

# Modelo de negociación bilateral- Aplicación de teoría de juegos y simulación de Montecarlo

Caso de estudio original: Diferendo marítimo entre Bolivia y Chile

Aplicación extensible: Caso empresarial y negocios

Diciembre 2021

## AGENDA

- Introducción y antecedentes
- Marco teórico
- Aplicación de la teoría de juegos y simulación de Montecarlo
- Conclusiones y consideraciones finales

## AGENDA

- **Introducción y antecedentes**
- Marco teórico
- Aplicación de la teoría de juegos y simulación de Montecarlo
- Conclusiones y consideraciones finales

- Presentada formalmente Von Neumann y Morgenstern (1944), la Teoría de Juegos (TJ) es una herramienta matemática que permite modelar la interacción de un conjunto de agentes dadas las estrategias que podrían asumir en una situación de conflicto o cooperación. El contexto en este tipo de situaciones es analizado formalmente con el objeto de proveer soluciones o descripciones de resultados finales a los cuales los agentes deberían razonablemente arribar (Arozema et.al., 2011).
- La TJ sirvió para estudiar eventos considerados como asuntos de estado de tipo tácticas bélicas (Berkovitz y Dresher, 1959) (Kitchen Jr., 1962) y geopolíticas (Robinson, 1966).
- Algunas instituciones gubernamentales se apoyaron en esta rama de la matemática aplicada para guiar sus decisiones estratégicas ([www.rand.org](http://www.rand.org)).
- El caso de estudio originalmente abordado fue el diferendo marítimo entre Bolivia y Chile (confrontación bélica 1879 y 1884, firma del Tratado de Paz y Amistad de 1904, demanda en la Corte Internacional de Justicia en 2013). Sin embargo para la presente sesión se

- Posterior a la confrontación bélica de 1879 y el acuerdo de paz de 1904, el Gobierno Chileno efectuó una serie de manifestaciones unilaterales y participó en acuerdos bilaterales en diferentes instancias, con el objeto de negociar una salida soberana al Océano Pacífico para Bolivia.
- Sobre la base de estos hechos, en 2013 Bolivia demandó a Chile ante la Corte Internacional de Justicia (CIJ), fundando sus argumentos jurídicos bajo el principio de Estoppel, la aquiescencia, el derecho de los tratados, las expectativas legítimas y los Actos Unilaterales de los Estados.
- El objeto de esta demanda hace referencia a “la obligación de Chile de negociar de buena fe y de manera efectiva con Bolivia con el fin de llegar a un acuerdo que otorgue a Bolivia un acceso plenamente soberano al Océano Pacífico”.

## AGENDA

- Introducción y antecedentes
- Marco teórico
- Aplicación de la teoría de juegos y simulación de Montecarlo
- Conclusiones y consideraciones finales

## Juegos de Negociación

**Definición 1.** Un juego de negociación entre dos agentes consiste en un conjunto de estrategias factibles  $S \neq \emptyset$ , funciones de utilidad  $u_i: S \rightarrow \mathbb{R}$  para cada agente  $i$  y un vector  $\mathbf{d} = (d_1, d_2)$  denominado punto de desacuerdo.

1.  $u_1(s) \geq d_1$  y  $u_2(s) \geq d_2$
2. Al menos para un  $s \in S$  se tiene que  $u_1(s) \geq d_1$  y  $u_2(s) \geq d_2$

Un reparto eficiente  $s_1 + s_2 = D$ ; las propuestas suman toda la utilidad  $U = D$

Solución Nash (1950) una solución óptima  $(\phi_N)$  consiste en  $(s_1, s_2) \in S$  que resuelve

$$\max (u_1 - d_1)(u_2 - d_2)$$

**Propiedad 1: Eficiencia.** Una solución  $s^* \in S$  es eficiente, si no existe un resultado  $s \in S$  que satisfaga:

