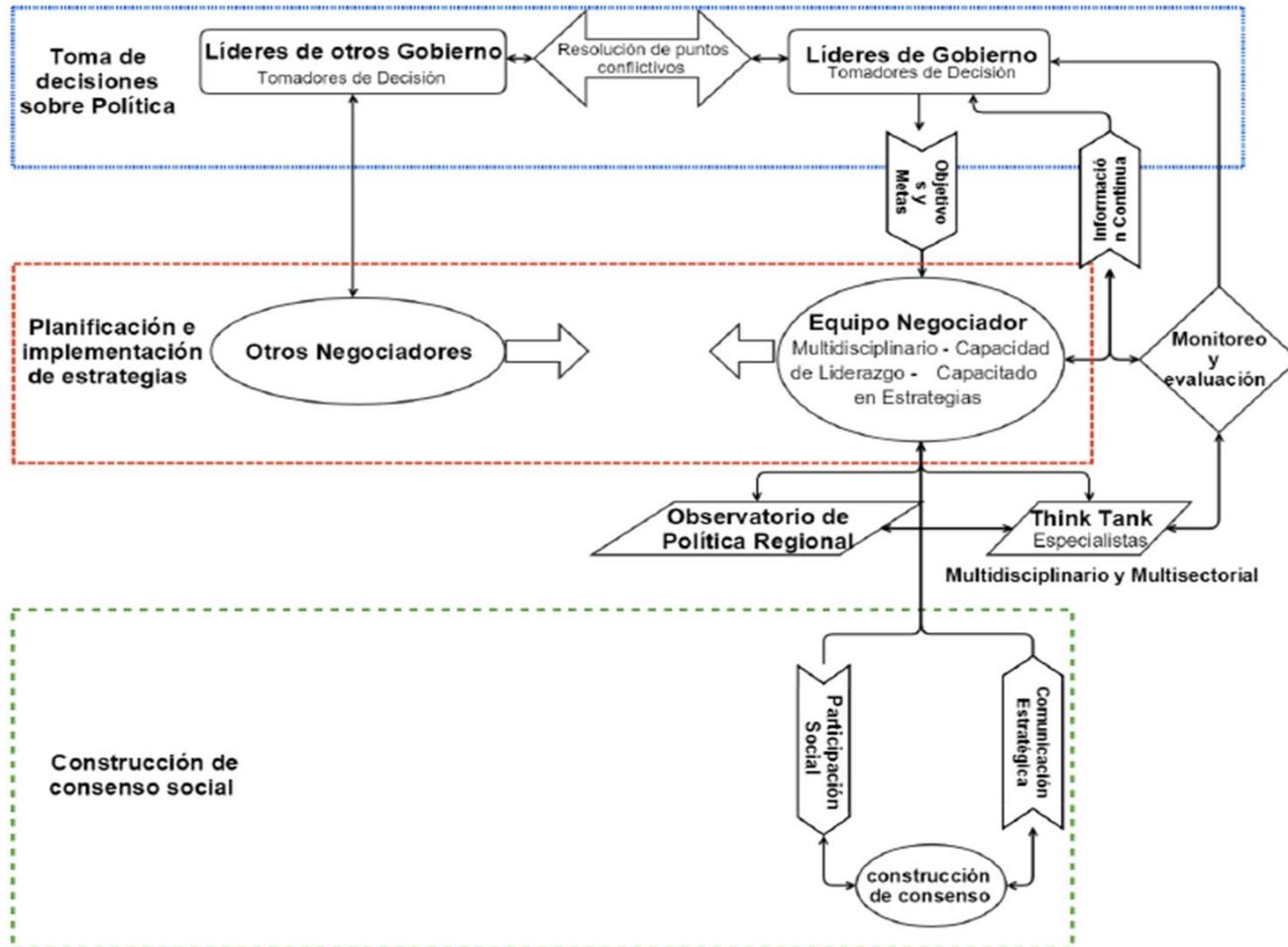


¿Qué va pasar en el

**PARAGUAY EN EL**

**AÑO 2023?**

# ➤ Introduction



# ¿Qué queremos como país? Punto de partida

*1- Sistema eléctrico de ANDE con servicio de excelencia*

*2- Infraestructura para la integración nacional y el desarrollo productivo*

*3- Infraestructura para integrar el país al mundo global*

*4- Educación incluyente y de excelencia*

*5- Servicio de salud incluyente y de excelencia*

*6- Generación de empleo digno – Bono demográfico*

*7- Tarifa para sectores vulnerables y para impulsar el desarrollo del sector productivo*



¿Qué se puede obtener con la revisión del Anexo C?

# CSE POST 2023



Una de las preguntas que surge es:

**PIN18-1040**



**¿Cómo puede afectar o cuál es el nivel de impacto de los componentes del CSE para alcanzar en mayor rango los objetivos, planes, compromisos y metas propuestas por la República del Paraguay?**

# Objetivo

Jerarquizar las implicaciones de los componentes del CSE en el cumplimiento de los objetivos del PND 2030 y los ODS.

Tesis de Maestría en Ciencias de la Ing. Eléctrica

Ing. Eduardo Ortigoza



# Marco Teórico – PND 2030

## Líneas transversales

Ejes Estratégicos

EJES ESTRATÉGICOS	A - IGUALDAD DE OPORTUNIDADES	B - GESTIÓN PÚBLICA EFICIENTE Y TRANSPARENTE	C - ORDENAMIENTO TERRITORIAL	D - SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL
<b>1. REDUCCIÓN DE POBREZA Y DESARROLLO SOCIAL</b>	Desarrollo Social Equitativo	Servicios Sociales de Calidad	Desarrollo Local Participativo	Hábitat Adecuado y Sostenible
<b>2. CRECIMIENTO ECONÓMICO INCLUSIVO</b>	Empleo y Protección Social	Competitividad e Innovación	Regionalización y Diversificación Productiva	Valoración del Capital Ambiental
<b>3. PROYECCIÓN DE PARAGUAY EN EL MUNDO</b>	Igualdad de Oportunidades en un Mundo Globalizado	Atracción de Inversiones, Comercio Exterior e Imagen País	Integración Económica Regional	Sostenibilidad del Hábitat Global
<b>4. FORTALECIMIENTO POLÍTICO INSTITUCIONAL</b>	Derechos Humanos, Justicia, Defensa y Seguridad	Modernización de la Administración Pública	Descentralización	Defensa de los Recursos Naturales

