



# **Análisis de Costos Nivelados de la Generación de Electricidad**

**Gustavo Alonso, Ramon Ramírez,  
Javier C. Palacios**

**Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares**

**Preparado para LAS-ANS 2006**

**Junio 2006**

# Porqué considerar a la Energía Nuclear

- Alta volatilidad de los precios del gas
- Preocupación por las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Diversificación de fuentes de Generación
- Nuevas Generaciones de Reactores
- Competitividad Económica de la Energía Nuclear

# Reactores de Generation III



- Los últimos reactores ABWR se han construido en menos de 5 años
- En Finlandia se está construyendo un reactor del tipo EPR, el cual entrará en operación comercial en el 2009
- Otro reactor EPR iniciará su construcción en el 2007 en Flamanville, France.
- El AP1000 ha obtenido su certificado de diseño por la NRC
- El ESBWR espera obtener su certificación en el 2008
- En Estados Unidos se tiene interés en construir al menos 16 nuevos reactores de Generation III para el 2020

# Metodología de Costo Nivelado

- Permite comparaciones entre diferentes tecnologías
- Permite cuantificar el costo unitario de la electricidad generada (el kWh) durante la vida de la central nuclear
- Permite una comparación inmediata con el costo de otras tecnologías alternativas
- Considera la generación total de electricidad durante toda la vida útil de la planta

# Metodología de Costo Nivelado



- Esta metodología toma en cuenta que el costo de instalación (overnight cost) esta afectado por:
  - Tasa de interés aplicada a la inversión
  - Flujo de efectivo durante el tiempo de construcción
- El Costo Total Nivelado (CTNG) es la suma de:
  - Costo Nivelado de Inversión (CNI): es el costo generado durante el tiempo de construcción
  - Costo de Producción: es el generado durante la vida económica de la planta, incluye:
    - Costo Nivelado de combustible (CNC)
    - Costo Nivelado de Operación y Mantenimiento (CNO&M).



# Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares



Planta No.

### Datos de Planta

Tipo

Nombre

Capacidad  MWe

Factor  %

Vida Útil  Años

Costo del Combustible  USD/MWh

Tasa de Descuento  %

Costo Directo  USD/KWe

Usos Propios  %

Construcción  Años

### % Flujo de Capital/Año

Año 1

Año 2

Año 3

Año 4

Año 5

### Mostrar

Flujo Capital

Efectuar Cálculo

Detalles de Inversion

Opciones Avanzadas

Costo del Desmantelamiento en MDD (Plantas Nucleares)

MDD

Verifica Datos para la Planta

Factor de Actualización

Ver detalles

### Tipo de Ajuste

- Normalización ESCONI
- Normalización Westinghouse
- Normalización ACR
- Parámetros Nuevos

Los Flujos de capital en su forma integral se obtienen como resultado de una normalización y ajuste de los datos proporcionados por Westinghouse, usando una función de Boltzman de la forma:

$$FC(TN) = A_2 + \frac{(A_1 - A_2)}{\left(1 + e^{\frac{(TN - TN_0)}{DTN}}\right)}$$

### Parámetros de Ajuste Utilizados

A1 = -5.11873

TN0 = 0.50749

A2 = 107.68401

DTN = 0.17909

R<sup>2</sup> = 0.99831

Aplicar

Mostrar Tabla

Aceptar

Cancelar



# Comparación de la Metodología de Costo Total Nivelado de Generación

| Tipo de Planta | DR % | OECD USD/MWh |      | ININ USD/MWh |       |
|----------------|------|--------------|------|--------------|-------|
|                |      | Min.         | Max. | Min.         | Max.  |
| Gas            | 5    | 37           | 60   | 38.73        | 56.36 |
| Nuclear        | 5    | 21           | 31   | 23.03        | 31.39 |
| Gas            | 10   | 40           | 63   | 41.79        | 59.42 |
| Nuclear        | 10   | 30           | 50   | 32.75        | 45.76 |