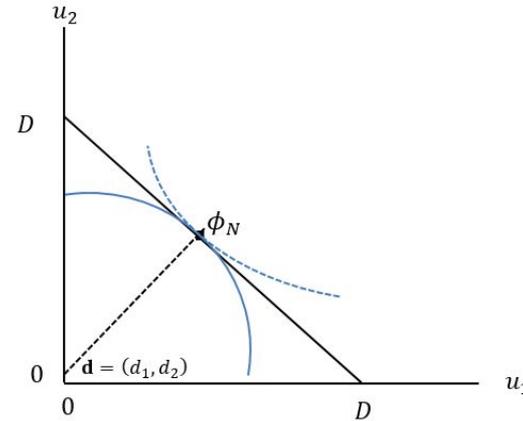
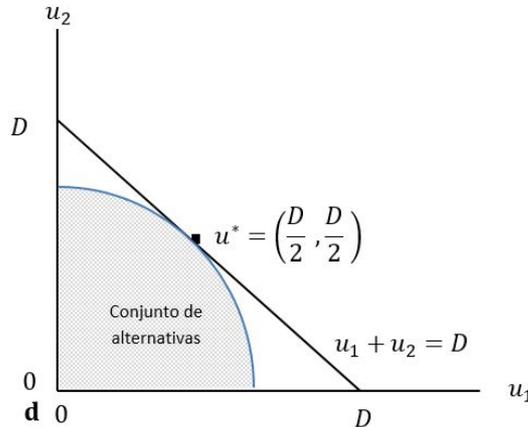
1.  $u_1(s) \geq u_1(s^*)$  y  $u_2(s) \geq u_2(s^*)$  y
2.  $u_i(s) > u_i(s^*)$  para al menos un jugador  $i$

El juego es eficiente cuando la suma de las propuestas no excede  $D$  (recta)

**Propiedad 2: Invarianza lineal en la negociación.** Dada una solución  $s^* = (u_1^*, u_2^*)$ , puede expresarse como  $(k_1 u_1^*, k_2 u_2^*)$ . Cualquier transformación escalar de las utilidades se traduce en una modificación de la solución en la misma escala.

**Propiedad 3: Independencia de alternativas irrelevantes.** Dado que  $s^*$  es la solución, es posible que previamente hayan descartado varias soluciones  $s_i$  que resultan ser irrelevantes, aunque la probabilidad de hallazgo de  $s^*$  haya sido escasa.

**Propiedad 4: Simetría.** Esta propiedad se refiere a la existencia de una solución  $s^*$  que sea simétrica a la recta  $D$  y donde  $u_1(s) = u_2(s)$ .



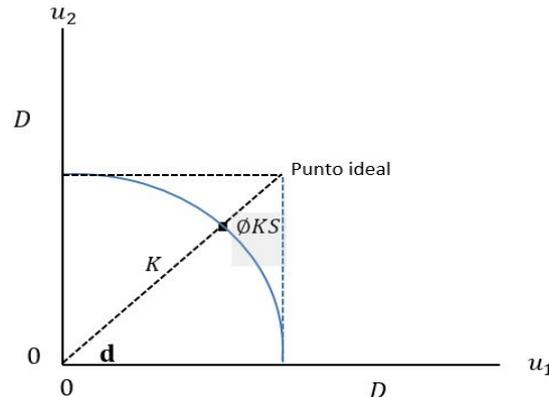
En 1975 Kalai y Smorodinski (K-S) cuestionaron la propiedad de independencia de alternativas irrelevantes de Nash, dado que una mejor solución es posible cuando sus posibilidades de negociación se expanden.

## Solución Kalai-Smorodinsky

La línea  $(K - S)$  con pendiente  $k = \frac{u_2 - d_2}{u_1 - d_1}$  pasa por el punto de desacuerdo.

La solución  $(\phi_{K-S})$  para un juego corresponde al punto más alejado  $(u_1^*, u_2^*)$  sobre la línea  $(K - S)$  y que se encuentra en el conjunto de asignación de utilidades  $U$ .

