

ENERGÍA FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO



ESTUDIOS DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA

CASO 1.

750kW
cubierta
comercial

CASO 2.

100kW
cubierta
industrial

CASO 3.

166kW
cubierta
comercial

CASO 4.

100kW
cubierta
industrial



Copyright ©2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID.

No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son 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.

El mercado de proyectos de energía solar fotovoltaica de gran escala ha crecido exponencialmente en los últimos años en Chile y ya es considerado un mercado maduro.

Sin embargo el mercado de **energía fotovoltaica de autoconsumo** para el sector industrial y comercial todavía está en una fase muy incipiente con muy pocos proyectos en planificación y operación a pesar de tener un potencial por encima de **USD 2.000 millones**.

Para demostrar que la energía solar fotovoltaica de autoconsumo representa una **posibilidad factible** para reducir los costes de energía de una empresa industrial o comercial, se han estudiado cuatro casos concretos con diferentes empresas y en diferentes lugares.

CASO 1.

750kW en cubierta comercial | Calama, Chile

La planta fotovoltaica de estudio inyecta la energía eléctrica generada directamente en la red interna del local con el fin de disminuir el consumo actual de energía de la red.

Solución Propuesta



El diseño básico de la Planta FV es como sigue:

Características principales planta fotovoltaica

DESCRIPCIÓN	VALORES
NÚMERO DE INVERSORES EN LA PLANTA	6
NÚMERO DE MÓDULOS INSTALADOS	2.244
POTENCIA UNITARIA DE INVERSOR (KW)	125
POTENCIA UNITARIA DE MÓDULO (WP)	345
POTENCIA PICO INSTALADA DE LOS MÓDULOS (KWP)	774
POTENCIA NOMINAL INSTALADA DE LOS INVERSORES (KW)	750
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA (MWH/AÑO)	1.784
EFICIENCIA DE LA PLANTA (PR)	84,9%



Aspectos económicos

El proyecto presenta una inversión inicial (CAPEX) de 1.393.200 USD (1.8USD/Wp de coste instalación), inversión que incluye la ingeniería del proyecto, los equipos (módulos, estructura soporte y elementos metálicos, inversores, suministro eléctrico) y el montaje y puesta en marcha de los mismos.

El OPEX es de 15.000 USD/año e incluye las actividades de O&M preventivas, la operación de la planta, la gestión y suministro del mantenimiento correctivo y la gestión y suministro de repuestos fungibles y control de stocks.

Dentro del análisis económico del proyecto se calculan los ingresos estimados por ahorro de energía y se evalúan financiamiento propio y préstamo para financiar el proyecto.

Se obtiene un proyecto con recuperación de la inversión de 1.393.200 USD en 8-11 años y una rentabilidad de 13-20% (TIR inversión) bajo las siguientes condiciones: plazo deuda: 10 años; interés : 9%; tasa descuento: 12%; inflación: 2.5%, Coste de instalación: 1.8 USD/Wp; variando el ratio deuda/equity desde 0/100; 90/10; 80/20 y 70/30.

Análisis de sensibilidad

Se simula la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto fijando el ratio deuda/equity en 70/30 y modificando interés de deuda, plazo, coste de instalación y se ha observado su relación con el LCOE, el PRI, el VAN y el TIR bajo los mismos. Los análisis de sensibilidad muestran que la rentabilidad del proyecto es especialmente sensible con la variación del coste instalación (USD/Wp).

Análisis de sensibilidad coste instalación (USD/Wp)

COSTE EPC (USD/WP)	1,70	1,75	1,80	1,90	2,00	2,10
LCOE (USD/MWH)	101,1	103,8	106,4	111,8	117,1	122,4
PRI (AÑOS)	8	9	10	11	12	12
VAN INVERSIÓN (USD)	303.069	267.609	232.148	161.227	90.306	19.385
VAN PROYECTO (USD)	19.2927	154.227	115.527	38.127	-39.272	-116.672
TIR INVERSIÓN (%)	18,56%	17,57%	16,66%	15,02%	13,59%	12,32%
TIR PROYECTO (%)	14,11%	13,65%	13,20%	12,38%	11,63%	10,94%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

