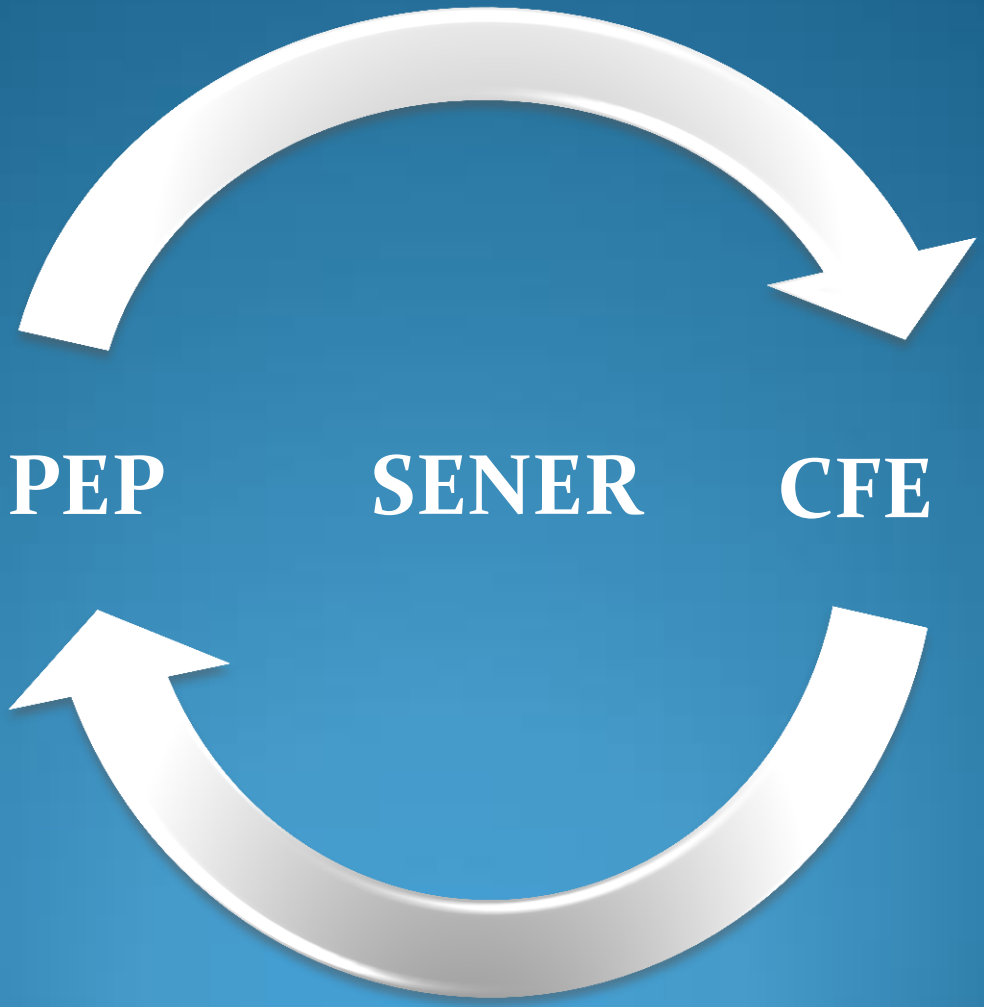
Proyectos CCUS



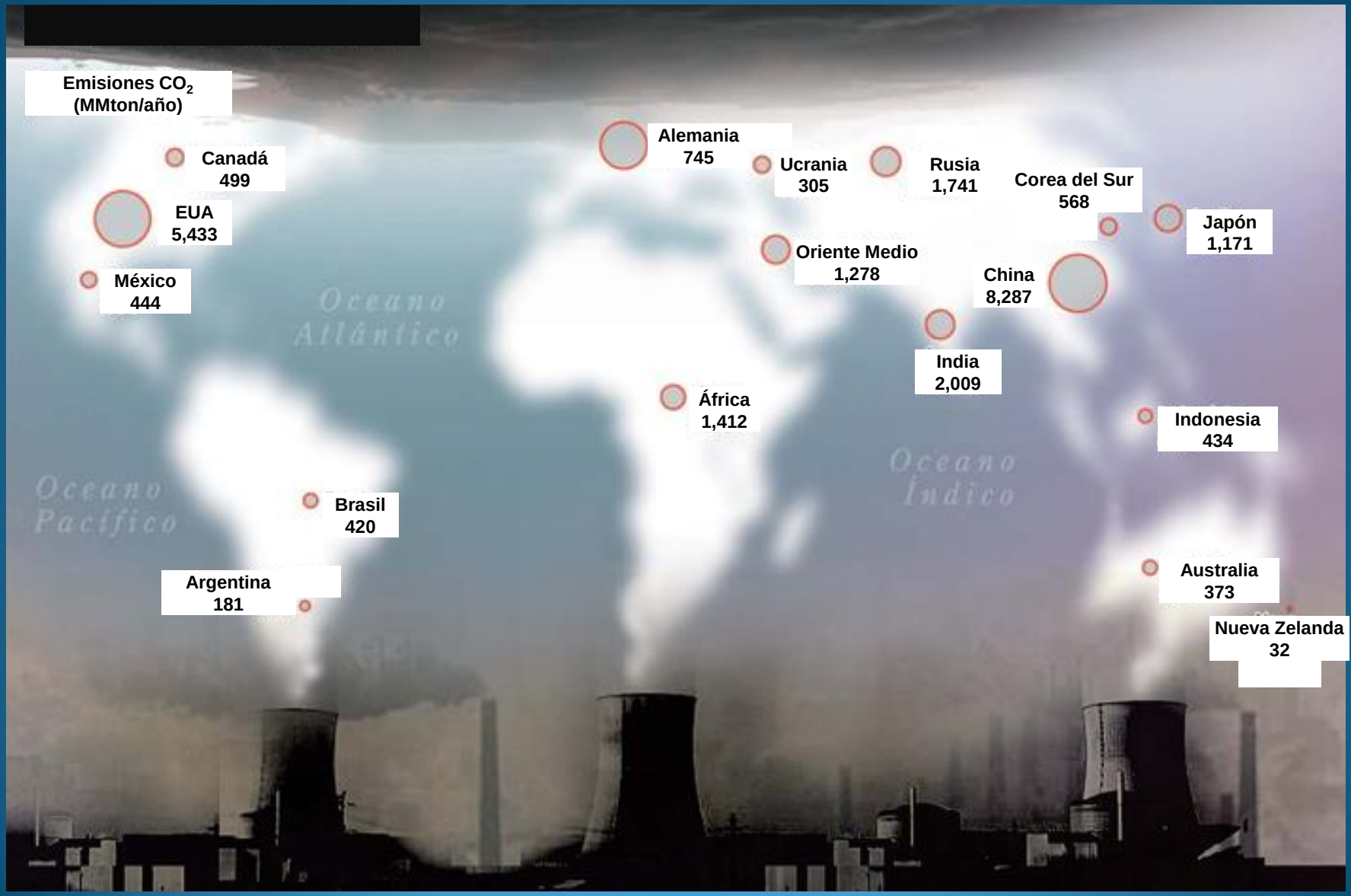
Junio, 2016

Contenido

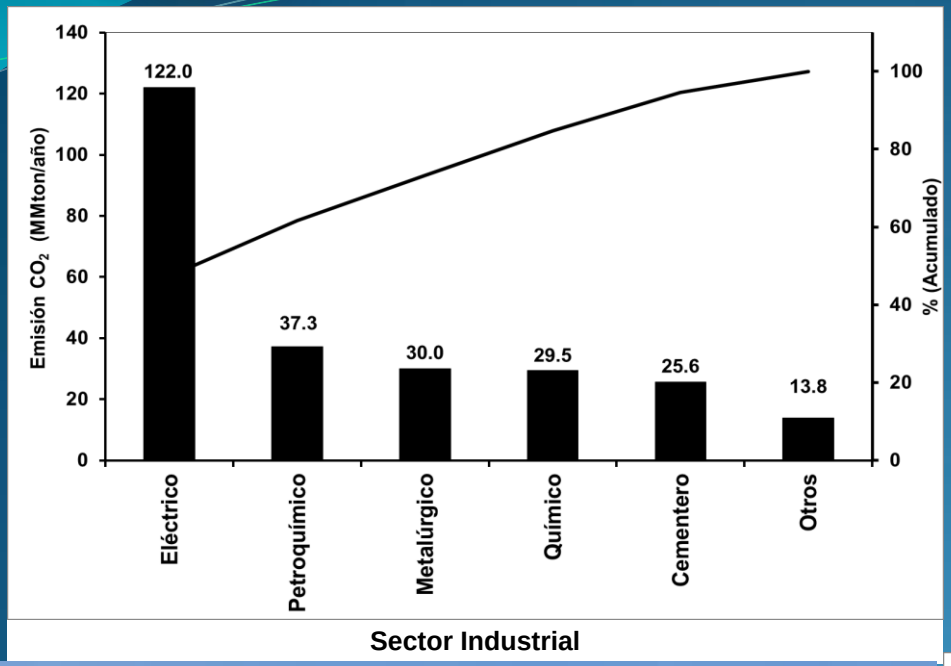
- Emisiones Nacionales de CO_2
- Logística y Criterios
- Localización de Fuentes de CO_2
- Proyectos CCUS
- Conclusiones

Emisiones Mundiales

25,000 MMton CO_2

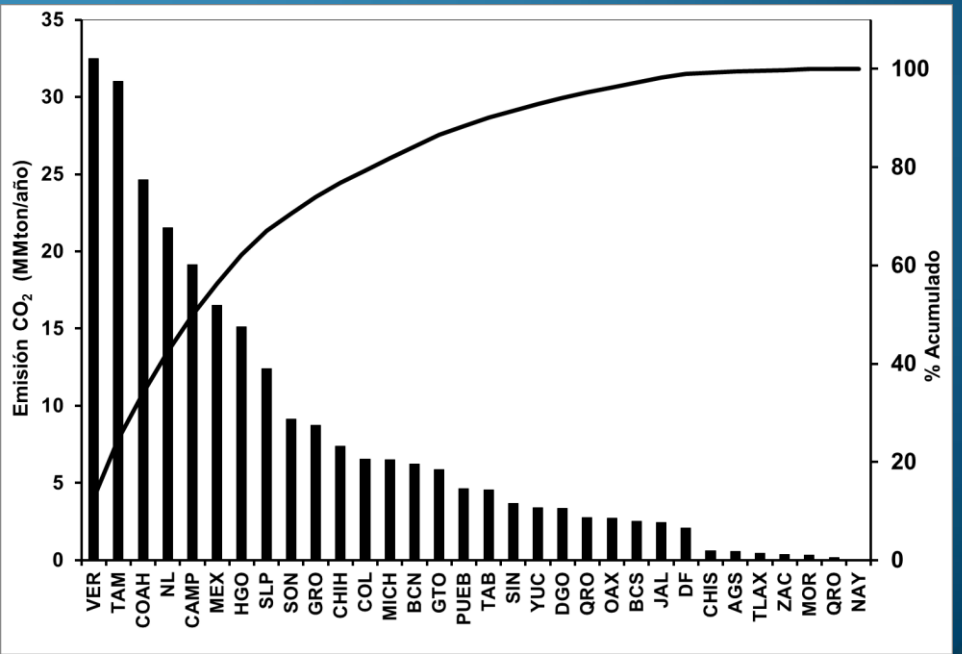


Emisiones Nacionales de CO_2

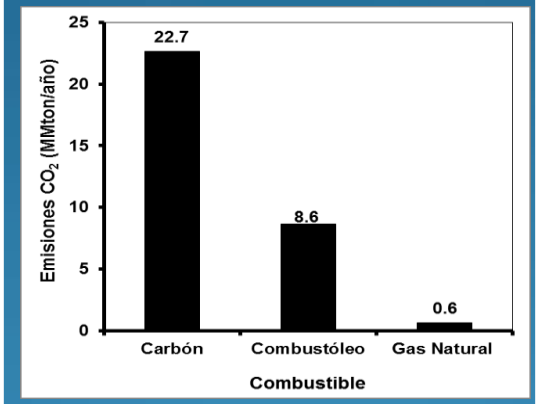
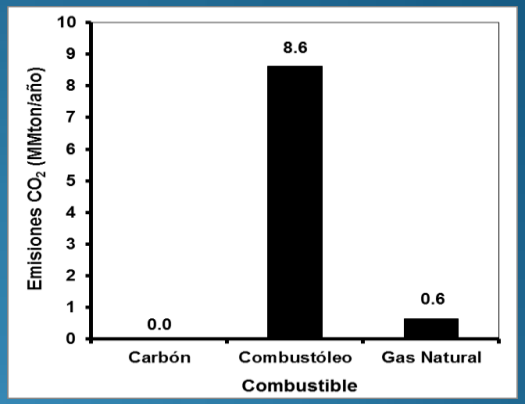
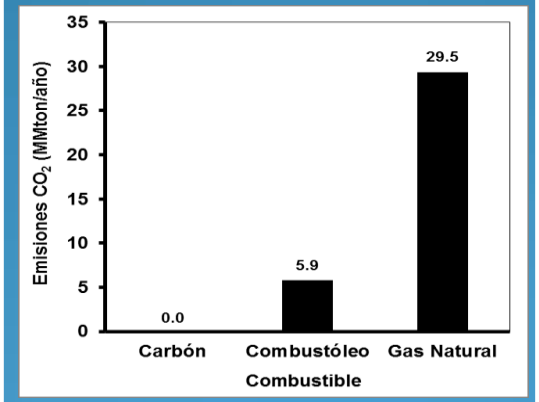
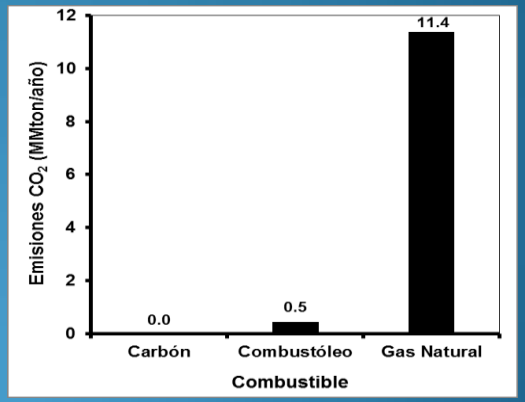


Del total emitido:

- Dos sectores: el eléctrico y el petroquímico, aportan 62%.
- Dos estados: Veracruz y Tamaulipas, reportan 25%.



