

The Energy Innovation Center
Energy Division

Los Retos para el Desarrollo de la Geotermia

Washington, 6 de Junio, 2014
Sandro Bruni

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

 Bruni, Sandro.
Los retos para el desarrollo de la geotermia / Sandro Bruni.

p. cm.

Incluye referencias bibliográficas.

1. Geothermal resources— Latin America. 2. Geothermal resources— Caribbean Area. I. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. II. Título.
IDB-BR-133

DISCLAIMER

www.iadb.org

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables.

Contenidos

Introducción

- Que es la Geotermia?
- Cien Años de Experiencia

El Business Geotérmico

- Actividades y Tiempos
- Los Riesgos
- Los Costos VS Los Riesgos
- Los Aspectos Críticos

Los Desafíos

- Marco Legal
- Modelos Internacionales para el Desarrollo

Reflexiones Finales

Introducción

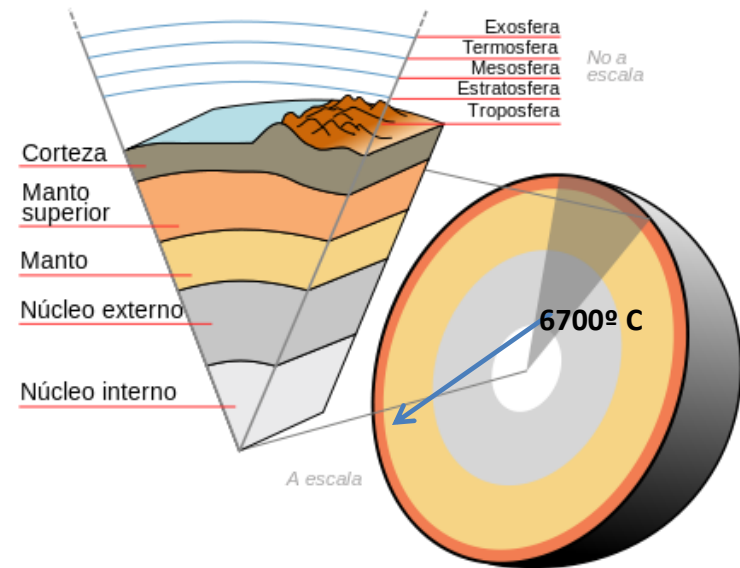
Qué es la Geotermia?

El **CALOR** es una forma de **ENERGÍA**

La energía geotérmica es literalmente el calor contenido al interior de la tierra que continuamente se va a generar por el decaimiento radiactivo

Esta **energía** es el motor de los **procesos geológico a escala global**

En *sensu stricto*, cuando se habla de **geotermia** se habla del **calor** que se encuentra **en la parte más superficial** de la tierra y que puede **ser explotado por el hombre** (hasta a 3-4km de profundidad)

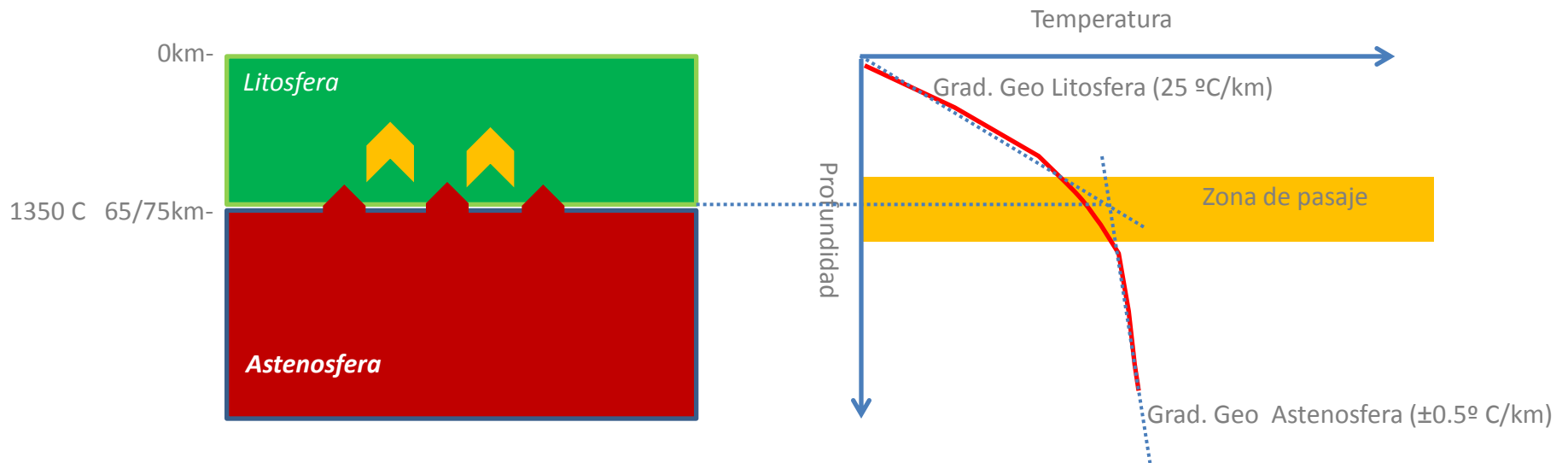


Introducción

Qué es la Geotermia?

Capas concéntricas con características reológicas y modalidad de transmisión del calor distintas.

Litosfera (frágil/elástico; conducción) y la astenosfera (plástico; convección).



Gradiente Geotérmico típico de la litosfera: $\pm 25^{\circ}\text{C} / \text{km}$

Introducción

Qué es la Geotermia?



Gradiente Geotérmico de interés:
 $\pm 250^{\circ}\text{C}$ cada km de profundidad

Introducción

Qué es la Geotermia?

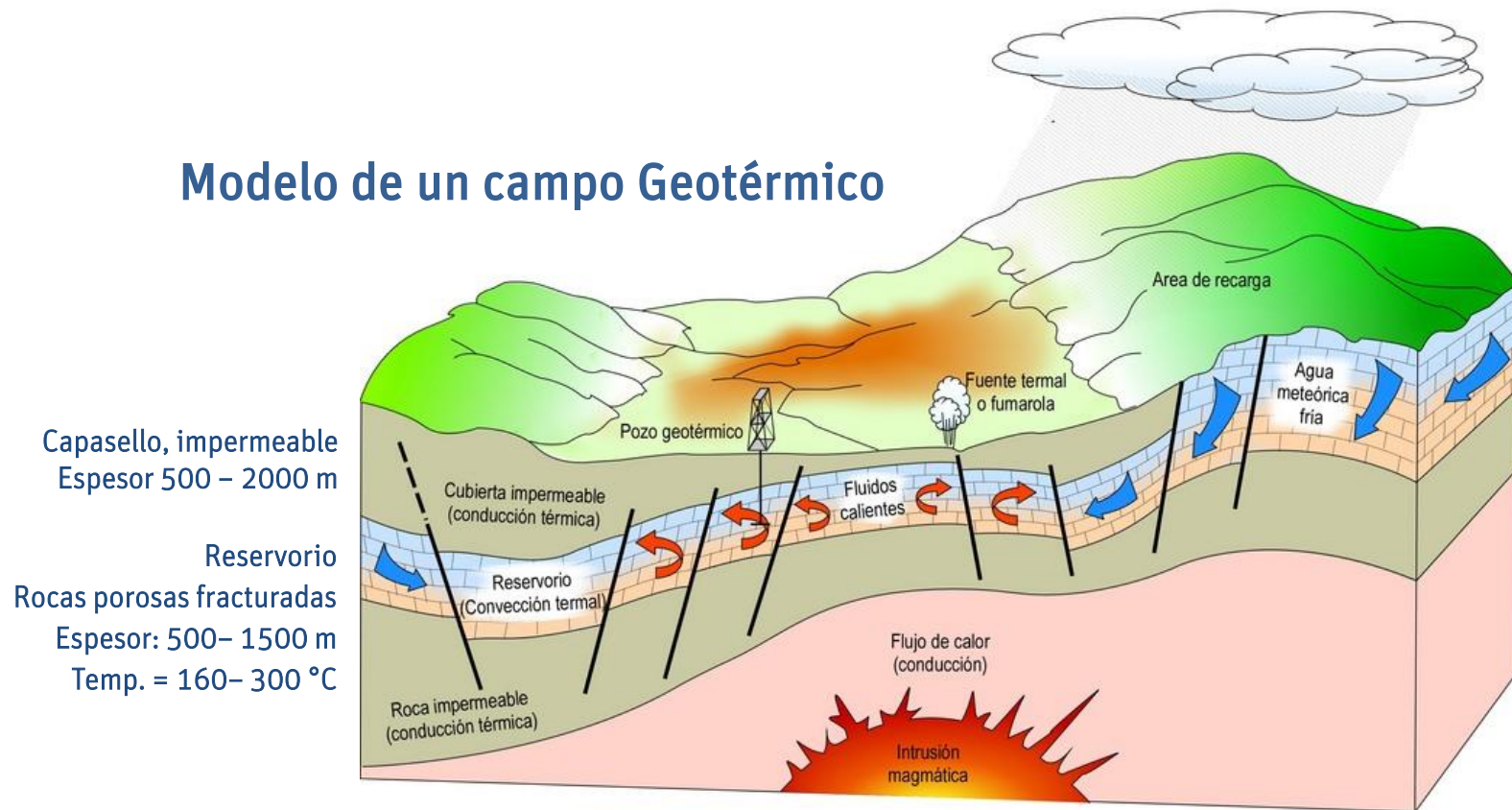
- GEOTERMIA
- GRADIENTE TÉRMICO
- ENERGÍA GEOTÉRMICA
- RECURSOS GEOTÉRMICOS

Para que un recurso geotérmico pueda ser explotado para la producción de energía eléctrica es necesario que una gran cantidad de energía térmica sea almacenada y concentrada ($T \geq 150^{\circ} \text{C}$) en rocas permeables y cercanas a la superficie (1-3 km) y que existan las condiciones geológicas para la presencia de un **CAMPO GEOTÉRMICO**.