Análisis de sensibilidad interés de la deuda

INTERÉS DE LA DEUDA (%)	9%	8%	7%	6%
LCOE (USD/MWH)	106,4	103,6	100,9	98,1
PRI (AÑOS)	10	9	8	7
VAN INVERSIÓN (USD)	232.148	269.567	306.221	342.091
VAN PROYECTO (USD)	115.527	115.527	115.527	115.527
TIR INVERSIÓN (%)	16,66%	17,55%	18,47%	19,41%
TIR PROYECTO (%)	13,20%	13,20%	13,20%	13,20%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

Análisis de sensibilidad plazo de la deuda

PLAZO DE LA DEUDA (AÑOS)	10	11	12	13	14	15
LCOE (USD/MWH)	106,4	105,9	105,3	104,8	104,3	103,8
PRI (AÑOS)	10	9	8	7	7	6
VAN INVERSIÓN (USD)	232.148	239.846	247.138	254.039	260.568	266.740
VAN PROYECTO (USD)	115.527	115.527	115.527	115.527	115.527	115.527
TIR INVERSIÓN (%)	16,66%	17,09%	17,53%	17,97%	18,42%	18,87%
TIR PROYECTO (%)	13,20%	13,20%	13,20%	13,20%	13,20%	13,20%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

El modelo financiero más favorable económicamente de todos los presentados en los estudios de sensibilidad, es el que presenta un interés de la deuda de 6%, puesto que presenta la mayor rentabilidad (19,41%).

CASO 2.

100kW en cubierta industrial | Calama, Chile

La planta fotovoltaica de estudio inyecta la energía eléctrica generada directamente en la red interna del local con el fin de disminuir el consumo actual de energía de la red. Además, tendrá la posibilidad también de inyectar los excedentes de la energía eléctrica generada a la red de distribución, cuando la instalación no autoconsume la totalidad de la electricidad generada, lo cual ocurrirá principalmente durante las horas con radiación solar de los fines de semana y días festivos.

Solución Propuesta



El diseño básico de la planta es como sigue:

Características principales planta fotovoltaica

DESCRIPCIÓN	VALORES
NÚMERO DE INVERSORES EN LA PLANTA	1
NÚMERO DE MÓDULOS INSTALADOS	280
POTENCIA PICO INSTALADA DE LOS (KWP)	97
POTENCIA NOMINAL INSTALADA (KW)	100
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA (MWH/AÑO)	220
EFICIENCIA DE LA PLANTA (PR)	86,3%

Aspectos económicos

El proyecto presenta una inversión inicial (CAPEX) de 184.300 USD (1,9 USD/Wp de coste instalación), inversión que incluye la ingeniería del proyecto, los equipos (módulos, estructura soporte y elementos metálicos, inversores, suministro eléctrico) y el montaje y puesta en marcha de los mismos.

El OPEX incluye las actividades de O&M preventivas, la operación de la planta, la gestión y suministro del mantenimiento correctivo y la gestión y suministro de repuestos fungibles y control de stocks, y representa una inversión anual de 2.000USD/año.

Dentro del análisis económico del proyecto se calculan los ingresos estimados por ahorro de energía y se evalúan distintos modelos de financiamiento del proyecto: financiamiento propio, préstamo o suministro con una entidad externa (Energy Services Company, ESCO).

Análisis de sensibilidad y opciones

Se simula la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto fijando el ratio deuda/equity en 70/30 y modificando interés de deuda, plazo, coste de instalación y se ha observado su relación con el LCOE, el PRI, el VAN y el TIR bajo los mismos. Los análisis de sensibilidad muestran que la rentabilidad del proyecto es especialmente sensible con la variación del coste de instalación (USD/Wp).