Emisiones Nacionales de CO_2

Fuente / Lugar	México	Veracruz y Tamaulipas
Termoeléctricas		
Petroquímicas		

Logística y Criterios

Fuente **Transporte** **Distribución** **Yacimiento**

Radio máximo: 100 kilómetros

Tonelaje mínimo: 1.00 MMton CO_2/año

Criterio	Corto Plazo	Largo Plazo
Fuente	Coque, Combustóleo y Diesel	Gas Natural
Yacimiento	Sector Público	Sector Público

Fuentes CO_2

Carboeléctrica Río Escondido
CFE Altamira
Refinería Madero
CFE Tuxpan
CPQ´s Cosoleacaque,
Cangrejera y Morelos
Carboeléctrica Petacalco
Atlas Nacional
de Emisiones de CO2
Fuentes Fijas que Emiten CO2
Generación de Energía Eléctrica
Industria del Gas, Petróleo y Petroquímica
Industria del Cemento y la Cal
Industria Metalúrgica, Siderúrgica y Metalmecánica
Industria Química
Bebidas Fermentadas y Alimentos
Industria de la Celulosa y el Papel
Industria del Vidrio
Industria Automotriz
Industria de Pinturas y Tintas
Explotación de Minerales no Metálicos
Textiles Plásticos e Impresos
Agropecuaria
Centros Logísticos y de Atención Hospitalaria
Eléctricos, Electrónicos y Electrodomésticos
Tratamiento de Residuos Peligrosos
Industria del Asbesto
Industria Maderera
Emisiones de CO2 Anuales
(Toneladas)
0 - 250,000
250,001 - 500,000
500,001 - 750,000
750,001 - 1,000,000
> 1,000,000
250 125 0 250 500
Kilómetros
250 125 0 250 500
millas

Proyectos CCUS

Corto y Mediano Plazo

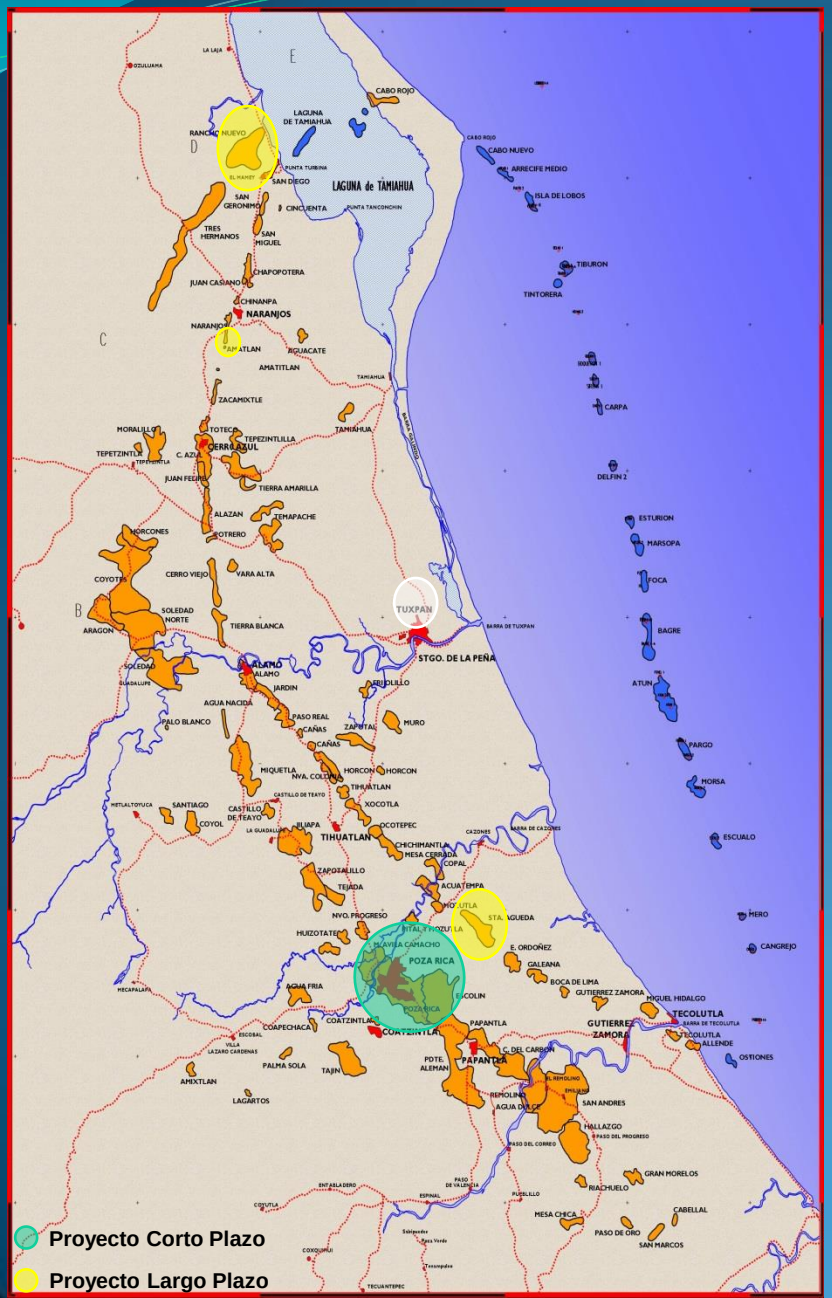
Fuentes: Proyectos Corto Plazo

Fuente	Tipo de Combustible	Unidades/ Instalaciones	Emisiones CO_2 (MMton/año) / (MMscf/d)	Distancia a Destino (km)	Costo CO_2 (usd/Mscf)
Central Termoeléctrica Altamira	Coque	2	2.00 (110)	9	2.5
Central Termoeléctrica Tuxpan	Combustóleo	3	7.30 (400)	65	2.5
Planta de Amoníaco Cosoleacaque	Gas Natural	3	0.77 (42.2)	65	1.4

Criterios:

- **Tonelaje mínimo: 1.0 MMton CO_2/año**
- **Radio máximo: 100 kilómetros**

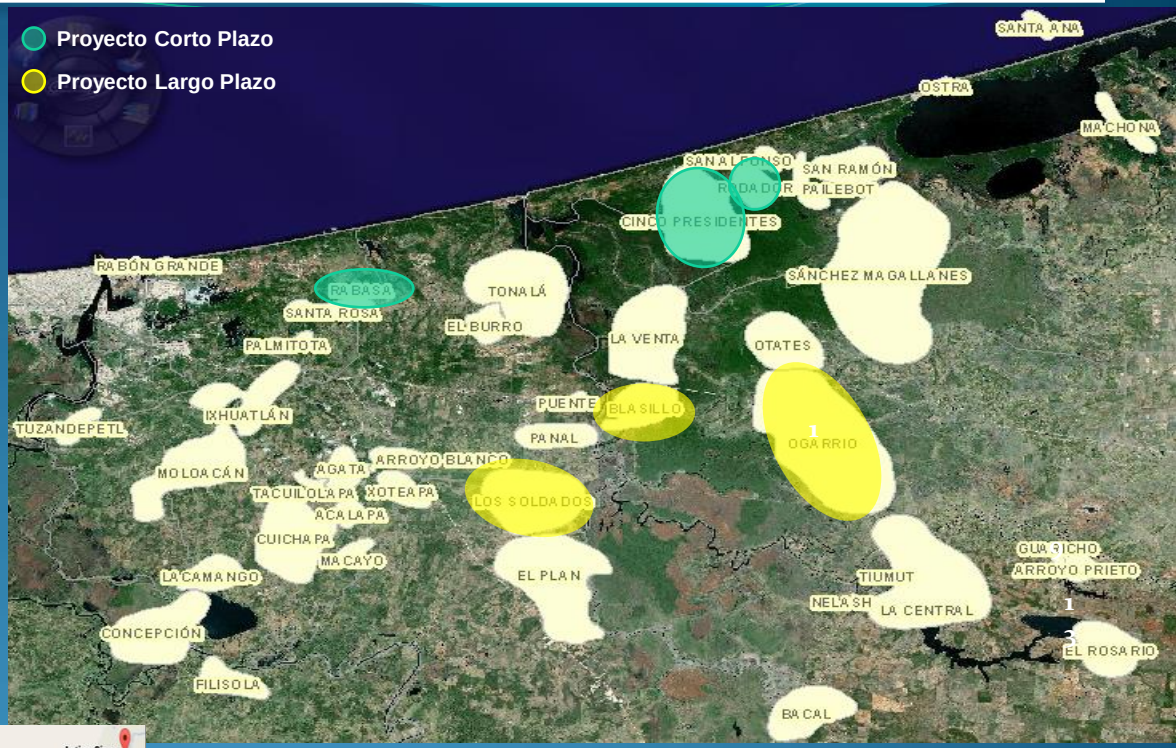
Análisis y Selección de Campos (RN)

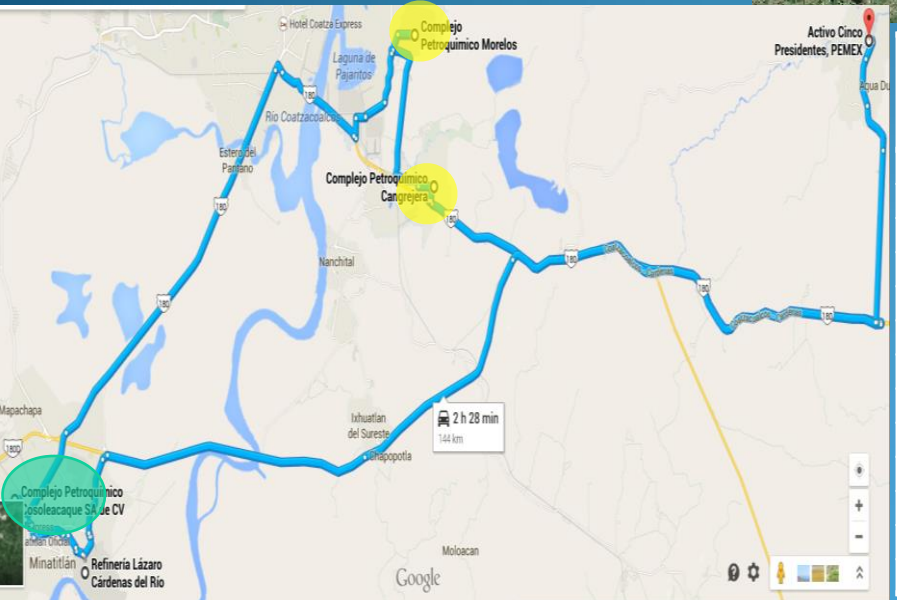


Campo	Volumen Original MMstb	Reserva Original MMstb	Np MMstb	Recurso Remanente MMstb	Reserva Remanente MMstb
Poza Rica	4,810	1,571.0	1,418.0	3,392	153
Tamaulipas Constituciones	2,608	348.4	274.7	2,333	74
Toteco Cerro Azul	1,257	379.6	376.1	881	3
Sur de Amatlán	452	137.2	134.9	317	2
Tres Hermanos	423	144.2	138.5	285	6
Santa Águeda	386	127.8	123.0	263	5
Jiliapa	134	43.2	39.6	94	4
Acuatempa	102	32.6	29.7	72	3
Rancho Nuevo	53	18.2	14.6	39	4
Aguacate	31	17.0	4.0	27	13