Introducción

Qué es la Geotermia?

Modelo de un campo Geotérmico



Fuente de calor
Profundidad 5-10 Km.
 $T > 600-700\text{ }^{\circ}\text{C}$

Introducción

Qué es la Geotermia?

Modelo sencillo: Olla de Presión



Vapor

Capasello (rocas geológicas impermeables)

Fluido Geotérmico

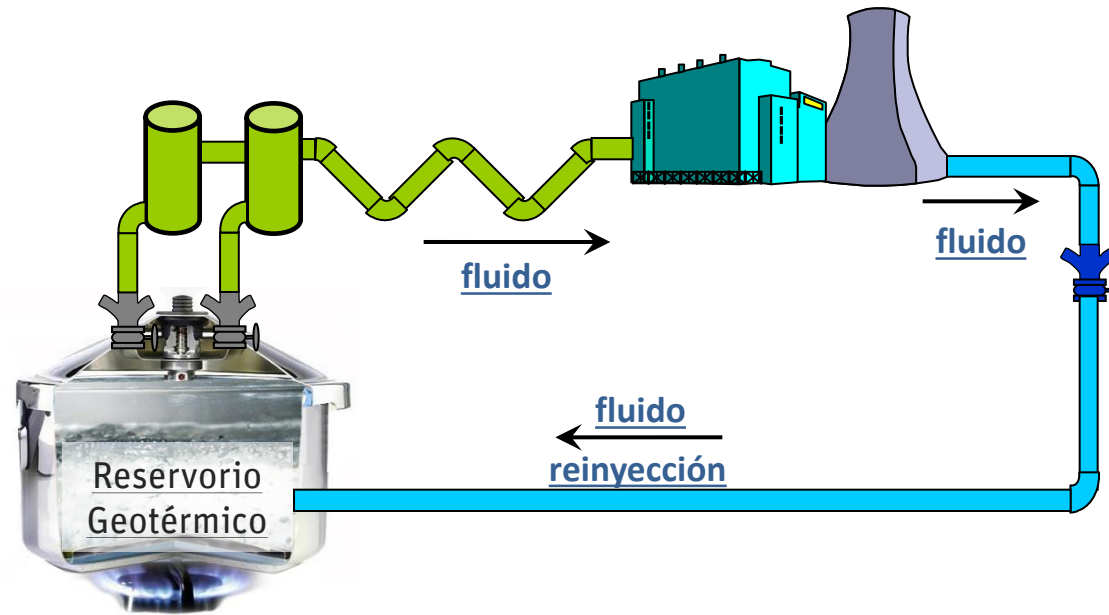
Reservorio Geotérmico (olla)

Base (basamento impermeable)

Fuente de Calor

Introducción

Qué es la Geotermia?

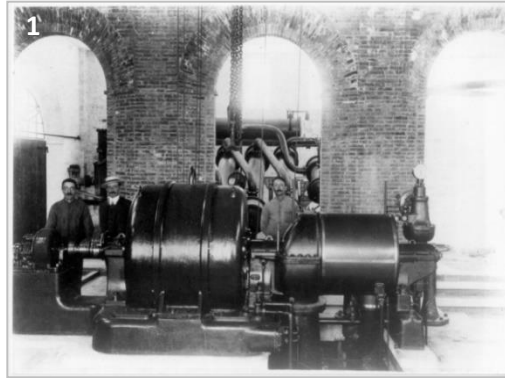


Fluido Geotérmico es el vector que permite transferir el calor desde las rocas del reservorio a la planta

Ciclo Geotérmico es el conjunto de operaciones de extracción, transformación y reinyección que permite el manejo sustentable del reservorio

Introducción

Cien Años de Experiencia



- En 1904 en Larderello se realizó el primer experimento de energía geotérmica en el mundo.
- En el 1913 entra en operación la primera central geotérmica de Larderello (250 kW)
- En el 1944 en Italia se producía alrededor de 900MWh año de electricidad geotérmica (136MW instalado; factor de planta 75%)
- En el 1950 Italia era el único país que había desarrollado la tecnología geotérmica produciendo 2 TWh/año (± 300 MW).
- Actualmente hay 724 MW de potencia neta y en operación que producen alrededor de 5.5TWh año de electricidad (factor de planta $\pm 90\%$)

Introducción

Cien Años de Experiencia

- En 1958 en Nueva Zelanda se inauguró la primera central geotérmica (Wairakei).
- En el 1960 empieza la explotación de The Geyser con una primera planta de 11MW.
- En 1966, en Japón se inaugura la primera planta (Matsukawa).



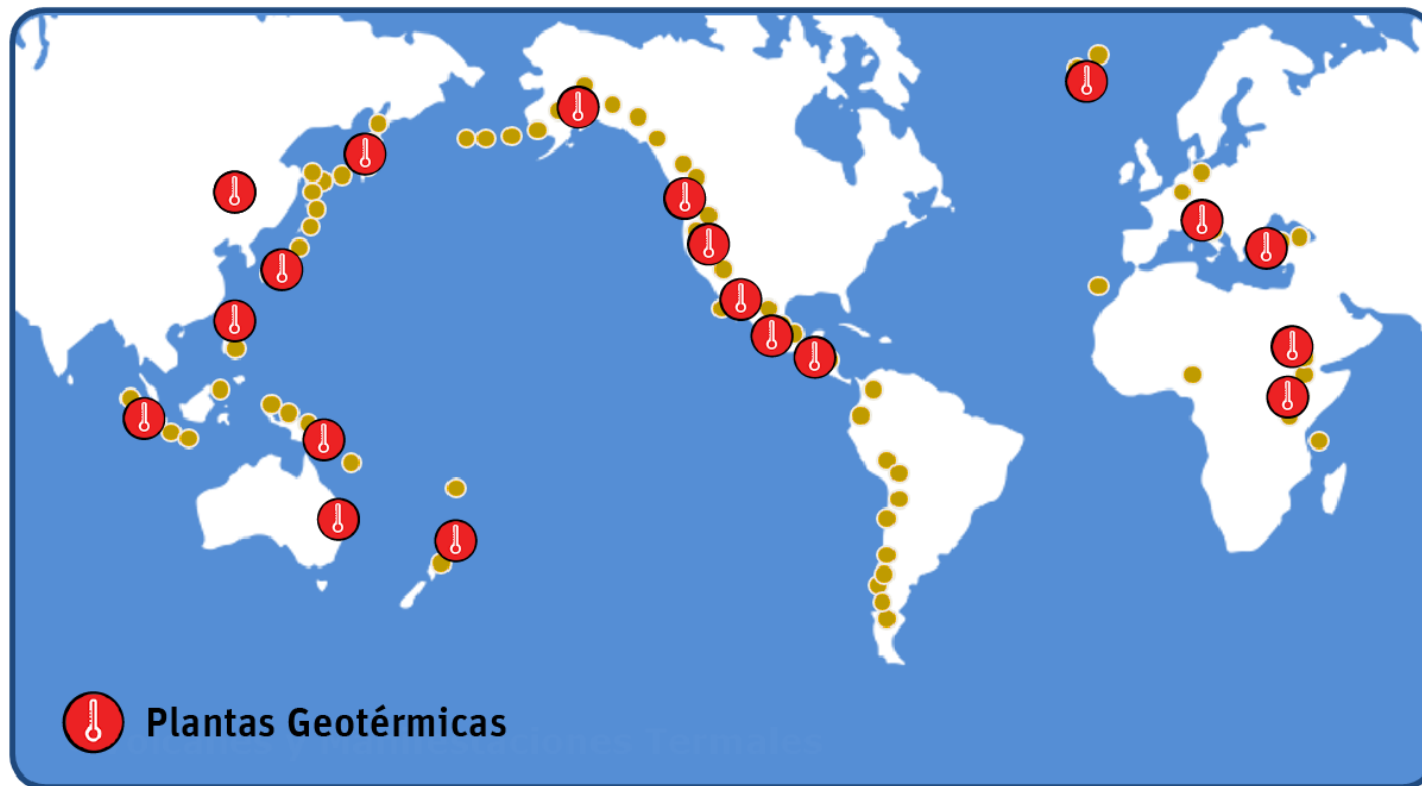
Wairakei



Matsukawa

Introducción

Cien Años de Experiencia



USA	3389
Filipinas	1848
Indonesia	1341
Mexico	1017
Italia	876
Nueva Zelanda	842
Islandia	664
Japon	537
Kenia	248
Costa Rica	207
El Salvador	204
Turquia	167
Nicaragua	149
Rusia	82
Papua Nova Guinea	56
Guatemala	48
Portugal	28
China	27
Francia	17
Alemania	12
Etiopia	8
Austria	1.4
Australia	1.1
Tailandia	0.3