# Escenarios Analizados



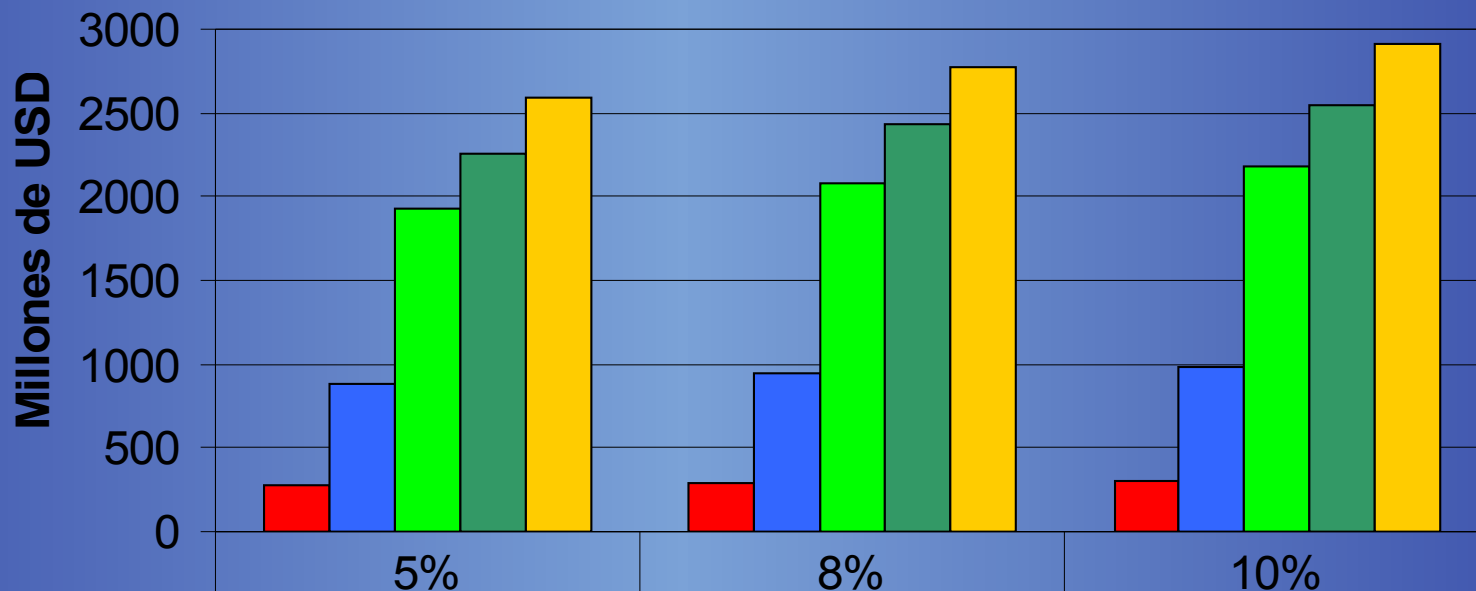
- Tres escenarios para la tasa de descuento 5%, 8% y 10%,
- Tres escenarios para los precios del gas:
  - 4.44 USD/mmBTU (Gas 1)
  - 5.20 USD/mmBTU (Gas 2)
  - 7.00 USD/mmBTU (Gas 3)
- Tres escenarios para el overnight cost nuclear
  - 1200 USD/kWe (Nuclear Bajo)
  - 1400 USD/kWe (Nuclear Medio)
  - 1600 USD/kWe (Nuclear Alto)
- Potencia promedio de salida del reactor considerado **1350 MW**
- Para los Costos de Operación y Mantenimiento se tomarán los reportados por la OECD
- Se considera que los inversionistas en reactores nucleares se preocupan principalmente por el tiempo de construcción y los retrasos debido al proceso de licenciamiento

# Características de las Plantas analizadas



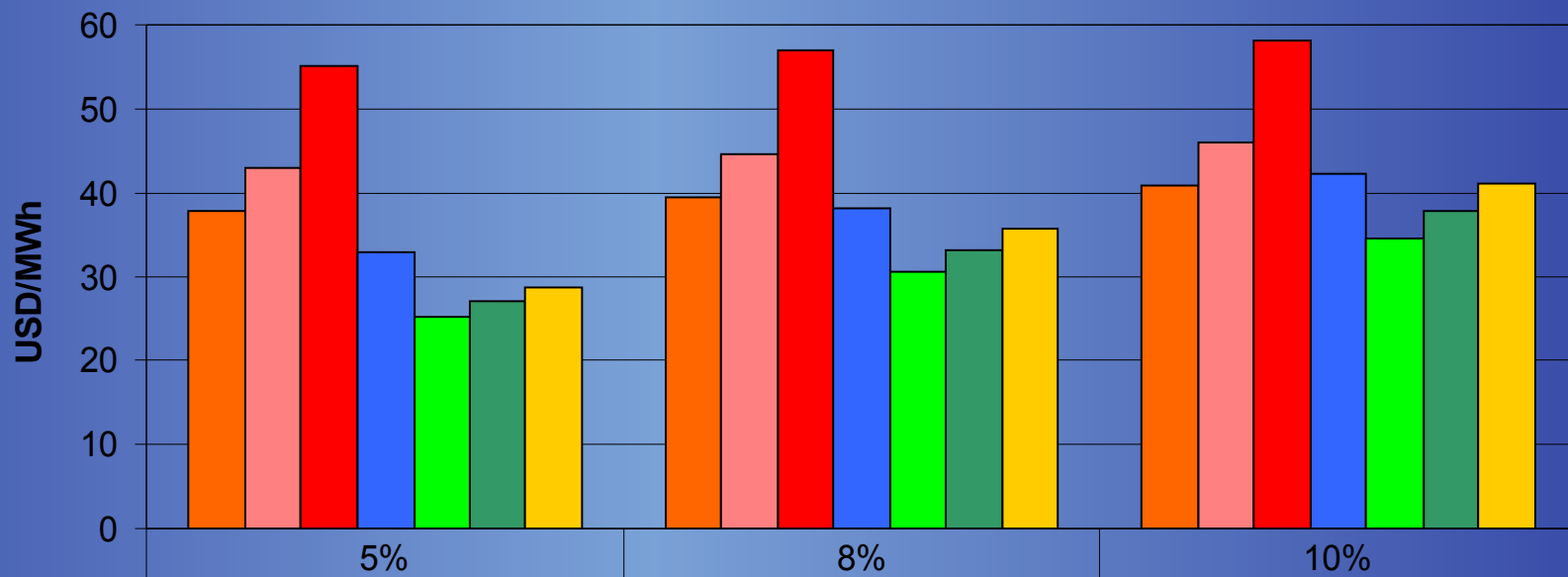
| <b>Tipo de la planta</b>                                | <b>Gas</b>                                   | <b>Carbón</b> | <b>Nuclear</b>                            |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|
| <b>Vida (años )</b>                                     | <b>25</b>                                    | <b>40</b>     | <b>40</b>                                 |
| <b>Factor de capacidad (%)</b>                          | <b>80</b>                                    | <b>80</b>     | <b>90</b>                                 |
| <b>Usos propios (%)</b>                                 | <b>3.1</b>                                   | <b>7.3</b>    | <b>3.1</b>                                |
| <b>Salida neta de potencia (MWe)</b>                    | <b>560</b>                                   | <b>700</b>    | <b>1350</b>                               |
| <b>Eficiencia térmica (%)</b>                           | <b>52</b>                                    | <b>37.24</b>  | <b>34</b>                                 |
| <b>Tiempo de construcción (años )</b>                   | <b>2</b>                                     | <b>4</b>      | <b>5</b>                                  |
| <b>Overnight Cost (USD/kWe)</b>                         | <b>450</b>                                   | <b>1000</b>   | <b>1200</b><br><b>1400</b><br><b>1600</b> |
| <b>Precio del combustible</b><br>*USD/mmBTU<br>+USD/MWh | <b>4.44*</b><br><b>5.20*</b><br><b>7.00*</b> | <b>1.78*</b>  | <b>6.80+</b>                              |
| <b>Costo de O&amp;M (USD/MWh )</b>                      | <b>2.77</b>                                  | <b>4.75</b>   | <b>7.83</b>                               |