Campo	CO_2	Surfactante	Vapor
Poza Rica	🟡	🟢	🔴
Tamaulipas Constituciones	🟡	🟢	🔴
Aguacate	🔴	🟡	🟢
Tres Hermanos	🔴	🟡	🔴
Santa Águeda	🟡	🟡	🔴
Jiliapa	🔴	🟡	🔴
Rancho Nuevo	🟡	🟡	🔴
Acuatempa	🔴	🟡	🟢
Toteco Cerro Azul	🔴	🟡	🟢
Sur de Amatlán	🟡	🟡	🟡

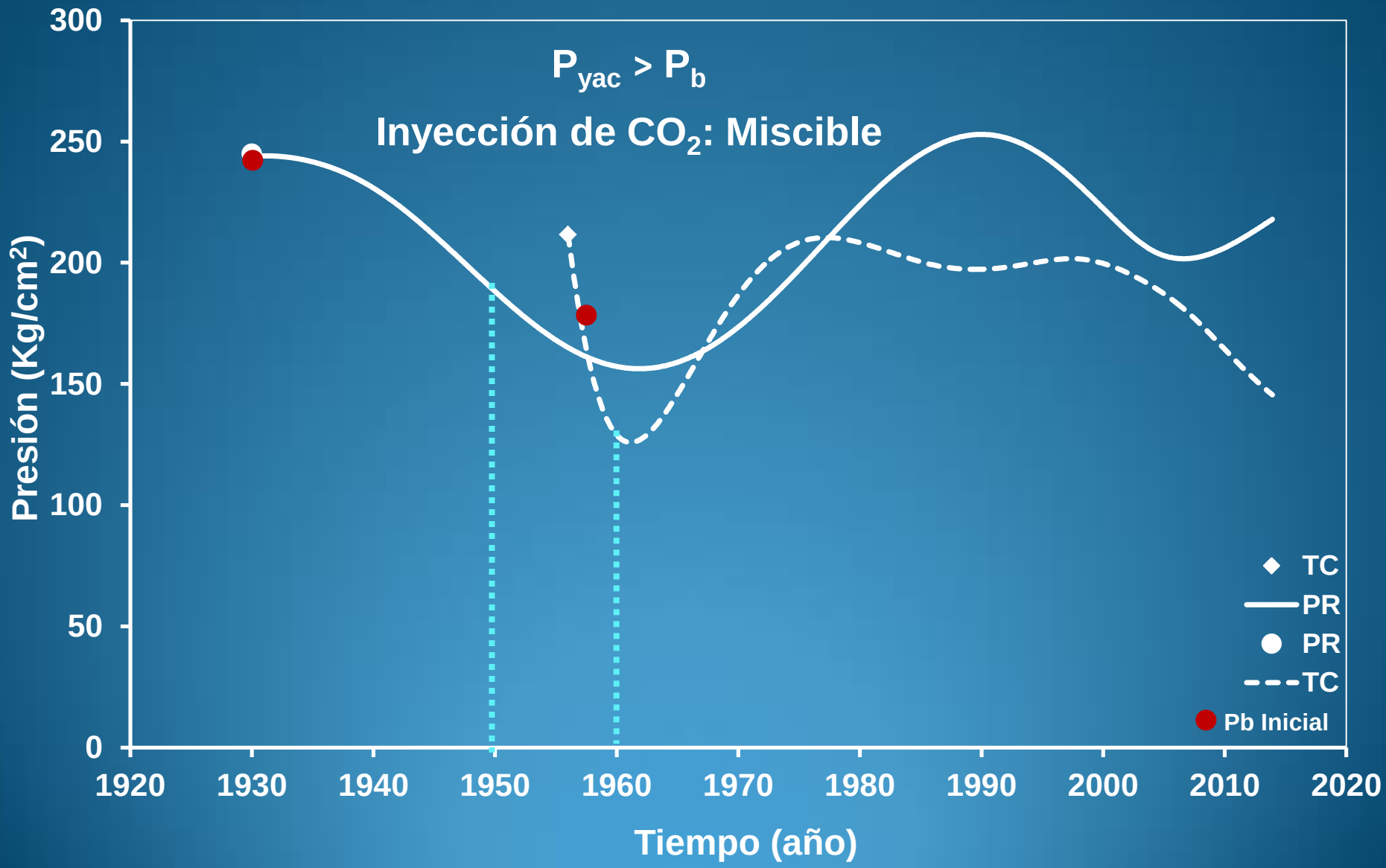
Análisis y Selección de Campos (RS)





Campo	Volumen Original MMstb	Reserva Original MMstb	Np MMstb	Recurso Remanente MMstb	Reserva Remanente MMstb
Ogarrio	1,006	258	208	798	50
Cinco Presidentes	1,044	339	314	730	24
San Ramón	476	126	98	379	28
Blasillo	299	81	67	232	14
Nelash	161	10	4	157	6
Bacal	230	111	106	124	5
Rodador	163	61	43	120	18
Los Soldados	133	48	37	96	11
Guaricho	116	49	36	80	13
Lacamango	107	35	31	76	4
Rabasa	95	42	24	72	18
Brillante	40	14	7	33	8
Arroyo Prieto	31	4	2	29	2

Comportamiento Presión



Campos en Fm. Carbonatos

Campos destino de Proyectos a Corto Plazo

Variable de Decisión	Tamaulipas Constituciones	Poza Rica
Tipo de Yacimiento	Bajo saturado	Saturado
Tipo de Roca	Carbonatos	Carbonatos
Acuífero	Parcialmente Activo	Activo
Profundidad Media (mvbnm)	1,900	2,200
Porosidad (%)	14	12 - 19
Permeabilidad (mD)	0.5-10	5 - 25
Gravedad (°API)	16 (13 actual)	30
Relación de Solubilidad @ Pb (scf/stb)	364	774
Presión Inicial (kg/cm^2)	215	245
Presión de Saturación (kg/cm^2)	174	245
Presión Actual (kg/cm^2)	150	215
Presión Mínima (kg/cm^2)	126	156
Temperatura de Yacimiento (°C)	90	92
Gasto Actual de Aceite (stb/d)	3,388	7,552
Relación Gas-Aceite (scf/stb)	1,078	1,425
Corte de Agua (%)	48	73
No. Pozos Productores	124	124
CO_2 (%mol) (min, prom, máx)	0.04, 0.94, 4.21	0.01, 13.7, 47.2

Interacción CO_2-Aceite, se considera miscible

Campos en Fm. Areniscas

- Campos destino de Proyectos a Corto Plazo

Variable de Decisión	Brillante	Rabasa	Cinco Presidentes
Tipo de Yacimiento	Bajo Saturado	Bajo saturado	Bajo saturado
Tipo de Roca	Calcarenitas	Calcarenitas	Calcarenitas
Acuífero	Inexistente	Inexistente	Inexistente
Profundidad Media (mvbnm)	2,100	3,600	3,000
Porosidad (%)	23	16	20
Permeabilidad (mD)	180	126	80 - 190
Gravedad (°API)	35	26	33
Relación de Solubilidad @ Pb (scf/stb)	713	657	674 - 949
Presión Inicial (kg/cm^2)	214	460	372
Presión de Saturación (kg/cm^2)	209	187	259
Presión Actual (kg/cm^2)	151	230 - 260	125
Presión Mínima (kg/cm^2)	151	230	125
Temperatura de Yacimiento (°C)	60	91	85
Gasto Actual de Aceite (stb/d)	893	19,268	5,539
Relación Gas-Aceite (scf/stb)	578	1,600	1,553
Corte de Agua (%)	17	11	32
No. Pozos	14	40	32
CO_2 (%mol) (min, prom, máx)	-	0.07, 0.15, 0.26	-

Interacción CO_2-Aceite:

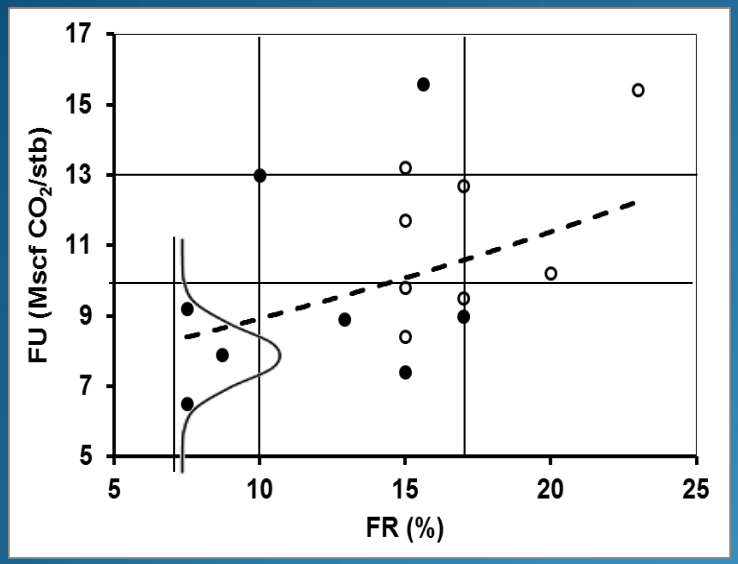
En Brillante y Cinco Presidentes, se considera será parcialmente miscible, y en Rabasa, miscible

Variables de Análisis Económico

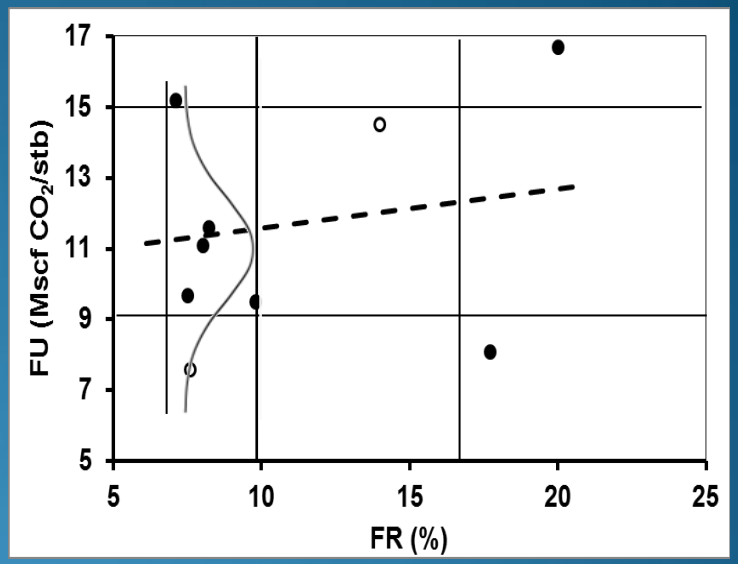
Concepto	Altamira-TC	Túxpan-PR	Cosoleacaque-5P
Oferta de CO_2 (MM ton/año)	2.00	7.30	0.77
Distancia Fuente – Destino (km)	9	65	65
No. Pozos Inyectores CO_2	50	100	20
CO_2 a Inyectar (MMscf/d/pozo)	2.0	4.0	2.0
Potencia Compresión Baja (bhp)	2,943	8,715	4,987
Presión Descarga en Baja (psig)	103	334	514
ID Tubería Baja (in)	24	36	12
Potencia Compresión Alta por Ramal (bhp)	2,499	2,849	2,226
Presión Descarga en Alta (psig)	1,196	1,321	1,071
ID Tubería Alta (in)	6	8	6
Presión en Cabeza (psig)	1,163	1,290	1,037
Espesor de Intervalo Disparado (m)	30	30	20
Profundidad de Disparos (mdbmr)	1,900	2,200	2,100

No. Proyectos Análogos

Areniscas (Permian Basin)



Carbonatos (Permian Basin y Golfo de México)



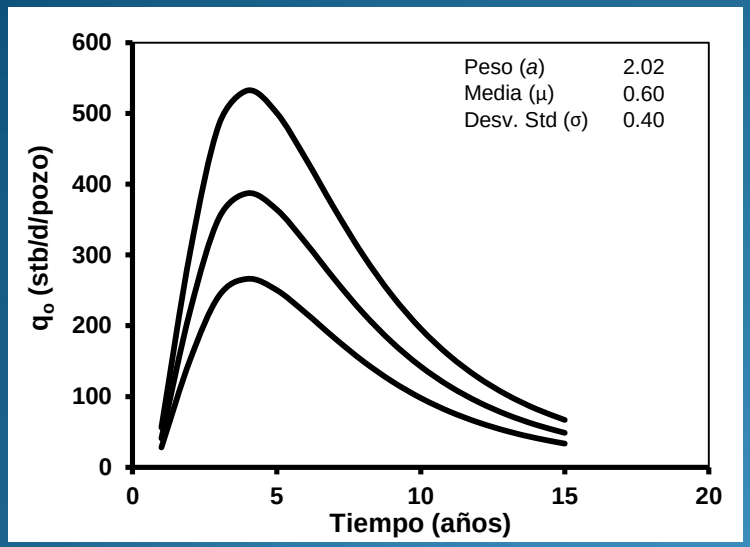
● Valor de utilización reportado
○ Valor de utilización inferido de un modelo de dos componentes: una determinista y otra estocástica