Unidad: MW

En el 2013 existen **24 países productores** de energía geotérmica

Con una potencia total instalada de **alrededor 11.770MW**

Introducción

Cien Años de Experiencia



En el 2013 existen **5 países productores** de energía geotérmica

Con una potencia total instalada de **alrededor 1.626MW**

Introducción

Cien Años de Experiencia

Tecnología Madura

- 24 países en el mundo
- en 5 continentes

Medio-Ambiente

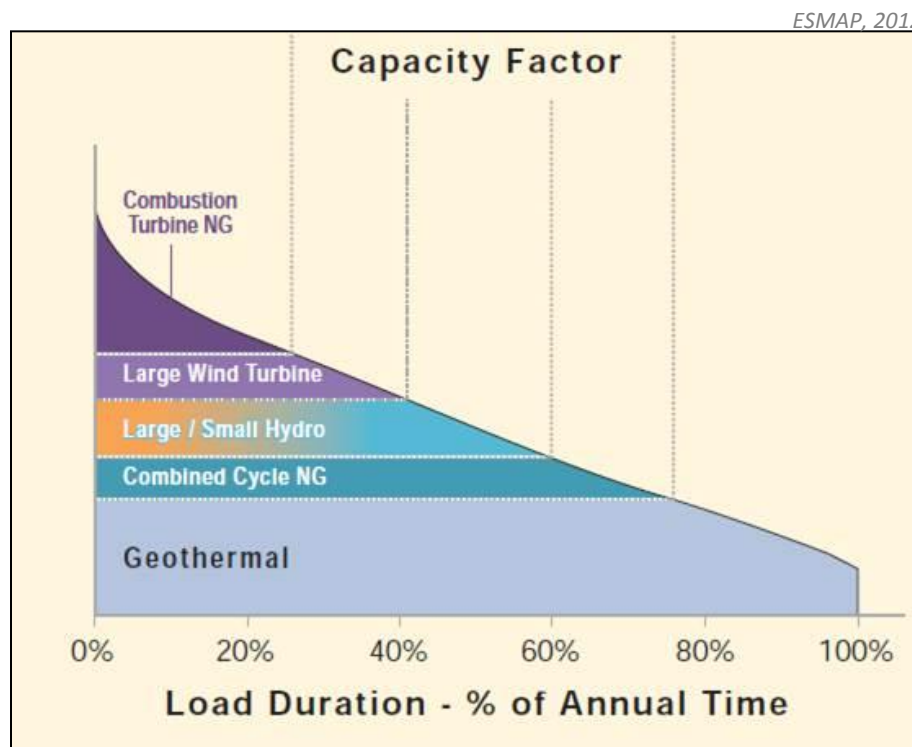
- bajas emisiones de CO₂
- zonas de trabajos limitadas

Factor de Planta

- mayor del 90%
- sin efectos ligados a las temporadas
- producción sustentable si es bien manejada

Costos/precios de la Energía

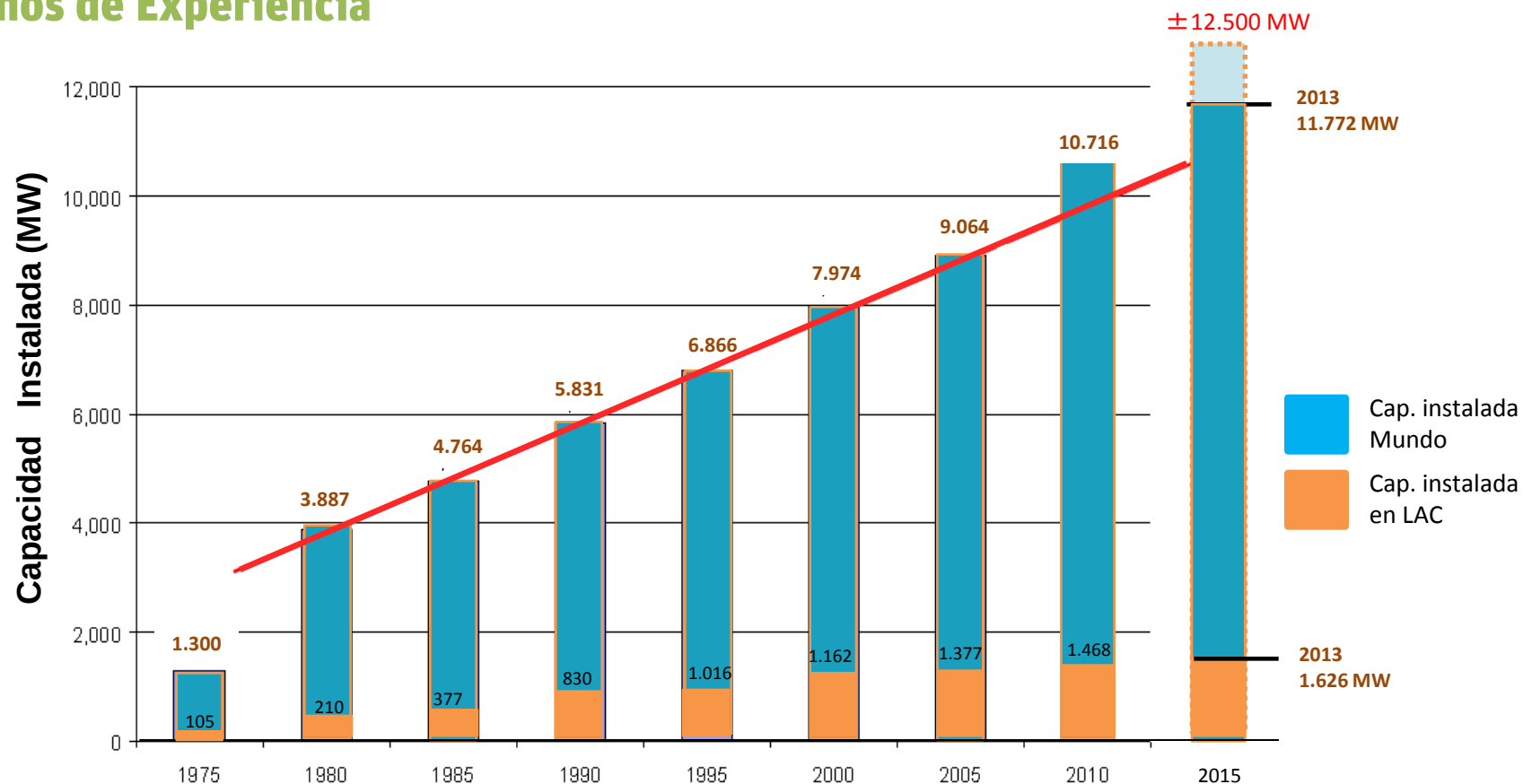
- competitivos
- independientes de los combustibles
- Bajos OPEX



- Diversificación de la matriz energética
- Manteniendo los costos bajo control
- Impulsando la crecida económica

Introducción

Cien Años de Experiencia

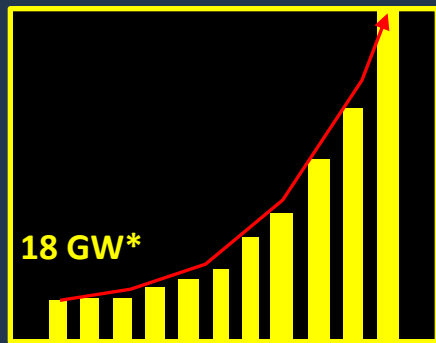


11.772 MW de potencia geotérmica instalada
que crecen con una tasa constante de 1 GW cada 5 años

Introducción

Cien Años de Experiencia

Potencia Eólica



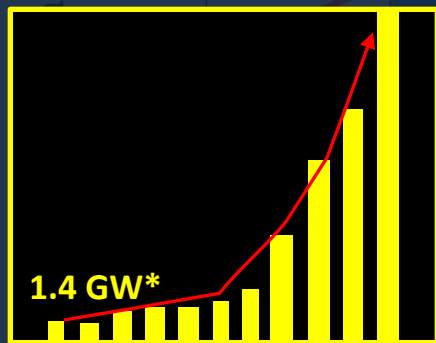
318 GW*

18 GW*

2000

2013

Potencia Solar



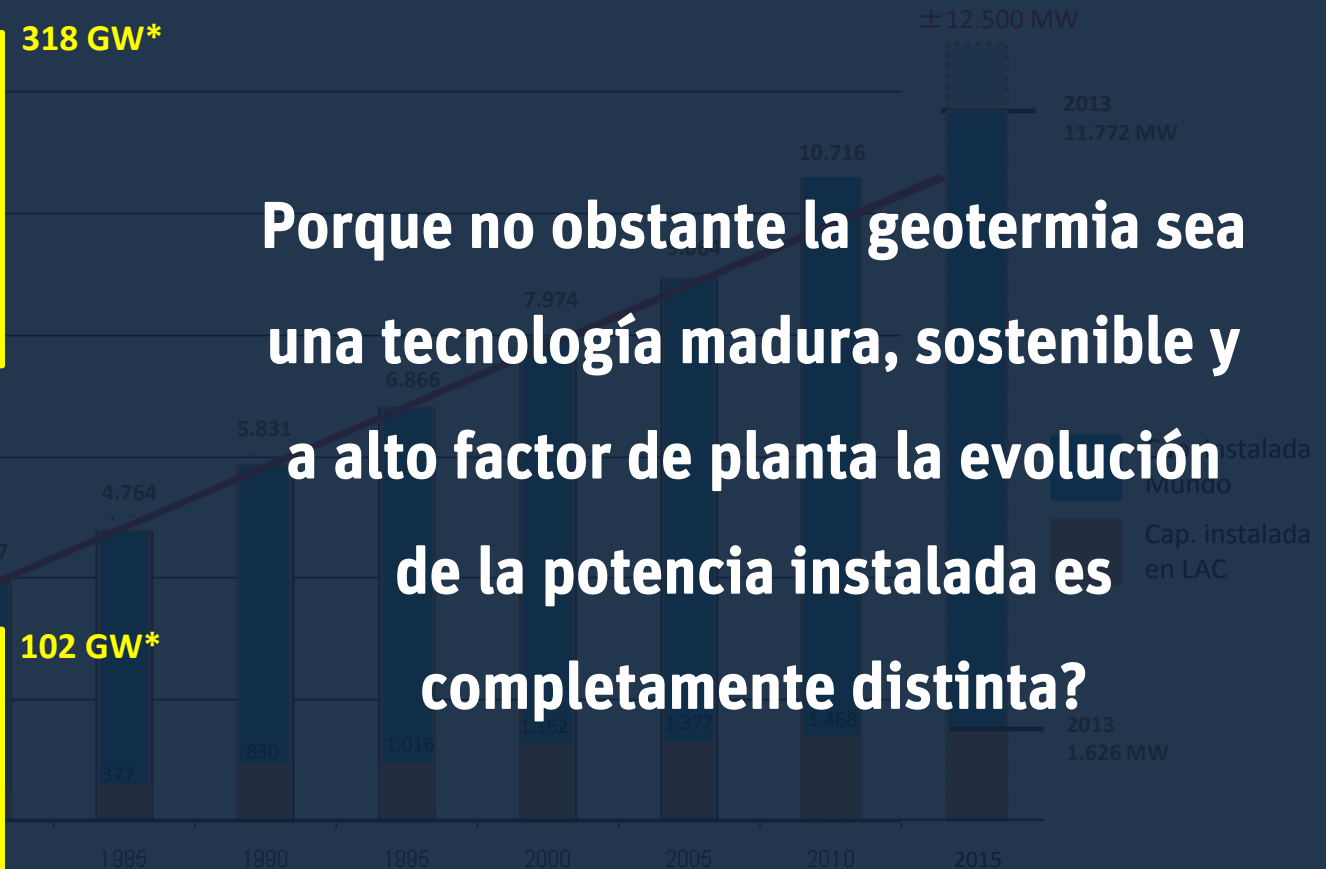
102 GW*

1.4 GW*

2000

2012

Porque no obstante la geotermia sea una tecnología madura, sostenible y a alto factor de planta la evolución de la potencia instalada es completamente distinta?