Análisis de sensibilidad coste instalación (USD/Wp)

COSTE EPC (USD/WP)	1,70	1,75	1,80	1,90	2,00	2,10
LCOE (USD/MWH)	91,9	94,3	96,73	101,5	106,4	111,2
PRI (AÑOS)	12	13	13	14	15	15
VAN INVERSIÓN (USD)	-2.790	-7.234	-11.678	-20.566	-29.454	-38.342
VAN PROYECTO (USD)	-16.593	-21.443	-26.293	-35.993	-45.693	-55.393
TIR INVERSIÓN (%)	11,54%	10,86%	10,22%	9,05%	8,02%	7,09%
TIR PROYECTO (%)	10,50%	10,10%	9,73%	9,03%	8,39%	7,80%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

Análisis de sensibilidad interés de la deuda

INTERES DE LA DEUDA%	9	8	7	6
LCOE (USD/MWH)	101,5	98,9	96,2	93,7
PRI (AÑOS)	14	13	13	12
VAN INVERSIÓN (USD)	-20.566	-15.616	-10.767	-6.022
VAN PROYECTO (USD)	-35.933	-118.045	-118.045	-118.045
TIR INVERSIÓN (%)	9,0%	9,7%	10,4%	11,1%
TIR PROYECTO (%)	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base



Análisis de sensibilidad plazo de la deuda

PLAZO DE LA DEUDA (AÑOS)	10	11	12	13	14	15
LCOE (USD/MWH)	101,5	101,0	100,5	100,0	101,0	99,1
PRI (AÑOS)	14	14	15	15	14	16
VAN INVERSIÓN (USD)	-20.566	-19.548	-18.583	-17.670	-19.548	-15.990
VAN PROYECTO (USD)	-35.993	-35.993	-35.993	-35.993	-35.993	-35.993
TIR INVERSIÓN (%)	9,05%	9,06%	9,06%	9,06%	9,06%	9,07%
TIR PROYECTO (%)	9,03%	9,03%	9,03%	9,03%	9,03%	9,03%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

Dentro de los modelos de financiamiento analizados destaca el modelo ESCO (ofertado por Solarity) con el cual se obtiene una mayor rentabilidad (TIR de inversión de 13.5%), un periodo de retorno inferior (7 años) y un VAN superior, frente a los modelos con las condiciones financieras del caso base.

Sin embargo, si se compara el modelo financiero de ESCO frente a un modelo financiero con 1,75 USD/Wp de coste instalación (factible en Chile), 2.000USD/año de coste O&M, apalancamiento del 70% y las siguientes condiciones:

- Plazo de deuda: 15 años
- Interés de la deuda: 6%
- Tasa de descuento: 10%

La rentabilidad de este modelo es superior a la del modelo de ESCO presentado y a la de los modelos calculados con las condiciones financieras del caso base, aunque el periodo de retorno es algo superior (8 años). Este escenario presenta mayor rentabilidad, VAN.

Resultados modelo económico mas favorable

LCOE (USD/MWH)	78,0
PRI (AÑOS)	8,0
VAN INVERSIÓN (USD)	27.096
VAN PROYECTO (USD)	1.328
TIR INVERSIÓN (%)	15,1%
TIR PROYECTO (%)	10,1%

CASO 3.

166kW en cubierta comercial | Antofagasta, Chile

El objetivo del proyecto es maximizar la energía generada por los módulos fotovoltaicos en función de las limitaciones y características de la cubierta, teniendo en cuenta que se quiere autoconsumir toda la electricidad generada en la instalación sin inyectar a la red en ningún momento.

Se ha decidido este criterio para el diseño de la planta, dado que si se quiere exportar electricidad a la red, conforme a la legislación chilena vigente (ley 20.571) se estipula en 100 kW la capacidad máxima instalada de los medios de generación para conectarse a redes de distribución. Por tanto si se exportara electricidad a la red, la planta fotovoltaica tendría que ser inferior a 100kW lo que sería inferior al obtenido maximizando la producción - 166kW- y resultaría menos rentable económicamente.