Objetivos

## Objetivos

Política social

Política económica

Política ambiental

Política institucional

# Definición de los criterios

2021

## Social



## Económico



## Ambiental



## Institucional



# Esquema metodológico - ODS

**1** FIN  
DE LA POBREZA



**2** HAMBRE  
CERO



**3** SALUD  
Y BIENESTAR



**4** EDUCACIÓN  
DE CALIDAD



**5** IGUALDAD  
DE GÉNERO



**6** AGUA LIMPIA  
Y SANEAMIENTO



**7** ENERGÍA ASEQUIBLE  
Y NO CONTAMINANTE



**8** TRABAJO DECENTE  
Y CRECIMIENTO  
ECONÓMICO



**9** INDUSTRIA,  
INNOVACIÓN E  
INFRAESTRUCTURA



**10** REDUCCIÓN DE LAS  
DESIGUALDADES



**11** CIUDADES Y  
COMUNIDADES  
SOSTENIBLES



**12** PRODUCCIÓN  
Y CONSUMO  
RESPONSABLES



**13** ACCIÓN  
POR EL CLIMA



**14** VIDA  
SUBMARINA



**15** VIDA  
DE ECOSISTEMAS  
TERRESTRES



**16** PAZ, JUSTICIA  
E INSTITUCIONES  
SÓLIDAS

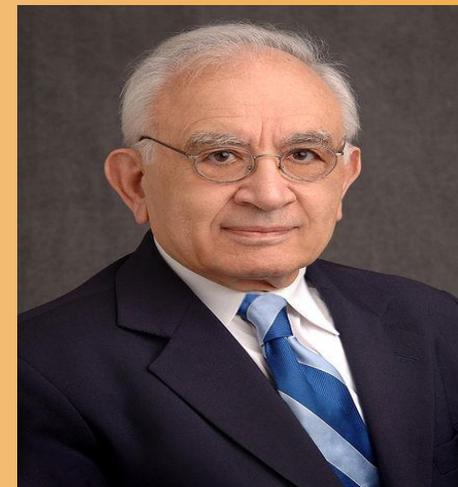
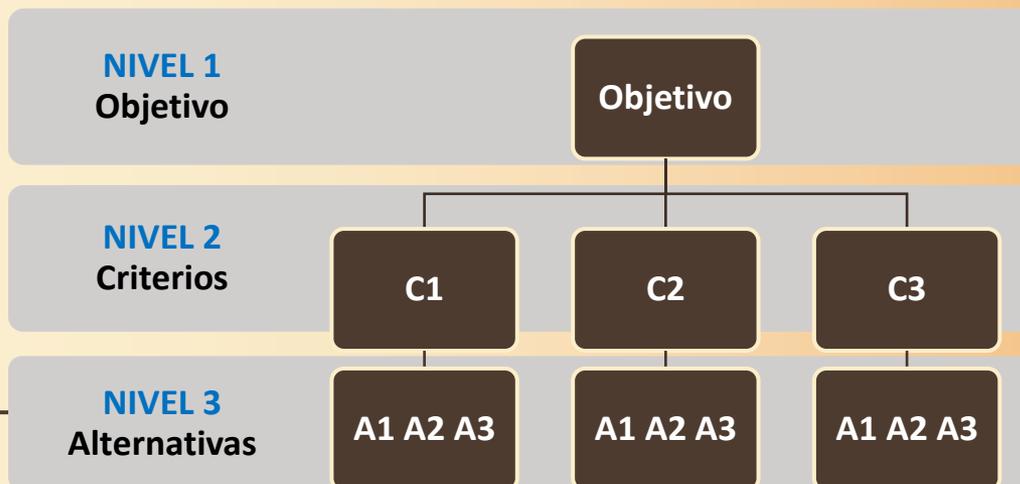