La solución del juego es:  $u_1^* = \max\{u_1(s) : s \in K\}$  y  $u_2^* = k(u_1^* - d_1) + d_2$

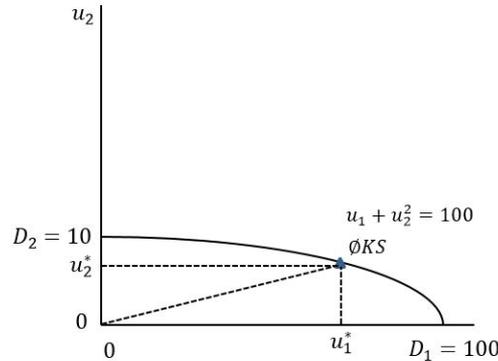


## Aversión al riesgo

La aversión al riesgo es un elemento explicativo de la toma de decisiones, puede afectar la propiedad de simetría en la solución de un juego (Gardner, 2009).

Dado el jugador 1 neutral al riesgo  $u_1 = (s_1)$  y el jugador 2 adverso al riesgo con  $u_2 = (s_2)^b$ , donde  $b < 1$ . Se tiene la siguiente curva de asignación  $u_1 + (u_2)^{1/b} = D$ ; para un valor de  $b = 0,5$  y  $D = 100$  se tiene:

Aversión al riesgo y solución asimétrica Kalai-Smorodinsky



La ganancia del jugador neutral al riesgo es  $u_i = D / (1 + b_j)$

## AGENDA

- Introducción y antecedentes
- Marco teórico
- Aplicación de la teoría de juegos y simulación de Montecarlo
- Conclusiones y consideraciones finales

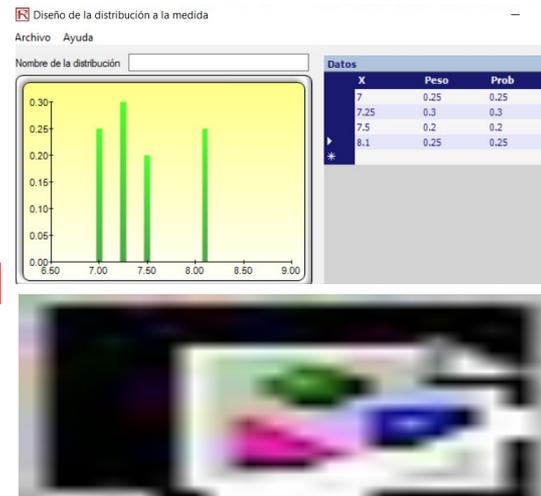
Se propone un escenario para un juego de negociación fundamentado en los siguientes supuestos:

- Encontrar un escenario en el cual la aversión al riesgo por parte de Chile sea mayor.
- Una oferta de Bolivia que consistiría en el abastecimiento del 31% de la demanda de gas natural de Chile. Los fundamentos de esta oferta son: a) El porcentaje señalado es equivalente a 1,35% del PIB de Bolivia que representa la pérdida por su condición de país mediterráneo (\$us446 millones para 2016); b) La demanda de gas natural por parte de Chile mostró un comportamiento estable en los últimos años, lo cual demuestra su dependencia por este energético; y c) El conjunto de proveedores de bajos volúmenes de gas natural a Chile se diversificó en los últimos años. El principal proveedor (Trinidad y Tobago) se ubica geográficamente en el Caribe (Océano Atlántico) en un punto más alejado que Bolivia.
- Eventualmente la oferta podría complementarse con otro tipo de bien (hierro, litio, agua, etc.).



Se considera como parámetro de aversión al riesgo “Imagen–País” medible según 6 aspectos. La consideración de este tipo de parámetro se justifica por su relevancia en el contexto global actual.