# Costo de Inversión



|                 |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|
| ■ Gas           | 282.42  | 293.00  | 300.00  |
| ■ Carbón        | 882.19  | 942.80  | 984.16  |
| ■ Nuclear Bajo  | 1933.71 | 2080.61 | 2182.96 |
| ■ Nuclear Medio | 2256.00 | 2427.37 | 2546.78 |
| ■ Nuclear Alto  | 2578.28 | 2774.14 | 2910.61 |

# Costos Nivelados de Generación Eléctrica



|               | 5%    | 8%    | 10%   |
|---------------|-------|-------|-------|
| Gas 1         | 37.86 | 39.52 | 40.74 |
| Gas 2         | 43.01 | 44.67 | 45.89 |
| Gas 3         | 55.2  | 56.86 | 58.08 |
| Carbón        | 32.83 | 38.16 | 42.18 |
| Nuclear Bajo  | 25.26 | 30.51 | 34.53 |
| Nuclear Medio | 26.99 | 33.13 | 37.81 |
| Nuclear Alto  | 28.73 | 35.74 | 41.09 |

# Sensibilidad a la Tasa de Descuento



- Para los proyectos nucleares el costo nivelado es muy sensible a la tasa de descuento
  - Las diferencias en los costos nivelados para un incremento en la tasa de descuento del 5 al 10% pueden ser hasta 45% mayores
  - Los costos de inversión pueden ser 333 millones de dólares más por cambiar del 5% al 10%.
- El costo nivelado para el ciclo combinado no presenta grandes diferencias cuando se usan diferentes tasas de descuento
  - La diferencia en costo nivelado para una planta de gas natural es menor al 10% cuando se cambia la tasa de descuento del 5% al 10%
  - Cuando el precio del gas varía de 4.44 a 7.00 USD/mmBTU el costo nivelado varía más del 40%, sin importar la tasa de descuento utilizada.



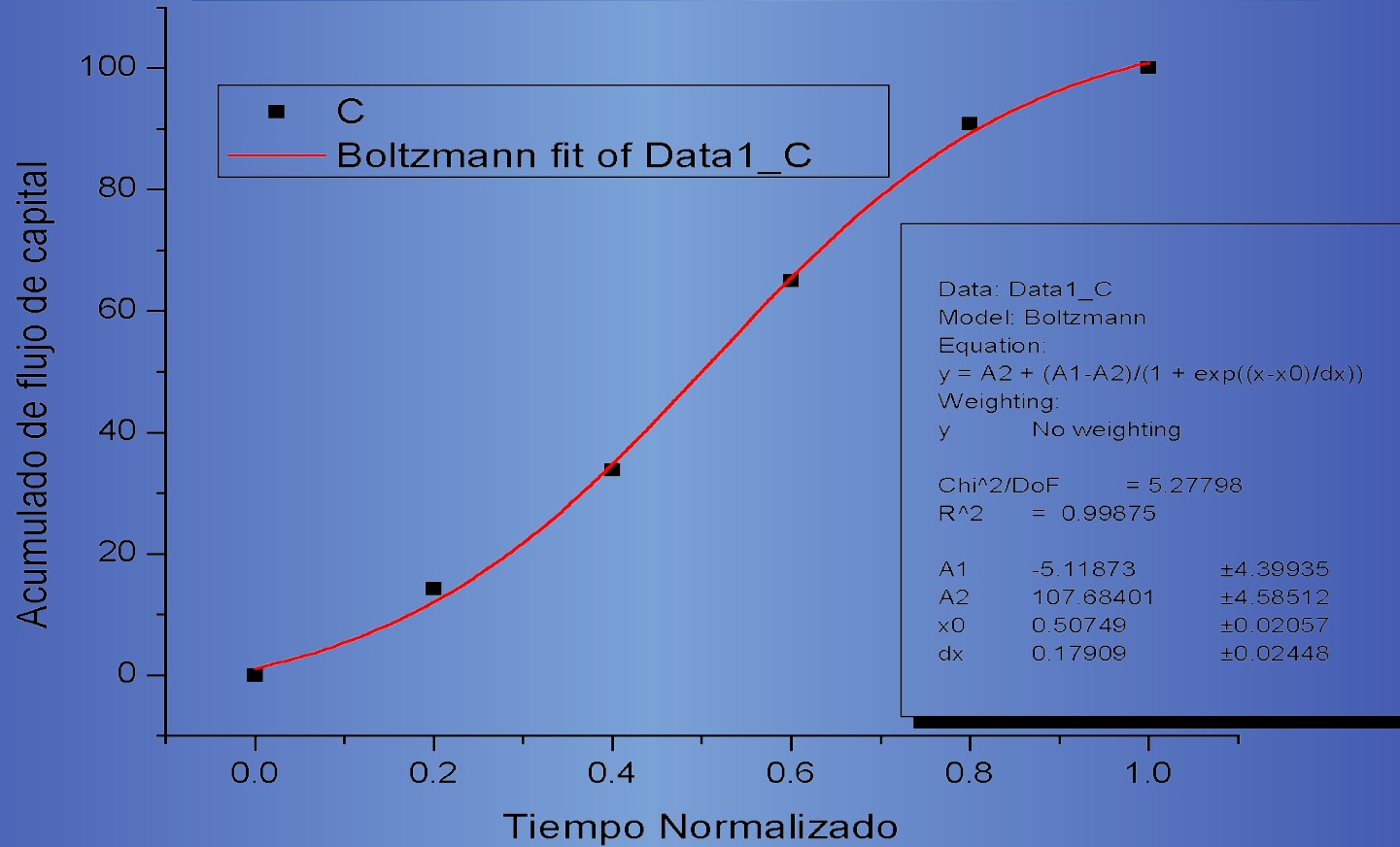
## Sensibilidad al tiempo de construcción