**17** ALIANZAS PARA  
LOGRAR  
LOS OBJETIVOS

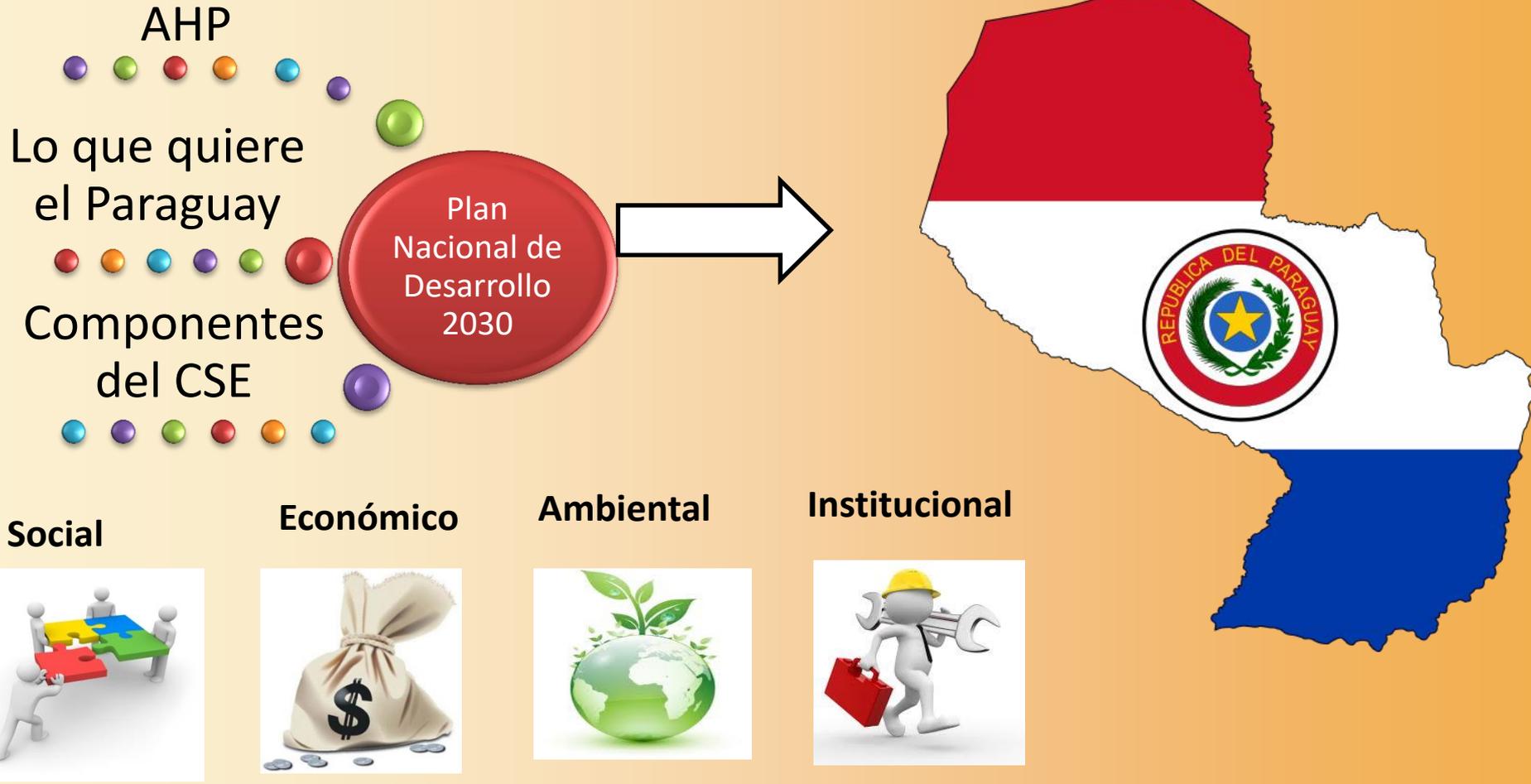


## Marco teórico – Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

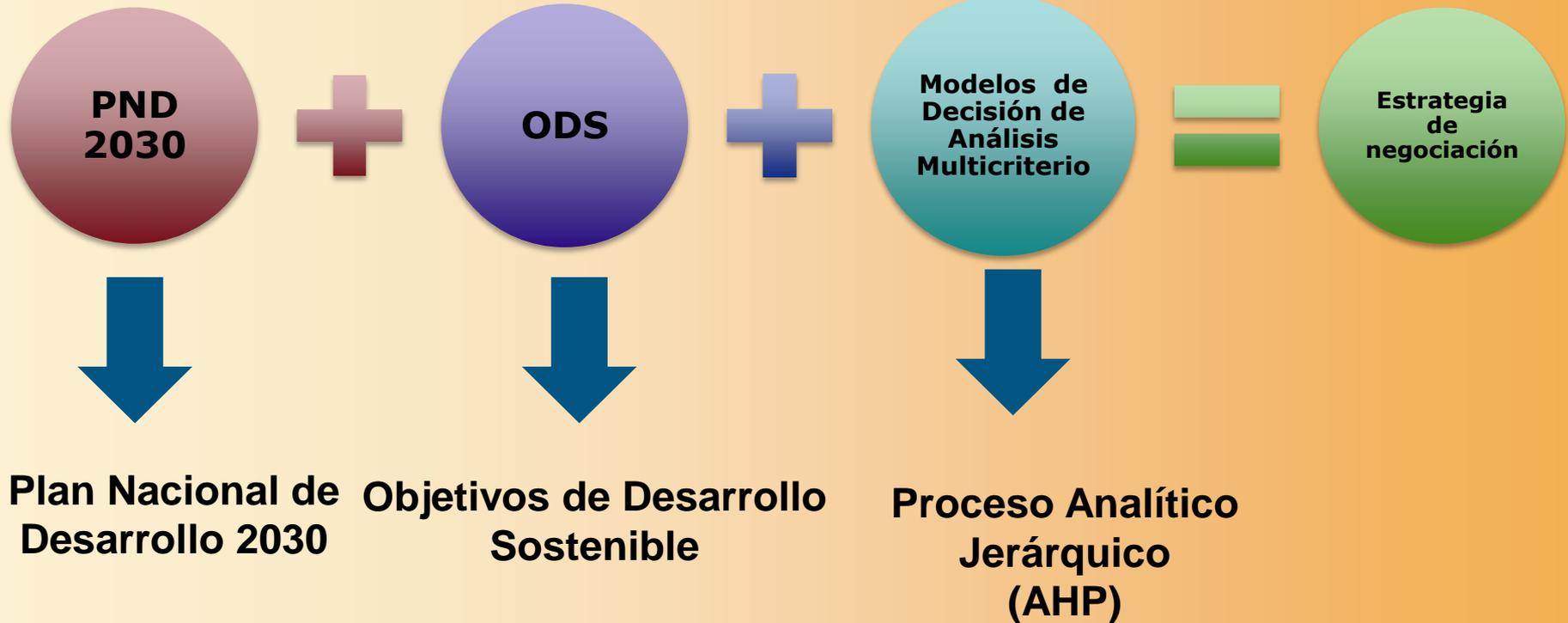
- El proceso de toma de decisiones con el AHP desarrollado por Thomas Saaty.
- Permite la estructuración del problema de forma visual mediante la construcción de una jerarquía de atributos
- Posee como mínimo tres niveles



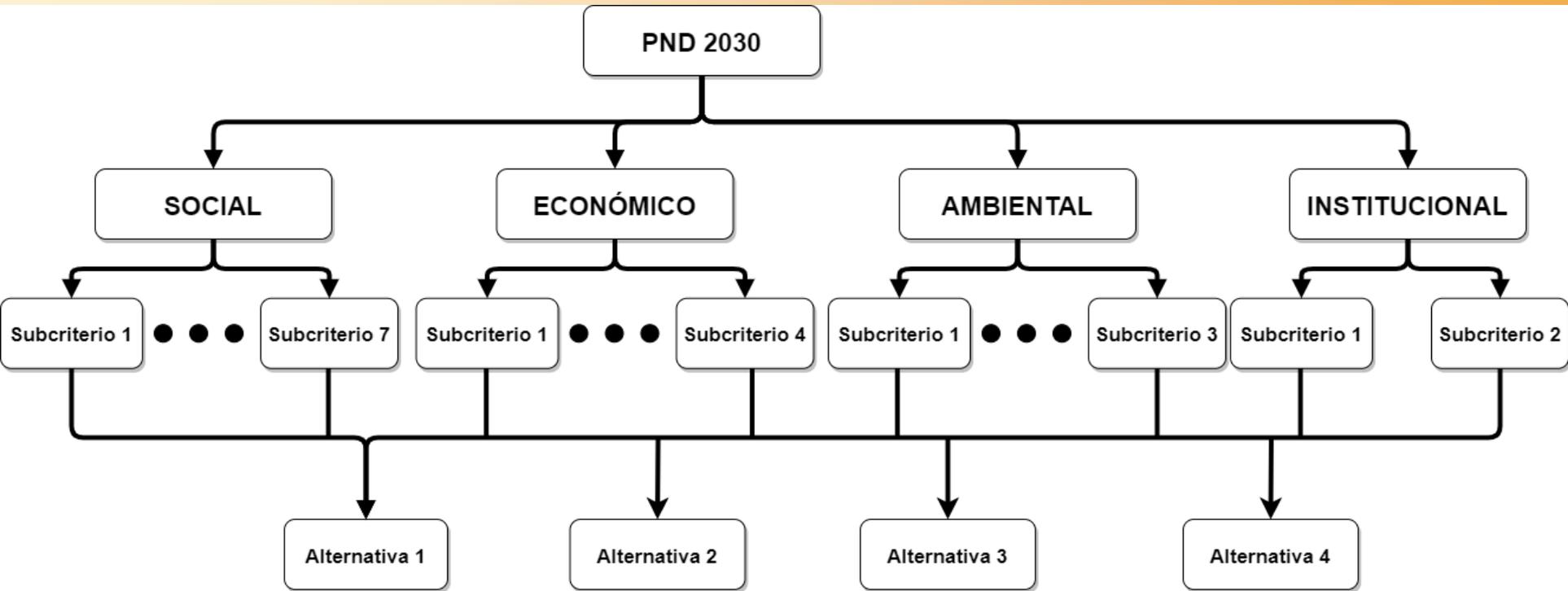
# Marco teórico – Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)



# Impacto de los resultados - aporte



# Resultados



## Alternativas

- ✓ **Componente 1:** hace referencia a la parte del monto de las utilidades de capital y resarcimientos que recibe la ANDE y que son destinados, en el ámbito de su presupuesto para optimizar el servicio de esa empresa.
- ✓ **Componente 2:** hace también parte de las alternativas, el monto que destina la ITAIPU, en el ámbito de su presupuesto, para el restablecimiento del ecosistema de la región y el mantenimiento del medio ambiente.
- ✓ **Componente 3:** esta alternativa hace referencia a la compensación por cesión de energía que recibe el Paraguay por ceder la energía que le corresponde y no la consume en su mercado interno.
- ✓ **Componente 4:** hace referencia al pago de “royalties” a las Altas Partes, por la utilización del potencial hidráulico del río Paraná