A1	Imagen del Presidente como agente que posibilitaría una solución al conflicto;
A2	Imagen de autoridades diplomáticas gubernamentales;
A3	Imagen de la democracia;
A4	Imagen país como demandante/demandado justo de una salida marítima;
A5	Imagen país en cuestión de acatamiento de resoluciones de conflictos de manera pacífica y diferendos entre países (Pacto de Bogotá - Corte de la Haya)
A6	Imagen país en cuestión de acatamiento de disposiciones internacionales (Organización de Estados Americanos)

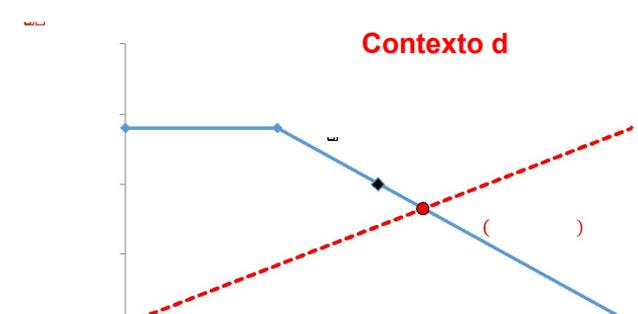
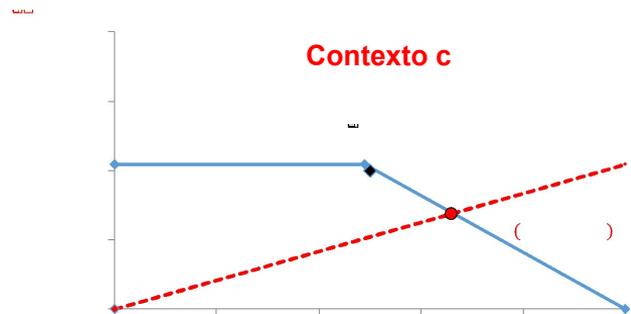
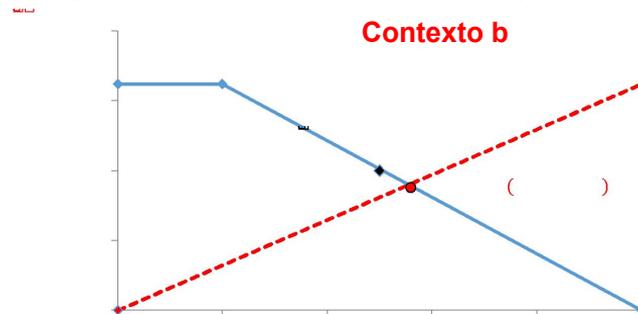
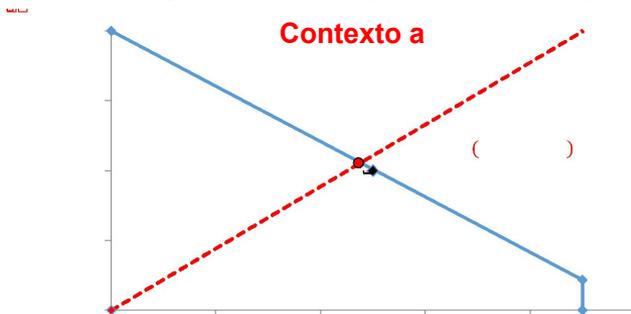


Se calcularon parámetros de aversión al riesgo ( $b$ ). Para evitar sesgos en el cálculo de la solución ( $\phi_{K-S}$ ), las magnitudes y ponderaciones asignadas a funciones de distribuciones estadísticas personalizadas y sometidas a procesos de simulación de Montecarlo considerando la correlación entre variables.