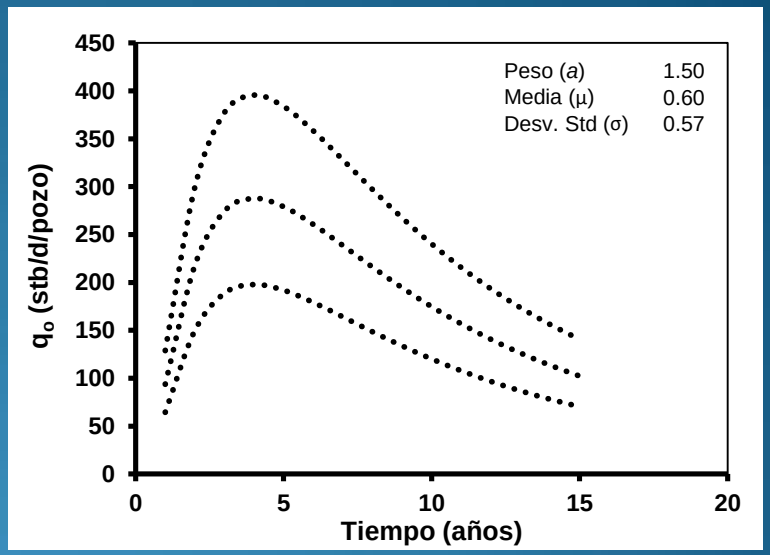
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	15	22	Suma/FU
15,000	0.00	12.50	6.25	18.75
12,000	0.00	18.75	6.25	25.00
9,000	18.75	37.50	0.00	56.25
Suma/FR	18.75	68.75	12.50	100.00

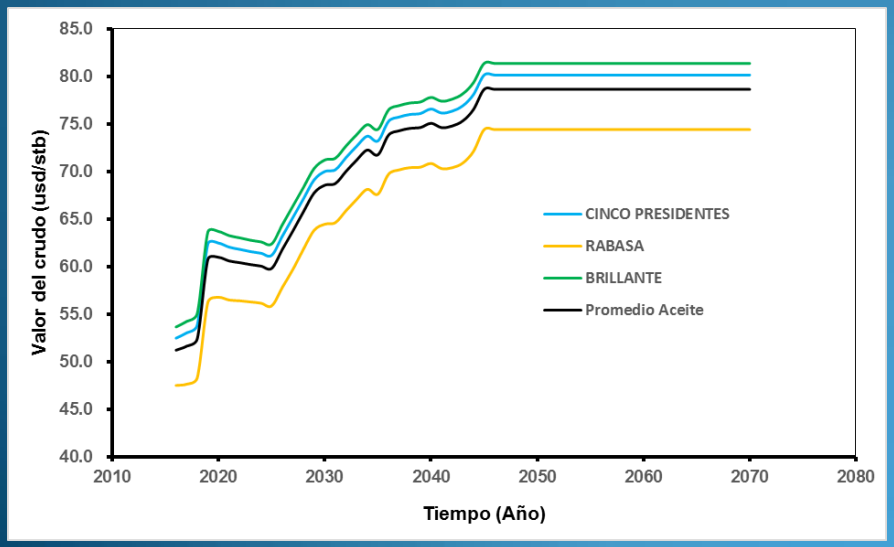
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

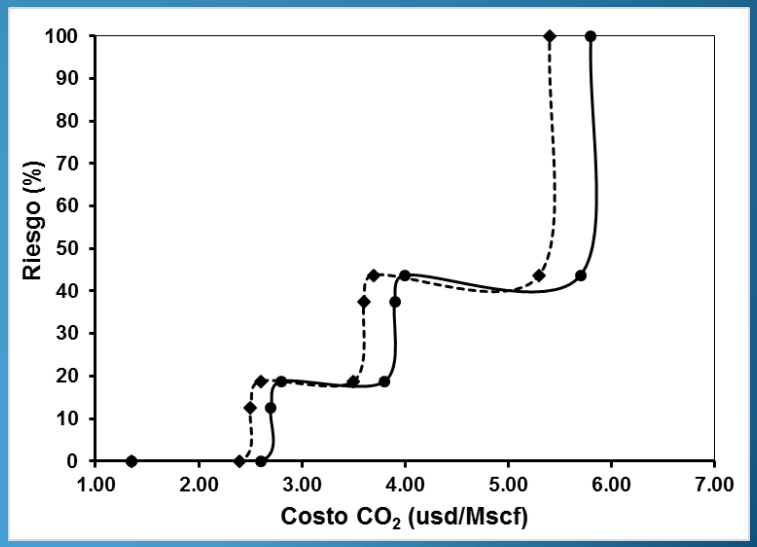
Evaluación Económica (EE)

$$q(t_n) = a * e^{-\left(\frac{\log_{10} t_n - \mu}{\sigma}\right)^2}$$



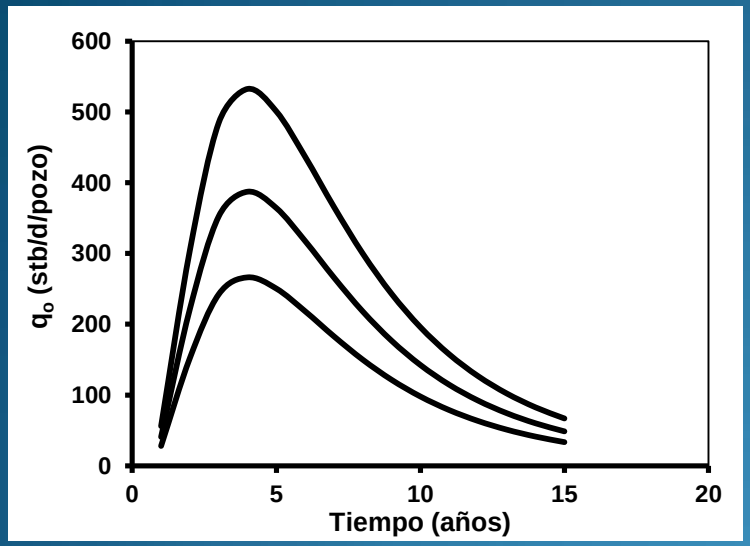




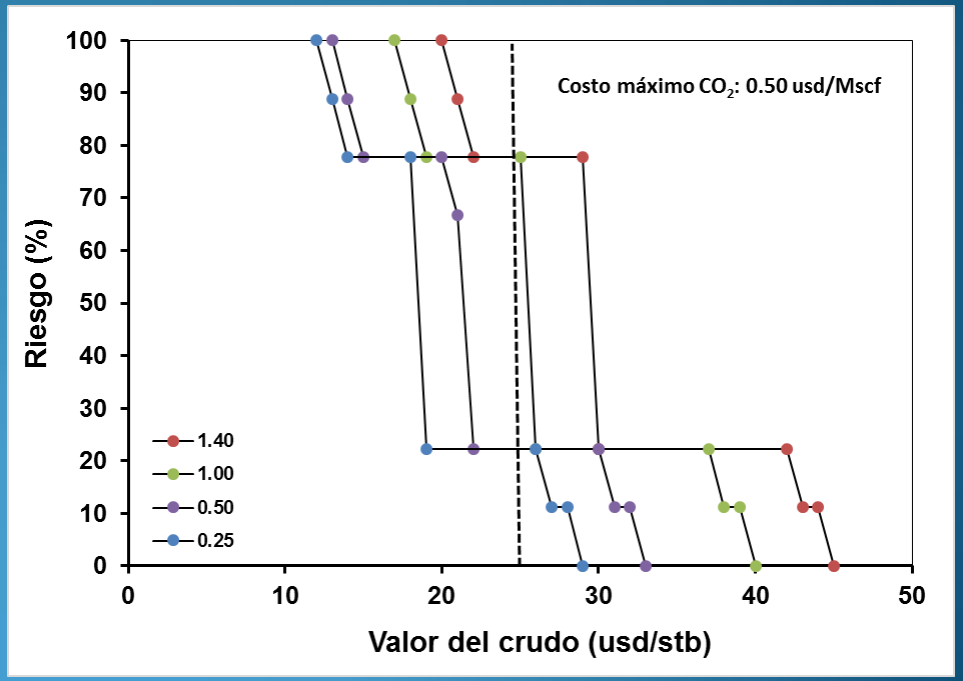


Evaluación Económica

$$q(t_n) = a * e^{-\left(\frac{\log_{10} t_n - \mu}{\sigma}\right)^2}$$



$$N = \frac{Q_{CO_2}}{FU}\frac{T}{FR} \leq \min_{N_{Yac}} \sum_{j=1}^{N_{Yac}} N_j$$



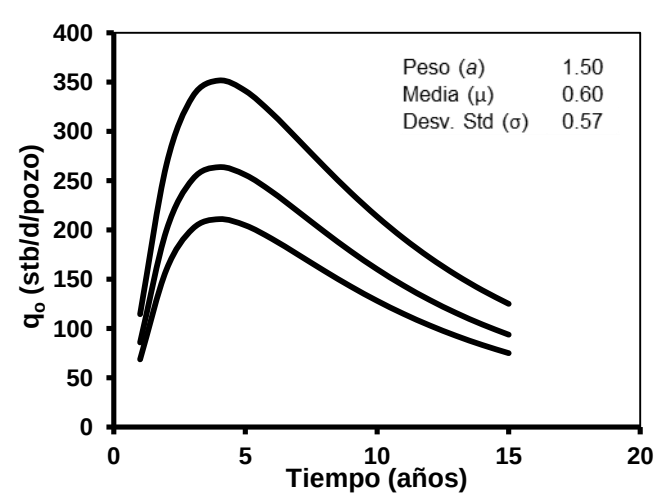
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

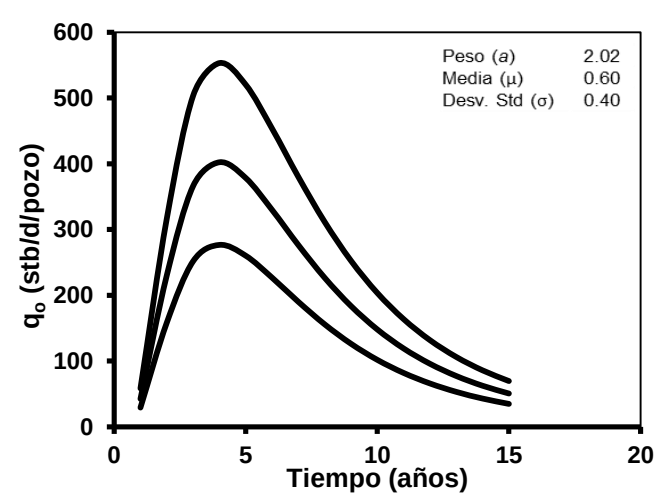
VPN/VPI				
FU FR	8	15	22	E [V/I |FU]
15,000	3.17	3.42	3.70	3.52
12,000	5.77	6.14	6.54	6.24
9,000	10.27	10.83	11.44	10.65
E [V/I |FR]	10.27	8.20	5.12	8.21

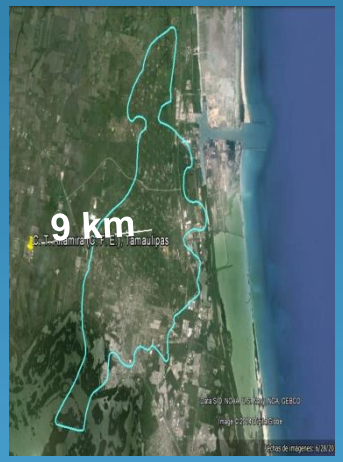
EE Altamira-TC (1)

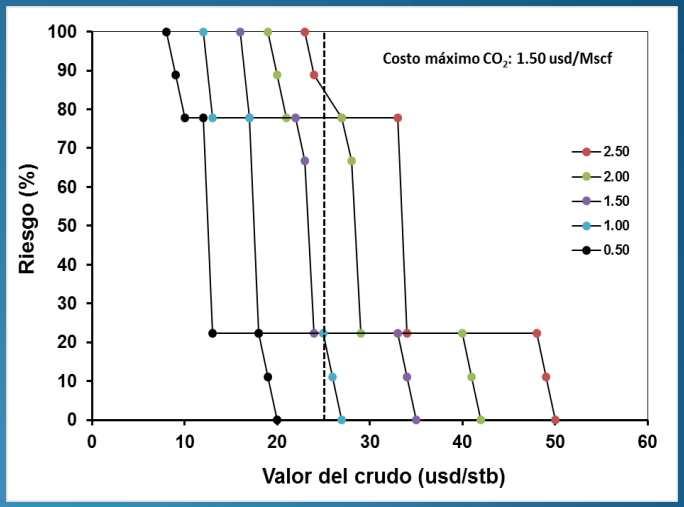
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