# Resultados de la Evaluación

 Criterio Social		 Criterio Económico	
Alternativas	%	Alternativas	%
Componente 1	15.55	Componente 1	22.09
Componente 2	13.78	Componente 2	18.55
Componente 3	32.9	<b>Componente 3</b>	<b>30.99</b>
<b>Componente 4</b>	<b>37.77</b>	Componente 4	28.37
 Criterio Ambiental		 Criterio Institucional	
Alternativas	%	Alternativas	%
<b>Componente 1</b>	<b>44.93</b>	Componente 1	9.45
Componente 2	28.42	Componente 2	9.14
Componente 3	11.01	Componente 3	24.28
Componente 4	15.64	<b>Componente 4</b>	<b>57.13</b>

# Resultados

## Preferencia de los Criterios Evaluaciones sectoriales e Intersectorial

Objetivo					Vector de prioridad
	1	1	1	1	0,250
	1	1	1	1	0,250
	1	1	1	1	0,250
	1	1	1	1	0,250

Fuente: Elaboración Propia

**Obs:** Todos los criterios se prefieren por igual

# Resultados de la Evaluación

## Resultados de la Evaluación Intersectorial

***Criterio Social  
(A1)***

***Criterio Económico  
(A2)***

***Criterio ambiental  
(A3)***

***Criterio Institucional  
(A2)***

***Royalties***

***Cesión de energía***

***ANDE***

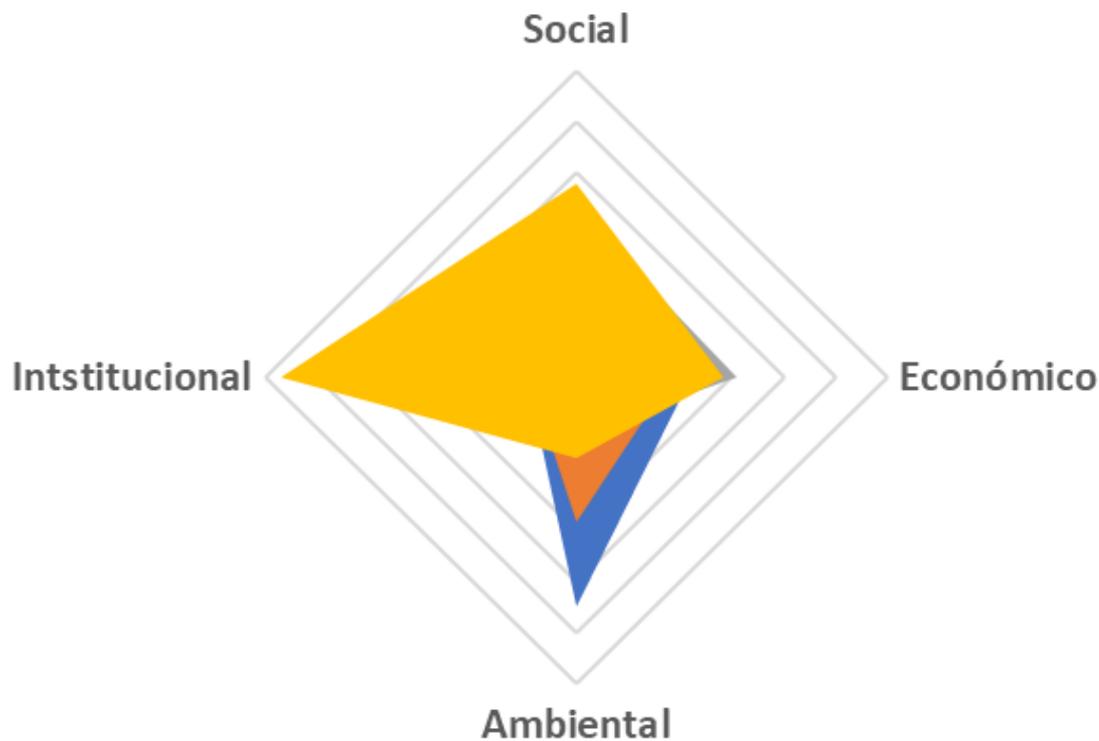
***Royalties***

Alternativas	%
(C1) ANDE	23%
(C2) ITAIPU B.	17%
(C3) Cesión de E.	25%
<b>(C4) Royalties</b>	<b>35%</b>

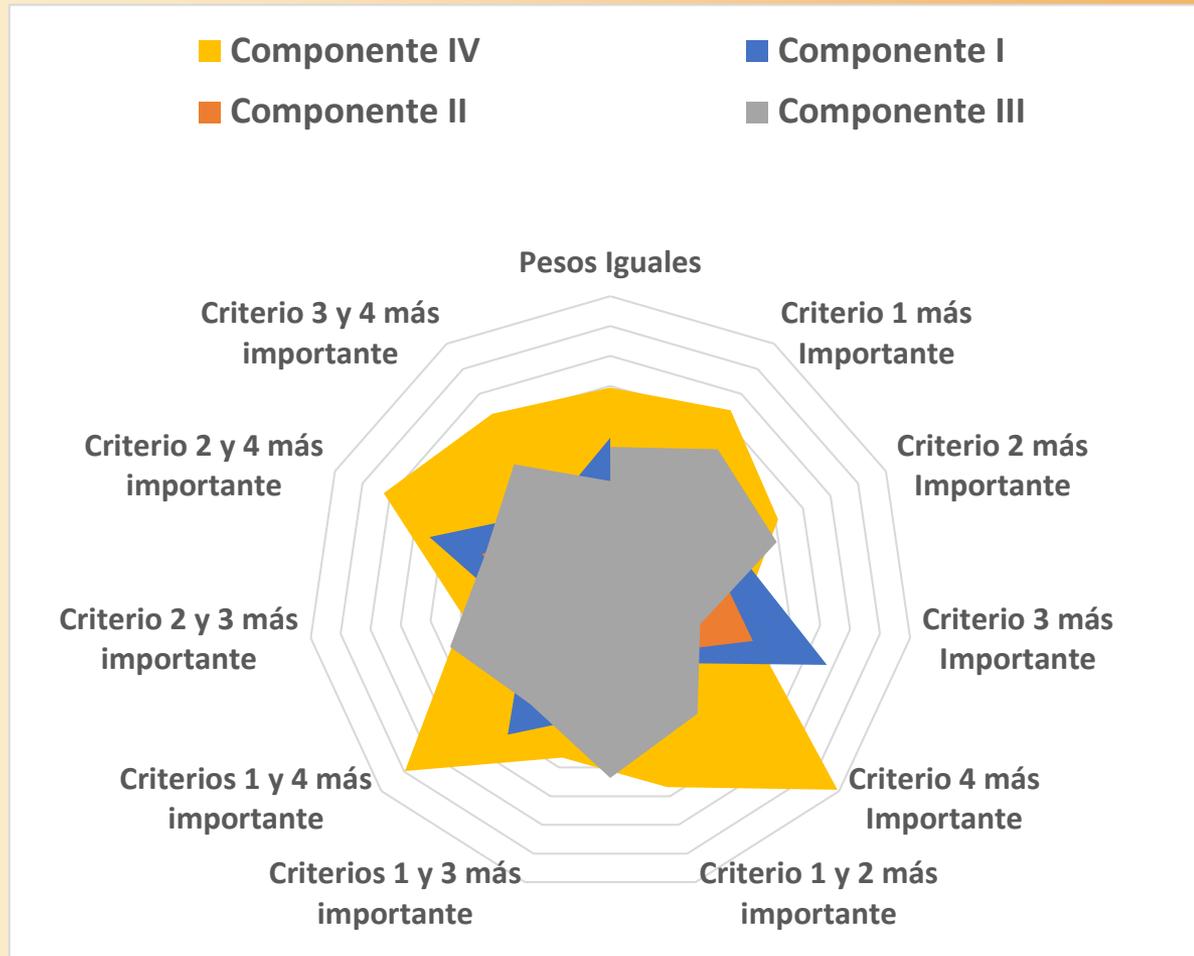
Alternativa prioritaria: “Royalties”