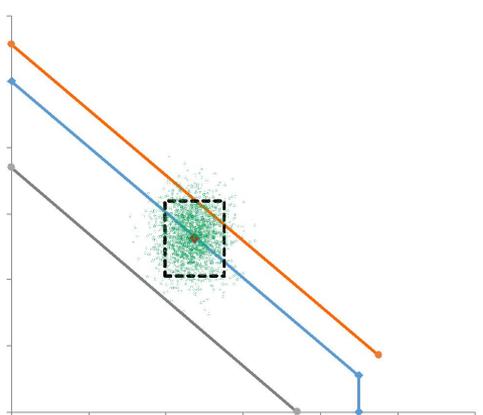
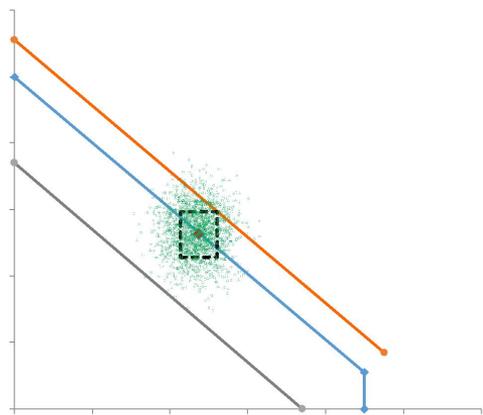
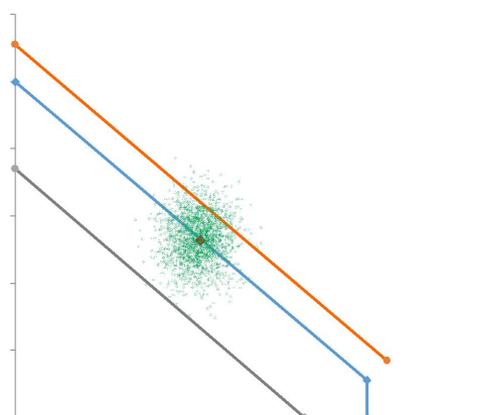
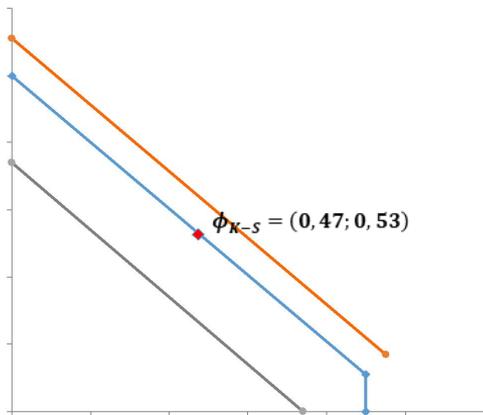
- Se asignó ponderaciones a cada aspecto y se estableció un rango jerárquico entre 1 y 10 para su evaluación.
- Para establecer las magnitudes de pesos y de los aspectos se recurrió a la opinión experta (método Delphi) de historiadores, diplomáticos y profesionales del ámbito de relaciones internacionales.
- Los valores de cada aspecto fueron cambiando de acuerdo a la percepción de las personas entrevistadas en los siguientes contextos: a) Período previo a la demanda presentada por Bolivia en la CIJ; b) Julio de 2014, Chile presentó una objeción de incompetencia contra la CIJ; c) 24 septiembre de 2015, la CIJ rechazó la objeción presentada por Chile sobre su competencia en la disputa por el acceso al mar de Bolivia; y d) Período posterior al 28 de marzo de 2018, fecha en la que finalizó los alegados orales presentados por los equipos jurídicos en la CIJ.