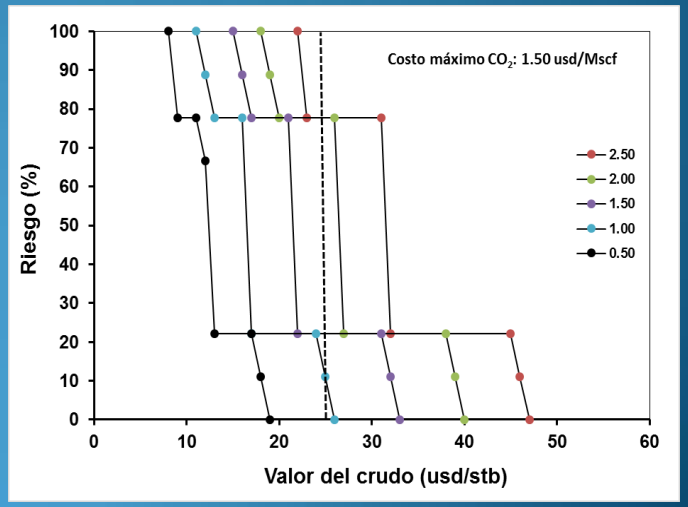
No. Pozos Inyectores CO_2: 50







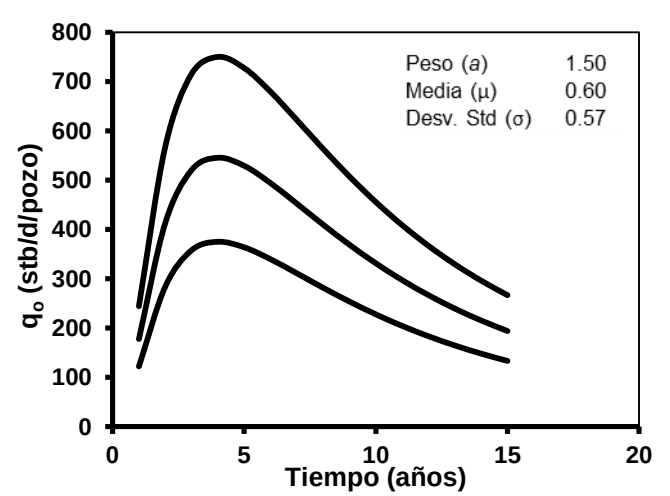


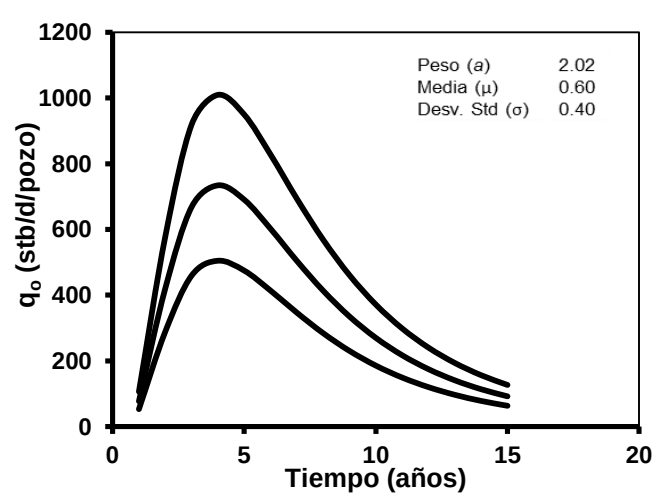


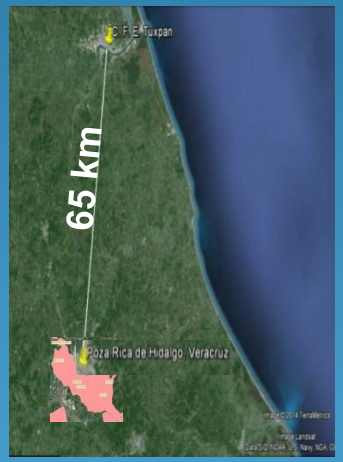
EE Tuxpan-PR (1)

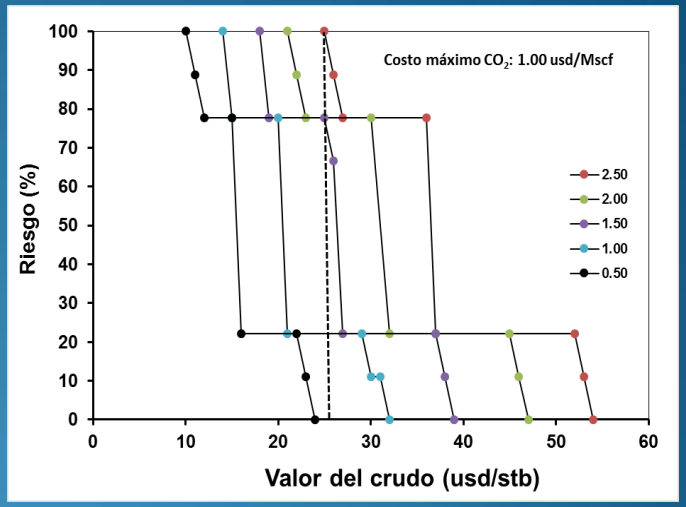
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

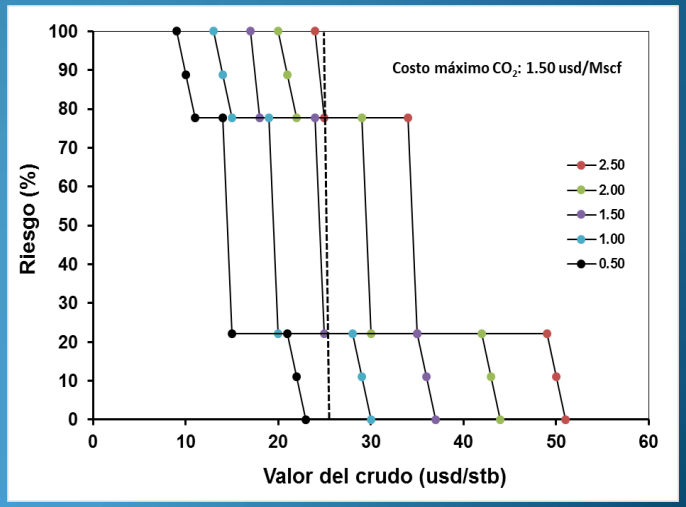
No. Pozos Inyectores CO_2: 100







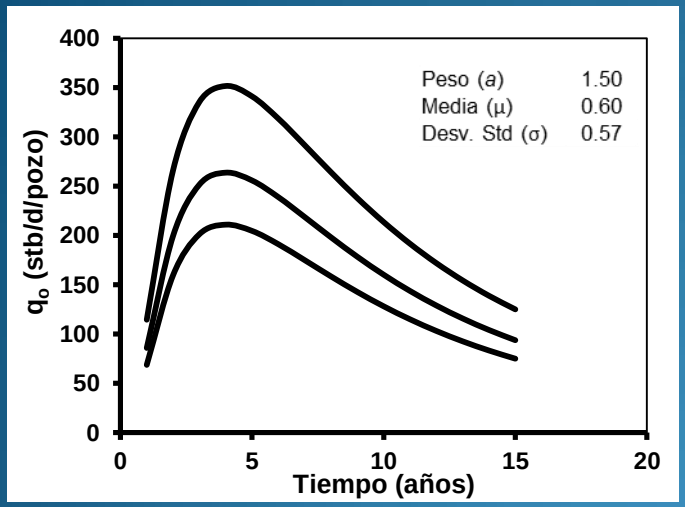


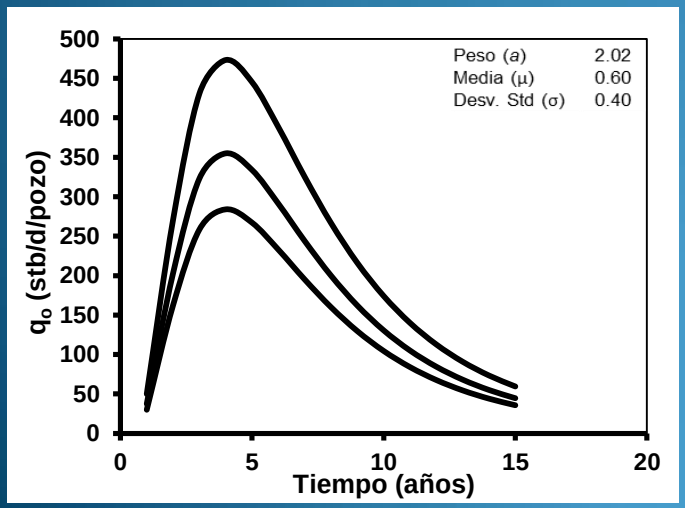


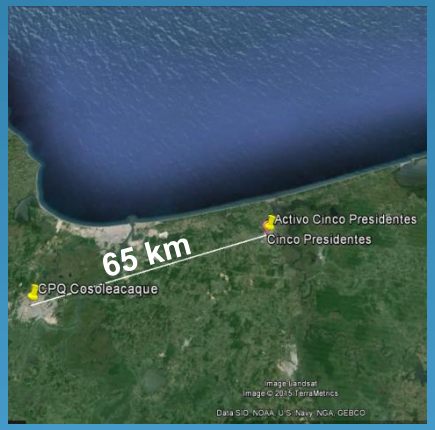
EE Cosoleacaque-Brillante

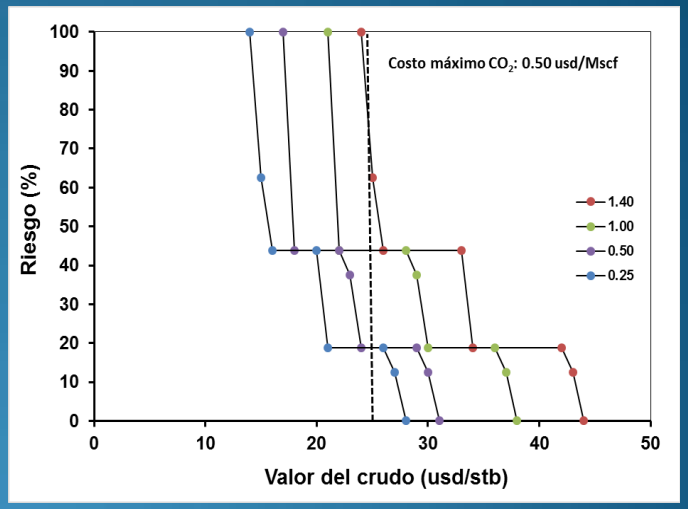
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	15	22	Suma/FU
15,000	0.00	12.50	6.25	18.75
12,000	0.00	18.75	6.25	25.00
9,000	18.75	37.50	0.00	56.25
Suma/FR	18.75	68.75	12.50	100.00