Se supone que la construcción de la central nuclear tarda mas de 5 años

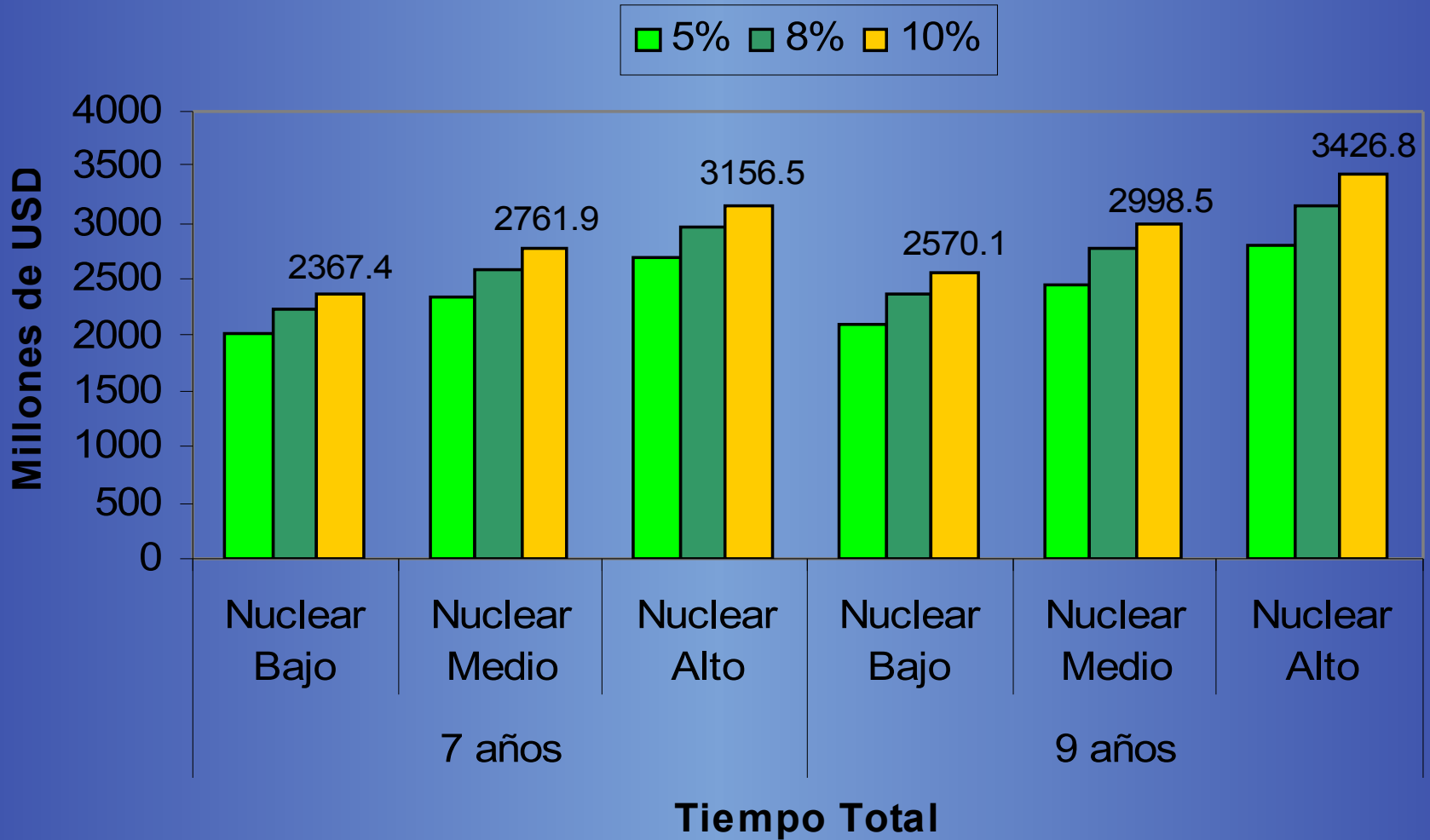
# Flujo de Efectivo Normalizado



## Distribución de Flujo de Efectivo Normalizado



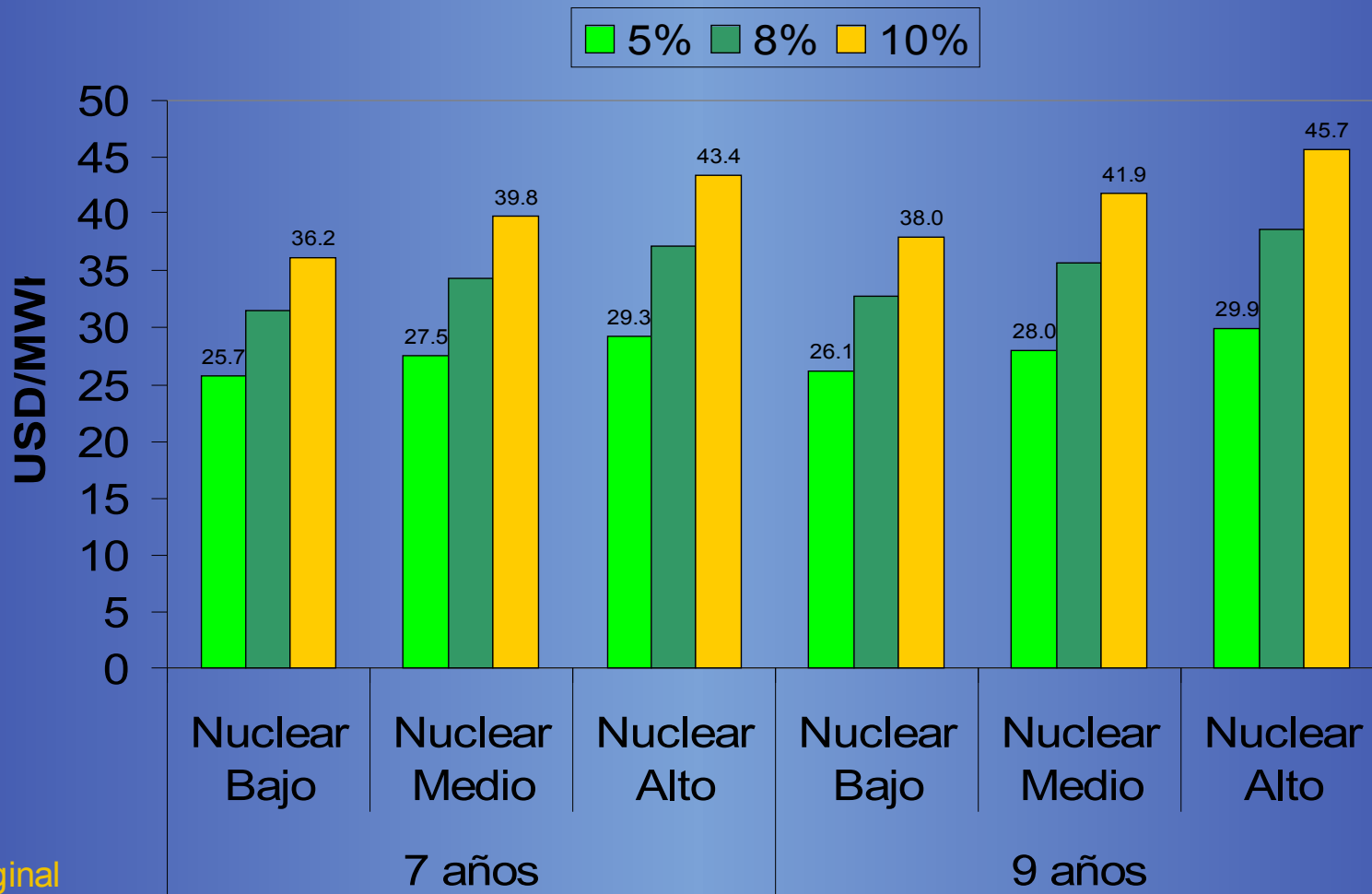
# Costo de Inversión al expandir el flujo de efectivo



Costo de Inversión base 2910.61 (Nuclear Alto a 10%)



# Costo total nivelado de generación expandiendo el flujo de efectivo



CTNG original

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| Bajo  | 25.26 | 30.51 | 34.53 |
| Medio | 26.99 | 33.13 | 37.81 |
| Alto  | 28.73 | 35.74 | 41.09 |