± 12,500 MW

2013

11,772 MW

10,716

7,974

6,866

5,831

4,764

3,887

Cap. instalada
Mundo

Cap. instalada
en LAC

2013

1,626 MW

2 MW de potencia geotérmica instalada

que crecen con una tasa constante de 1 GW cada 5 años

El Business Geotérmico

- Actividades y Tiempos
- Los Riesgos
- Los Costos VS Los Riesgos
- Los Aspectos Críticos

El Business Geotérmico

Actividades y Tiempos



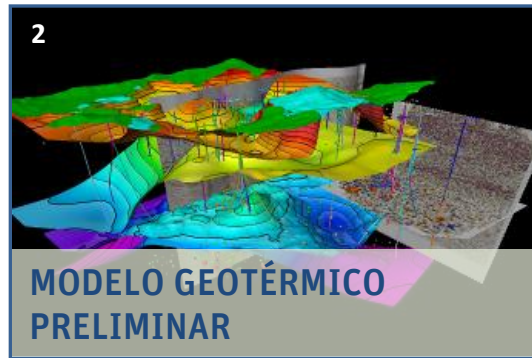
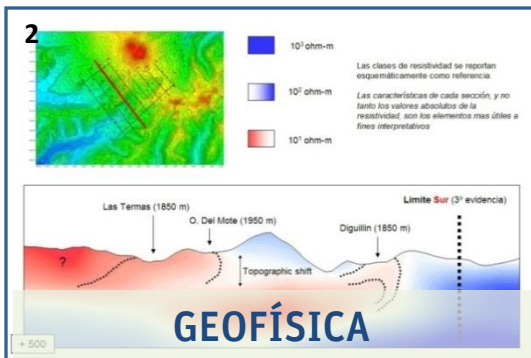
Amplio rango de competencias y tiempos medianamente largos

El Business Geotérmico

Actividades y Tiempos

Exploración Superficial

Exploración Profunda



Amplio rango de competencias y tiempos medianamente largos

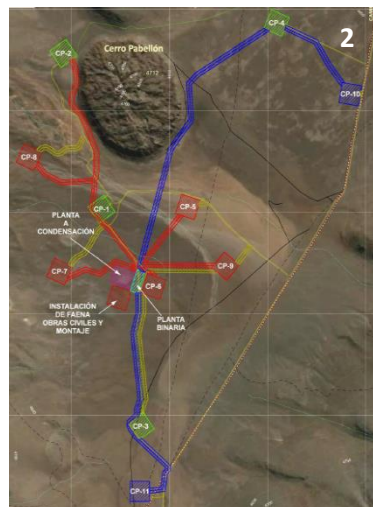
El Business Geotérmico

Actividades y Tiempos

Ingeniería y Construcción

En base a los resultados de la exploración, serán estimados:

- N° de pozos a perforar
- Las zonas de producción y reinyección
- Posición de los pozos
- La tipología de los fluidos



Análisis de los resultados para adoptar la mejor solución técnica



Durante la fase de construcción hay un análisis continuo de los resultados para elegir la mejor solución técnica

Amplio rango de competencias y tiempos medianamente largos

El Business Geotérmico

Actividades y Tiempos



Amplio rango de competencias y tiempos medianamente largos

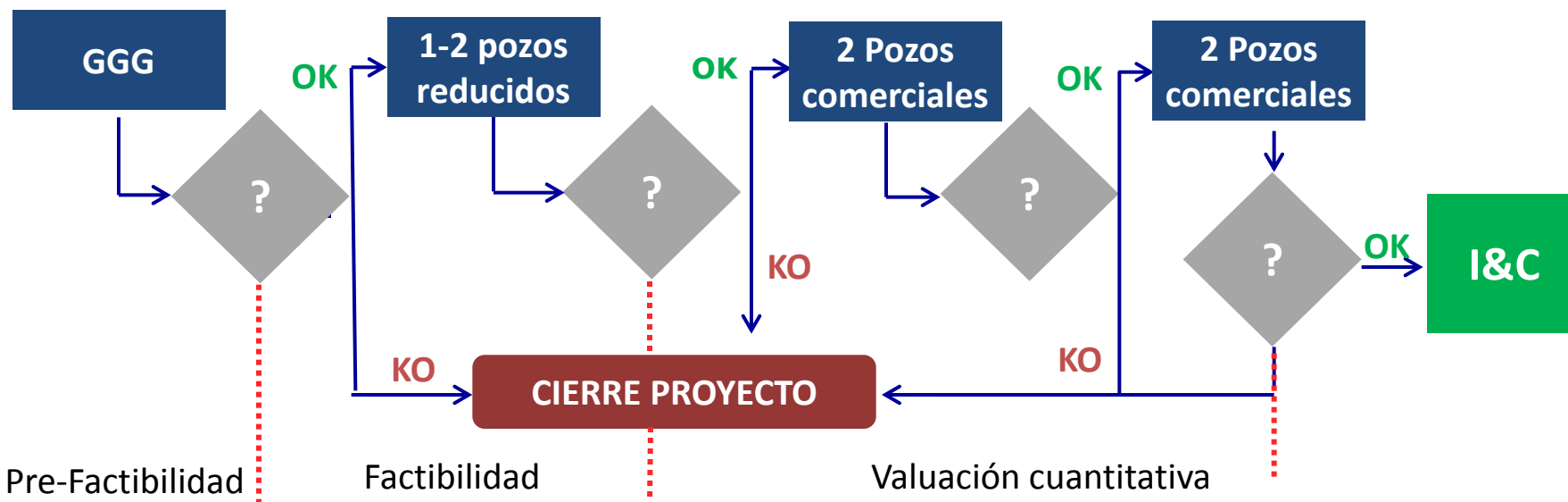
El Business Geotérmico

Los Riesgos



El Business Geotérmico

Los Riesgos de Exploración



El Business Geotérmico

Los Riesgos de Construcción

Exploración

Geología/Geoquímica/Geofísica
Resultados de la perforación
Ingeniería de Reservorio