# Resultados que inciden en el PND 2030

■ Componente 1   ■ Componente 2   ■ Componente 3   ■ Componente 4



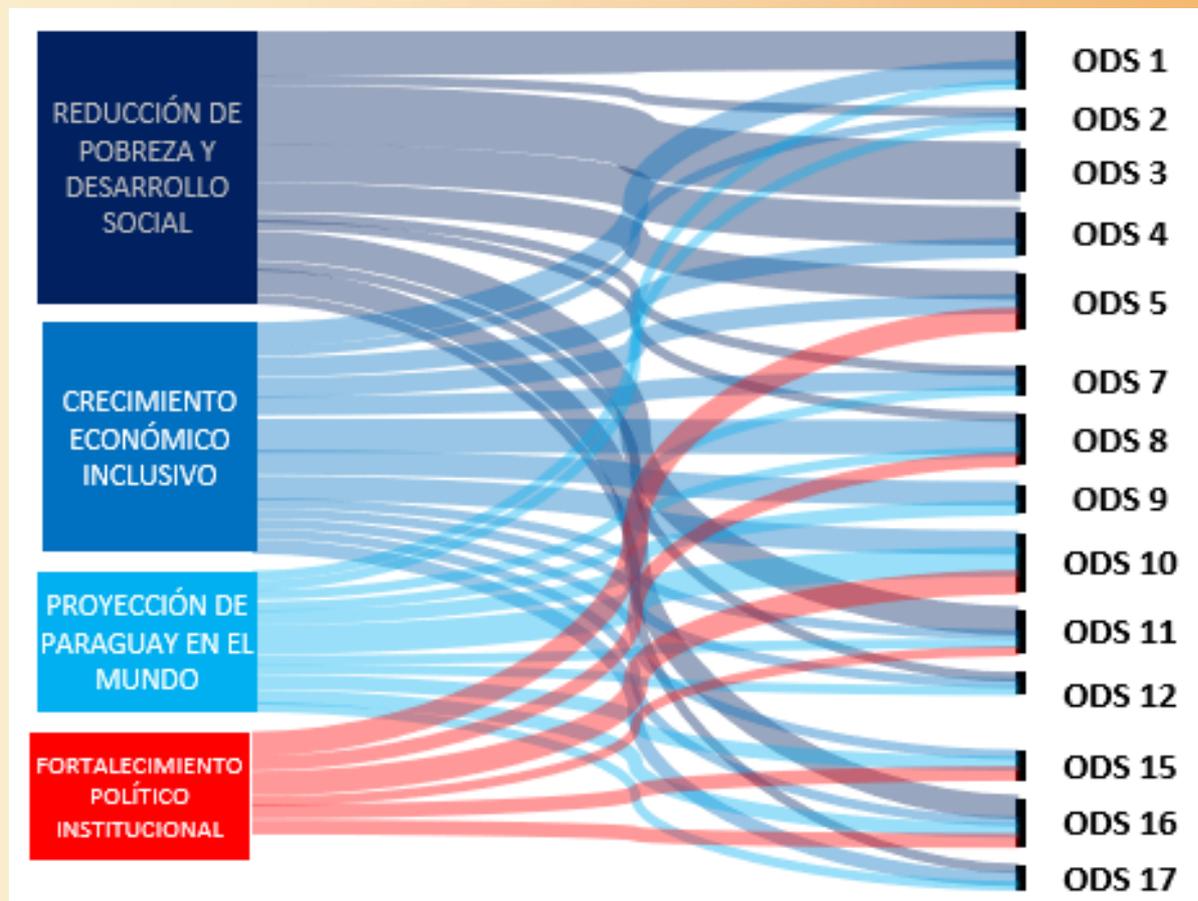
# Resultados que inciden en el PND 2030



Fuente: Elaboración propia

# Resultados que inciden en el PND 2030

## Vinculación de los objetivos del PND 2030 con los ODS



Fuente: Elaboración propia con datos de vinculación de CEPAL 2019

# Trabajos aceptados en la IEEE

2021

## IEEE CHILECON 2021

2021 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics  
Engineering, Information and Communication Technologies  
(CHILECON)  
Online | Dec 6-9, 2021

# TESIS DE MAESTRÍA Y TFG INGENIERÍA ELÉCTRICA

## Negociación Basada en Intereses con un Enfoque Estratégico: Caso de Estudio Anexo C ITAIPU Binacional (Teoría de Juegos)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
ASUNCIÓN

Ing. Manuel GARCÍA (Maestría)  
Ing. Joel López e Ing. José González (TFG)



FACULTAD  
POLITÉCNICA

## Negociación analizada

**En el análisis realizado identificamos que existen intereses contrapuestos entre Paraguay y Brasil**

**Paraguay busca maximizar beneficios por renta eléctrica y Brasil busca minimizar precios de energía**

# Teoría de juegos

**La teoría de juegos analiza problemas de economía, partiendo de la teoría económica y la matemática aplicada, Hemos realizado nuestro análisis con el modelo de solución de negociación de Nash y el modelo de ofertas alternadas de Rubinstein**

# Teoría de juegos

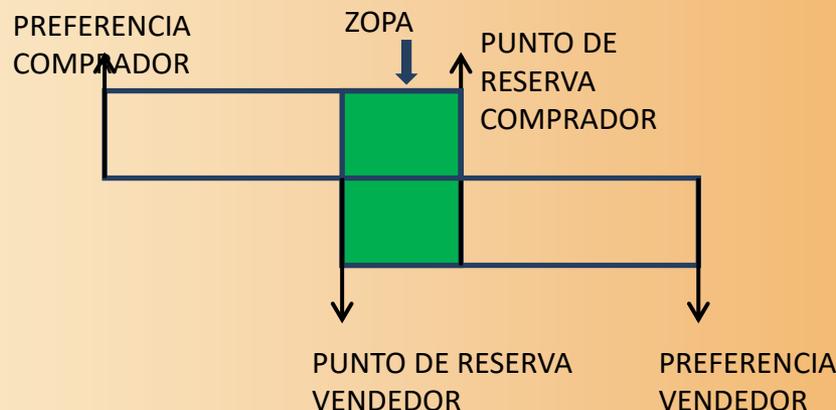
**Estudia la interacción de las decisiones de individuos o agentes económicos que participan en los llamados juegos, en busca de prever su comportamiento y la influencia de sus decisiones en los otros participantes del juego.**

**Con el análisis realizado a partir de los diferentes modelos de T.J. se obtuvieron posibles estrategias que podrían arrojar mejores resultados, además atendiendo a que es un juego entre dos partes se obtuvieron posibles acciones que podría tomar la contraparte**

# Premisas consideradas

Algunas premisas que se establecen para realizar el análisis es determinara la Zona de Posible Acuerdo, la cual puede existir o no