	Contexto a	Contexto b	Contexto c	Contexto d
Bolivia	0,72	0,71	0,88	0,73
Chile	0,81	0,57	0,47	0,50
Diferencial	-0,09	0,14	0,42	0,23



## Solución basada en áreas - rango de probabilidades

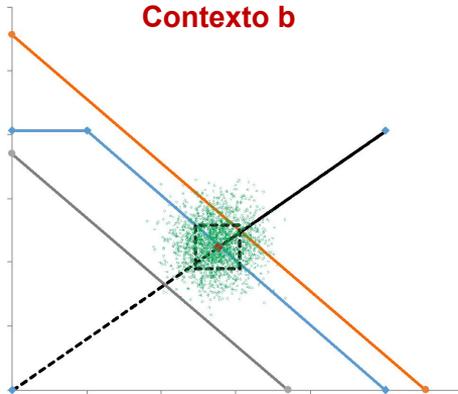
- Es una alternativa a la solución puntual ( $\phi_{K-S}$ ) presentada anteriormente.
- Su aplicación se fundamenta cuando la información no es precisa, para este caso en particular cuando: i) el parámetro ( $b$ ) presenta márgenes de volatilidad, ii) la existencia de dos o más rectas  $D_i$ , dado que la valoración de utilidades de los agentes podría diferir entre sí; ello incidiría a su vez en las posibilidades de negociación, mismas que podrían expandirse o contraerse.
- Para su cálculo se toma en cuenta el contexto a), en él se incorpora las rectas  $D_i$  y  $D_j$ , dos fronteras adicionales producto de información de costos estimados en términos de PIB (1,5% y 1%). La volatilidad es incorporada mediante una función de distribución de probabilidad normal, el proceso de simulación permite generar una nube de puntos alrededor del resultado inicial
- Finalmente se construye áreas de solución, para el primer caso dimensionado con  $\pm 1$  desviación estándar para cada escenario.



## Contexto a

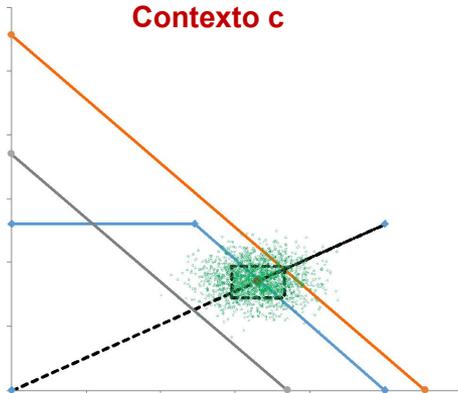
Área	Desviaciones estándar	Valores mínimos (x,y)	Valores máximos (x,y)	Porcentaje Intra-área	Escenarios favorables	
					Bolivia	Chile
1	1,000	0,427 ; 0,457	0,520 ; 0,596	47,8%	23,5%	76,5%
2	1,645	0,395 ; 0,410	0,552 ; 0,643	80,5%	23,5%	76,5%

**Contexto b**

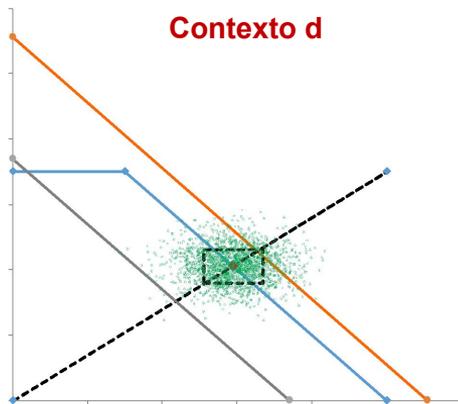


Contexto	Área	Desviaciones estándar	Valores mínimos (x,y)	Valores máximos (x,y)	Porcentaje Intra-área	Escenarios favorables	
						Bolivia	Chile
b	1	1,00	0,491 ; 0,381	0,609 ; 0,519	47,1%	86%	14%
c	1	1,00	0,588 ; 0,291	0,732 ; 0,389	48,2%	99%	1%
d	1	1,00	0,528 ; 0,652	0,351 ; 0,469	46,9%	97%	3%

**Contexto c**



**Contexto d**



## AGENDA

- Introducción y antecedentes
- Marco teórico
- Aplicación de la teoría de juegos y simulación de Montecarlo
- Conclusiones y consideraciones finales