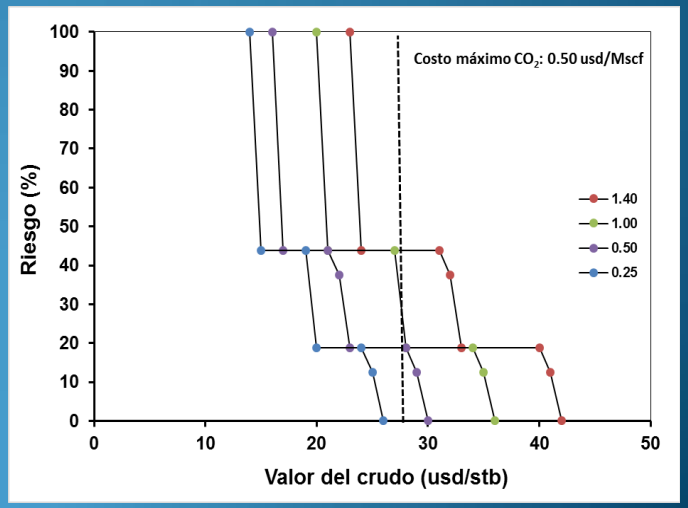
No. Pozos Inyectores CO_2: 20











Proyectos CCUS

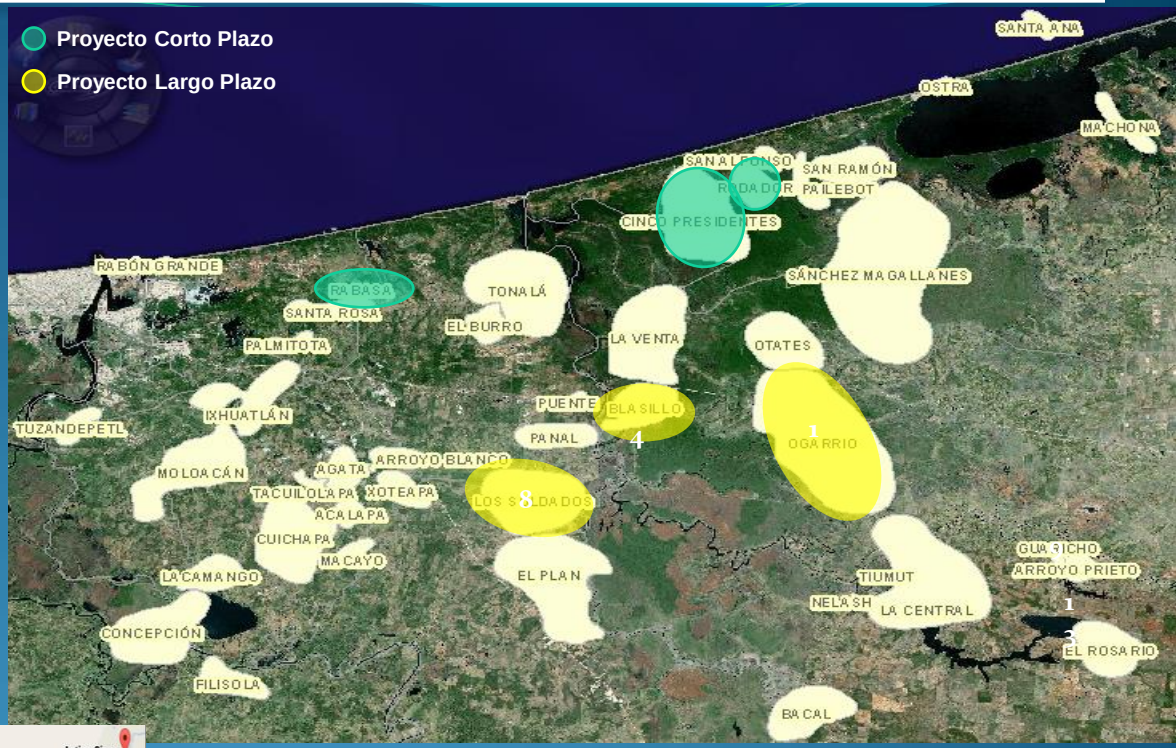
Largo Plazo

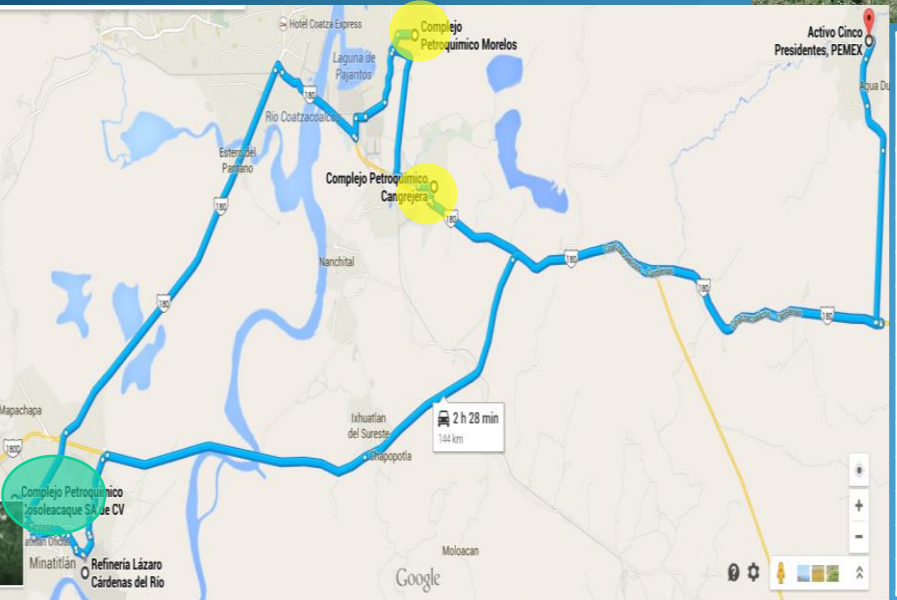
Por Un Planeta Más Limpio

Fuentes: Proyectos Largo Plazo

Fuente	Tipo de Combustible	Unidades/ Instalaciones	Emisiones CO_2 (MMton/año) / (MMscf/d)	Distancia a Destino (km)	Costo CO_2 (usd/Mscf)
Central Termoeléctrica Altamira	Gas Natural	2	2.0 (110)	9	2.0
Refinería Madero	Gas Natural	6 (Área Calderas)	1.1 (58)	23	2.5
Central Termoeléctrica Tuxpan	Gas Natural	3	7.2 (400)	55/45	2.0
CPQ Morelos	Gas Natural	8 (Planta Generación Vapor)	1.5 (83)	10	2.5
CPQ Cangrejera	Gas Natural	2 (Planta Generación Vapor y Etileno)	2.4 (132)	40	2.5

Análisis y Selección de Campos (RS)





Campo	Volumen Original MMstb	Reserva Original MMstb	Np MMstb	Recurso Remanente MMstb	Reserva Remanente MMstb
Ogarrio	1,006	258	208	798	50
Cinco Presidentes	1,044	339	314	730	24
San Ramón	476	126	98	379	28
Blasillo	299	81	67	232	14
Nelash	161	10	4	157	6
Bacal	230	111	106	124	5
Rodador	163	61	43	120	18
Los Soldados	133	48	37	96	11
Guaricho	116	49	36	80	13
Lacamango	107	35	31	76	4
Rabasa	95	42	24	72	18
Brillante	40	14	7	33	8
Arroyo Prieto	31	4	2	29	2

Campos en Fm. Carbonatos

Campos destino de Proyectos a Largo Plazo

Variable de Decisión	Sur de Amatlán	Rancho Nuevo	Santa Águeda
Yacimiento	El Abra	Tamabra	El Abra
Tipo de Yacimiento	Bajo saturado	Bajo saturado	Bajo saturado
Tipo de Roca	Carbonatos	Carbonatos	Carbonatos NF
Acuífero	Activo	No Activo	Activo
Profundidad Media (mvbnm)	1,200	1,910	1,380
Porosidad (%)	14	16	14
Permeabilidad (mD)	374	35	400 - 800
Gravedad (°API)	33	29	14
Relación de Solubilidad @ Pb (scf/stb)	190	376	303
Presión Inicial (kg/cm^2)	---	220	158
Presión de Saturación (kg/cm^2)	58	116	137
Presión Actual (kg/cm^2)	118	208	152
Presión Mínima (kg/cm^2)	118	220	152
Temperatura de Yacimiento (°C)	69	93	89
Gasto de Aceite (stb/d)	771	474	1,210
Relación Gas-Aceite (scf/stb)	535	575	311
Corte de Agua (%)	31	35	51
No. Pozos Productores	24	19	23
CO_2 (%mol) (min, prom, máx)	15.8, 17.3, 18.5	11.3, 25.3, 35.5	7.0, 9.3, 12.0

Interacción CO_2-Aceite, se considera miscible

Variables de Análisis Económico

Concepto	Santa Águeda	Rancho Nuevo	Sur de Amatlán
Oferta de CO_2 (MM ton/año)	0.9	0.8	0.7
Distancia Fuente – Destino (km)	45	55	55
No. Pozos Inyectores CO_2	14	12	11
CO_2 a Inyectar (MMscf/d/pozo)	3.6	3.6	3.6
Potencia Compresión Baja (bhp)	6,925	18,322.5	
Presión Descarga en Baja (psig)	536	900	
ID Tubería Baja (in)	12	12	
Potencia Compresión Alta por Ramal (bhp)	3,749	3,393	2,719
Presión Descarga en Alta (psig)	1,715	1,620	1,296
ID Tubería Alta (in)	6	6	6
Presión en Cabeza (psig)	1,243	1,376	1,105
Espesor de Intervalo Disparado (m)	30	30	30
Profundidad de Disparos (mdbmr)	1,380	1,910	1,200

Campos en Fm. Areniscas

Campos destino de Proyectos a Largo Plazo

Variable de Decisión	Ogarrio	Blasillo	Los Soldados
Tipo de Yacimiento	Bajo Saturado	Bajo saturado	Bajo saturado
Tipo de Roca	Calcarenitas	Calcarenitas	Calcarenitas
Acuífero	Inexistente	Inexistente	Inexistente
Profundidad Media (mvbnm)	2,600	2,650	2,300
Porosidad (%)	22	25	23
Permeabilidad (mD)	100-200	215	80
Gravedad (°API)	37	35	30
Relación de Solubilidad @ Pb (scf/stb)	1,203	1,106-1,253	927
Presión Inicial (kg/cm^2)	292	224	276
Presión de Saturación (kg/cm^2)	224	200	260
Presión Actual (kg/cm^2)	120	100	125
Presión Mínima (kg/cm^2)	120	100	125
Temperatura de Yacimiento (°C)	87	92	90
Gasto Actual de Aceite (stb/d)	10,452	1,670	4,661
Relación Gas-Aceite (scf/stb)	2,028	5,644	3,601
Corte de Agua (%)	11	31	25
No. Pozos Productores	102	24	34
CO_2 (%mol) (min, prom, máx)	-	-	-

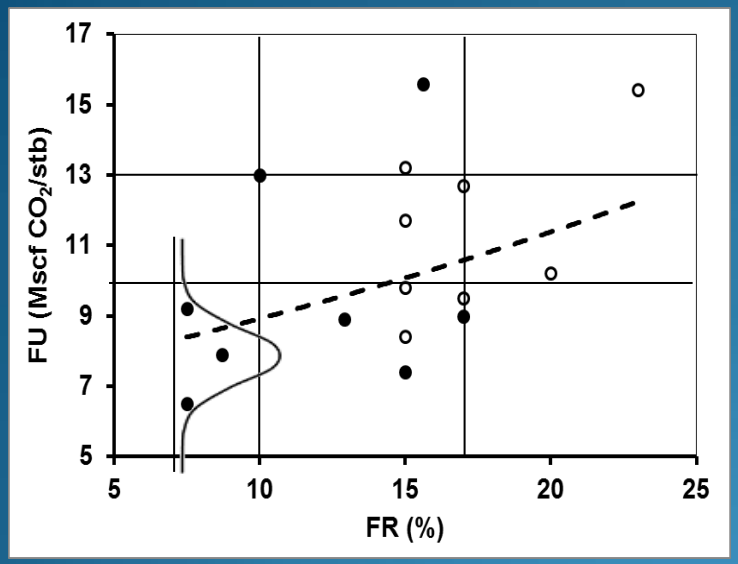
Interacción CO_2-Aceite, se considera parcialmente miscible

Variables de Análisis Económico

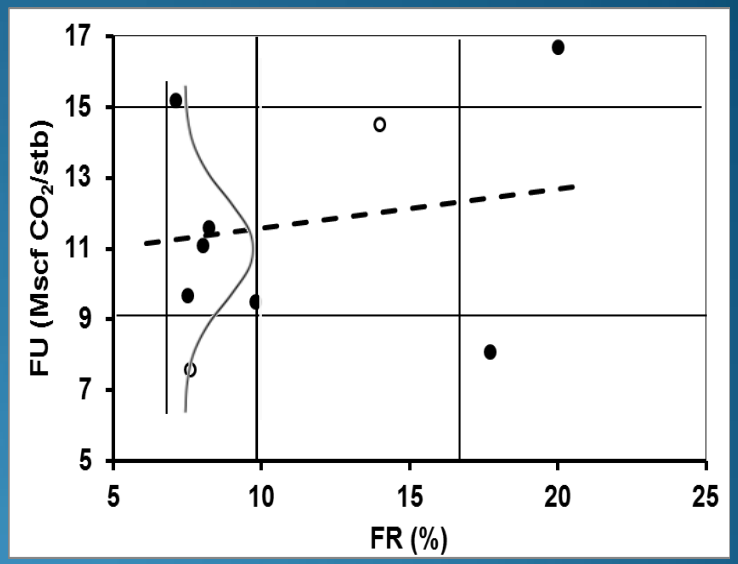
Concepto	Ogarrio	Blasillo	Los Soldados
Oferta de CO_2 (MM ton/año)	2.2	0.9	0.8
Distancia Fuente – Destino (km)	40	0.5	0.5
No. Pozos Inyectores CO_2	40	16	15
CO_2 a Inyectar (MMscf/d/pozo)	3.0	3.0	3.0
Potencia Compresión Baja (bhp)		8,155	
Presión Descarga en Baja (psig)		397	
ID Tubería Baja (in)		24	
Potencia Compresión Alta por Ramal (bhp)		1,947	
Presión Descarga en Alta (psig)		942	
ID Tubería Alta (in)		6	
Presión en Cabeza (psig)		838	
Espesor de Intervalo Disparado (m)	20	20	20
Profundidad de Disparos (mdbmr)	2,600	2,650	2,300

No. Proyectos Análogos

Areniscas (Permian Basin)



Carbonatos (Permian Basin y Golfo de México)