INPUT

Análisis
Integración

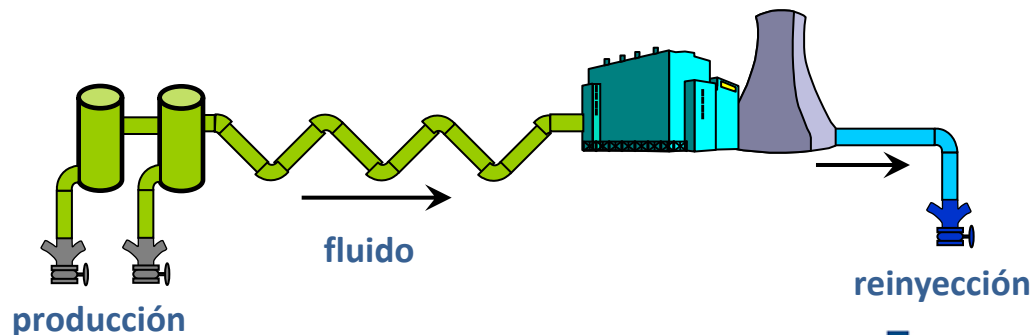
OUTPUT

CRITICIDAD

Trasformación de input geológicos
en output de ingeniería

Ingeniería de Sistema

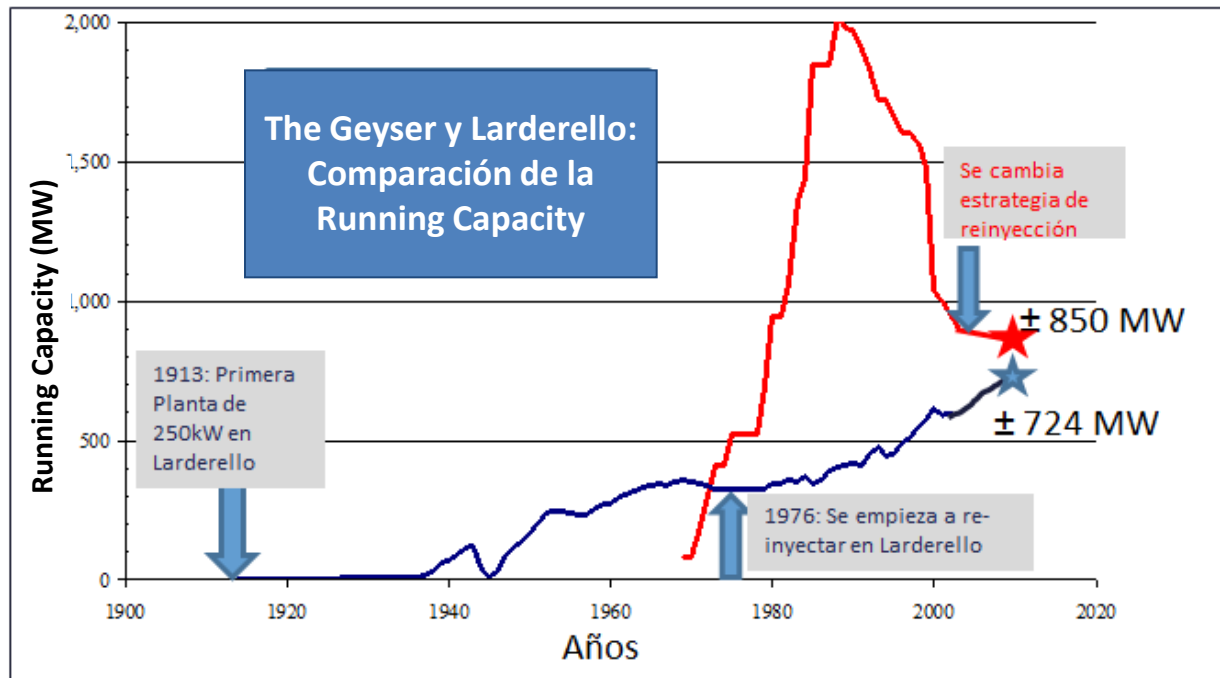
Estima del potencial
Potencia Planta
N y ubicación de
pozos a perforar
Sistema de Carreo
Estrategia de
reinyección



El Business Geotérmico

Los Riesgos de Operación

Operación de la Planta

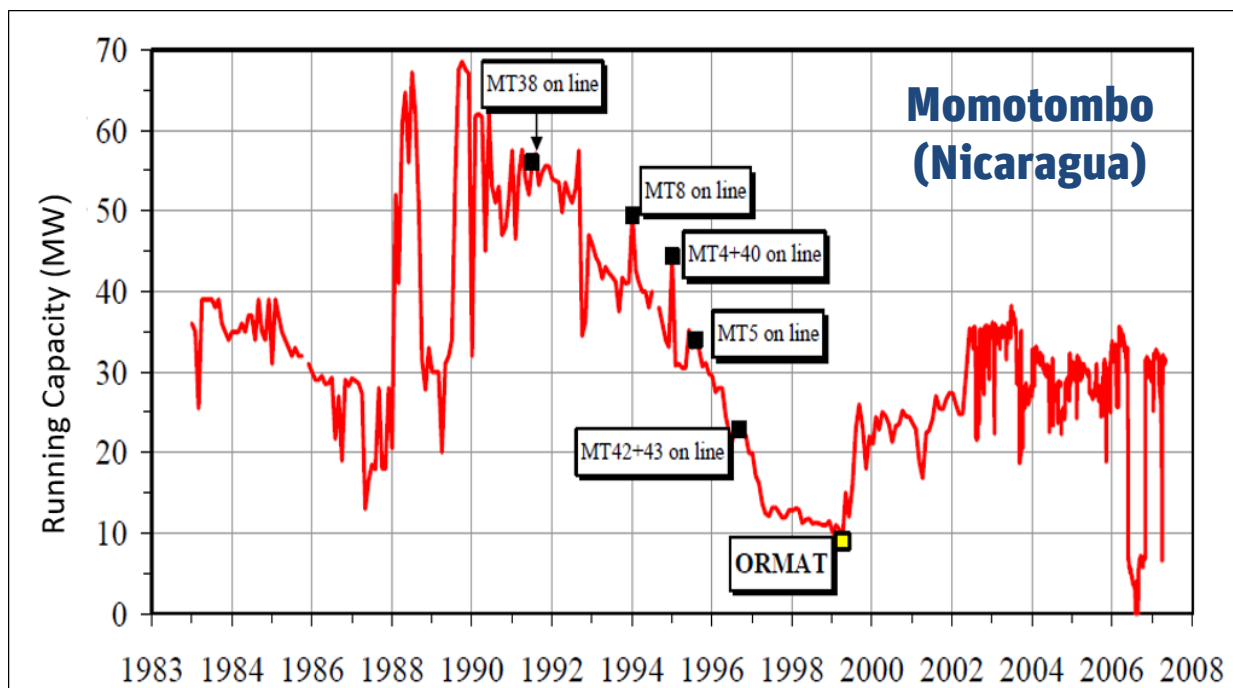


Manejo sustentable del recurso : aquel que permite que la explotación del recurso se desarrolle en consonancia con la recarga procurando mantener el carácter sustentable de la producción

El Business Geotérmico

Los Riesgos de Operación

Operación de la Planta



Manejo sustentable del recurso : aquel que permite que la explotación del recurso se desarrolle en consonancia con la recarga procurando mantener el carácter sustentable de la producción

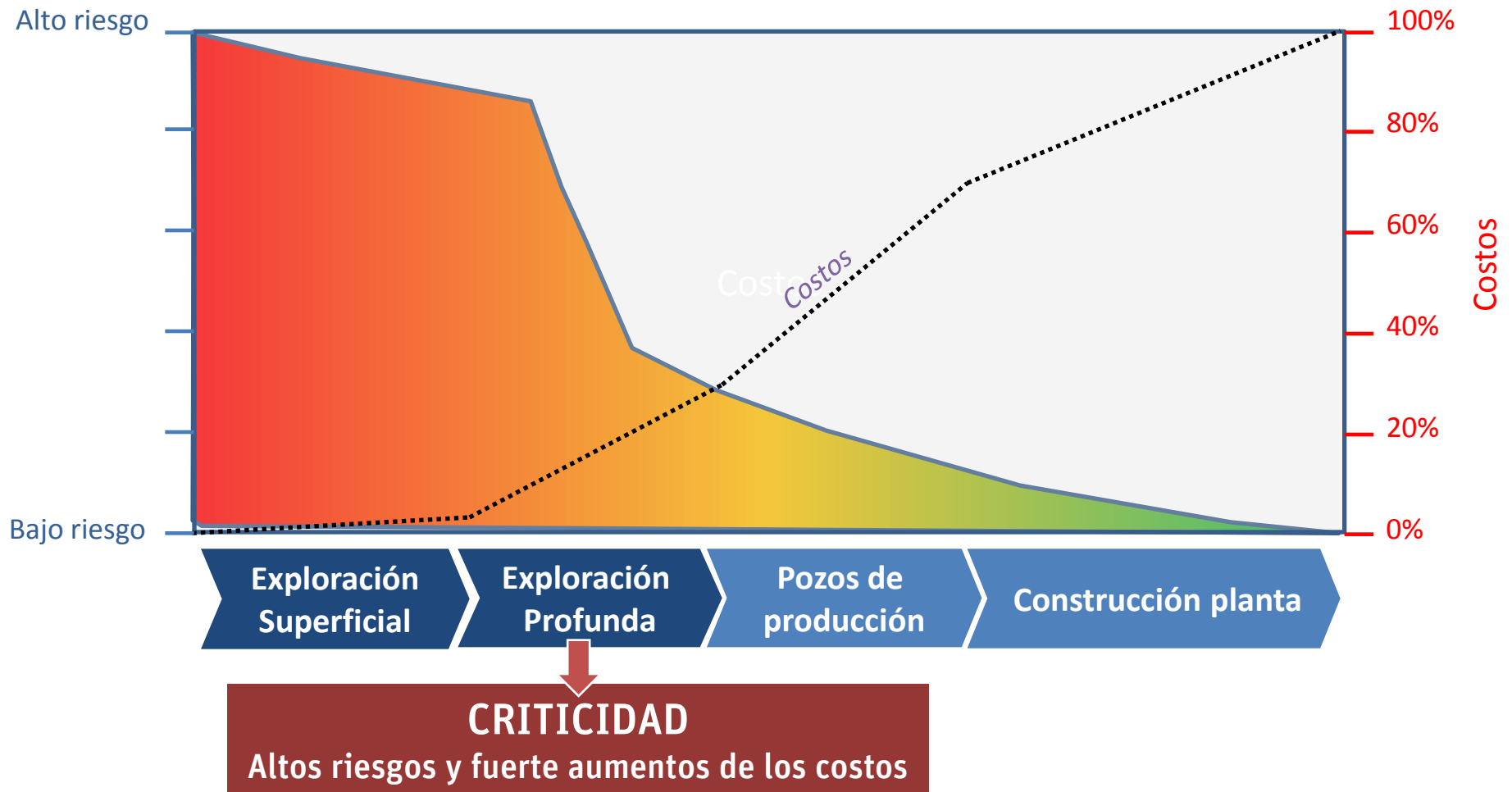
El Business Geotérmico

Los Costos



El Business Geotérmico

Los Costos Vs Los Riesgos



El Business Geotérmico

Los Aspectos Críticos

Know How

Geo ciencia
Ingeniero de
Perforación reservorio
operaciones
Construcción análisis
Manutención