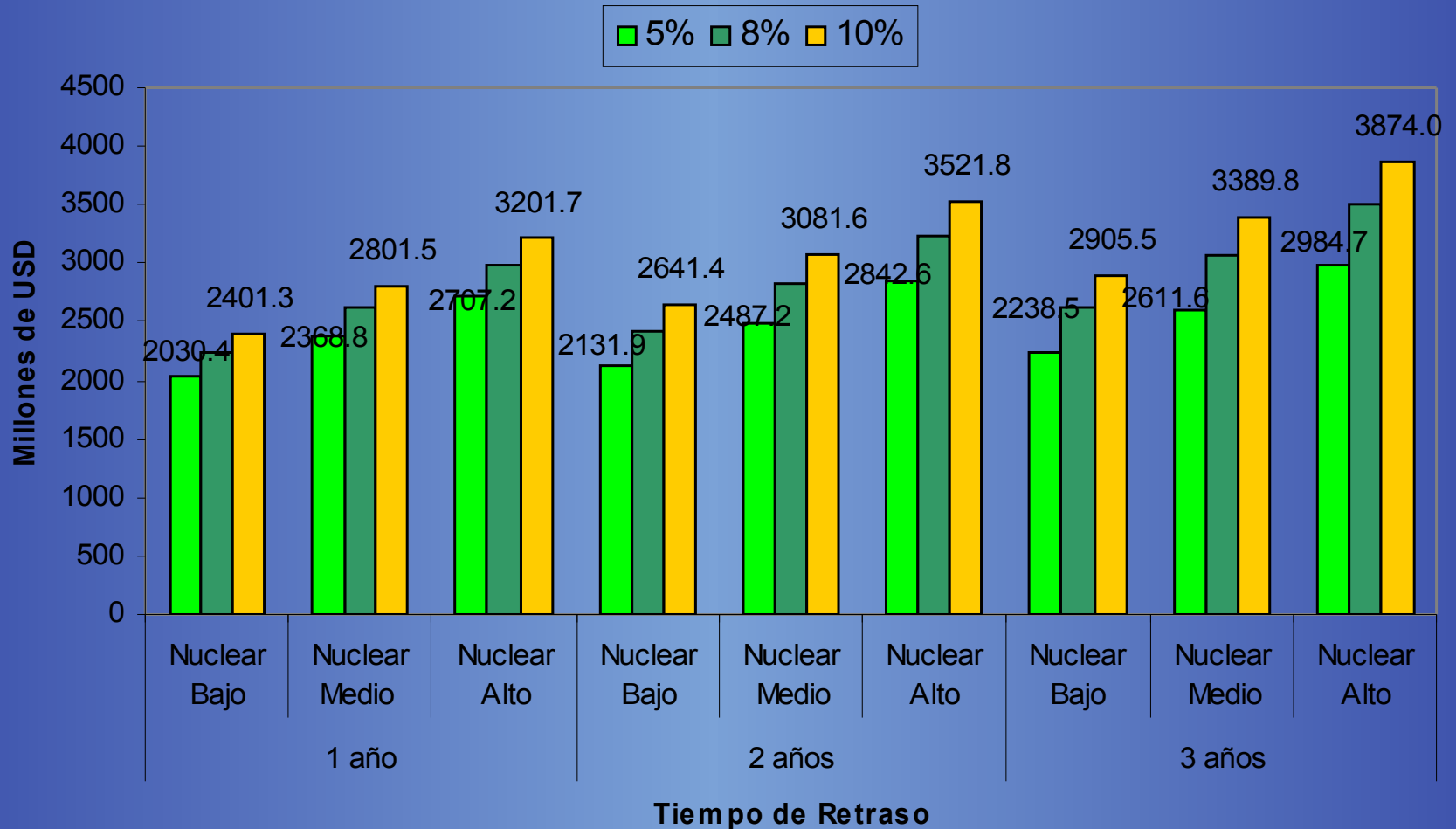
**Tiempo Total**



## Sensibilidad al tiempo de construcción

Se supone que una vez construída, la central nuclear se retrasa en iniciar la operación comercial

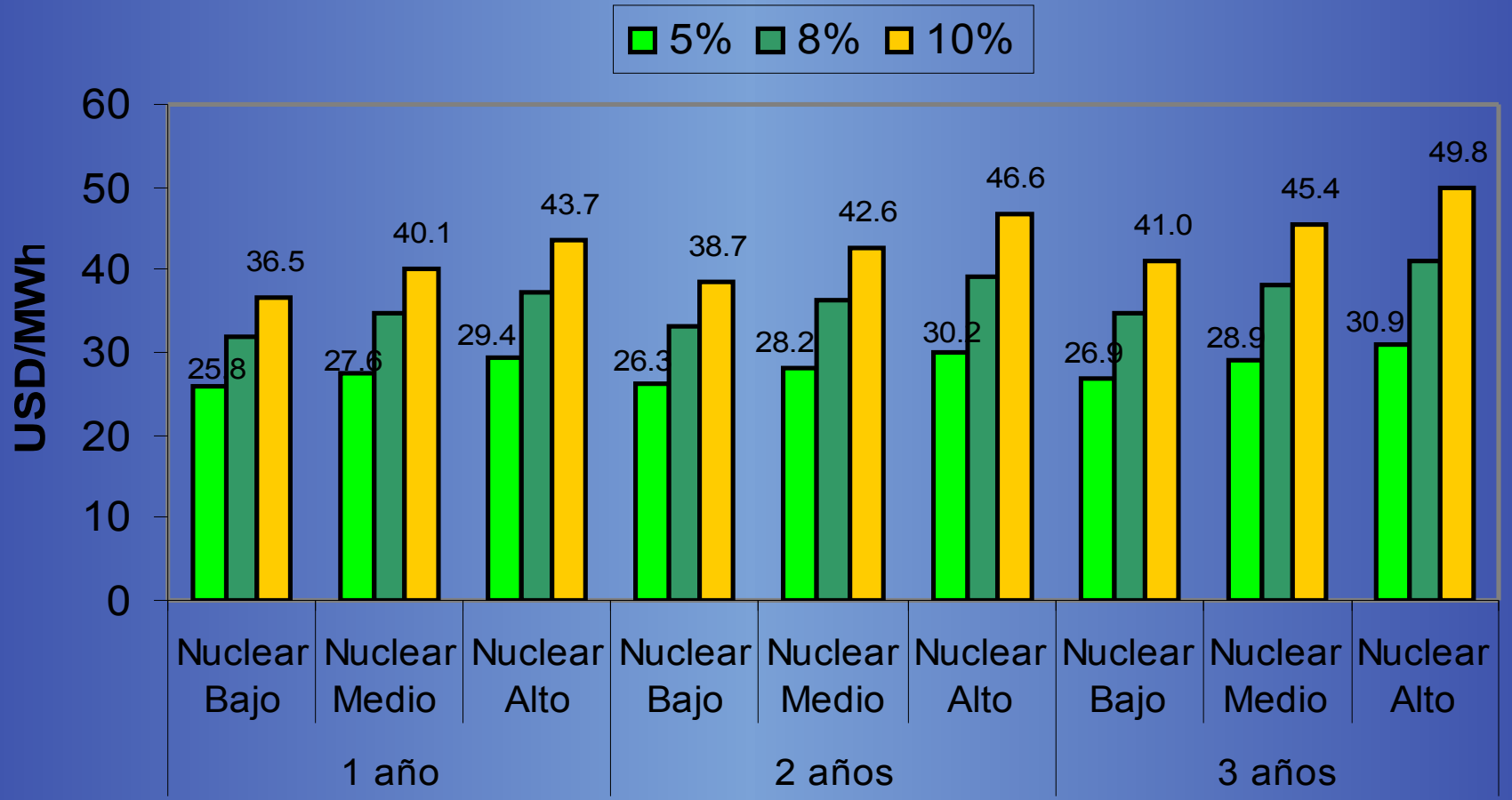
# Costos de Inversión suponiendo retrasos en el inicio de operación comercial