- En la presente sesión se presentó un modelo de negociación bilateral para el caso del diferendo marítimo entre Bolivia y Chile desde un enfoque de teoría de juegos. Dadas las particularidades de esta rama de las matemáticas se constituye en una importante herramienta para el análisis de este tipo de situaciones.
- La aplicación de los conceptos de los juegos de negociación y la inclusión de aspectos de evaluación permitieron estimar los grados de aversión al riesgo para ambos países ante una eventual negociación.
- Se consideró la Imagen–País como parámetro de aversión al riesgo, la consideración de este elemento se justifica por su relevancia en el contexto global actual. Por lo cual, la pérdida de beneficios está directamente relacionada con el grado de deterioro de la imagen de un país en el contexto internacional.

- De manera complementaria se planteó una solución basada en áreas, los puntos que representan eventuales soluciones fueron generados mediante procesos de simulación de Montecarlo y validados según 1 desviación estándar.
- La consideración de distintos contextos permitió observar la evolución de los grados de aversión al riesgo de ambos agentes.
- El modelo planteado y los elementos presentados permiten extender su aplicación al ámbito de la negociación empresarial y de negocios.

# Modelo de negociación bilateral- Aplicación de teoría de juegos y simulación de Montecarlo

Caso de estudio original: Diferendo marítimo entre Bolivia y Chile

Aplicación extensible: Caso empresarial y negocios

Diciembre 2021

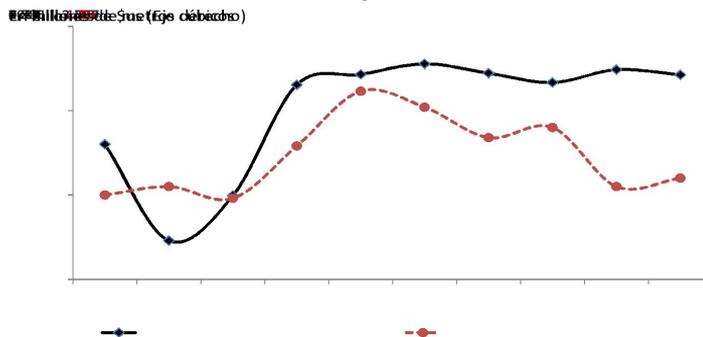
- Para su aplicación en el ámbito empresarial y de negocios, se proponen los siguientes aspectos.

A1	Grado de necesidad por la compra/venta del bien o servicio
A2	Grado de dependencia del ofertante/demandante del bien o servicio
A3	Poder de mercado del ofertante/demandante (fijación de precios y cantidades)
A4	Premura por la compra/venta del bien o servicio
A5	Imagen empresarial del ofertante/demandante del bien o servicio
A6	Otro(s) aspecto a ser considerados



La demanda de gas natural por parte de Chile mostró un comportamiento estable.

**Chile: Valor y volumen de demanda de gas natural**  
(En millones de metros cúbicos y billones de dólares estadounidenses)



El conjunto de proveedores de bajos volúmenes de gas natural a Chile se diversificó.

**Chile – Países proveedores de gas natural de petróleo (En porcentajes)**

Países	2011	2012	2013	2014	2015
Trinidad y Tobago	21,0%	59,0%	47,0%	53,0%	61,0%
Estados Unidos	13,0%	17,0%	23,0%	28,0%	21,0%
Argentina	22,0%	12,0%	17,0%	12,0%	9,6%
Guinea Ecuatorial	24,0%	8,4%		2,6%	3,4%
Qatar	12,0%		2,8%	1,8%	
Yemen	3,9%	2,4%	4,9%		
Indonesia	1,3%	0,6%			
Noruega		0,6%		0,6%	1,7%
Egipto		1,7%	3,4%		
Perú			0,9%	1,7%	1,4%
Italia			0,1%	0,04%	0,01%
Grecia					0,00%
Suiza					0,00%
Corea del Sur					0,04%