Largos tiempos de ejecución



Altos Riesgos

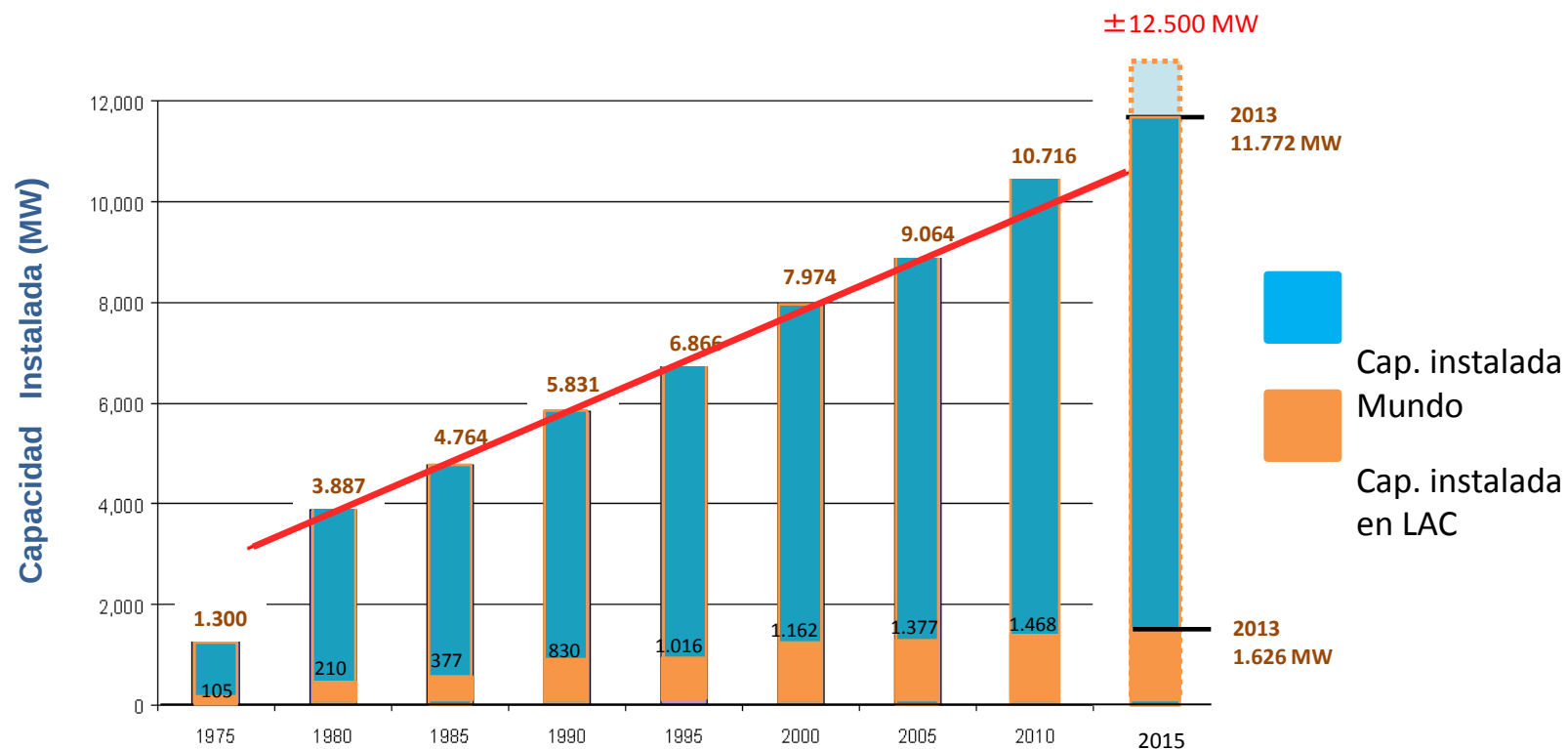


Importantes inversiones



El Business Geotérmico

Los Aspectos Críticos



CRECIDA CONSTANTE:
Numero limitado de compañía con el *know how* y
la capacidad financiera suficiente

Los desafíos

Definición de políticas nacionales que fomenten el desarrollo de la tecnología y que limiten los riesgos solo a las cuestiones técnicas.

Regulando oportunamente el acceso al recurso

Procedimiento, duración y definición de la extensión

Definiendo políticas anti-especulación

Obligaciones y derechos de los concesionarios

Facilitando las relaciones con los propietarios o usufructuarios

Mitigación de Riesgo

Modelos para el Desarrollo: políticas directas o indirectas (ejemplos a nivel mundial)



Los desafíos

Marco Legal

El acceso al recurso

- Procedimiento, duración y definición de la extensión

TÍTULOS	MECANISMO	DURACIÓN	FORMA / EXTENSIÓN
Concesión de exploración	• Licitaciones • Solicitudes	3+2 años (Perú, Nicaragua) 4+2 años (Italia) 2+2+2 años (Chile) 0.5+3+3 (México)	• Poligonal • 25-350 km² • Reducible
Concesión de explotación	• Por derecho exclusivo	Infinito (Chile) 25 + 25 años (Nicaragua) 30 + 30 años (Perú; Italia; México)	• Poligonal • 25-350 km² • Reducible

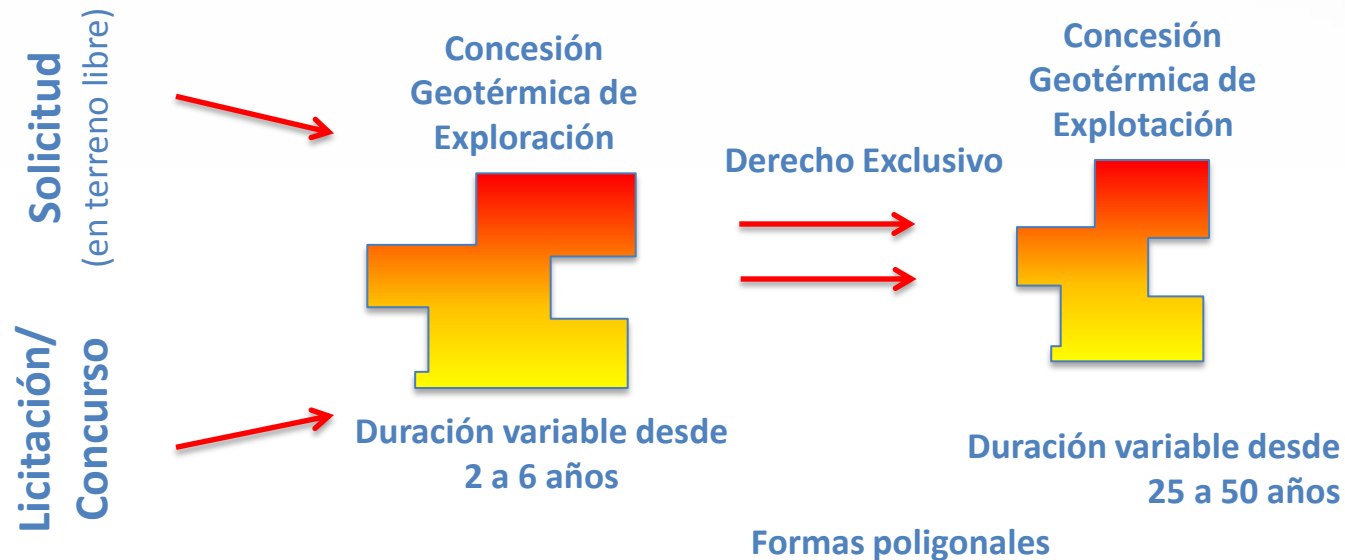
Dar suficiente tiempo para realizar la actividad de exploración y recuperar la inversión

Los desafíos

Marco Legal

El acceso al recurso

- Procedimiento, duración y definición de la extensión



Dar suficiente tiempo para realizar la actividad de exploración y recuperar la inversión

Los desafíos

Marco Legal

Normas Anti-especulación

- Obligaciones y derechos de los concesionarios

TÍTULOS	OBLIGACIONES	PENAS
Concesión de exploración	• Programa de trabajo/inversión mínimo (Perú) • Pago de cánones anuales (Chile, Perú, Nicaragua, Guatemala.....) • Entrega anual de informes técnicos y económicos (Chile, Perú, Nicaragua, Guatemala)	• Pérdida de los derechos geotérmicos sobre el área • Licitación pública del área • Publicación de la documentación técnica entregada
Concesión de explotación	• Programa de trabajo mínimo (Perú) • Pago de cánones anuales (Chile, Perú, Nicaragua, Guatemala...) • Entrega anual de informes técnicos y económicos (Chile, Perú, Nicaragua....)	• Pérdida de los derechos geotérmicos sobre el área • Licitación pública del área • Publicación de la documentación técnica entregada

Los desafíos

Marco Legal

Normas Anti-especulación

- Obligaciones y derechos de los concesionarios

CICLO GEOTÉRMICO Y MANEJO SUSTENTABLE DEL RECURSO

el conjunto de operaciones entre las cuales las de extracción y reinyección de los fluidos geotérmicos, que mantiene la sustentabilidad del sistema en el tiempo

En la ley se debe establecer la obligación y al mismo tiempo el derecho del concesionario de re inyectar los fluidos geotérmicos para mantener la sustentabilidad del sistema y establecer que los fluidos reinyectados no deben ser considerados como residuos industriales sino el medio de sustentabilidad y salvaguardia del recurso

(los fluidos no han subido trasformaciones químicas sino termodinámicas)