Solución Propuesta



El diseño de la planta fotovoltaica es el adjunto:

Características principales planta fotovoltaica

DESCRIPCIÓN	Valores
NÚMERO DE INVERSORES EN LA PLANTA	1
NÚMERO DE MÓDULOS INSTALADOS	800
POTENCIA PICO INSTALADA DE LOS MÓDULOS (KWP)	208
POTENCIA NOMINAL INSTALADA DEL INVERSOR (KW)	166
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA (MWH/AÑO)	326,7
EFICIENCIA DE LA PLANTA (PR)	79,6%

Aspectos Económicos

El proyecto presenta una inversión inicial (CAPEX) de 388.960 USD (1,87 USD/Wp de coste instalación), inversión que incluye la ingeniería del proyecto, los equipos (módulos, estructura soporte y elementos metálicos, inversores, suministro eléctrico), el montaje y puesta en marcha de los mismos.

El OPEX incluye las actividades de O&M preventivas, la operación de la planta, la gestión y suministro del mantenimiento correctivo y la gestión y suministro de repuestos fungibles y control de stocks, y representa una inversión anual de 3.320USD/año.

Dentro del análisis económico del proyecto se calculan los ingresos estimados por ahorro de energía y se evalúan financiamiento propio y préstamo para financiar el proyecto.

Se obtiene un proyecto con recuperación de la inversión de 388.960 USD en 12-16 años y una rentabilidad de 6-9% (TIR inversión) bajo las siguientes condiciones: plazo deuda: 10 años; interés : 9%; tasa descuento: 12%; inflación: 2.5%, Coste de instalación: 1.87 USD/Wp; variando el ratio deuda/equity desde 0/100; 90/10; 80/20 y 70/30.

Análisis de sensibilidad y evaluación de alternativas

Se simula la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto fijando el ratio deuda/equity en 70/30 y modificando interés de deuda, plazo, coste de instalación y se ha observado su relación con el LCOE, el PRI, el VAN y el TIR bajo los mismos. Los análisis de sensibilidad muestran que la rentabilidad del proyecto es especialmente sensible con la variación del coste de instalación (USD/Wp).

Análisis de sensibilidad coste instalación (USD/Wp)

COSTE EPC (USD/WP)	1,70	1,75	1,80	1,87	2,00	2,10
LCOE (USD/MWH)	145,6	149,5	153,4	158,9	169,1	176,9
PRI (AÑOS)	15,00	15,00	15,00	16	17	18
VAN INVERSIÓN (USD)	-53.086	-62.615	-72.145	-85.486	-110.262	-129.321
VAN PROYECTO (USD)	-82.685	-93.085	-103.485	-118.045	-145.085	-165.885
TIR INVERSIÓN (%)	8,07%	7,51%	6,99%	6,31%	5,17%	4,39%
TIR PROYECTO (%)	8,43%	8,07%	7,74%	7,29%	6,53%	5,99%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

Análisis de sensibilidad interés de la deuda

INTERES DE LA DEUDA%	9	8	7	6
LCOE (USD/MWH)	158,9	154,6	150,4	146,3
PRI (AÑOS)	16	15	15	14
VAN INVERSIÓN (USD)	-85.486	-75.039	-64.806	-54.791
VAN PROYECTO (USD)	-118.045	-118.045	-118.045	-118.045
TIR INVERSIÓN (%)	6,31%	6,88%	7,46%	8,07%
TIR PROYECTO (%)	7,29%	7,29%	7,29%	7,29%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

Análisis de sensibilidad interés de la deuda

PLAZO DE LA DEUDA (AÑOS)	10	11	12	13	14	15
LCOE (USD/MWH)	158,9	158,0	157,2	156,4	155,7	154,9
PRI (AÑOS)	16	16	17	17	18	19
VAN INVERSIÓN (USD)	-85.486	-83.337	-81.301	-79.934	-77.551	-75.828
VAN PROYECTO (USD)	-118.045	-118.045	-118.045	-118.045	-118.045	-118.045
TIR INVERSIÓN (%)	6,31%	6,18%	6,05%	5,91%	5,75%	5.59%
TIR PROYECTO (%)	7,29%	7,29%	7,29%	7,29%	7,29	7.29

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base

El modelo financiero más favorable económicamente de todos los presentados en los estudios de sensibilidad es el que presenta un interés de la deuda de 6%, un plazo de evaulacion de 15 años y una tasa de descuento del 10%, un apalancamiento del 70% y un coste de instalación de 1.75 USD/Wp, puesto que presenta una mayor rentabilidad y un VAN de la inversión superior.