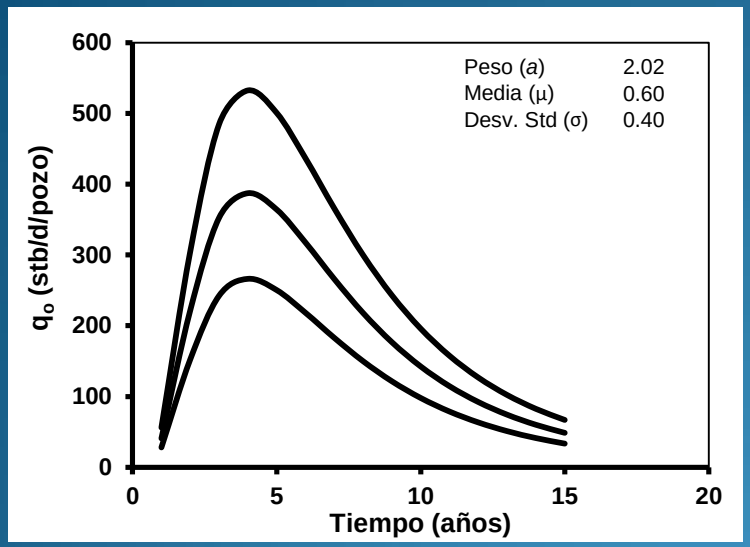
● Valor de utilización reportado
○ Valor de utilización inferido de un modelo de dos componentes: una determinista y otra estocástica

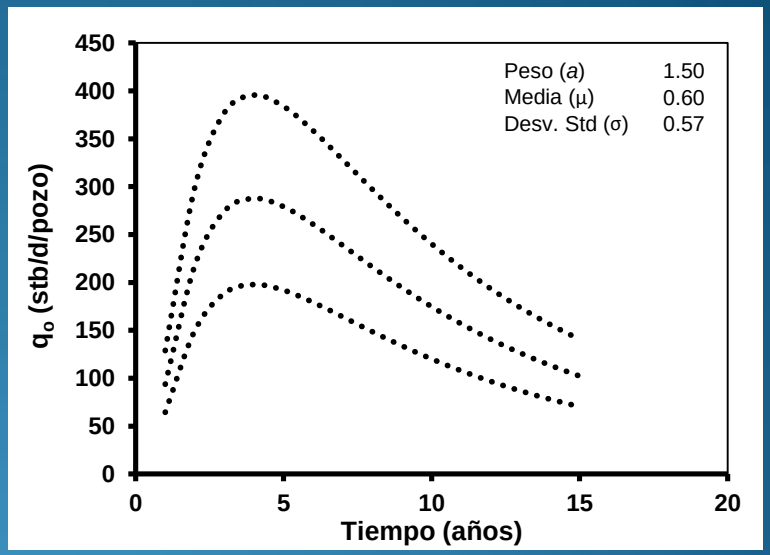
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	15	22	Suma/FU
15,000	0.00	12.50	6.25	18.75
12,000	0.00	18.75	6.25	25.00
9,000	18.75	37.50	0.00	56.25
Suma/FR	18.75	68.75	12.50	100.00

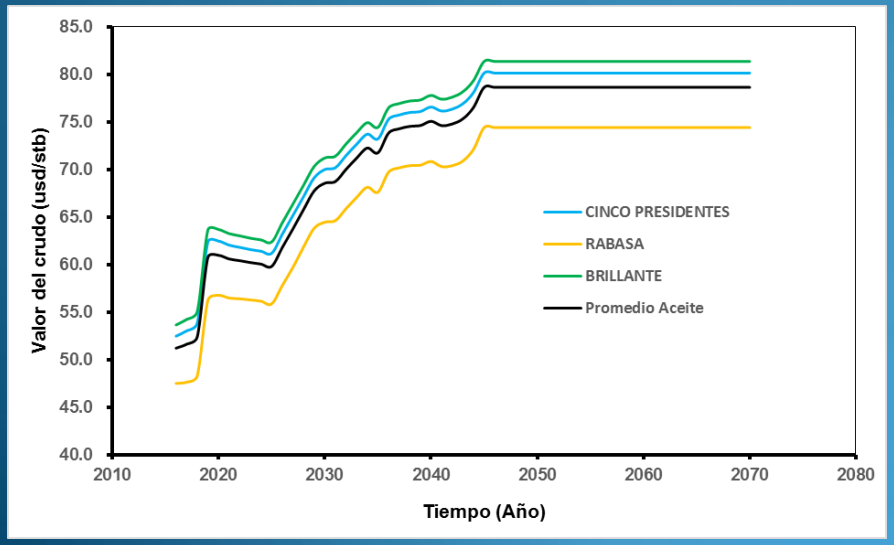
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

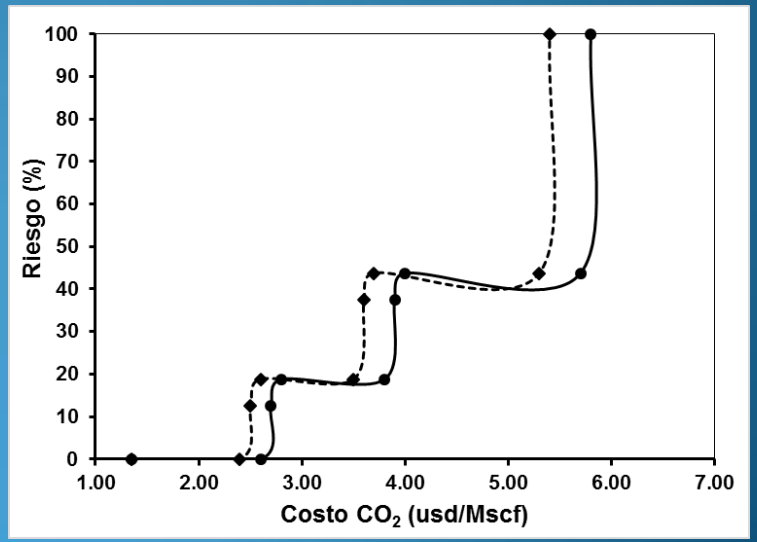
Evaluación Económica (EE)

$$f(qo_{anual}) = a * e^{-\left(\frac{\log_{10} t - \mu}{\sigma}\right)^2}$$



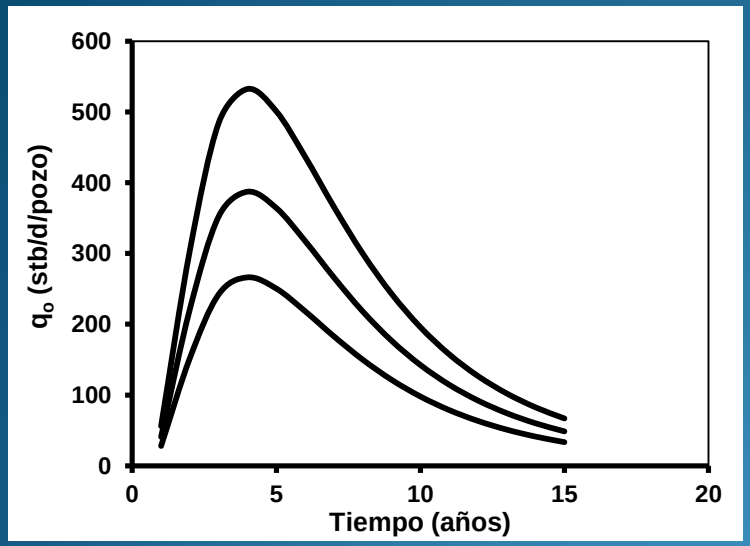




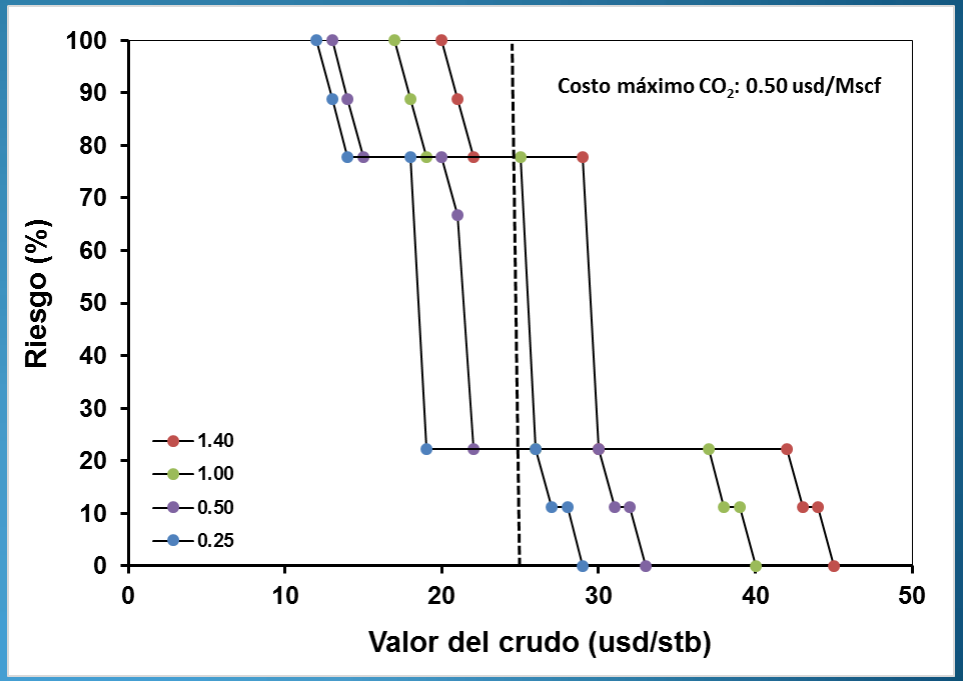


Evaluación Económica

$$q(t_n) = a * e^{-\left(\frac{\log_{10} t_n - \mu}{\sigma}\right)^2}$$



$$N = \frac{Q_{CO_2}}{FU}\frac{T}{FR} \leq \min_{N_{Yac}} \sum_{j=1}^{N_{Yac}} N_j$$



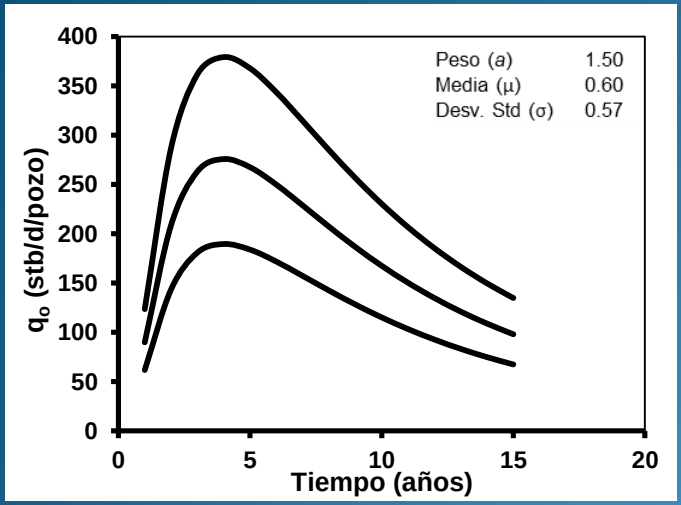
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

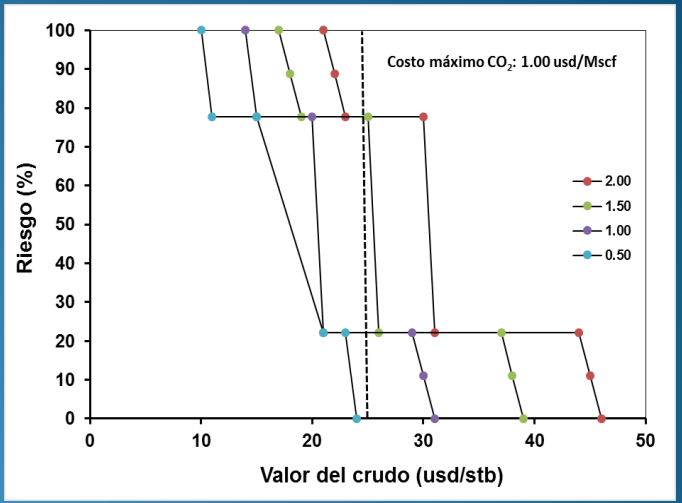
VPN/VPI				
FU FR	8	15	22	E [V/I |FU]
15,000	3.17	3.42	3.70	3.52
12,000	5.77	6.14	6.54	6.24
9,000	10.27	10.83	11.44	10.65
E [V/I |FR]	10.27	8.20	5.12	8.21