Costo de Inversión base 2910.61 (Nuclear Alto a 10%)



# Costos Nivelados suponiendo retrasos en el inicio de operación comercial



CTNG original

Tiempo de Retraso

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| Bajo  | 25.26 | 30.51 | 34.53 |
| Medio | 26.99 | 33.13 | 37.81 |
| Alto  | 28.73 | 35.74 | 41.09 |

# Sensibilidad al tiempo de Construcción



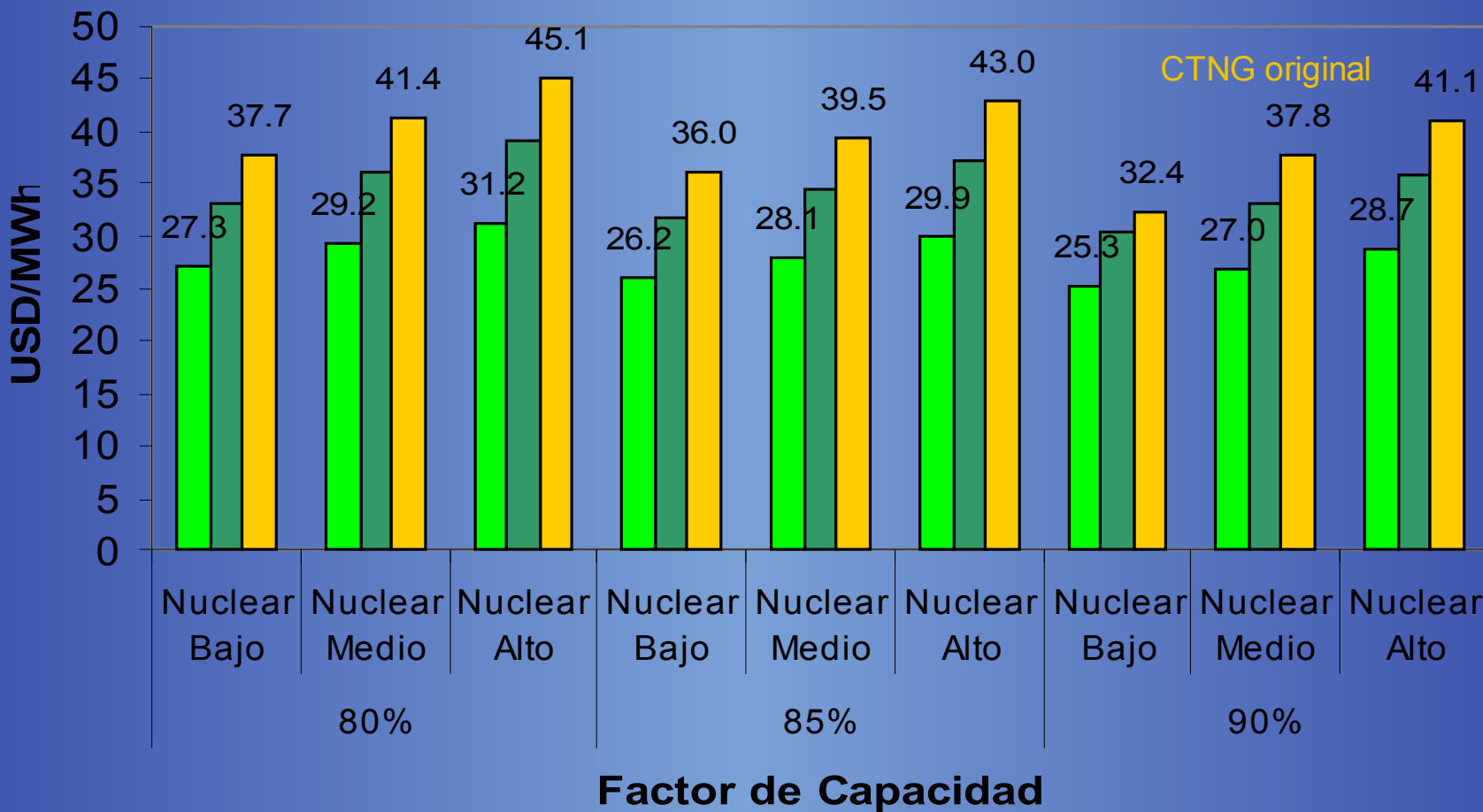
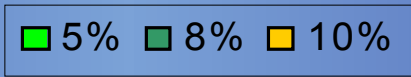
- Si el flujo de capital se expande en el tiempo, el costo nivelado se incrementará hasta en un 11.3%
  - Desde 41.09 USD/MWh hasta 45.74 USD/MWh para el escenario Nuclear Alto y una tasa de descuento del 10%
  - El costo de inversión se incrementará en 516 millones de dólares.
- En el caso de un retraso en el inicio de operación comercial de 3 años, el costo nivelado se incrementará hasta en un 21.1%
  - Será de 49.77 USD/MWh para el escenario Nuclear Alto y una tasa de descuento del 10%
  - La inversión se incrementará hasta un 33% (963 millones de dólares).