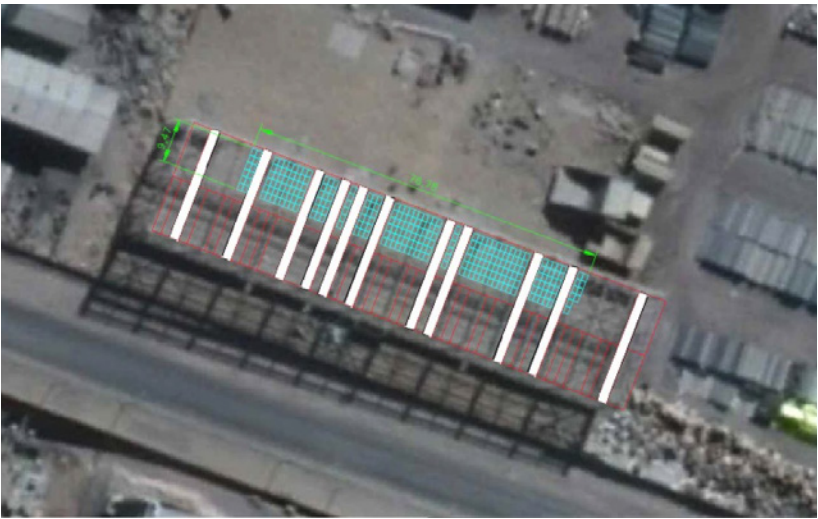
Resultados modelo económico mas favorable

LCOE (USD/MWH)	123,0
PRI (AÑOS)	13
VAN INVERSIÓN (USD)	3.838
VAN PROYECTO (USD)	5.1416
TIR INVERSIÓN (%)	10,33%
TIR PROYECTO (%)	8,07%

100kW en cubierta industrial | Antofagasta, Chile

La planta fotovoltaica de estudio inyecta la energía eléctrica generada directamente en la red interna del local con el fin de disminuir el consumo actual de energía de la red. Además, tendrá la posibilidad también de inyectar los excedentes de la energía eléctrica generada a la red de distribución, cuando la instalación no autoconsume la totalidad de la electricidad generada.

Solución Propuesta



El diseño básico de la Planta FV es como sigue:

Características principales planta fotovoltaica

NÚMERO DE INVERSORES EN LA PLANTA	1
NÚMERO DE MÓDULOS INSTALADOS	280
POTENCIA PICO INSTALADA DE LOS MODULOS (KWP)	97
POTENCIA NOMINAL INSTALADA DEL INVERSOR (KW)	100
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA (MWH/AÑO)	162
EFICIENCIA DE LA PLANTA (PR)	84,7%

Aspectos Económicos

El proyecto presenta una inversión (CAPEX) de 184.300 USD (1.9USD/Wp de coste instalación), inversión que incluye la ingeniería del proyecto, los equipos (módulos, estructura soporte y elementos metálicos, inversores, suministro eléctrico) y el montaje y puesta en marcha de los mismos.



El costo operativo (OPEX) es de 2.000 USD/año e incluye las actividades de operación y mantenimiento preventivas, la operación de la planta, la gestión y suministro del mantenimiento correctivo y la gestión y suministro de repuestos fungibles y control de stocks.

Dentro del análisis económico del proyecto se calculan los ingresos estimados por ahorro de energía y se evalúan distintos modelos de financiamiento del proyecto: financiamiento propio, préstamo o suministro con una entidad externa (Energy Services Company, ESCO). Se obtiene un proyecto con recuperación de la inversión de 184.300 USD en 9-13 años y una rentabilidad de 10,5-12,5% (TIR inversión) bajo las siguientes condiciones: plazo deuda: 10 años; interés : 9%; tasa descuento: 12%; inflación: 2.5%, Coste de instalación: 1.9 USD/Wp; variando el ratio deuda/equity desde 0/100; 90/10; 80/20 y 70/30.