Los desafíos

Marco Legal

Normas Anti-especulación

- Obligaciones y derechos de los concesionarios

Definición de servidumbre de paso

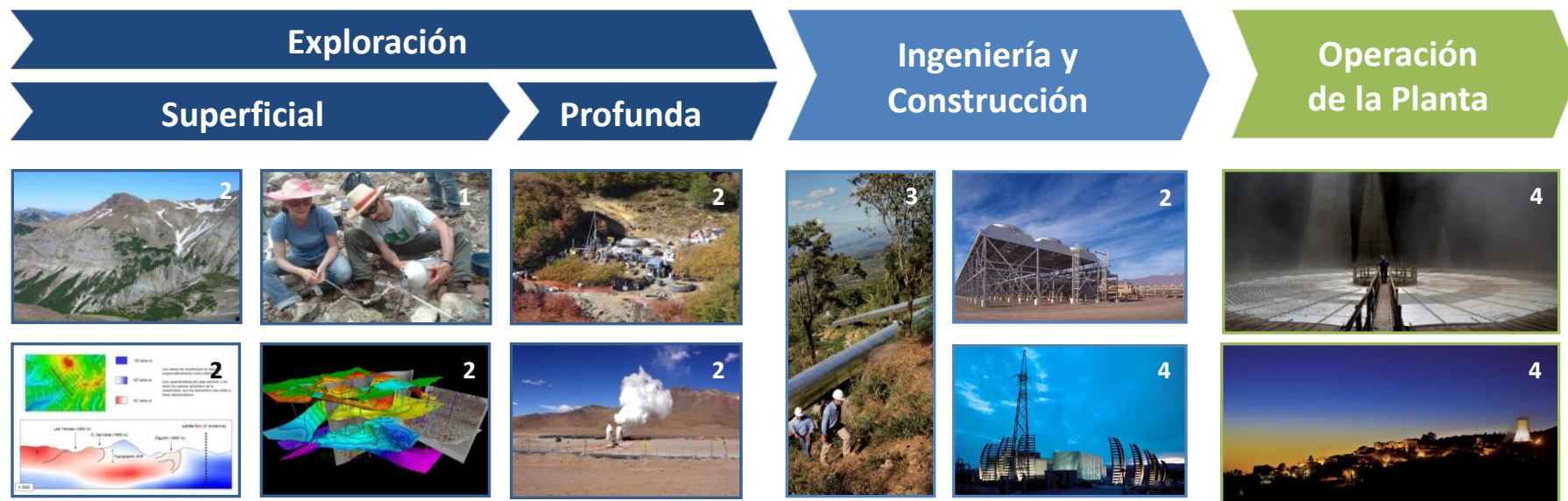
Por ejemplo, en la ley se puede reconocer el derecho del concesionario de imponer servidumbre de paso o permanente para poder desarrollar las actividades de exploración y explotación (hasta que la concesión sea vigente) y siempre y cuando los organismos reguladores identifiquen esta actividad como de utilidad pública.

Definición de compensaciones

Por ejemplo, derecho del propietario del predio sirviente a ser justamente indemnizado.

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo



Para mitigar el riesgo del operador y facilitar la expansión o la puesta en operación de nuevas plantas geotérmicas se puede operar directamente o indirectamente:

DIRECTAMENTE: Facilitando las inversiones compartiendo el riesgo de exploración

INDIRECTAMENTE: Fomentando las inversiones con políticas fiscales y energéticas favorables

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo



Facilitando la inversión operador y facilitar la expansión o la puesta en operación de nuevas plantas geotérmicas, ya puede operar directamente o indirectamente:

INDIRECTAMENTE: Facilitando las inversiones compartiendo el riesgo de exploración

- **LIDERAZGO DEL SECTOR PUBLICO**
- **SOPORTE FINANCIERO**

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo Liderazgo del Sector Publico

Sector Publico

En **Costa Rica y México** el desarrollo de la geotermia es liderado por el sector publico a través el ICE y la CFE.

	2005 (MW)	2010 (MW)	2013 (MW)
Costa Rica	163	166	207
Mexico	953	958	1017

1116 1124 1225

Crecimiento ~10%

Sector Publico y Privado

El Salvador, Islandia, Italia, Nueva Zelanda. El desarrollo de la geotermia estuvo liderado por el sector publico asta el 2000-2005. Luego, a través ventas del *asset* o PPP, el sector privado ha empezado a invertir en geotermia aumentando sustancialmente la potencia instalada.

	2005 (MW)	2010 (MW)	2013 (MW)
El Salvador	151	204	204
Islandia	322	575	664
Italia	790	843	876
Nueva Zelanda	435	628	843

1698 2250 2587

Crecimiento ~50%

El Liderazgo Publico ha generado las condiciones para el desarrollo de la geotermia

El Sector Privado invierte y lleva a una substancial crecida de la potencia instalada

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo Liderazgo del Sector Publico

Kenia

Hasta el 2006, liderazgo completo del sector publico

Desde el 2006, el operador eléctrico publico a través Geothermal Development Company se asocia con el sector privado.

- GDC es el responsable de la exploración superficial y profunda, cultivación de los campos geotérmicos y suministro del vapor a las plantas geotérmicas.
- El operador geotérmico privado debe invertir en el proyecto construyendo y operando la planta geotérmica

**Sector publico explora y
cultiva los campos
geotérmicos**

2000: 45MW



**Sector privado invierte
y construye la planta**

2013: 248MW

(vapor comprobado por otros 200MW)

**El liderazgo del sector publico ha impulsado
las inversiones del sector privado**

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo Soporte Financiero

EEUU

- **2005:** La potencia geotérmica instalada era alrededor de **2550MW**.
- **2009:** “El Programa de Tecnologías Geotérmicas” ha donado alrededor de **400 M\$** financiando proyectos en ámbito de la exploración (superficial y profunda), innovación-investigación y a baja entalpia.
- **2013:** la potencia instalada es de alrededor **3400MW** (+850MW in 8 años; inversiones: alrededor 3400-3600M\$)

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo Soporte Financiero

Kenia

- Desde los 80s : Financiamientos y donaciones de varias multilaterales y fondos (WB, KfW, CTF...)
- 1995: la potencia instalada es de 45MW.
- 2005: la potencia instalada es de 127MW.
- 2013: la potencia instalada es de 248MW

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo



Fomentando las inversiones con políticas fiscales y energéticas favorables

DIRECTAMENTE:

Facilitando las inversiones compartiendo el riesgo de exploración

INDIRECTAMENTE:

Fomentando las inversiones con políticas fiscales y energéticas favorables

- **INCENTIVOS FISCALES**
- **FEED IN TARIFF**
- **ENTRADA PREFERENTE**

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo Incentivos Fiscales

Existen varias tipologías de incentivos fiscales que fueron y son adoptados para dar soporte al desarrollo de los proyectos geotérmicos o de las energías renovables en general. Los más importantes son:

- **Periodos de gracias** en el pago de los impuestos sobre la renta (3 años en EEUU; a 7 años en Filipinas; 10 años en Guatemala)
- Aplicación de **créditos fiscales** para las compañías que invierten o que producen tecnologías GEO (EEUU *tax credit* de 23\$/MWh y 10% de la inversión).
- **Reducción de los impuestos** luego del periodo de gracia (Filipinas al 10%)
- Exención de **derechos de aduana** (Guatemala, Kenia, Filipinas) e **IVA** (Kenia) para las mercancías importadas para proyectos de producción de energía
- **Exención del IVA** (Filipinas)
- **Depreciación acelerada** (EEUU: 5 años en lugar de 15; México: 100% en 1 año, la nueva reforma podría eliminar esta opción)
- La **eliminación de los impuestos** sobre las ganancias por la venta de los **Bonos de Carbonio** (Indonesia)

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo Feed-In Tariff

Francia	independiente de la potencia instalada	200€/MWh para 15 años.	
	ADEME financia con grant hasta de 405k\$	estudios de factibilidad	
Germania	para potencia menor de 10MW	160 €/MWh para 20 años	
	para potencia superior a 10MW	105 €/MWh para 20 años	
	Adicionalmente tienen un programa financiamiento proyectos “Market Incentive Program”		
Japon	para potencia mayor de 15MW	± 262 \$US/MWh para 15 años (27.3yen/kWh)	
	para potencia menor de 15MW	± 414 \$US/MWh para 15 años (42yen/kWh)	
Kenya	para potencia menor de 70MW	85 US\$/MWh	
	Adicional: empeño directo del estado en la exploración profunda		
Indonesia	para potencia superior de 55 MW	105 US\$/MWh para T mayor de 225º	135 US\$/MWh para T menor de 225º
	para potencia entre 20 y 55 MW	115 US\$/MWh para T mayor de 225º	150 US\$/MWh para T menor de 225º
	para potencia entre 10 y 20 MW	135 US\$/MWh para T mayor de 225º	160 US\$/MWh para T menor de 225º
	para potencia menor de 10MW	170 US\$/MWh para T mayor de 225º	190 US\$/MWh para T menor de 225º
Italia:	para potencia inferior a 1 MW	135 €/MWh para 20 años	
	para potencia inferior a 20 MW	99 €/MWh para 20 años	
	para potencia superior a 20 MW	85 €/MWh para 20 años	
	adicional: 30 €/MWh en caso de reinyeccion total de los fluidos		
	adicional: 30 €/MWh para los primeros 10 MW instalado en cada nueva concesion de explotacion		
	adicional: 15 €/MWh para las plantas geotermicas a alta entalpia que reducen al 95% las emisiones de H2S		
Mexico:	Precio monómico máximo de subastas basado en menor costo de producción por tecnologías con despacio garantizado		
Turchia:	independiente de la potencia	105US\$/MWh para 10 años	
	Adicional: si se utiliza tecnologia made en turkia hay un adicional de 7 hasta 27 \$/MWh		
Ungheria	independiente de la potencia	105 €/MWh actualizado a IPC	

Seguridad de despacho

Garantiza el precio de venta

Los desafíos

Modelos para el Desarrollo



	Potencia instalada (2005)	Potencia instalada (2010)	Potencia instalada (2013)	DIRECTA		INDIRECTA	
				liderazgo sector publico	donativos o financ. bajos costos	Incentivos fiscales	feed in tariff y entrada preferente
Estados Unidos	2564	3093	3389		SI	SI	
Pilipinas	1904	1904	1848		SI	SI	
Indonesia	797	1197	1341		SI	SI	SI
Mexico	953	958	1017	SI	SI	SI	SI
Italia	791	843	876	SI			SI
Japon	535	535	537		SI		SI
Nueva Zelanda	435	628	842	SI	SI		
Islandia	202	575	664	SI			
Costa Rica	163	166	207	SI	SI		
El Salvador	151	204	204	SI	SI		
Kenia	129	167	248	SI	SI	SI	SI
Turquía	20	82	167		SI		SI
Guatemala	33	52	52	SI	SI	SI	
Alemania	0.2	6.6	12.1				SI

Combinación de Mecanismos de Mitigación de Riesgo

Reflexiones Finales

Criterios éxito en geotermia

Know
How



Operadores con capacidad técnica

- Las Actividades
- Tiempos
- Riesgos
- Costos

Normativa adecuada y seguridad jurídica. Considerando las actividades, los tiempos y riesgos para el desarrollo de un proyecto geotérmico se necesita proveer una normativa adecuada (definición de área, tiempos, obligaciones and derechos) para **salvaguardar los intereses públicos, privados y del desarrollador.**

La **combinación** de mecanismos de **mitigación de riesgos** (coparticipación del estados, fondos de garantía) asociados a **políticas fiscales o energéticas favorables** para fomentar las inversiones.