# Sensibilidad al Factor de Capacidad

Se supone que el factor de capacidad es menor al postulado

# Costos Nivelados suponiendo diferentes factores de capacidad



# Sensibilidad al Factor de Capacidad

- El análisis de sensibilidad del factor de capacidad mostró que al cambiar el factor de capacidad del 80% al 90% el costo nivelado decrece hasta un 9%.
  - En el caso nuclear alto y a una tasa de descuento del 10% el costo nivelado decrece de 45.09 a 41.09 USD/MWh.
  - Lo anterior hace una diferencia de 4 USD/MWh.



# Discusión



- En el caso base analizado, el costo nivelado de la electricidad generada por medios nucleares, es Menor que el costo nivelado utilizando gas.
- En el escenario supuesto de que tome más de 5 años construir una planta nuclear, el costo nivelado muestra que la opción nuclear es competitiva en comparación con las plantas de ciclo combinado basadas en gas para precios del gas hasta 5.20 USD/mmBTU, y más barata para precios del gas mayores a este valor.

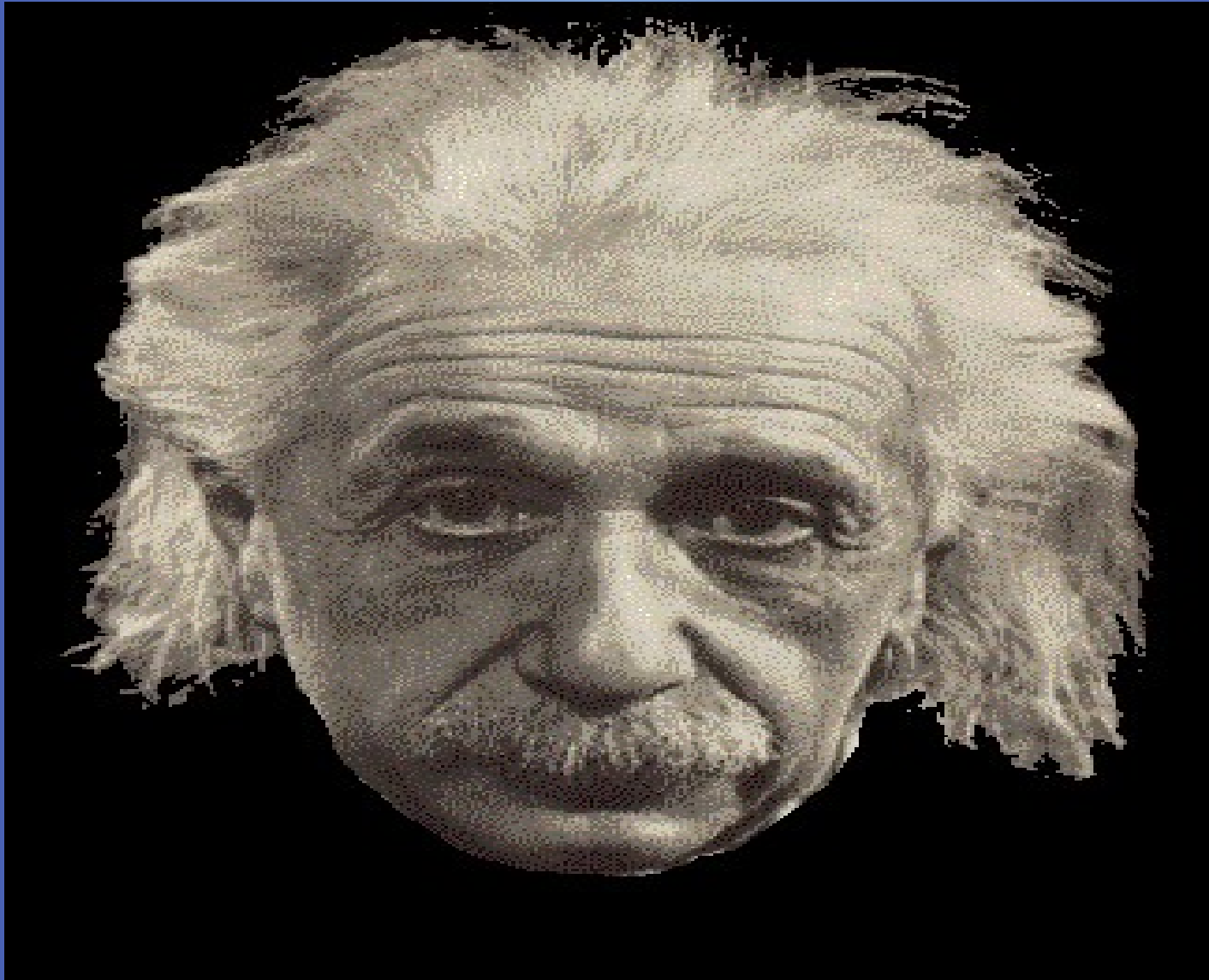
# Discusión



- En el caso de que el proyecto nuclear se retrase hasta 3 años, la opción nuclear sigue siendo competitiva comparada con el gas, y es aún más barata si el precio del gas es mayor ó igual a 7 USD/mmBTU.
- La diferencia al considerar un factor de capacidad del 80%, en lugar de un factor de capacidad del 90% en una planta nuclear nueva, es que el costo nivelado se incrementaría en 4 USD/MW.

# Conclusión

- En todos los escenarios analizados se encontró que las centrales nucleares son una forma competitiva de producir electricidad, y deberían ser consideradas seriamente en cualquier programa de expansión eléctrica.



*"Not everything that can be counted counts, and  
Not everything that counts can be counted"*  
*Albert Einstein*

GRACIAS por su atención