- Un BATNA o Walkaway está relacionado con los puntos de reserva o los puntos de precio mínimo y máximo que los jugadores están dispuestos a aceptar.
- Una forma de identificar la ZOPA, es la identificación de los puntos de reserva



## Premisas consideradas

**Para el análisis se toman de referencia los mayores precios del Mercado Eléctrico Brasileño (MEB), específicamente los precios del mercado regulado y se considera el equivalente al precio de energía que recibe Paraguay actualmente.**

**Existen dos ambientes de contratación de energía eléctrica: el Ambiente de Contratación Regulada (ACR); y el Ambiente de Contratación Libre (ACL).**

**Se consideró como el precio de reserva de Paraguay al Costo Unitario de Servicio de Electricidad sin el componente de la deuda mas la tarifa recibida por cesión (26.19 USD/MWh)**

## Resultados obtenidos

**Para los juegos estáticos dependiendo a la aversión al riesgo de Paraguay se obtuvieron precios entre 26.19 USD/MWh (peor escenario) y 52.12 USD/MWh,**

**Para los juegos dinámicos se obtuvieron rangos precios entre 28.15 USD/MWh (peor escenario) y 57.09 USD/MWh**

**En modelos matemáticos focalizados en centrales similares a Itaipu se obtuvieron valores entre 34.16 USD/MWh y 39.54 USD/MWh**

## Conclusiones

**En base a los resultados obtenidos en el modelo estático se deduce que cuanto mayor sea la aversión al riesgo para negociar los precios no presentan mucha variación con respecto al status quo**

**De manera a mejorar esta situación el escenario más prometedor sería el consumo interno de energía para la industrialización, de lo contrario, la venta de energía a terceros podría surgir como una alternativa rentable**

## Conclusiones

**Del modelo dinámico de T.J. concluimos que Paraguay, debe anticiparse a las ofertas y estrategias de respuesta de Brasil, agilizar las negociaciones tanto como sea posible, para minimizar el efecto de dilución de energía y apuntar a una porción más grande del pastel**

**Otra alternativa que permitiría evitar el efecto que causa la falta de tiempo para el jugador en posición de desventaja puede ser el acuerdo puente, lo que posibilitaría al Paraguay ganar tiempo para negociar condiciones mas favorables para la venta de su energía**

2021

IEEE.org | IEEE Xplore | IEEE-SA | IEEE Spectrum | More Sites

IEEE Xplore<sup>®</sup> | Browse | My Settings | Help | Institutional Sign In | IEEE

Search: All

Conferences > 2020 IEEE Power and Energy Co.

**Interest Based Negotiation with a Strategic Approach: Annex C ITAIPU Binational Case Study**

Publisher: IEEE | Cite This | PDF

4 Author(s) | Manuel García, Victorio Oxilia, Ricardo Careaga, Félix Fernández | All Authors

22 Full Text Views

Need Full-Text  
access to IEEE Xplore for your organization?  
CONTACT IEEE TO SUBSCRIBE >



Official confirmation of accepted article for CHILECON2021 Recibidos x

IEEE CHILECON2021 <ieechilecon2021@easychair.org>  
para mí

sáb, 30 oct 14:

inglés | español | Traducir mensaje

Desa

Dear ["AUTHORS"],

The International Program Committee (IPC) of CHILECON2021 is pleased to have received the article 91 entitled "Analysis of Compensation for Energy Cession in ITAIPU I Game Theory", which -after being reviewed by experts in the area- was determined to meet the established scientific quality standards for this Conference.

Therefore, we invite you to register for our virtual Conference, in accordance with the established registration conditions, through the registration system implemented on the <https://controlautomatico.org/chilecon2021/ieee-chilecon-2021> -registration/. We remind you that registrations made until November 10 have a benefit of 10% discount on the Registration gives you the possibility to finally present it on-line to your peers on the date stipulated in the Conference program, between December 6 to 9, 2021 (the day as well as the details and presentation format will be reported later).

We remind you that any query related to the congress can be made by writing to the Secretary of the Congress, Mrs. María Valdebenito, by e-mail ([mvaldebenito@ing.puc.cl](mailto:mvaldebenito@ing.puc.cl)).

We are waiting for you at CHILECON2021 to share experiences and take advantage of this camaraderie to expand our contact networks.

Kind regards,

**Track T6: ENERGY II (cont.)**  
**IEEE CHILECON 2021**

Room 1	Session T6.3	Thursday 9, December 2021 Hour: 15:45-16:55	Session T6.3 Track 6 Energy II	Chairs: Aaaa Bbbbbb, Chile Ccccc Dddd, Ecuador
#	# Paper	Authors	Title	Country
1	89	Saravanakumar Rajendran, Matias Diaz, Hector Chavez, Marcela Cruchaga and Ernesto Castillode	Terminal Synergetic Control for Variable Speed Wind Turbine Using a Two Mass Model	Chile
2	91	Joel López, José González, Manuel García, Félix Fernández, Richard Ríos, Eduardo Ortigoza and Victorio Oxilia	Analysis of Compensation for Energy Cession in ITAIPU Binational applying Game Theory	Paraguay
		Marco Rivera, Roberto Fuentes,	Development of Solar Energy in	Chile

# Escenarios para la revisión del Anexo C de ITAIPU: Aplicación del modelo múltiple criterios *PHD*

Proyecto PIN18-1040

# Aplicación del modelo múltiple criterios *PHD*

$$\text{Nivel de referencia (Orden)} = \begin{cases} \text{Criterio Primario } A_1 & \rightarrow 1 \\ \text{Criterio Primario } A_2 & \rightarrow 2 \\ \vdots & \vdots \\ \text{Criterio Primario } A_n & \rightarrow n \end{cases}$$

Juicio	Notas
Extremada	8
Muy Alta	7
Alta	6
Mediana/Alta	6
Mediana	4
Mediana/Baja	3
Baja	2
Muy Baja	1
Indiferente	0

$$\text{Juicio de valor (Cardinal)} = \begin{cases} \text{Criterio Primario } A_1 & \rightarrow J_1 \\ \text{Criterio Primario } A_2 & \rightarrow J_2 \\ \vdots & \vdots \\ \text{Criterio Primario } A_n & \rightarrow J_n \end{cases}$$

Tabla 1: Juicios de pérdidas y sus respectivas notas utilizadas en el *PHD*

$$J = \{J_1, J_2, J_3, \dots, J_n\} \rightarrow P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\} \text{ tal que se cumpla } \sum_{j=1}^n P_j = 1$$