Análisis de sensibilidad y evaluación de alternativas

Se simula la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto fijando el ratio deuda/equity en 70/30 y modificando interés de deuda, plazo, coste de instalación y se ha observado su relación con el LCOE, el PRI, el VAN y el TIR bajo los mismos. Los análisis de sensibilidad muestran que la rentabilidad del proyecto es especialmente sensible con la variación del coste instalación (USD/Wp).

Análisis de sensibilidad coste instalación (USD/Wp)

COSTE EPC (USD/WP)	1,70	1,75	1,80	1,87	2,00	2,10
LCOE (USD/MWH)	140,5	144,1	147,8	155,2	162,5	169,9
PRI (AÑOS)	11	11	12	12	13	14
VAN INVERSIÓN (USD)	15.259	10.815	6.371	-2.517	-11.405	-20.293
VAN PROYECTO (USD)	1.456	-3.394	-8.244	-17.944	-27.644	-37.344
TIR INVERSIÓN (%)	14,55%	13,74%	12,99%	11,63%	10,44%	9,37%
TIR PROYECTO (%)	12,13%	11,71%	11,30%	10,55%	9,86%	9,23%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso

Análisis de sensibilidad interés de la deuda

INTERES DE LA DEUDA%	9	8	7	6
LCOE (USD/MWH)	155,2	151,1	147,1	143,1
PRI (AÑOS)	12	12	12	11
VAN INVERSIÓN (USD)	-2.517	2.433	7.282	12.027
VAN PROYECTO (USD)	-17.944	-17.944	-17.944	-17.944
TIR INVERSIÓN (%)	11,63%	12,36%	13,12%	13,89%
TIR PROYECTO (%)	10,55%	10,55%	10,55%	10,55%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso base



Análisis de sensibilidad interés de la deuda

PLAZO DE LA DEUDA (AÑOS)	10	11	12	13	14	15
LCOE (USD/MWH)	155,2	154,3	153,5	152,8	152,1	151,4
PRI (AÑOS)	12	13	13	13	12	10
VAN INVERSIÓN (USD)	-2.517	-1.499	-534	379	1.242	2.059
VAN PROYECTO (USD)	-17.944	-17.944	-17.944	-17.944	-17.944	-17.944
TIR INVERSIÓN (%)	11,63%	11,77%	11,91%	12,06%	12,22%	12,39%
TIR PROYECTO (%)	10,55%	10,55%	10,55%	10,55%	10,55%	10,55%

Nota: Los valores marcados se corresponden con el caso

Dentro de los modelos de financiamiento analizados destaca el modelo ESCO con el cual se obtiene una mayor rentabilidad (TIR de inversión de 14.05%), un periodo de retorno inferior (7 años) y un VAN superior, frente a los modelos con las condiciones financieras del caso base a excepción del modelo con el coste de EPC 1,7USD/Wp que presenta un TIR de inversión superior.

Sin embargo, si se compara este modelo financiero de ESCO frente al modelo financiero con 1.75USD/Wp de coste instalación (factible en Chile), 2.000USD/año de coste O&M, apalancamiento del 70% y las siguientes condiciones:

- Plazo de evaluación: 15 años
- Interés de la deuda: 6%
- Tasa de descuento: 10%

la rentabilidad de este modelo y el VAN de inversión es superior a la del modelo de ESCO presentado y a la de los modelos calculados con las condiciones financieras del caso base, y el periodo de retorno es algo inferior (6 años). Este escenario presenta mayor rentabilidad, VAN y un periodo de retorno inferior.

Resultados modelo económico mas favorable

LCOE (USD/MWH)	119,3
PRI (AÑOS)	6
VAN INVERSIÓN (USD)	47.967
VAN PROYECTO (USD)	22,199
TIR INVERSIÓN (%)	19,10%
TIR PROYECTO (%)	11,71%



blogs.iadb.org/cambioclimático
blogs.iadb.org/sectorprivado