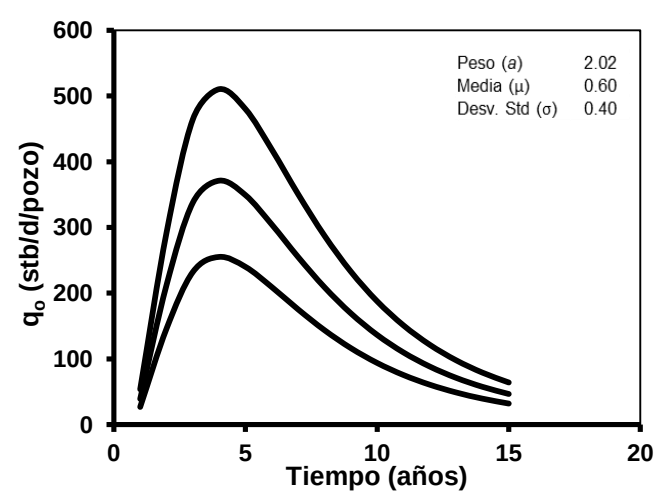
EE Altamira-TC (2)

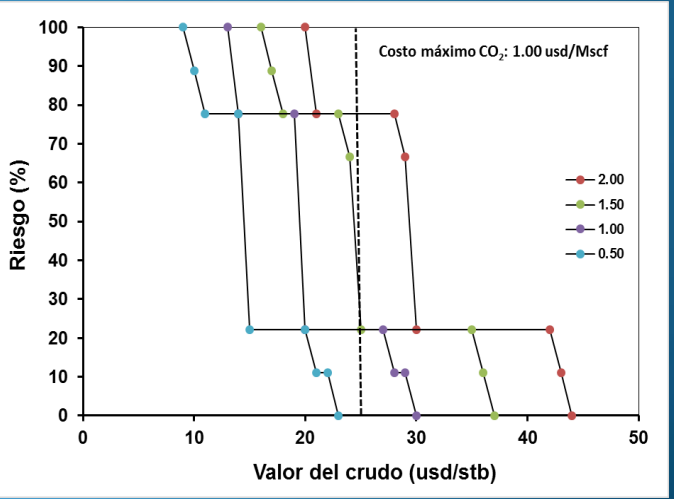
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

No. Pozos Inyectores CO_2: 84





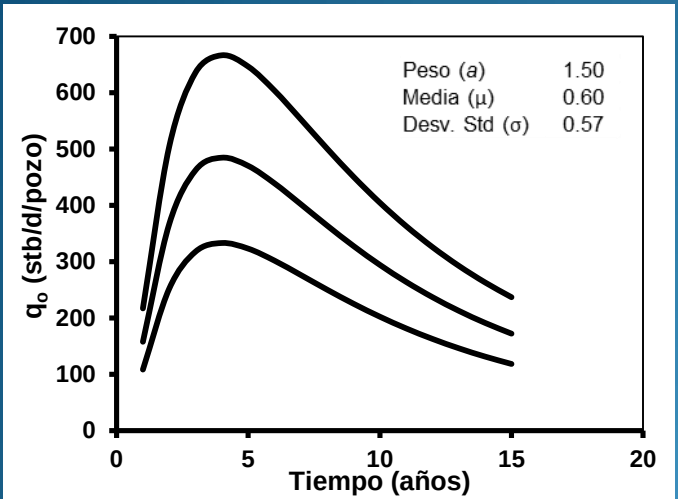


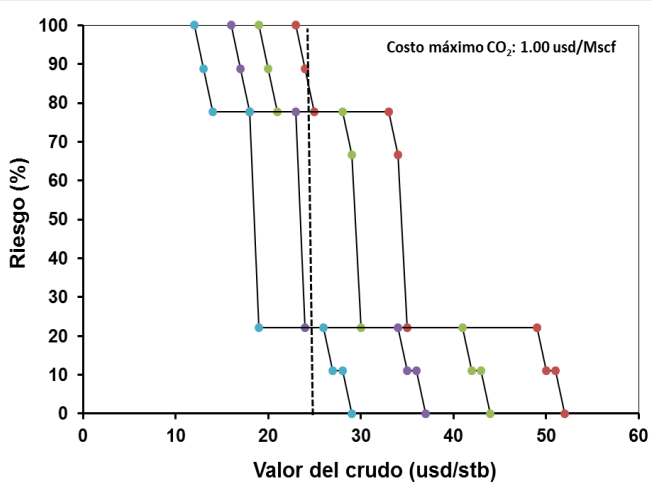


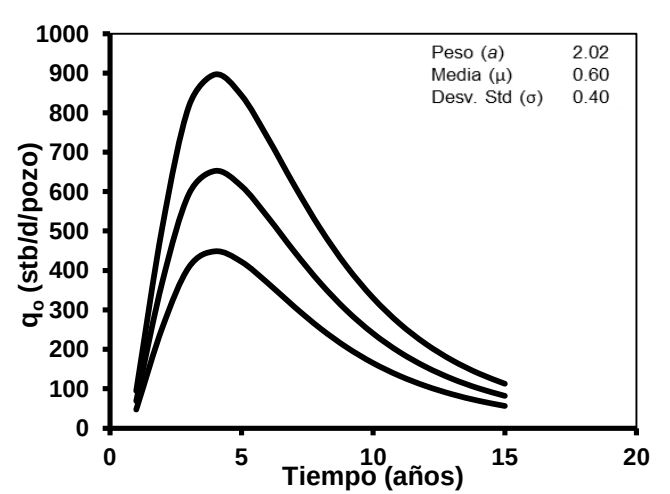
EE Tuxpan-PR (2)

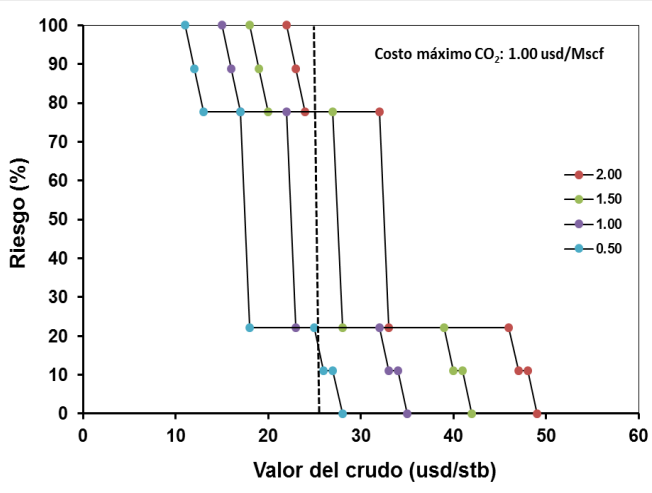
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	12	19	Suma/FU
16,000	11.11	0.00	11.11	22.22
11,000	44.44	11.11	0.00	55.56
8,000	11.11	0.00	11.11	22.22
Suma/FR	66.67	11.11	22.22	100.00

No. Pozos Inyectores CO_2: 37





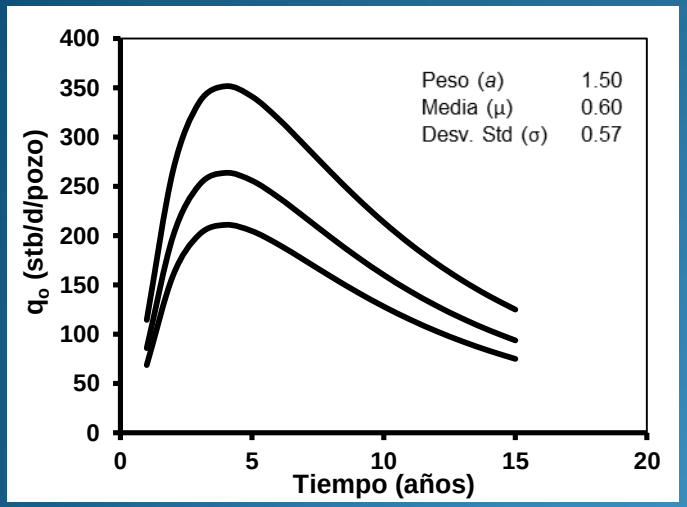


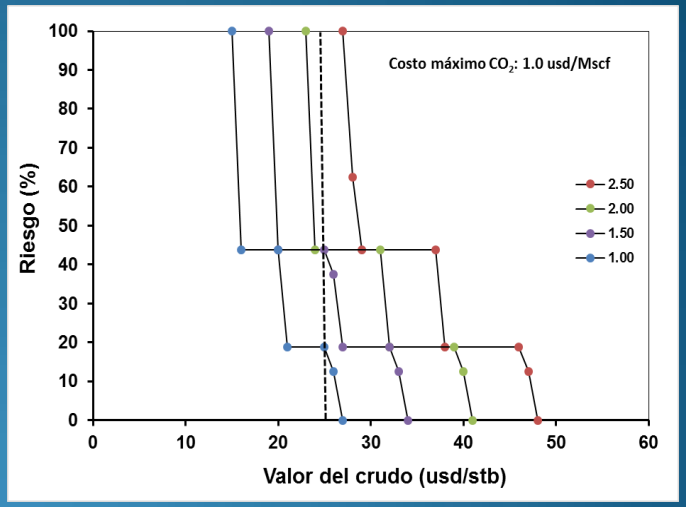


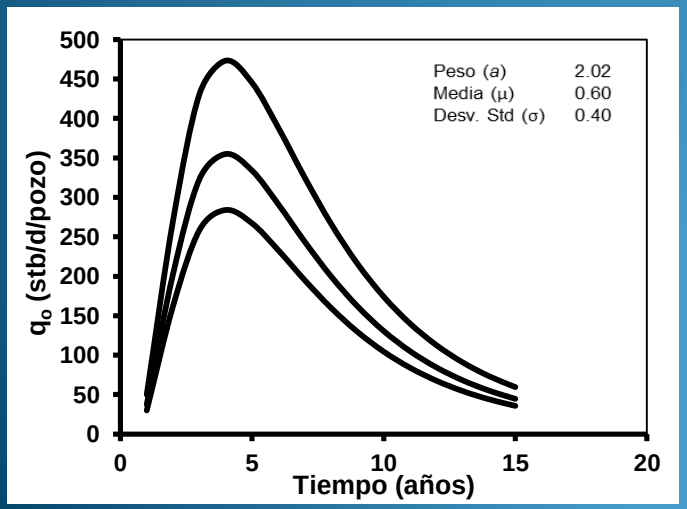
EE CPQ´s-5P

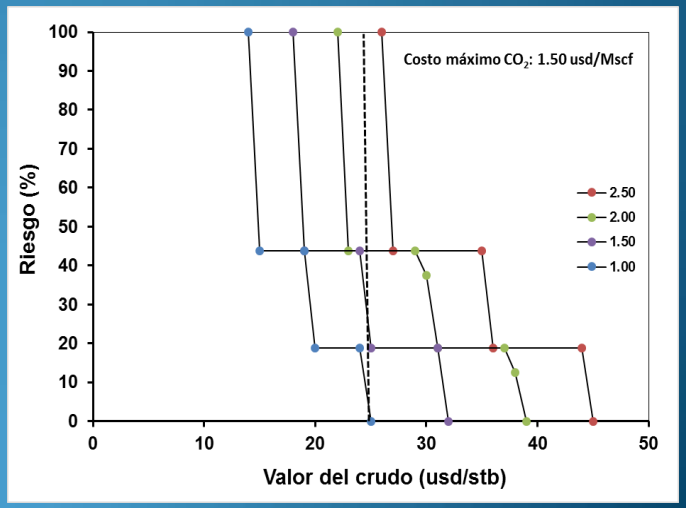
Probabilidad de Riesgo (%)				
FU \ FR	8	15	22	Suma/FU
15,000	0.00	12.50	6.25	18.75
12,000	0.00	18.75	6.25	25.00
9,000	18.75	37.50	0.00	56.25
Suma/FR	18.75	68.75	12.50	100.00

No. Pozos Inyectores CO_2: 71









% Captura

	Proyecto	
Fuente	**Corto Plazo**	**Largo Plazo**
CTE Tamaulipas	2.0	3.1
CTE Tuxpan	7.2	2.4
CPQ´s Veracruz	0.8	3.9
Total (MM ton CO_2/año)	10.0	9.4
% Captura (Emisiones 2012)	3.9	3.6
% Total Captura (Emisiones 2012)	7.5	

Pendientes

- **Aprobación de presupuesto para la inversión en:**
  - ✓ **Ingeniería de las plantas de captura de CO_2 en las termoeléctricas de Altamira y Túxpan.**
  - ✓ **Diseño, implementación y ejecución de las pruebas pilotos de inyección de CO_2 en los campos Poza Rica, Tamaulipas Constituciones y Brillante.**
  - ✓ **Ingeniería de los sistemas de compresión y transporte de los proyectos donde las resultados de las pruebas piloto resulten favorables.**

Comentarios

- Dadas las condiciones actuales del precio de la mezcla mexicana, todos los proyectos presentan el riesgo de no recuperar la inversión.
- Se deberá establecer acuerdos entre CFE y Pemex, para compartir y reducir el riesgo.
- Pruebas piloto, deberán ser ejecutadas para reducir la incertidumbre de los FU, costos y riego, de cada proyecto.

CRYOINFRA

PRAXAIR

Gracias

Junio, 2016