# Aplicación del modelo múltiple criterios *PHD*

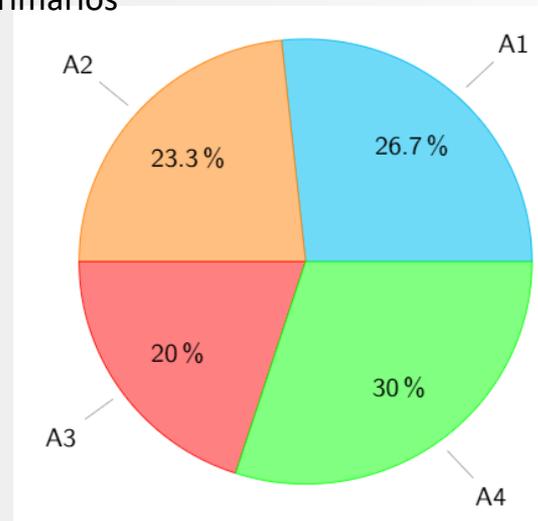


## Escala obtenidas:

- *Distribución de Probabilidades*
- *Método de Montecarlo*

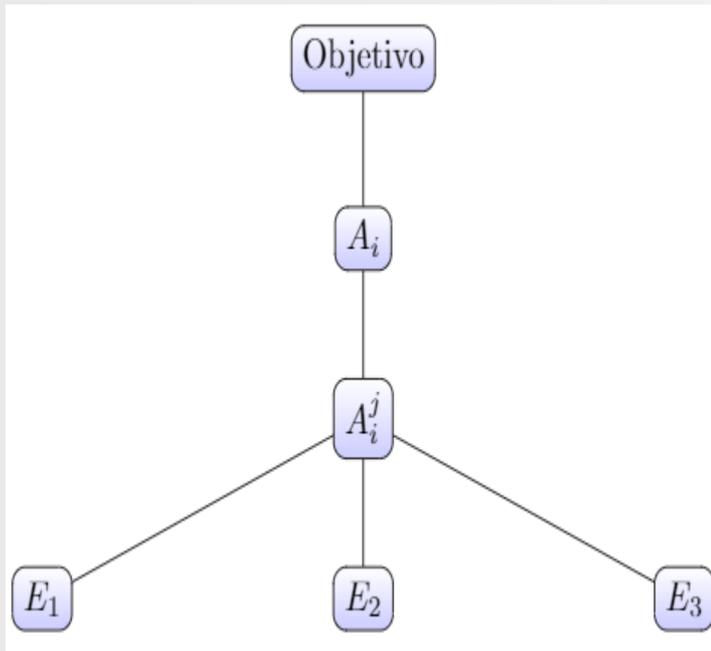
$$J = \{J_1, J_2, J_3, \dots, J_n\} \rightarrow P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\} \text{ tal que se cumpla } \sum_{j=1}^n P_j = 1$$

Ejemplo para un caso de 4 criterios primarios



# Atributos: Escenarios

*La matriz terciaria tiene la función de medir los impactos de los escenarios a través de funciones pre definidas.*



La función de valor agregado o Puntaje Global obtenido para los distintos escenarios estudiados

$$V(P, P_i, E_k) = (E_k(P_i) \times P_i) \times P$$

# Potencia Disponible

**Potencia Instalada  
14.000 MW**

**Potencia Contratable  
12.135 MW**

**Mitad "Paraguaya"  
6.067,5 MW**

**Potencia media anual contratada  
por ANDE para 2021  
1.718 MW**



# Escenarios

## 1. Tendencial

- Mantener condiciones de contrato
- Demanda tendencial

## 2. Desarrollo Interno

- Mantener condiciones de contrato
- Aumentar la demanda para el desarrollo interno

## 3. Apertura parcial

- Mantener parcialmente la condición de contrato
- Abrir la posibilidad de comercializar en mercado externo

## 4. Total mercado

- Cambiar condiciones de contrato
- Negociar la totalidad de energía y potencia en el mercado externo

**OBS: En todos los escenarios se puede negociar el precio de potencia o energía de Itaipu**

# Criteria



## Económico

- Contratación de potencia
- Precios de energía cedida
- Comercialización en Mercosur y mercado Brasileiro
- Riesgo de mercado