Selección estricta de los **mejores proyectos y operadores** para **no desperdiciar los capitales y los recursos.**

Gracias | Thank you | Obrigado | Merci

www.iadb.org/eic

Sandro Bruni

Inter-American Development Bank
sandrob@iadb.org



Energy Innovation Center

Actividad del BID

1. Capacity Building

El Salvador - *Centro*
Regional de Entrenamiento

2. Exploración

Colombia

3. Regulación

Peru
Mexico

4. Mitigación de Riesgo

México – *sector privado*
Chile – *sector privado*

5. Financiamientos

Costa Rica – *sector publico*
Nicaragua – *sector privado*
Bolivia – *infraestructuras*
México – *sector privado*
Chile – *sector privado*

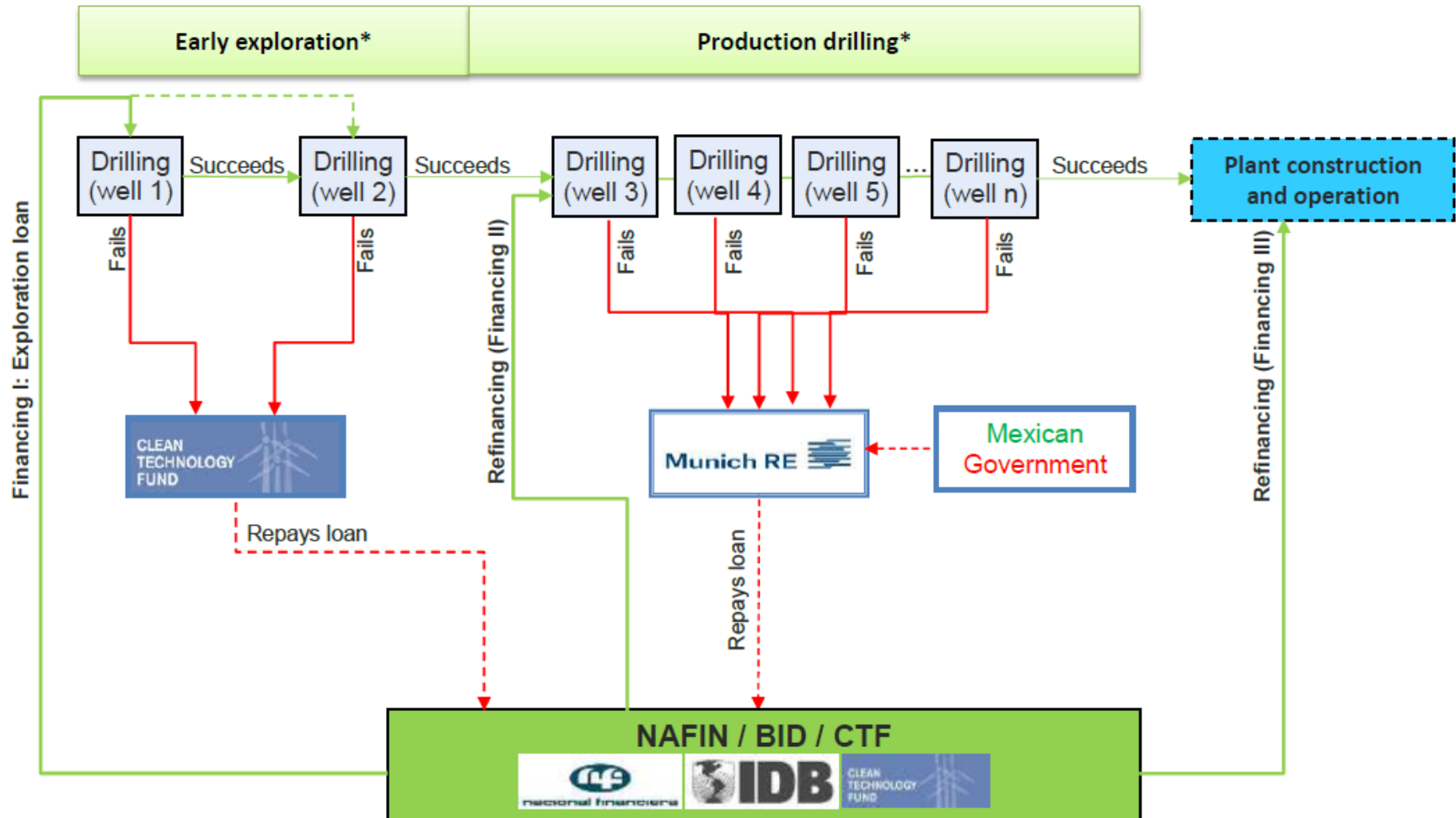
Actividades

8 países distintos

Soportando el sector publico y privado



Actividad del BID México

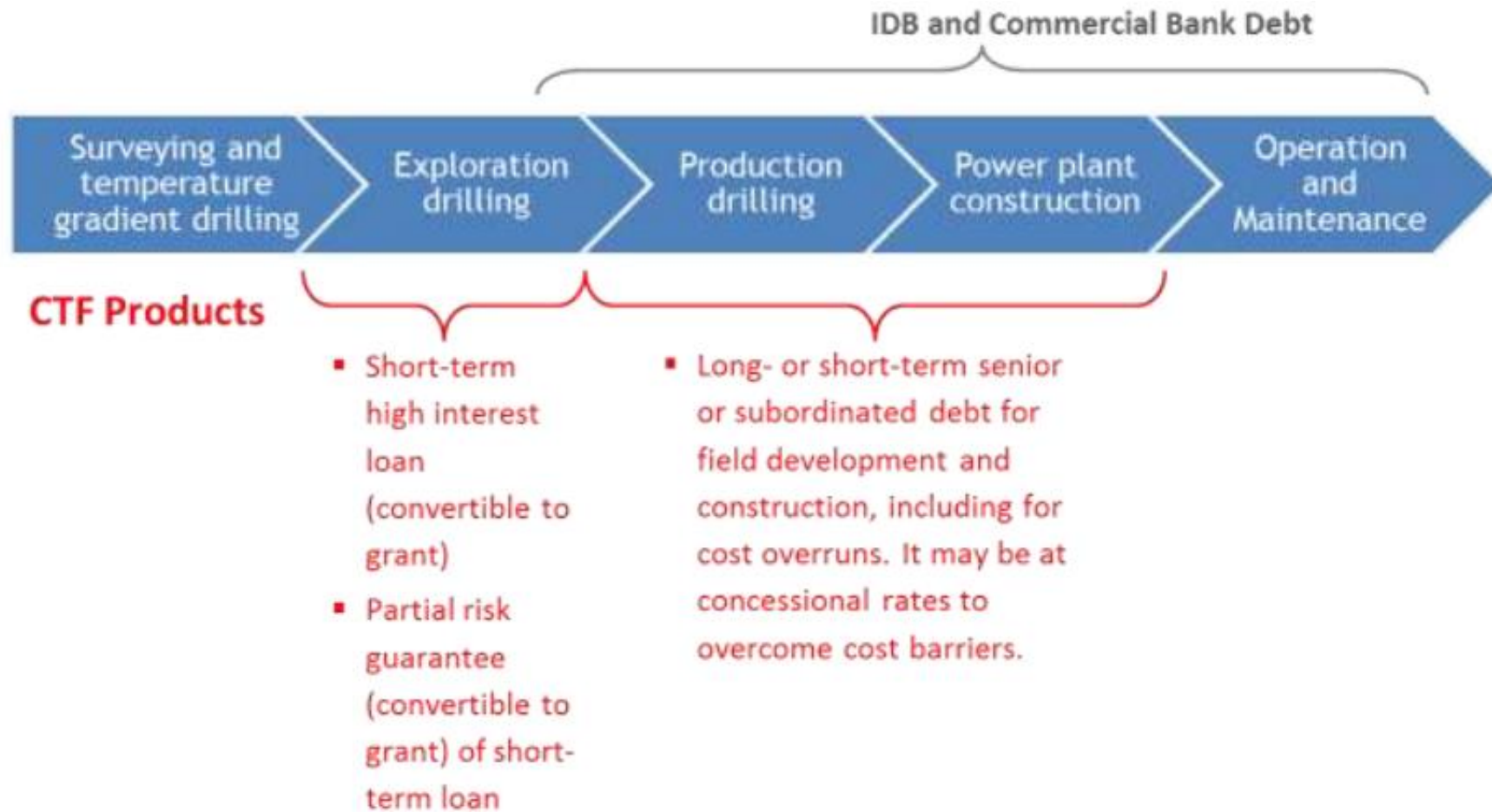


Actividad del BID México

Cooperaciones Técnicas

- **Capacity Building:** promoviendo políticas de diálogos entre países con experiencia a través workshops específicos sobre legislación y medio ambiente
- **Soportando la CFE:** soporte a la CFE para la valorización del asset geotérmico
- **Soportando el GdM:** en la definición de un marco legal apropiado que facilite el sector
- **Soportando a NAFIN:** en la contratación de una compañía experta en materia para la evaluación de los distintos proyectos y la financiación de los mejores

Actividad del BID Chile



Gracias | Thank you | Obrigado | Merci

www.iadb.org/eic #energydata21

Sandro Bruni

Inter-American Development Bank
sandrob@iadb.org



Energy Innovation Center