## Político

- Política interna
- Política externa



## Social

- IDH / Uso de la energía
- Tasa de Empleo



## Legal

- Reglamentación necesaria



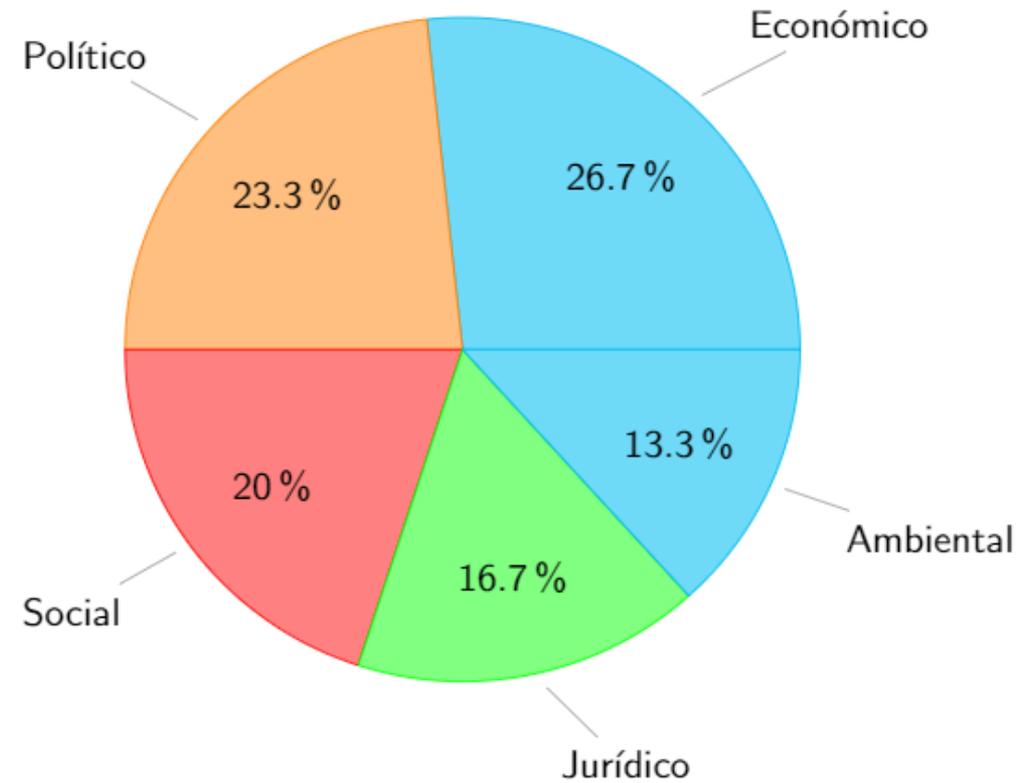
## Ambiental

- Emisiones de CO2 en la generación

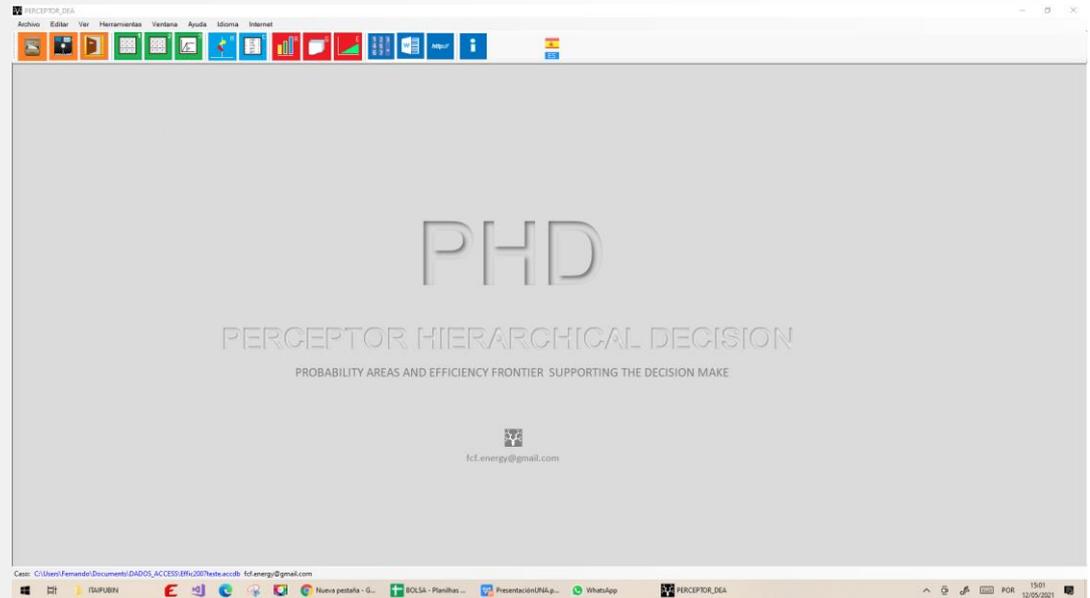
# Criteria



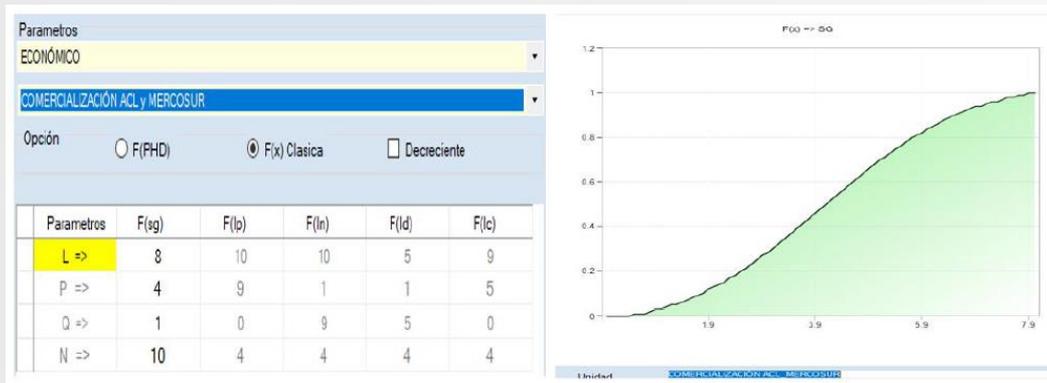
## Encuestas



# Modelo



# Modelo



## Escala Numérica

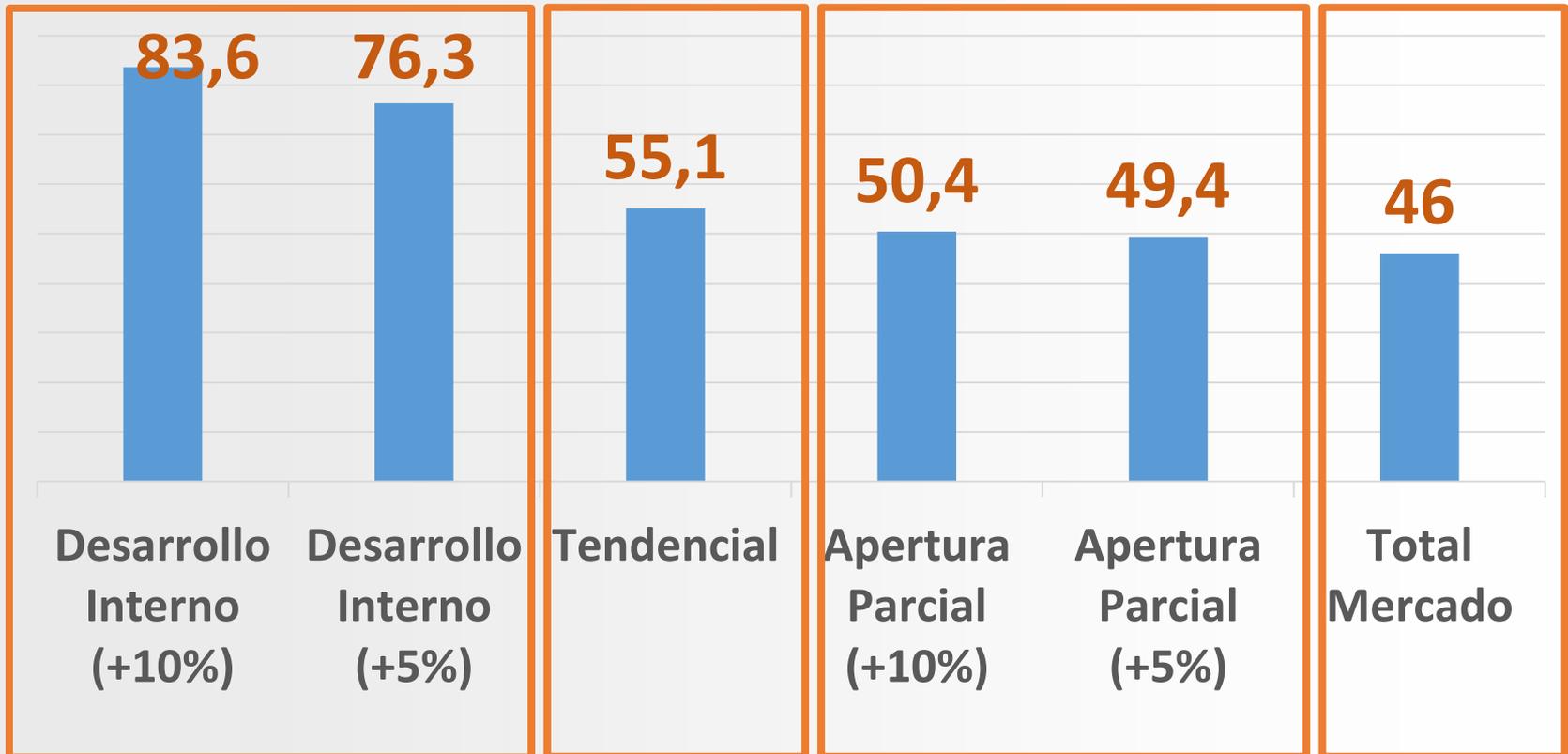
Escenario	(USD)
1	1.980.415
2	2.029.225
3	2.224.465
4	1.980.415



## Escala Semántica

Escenario	Riesgo
1	Muy bajo
2	Mediano bajo
3	Mediano alto
4	Muy alto

# Resultados



## Consideraciones finales

- **Fase previa (2022/23) versus Fase de la Revisión (post 2023). “Ganar tiempo/recursos versus desarrollarnos con nuestra energía”**
- **La mejor alternativa – la peor alternativa**
- **Lo que se puede esperar sobre el precio de la energía paraguaya para Brasil**
- **Un incremento de valores de los componentes del CSE, aunque sea para una tarifa de la energía de la entidad binacional menor que la actual, traerá beneficios para Paraguay, en particular Royalties y “Cesión”**

# Agradecimientos:

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) de Paraguay y a la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción, por el financiamiento del Proyecto PINV18-1040: *“Análisis de Escenarios de negociación aplicando métodos de decisión multicriterio y teoría de juegos: Revisión del Anexo C del Tratado de ITAIPU”*.